**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

# HAYVANSAL ATIK KAYNAKLI BİYOGAZ TESİSİNİN LOJİSTİK MALİYETİNİN FİZİBİLİTEYE OLAN ETKİSİ VE TÜRKİYE PROJEKSİYONU

**MERYEM ÖZAYDIN**

**KOCAELİ 2020**

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

# HAYVANSAL ATIK KAYNAKLI BİYOGAZ TESİSİNİN LOJİSTİK MALİYETİNİN FİZİBİLİTEYE OLAN ETKİSİ VE TÜRKİYE PROJEKSİYONU

MERYEM ÖZAYDIN

Dr. Volkan ÇOBAN
Danışman, Kocaeli Üniv.

Dr. Selman ÇAĞMAN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Ethem TOKLU
Jüri Üyesi, Düzce Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 23.01.2020

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, hayvansal atık kaynaklı biyogaz tesisinin lojistik maliyetinin fizibiliteye olan etkisi ve Türkiye projeksiyonunu incelemek, aynı zamanda geliştirmek amacıyla yazılmıştır.

Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, çalışmalarıma yön veren, bana güvenen danışmanım Dr. Volkan ÇOBAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca bana güç veren en büyük destekçilerim, her aşamada sıkıntılarımı ve mutluluklarımı paylaşan sevgili babam Salih ÖZAYDIN'a, annem Emine ÖZAYDIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Aralık - 2020 Meryem ÖZAYDIN

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... i
İÇİNDEKİLER ..... ii
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... iv
TABLOLAR DİZİNİ ..... v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... vi
ÖZET ..... viii
ABSTRACT ..... ix
GİRİŞ ..... 1
1. GENEL BİLGİLER ..... 2
1.1. Enerji ..... 3
1.1.1.Dünyada mevcut enerji kaynaklarına bakış ..... 3
1.1.2.Türkiye'de mevcut enerji kaynaklarına bakış ..... 4
1.1.3.Fosil yakıt kullanımının etkileri ..... 6
1.1.4.Yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları ..... 7
1.2. Biyogaz ..... 8
1.2.1.Tarihte biyogaz ..... 8
1.2.2.Biyogaz içeriği ve özellikleri ..... 10
1.2.3.Biyogazın ısıl değeri ..... 10
1.2.4.Biyogaz üretilirken kullanılan atık türleri ..... 11
1.2.4.1.Bitkisel kaynaklı atıklar ..... 12
1.2.4.2.Hayvansal kaynaklı atıklar ..... 12
1.2.4.3.Kentsel ve endüstriyel kaynaklı atıklar ..... 12
1.2.5.Biyogaz üretimini aşamaları ve mikrobiyolojisi ..... 13
1.2.6.Biyogaz tesis bileşenleri ..... 15
1.2.7.Dünyada ve Türkiye'de biyogaz üretim potansiyeli ..... 17
1.3. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar ..... 18
1.4. Çalışmanın Amacı ..... 21
2. MATERYAL VE YÖNTEM ..... 22
2.1.Baz Alınan Bölgedeki Biyogaz Potansiyeli ..... 22
2.1.1. Baz alınan bölgedeki iklim koşulları ..... 22
2.1.2.Baz alınan bölgedeki hayvancılık verileri ..... 23
2.2.Metod ..... 24
2.3.Kullanılan Atık Analizleri ..... 25
2.3.1.Atık analizi yapılırken uygulanan laboratuvar çalışmaları ..... 25
2.4.Tesis Kapasite Hesabı ..... 26
2.4.1.Buswell yöntemi ile kapasite tayini ..... 27
2.4.2.Literatür verileri ile kapasite tayini ..... 29
2.4.3.Tesis kapasitesine ilişkin teknik detaylar ..... 31
2.5.Atık Toplama ve Sıvı Gübre Dağıtım Stratejileri ..... 32
2.5.1.Atık toplama ve dağıtımı için yapılan hesaplamalar ..... 34
2.5.2.Kütle denkliği ile sıvı gübre tayini ..... 36
2.5.3.Tesis fizibilite hesapları ..... 37
2.5.3.1. Biyogaz tesisi kurulum maliyetlerinin çıkarılması ..... 38

2.5.3.2. Biyogaz tesisi işletme giderlerinin çıkarılması ..... 39
2.5.3.3.Biyogaz tesisi işletme gelirlerinin çıkarılması ..... 39
2.6. Amortisman Süresi Hesaplanması ..... 40
2.6.1. Hammadde sağlanacak çiftlik ve biyogaz tesisi arasındaki mesafenin amortisman süresine etkileri ..... 40
2.6.2. Meydana gelen sıvı gübrenin dağıtımı ve mesafenin amortisman süresine etkileri ..... 41
3. BULGULAR ..... 42
3.1. Hammadde Analiz Sonuçları ..... 42
3.2. Biyogaz Tesis Kapasitesi Ve Dizayn Parametreleri ..... 43
3.2.1. Buswell yöntemi ile kapasite tayini ..... 43
3.2.2. Literatür verileri ile kapasite tayini ..... 43
3.3. Atık Toplama ve Dağıtımı İçin Yapılan Hesaplamalar ..... 45
3.4. Biyogaz Tesis Yatırım Maliyeti ..... 46
3.5. Biyogaz Tesisi İşletme Giderleri ..... 46
3.6. Biyogaz Tesis Gelirleri ..... 47
3.7. Biyogaz Tesisi Fizibilite Hesapları ..... 47
3.7.1. Biyogaz tesisi ve atığın sağlanacağı çiftlik arasındaki mesafe ..... 47
3.7.1.1. Çiftlik mesafesi en uzak seçildiğinde fizibilite hesabı ..... 47
3.7.1.2. Çiftlik mesafesi en yakın seçildiğinde ..... 47
3.7.1.3. Çiftlik mesafesi ortalama bir uzaklık seçildiğinde fizibilite hesabı ..... 48
3.7.2.Biyogaz tesisi ve sıvı gübrenin taşınacağı mesafe ..... 48
3.7.2.1. Sıvı gübre mesafesi 10 km iken fizibilite hesabı ..... 48
3.7.2.2. Sıvı gübre mesafesi 20 km iken fizibilite hesabı ..... 49
3.7.2.3. Sıvı gübre mesafesi 50 km iken fizibilite hesabı ..... 50
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ..... 51
KAYNAKLAR ..... 54
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER ..... 56
ÖZGEÇMİŞ ..... 57

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünya enerji tüketimi ..... 4
Şekil 1.2. Türkiye enerji tüketimi petrol karşılığı milyon ton..... 5
Şekil 1.3. 2018 Yılı elektrik üretimi ..... 5
Şekil 1.4. John Dalton (1766-1844) ve öğrencisini bataklık gazı toplarken tasvir eden resim(Manchester City Art Galleries)..... 9
Şekil 1.5. Biyogaz tipi sokak lambası ..... 9
Şekil 1.6. Biyogazın LPG ocaklarında yakılması ..... 10
Şekil 1.7. Bitkisel kaynaklı atıklar ..... 12
Şekil 1.8. Hayvansal kaynaklı atıklar..... 12
Şekil 1.9. Kentsel ve endüstriyel kaynaklı atıklar..... 13
Şekil 1.10. Biyogaz oluşum safhaları..... 14
Şekil 1.11. Biyogaz tesis akış şeması..... 16
Şekil 2.1. Çiftliklerde bulunan hayvan sayıları..... 23
Şekil 2.2. Biyogaz tesisi madde akış diyagramı..... 32
Şekil 2.3. Biyogaz tesisine olan en yakın mesafe konumu ..... 33
Şekil 2.4. Biyogaz tesisine olan en uzak mesafe konumu..... 34
Şekil 2.5. Biyogaz tesisi ve 3 numaralı çiftlik konumu ..... 33

## TABLOLAR DİZİNİ


Tablo 1.1. Biyogaz bileşimi ..... 10
Tablo 1.2. Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları) ..... 11
Tablo 1.3. Dünyada bulunan biyogaz tesisleri ..... 17
Tablo 2.1. TÜİK büyükbaş hayvan sayısı ..... 22
Tablo 2.2. Büyükbaş çiftlikler için hayvan bilgileri ve çiftlik detayları ..... 24
Tablo 2.3. Çiftlik ampirik formül hesaplamaları ..... 27
Tablo 2.4. Biyogaz tesisi bileşenleri ..... 31
Tablo 2.5. Sıvı gübre ve dağıtım mesafesi ..... 36
Tablo 2.6. Çiftlikler ve biyogaz tesisine olan uzaklıkları ..... 36
Tablo 2.7. Biyogaz tesisi yatırım maliyeti bileşenleri ..... 38
Tablo 3.1. Numunelerden elde edilen UKM ve KM sonuçları ..... 42
Tablo 3.2. 1MW Biyogaz tesisi tasarımına ilişkin detaylar ..... 43
Tablo 3.3. Buswell denklemine göre biyogaz kapasite hesabı ..... 44
Tablo 3.4. Literatür hesaplamasına göre elektrik üretim kapasitesi ..... 44
Tablo 3.5. Sıvı gübre lojistiği ..... 45
Tablo 3.6. Lojistik hesaplaması ..... 45
Tablo 3.7. Biyogaz tesisi yatırım maliyeti bileşenleri ..... 46
Tablo 3.8. Biyogaz tesisi işletme giderleri ..... 46
Tablo 3.9. Çiftlik Mesafesi En Uzak Seçildiğinde Fizibilite Hesabı ..... 47
Tablo 3.10. Çiftlik Mesafesi En Yakın Seçildiğinde Fizibilite Hesabı ..... 48
Tablo 3.11. Ortalama mesafe seçildiğinde fizibilite hesabı ..... 48
Tablo 3.12. Sıvı gübrenin taşınacağı mesafe 10 km seçildiğinde amortisman süresi ..... 49
Tablo 3.13. Sıvı gübrenin taşınacağı mesafe 20 km seçildiğinde amortisman süresi ..... 49
Tablo 3.14. Sıvı gübrenin taşınacağı mesafe 50 km seçildiğinde amortisman süresi ..... 50

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | | |
|---|---|---|
| C | : | Karbon |
| °C | : | Derece |
| Ca | : | Kalsiyum |
| $CH_4$ | : | Metan |
| CO | : | Karbonmonoksit |
| $CO_2$ | : | Karbondioksit |
| $Fe^{+2}$ | : | Demir İyonu |
| FeC | : | Demir Klorür |
| H | : | Hidrojen |
| $H_2$ | : | Hidrojen Gazı |
| $H_2S$ | : | Hidrojen Sülfür |
| K | : | Potasyum |
| Mg | : | Magnezyum |
| N | : | Azot |
| $N_2$ | : | Azot Gazı |
| $NO_x$ | : | Azotoksit |
| $O_2$ | : | Oksijen Gazı |
| P | : | Fosfor |
| ≈ | : | Yaklaşık |
| $ | : | Dolar Sembolü |

### Kısaltmalar

| | | |
|---|---|---|
| ABD | : | Amerika Birleşik Devletleri |
| AHP | : | Analytic Hierarchy Procces (Analitik Hiyerarşi Prosesi) |
| ANFIS | : | Adaptive Network Fuzzy Inference (Uyarmalı Ağ Çıkarım Sistem) |
| ANN | : | Artificial Neural Networks (Yapay Sinir Ağları) |
| COD | : | Organik Madde Bozunmaları |
| Favök | : | Faiz Ve Amortisman Öncesi Kar Kavramı |
| GWh | : | Gigawatt Saat |
| IEA | : | International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı) |
| Kcal | : | Kilokalori |
| Km | : | Kilometre |
| KM | : | Katı Madde |
| kWh | : | Kilowatt Saat |
| $M^3$ | : | Metreküp |
| MILP | : | Mixed-Integer Linear Programming (Karmaşık Tamsayılı Doğrusal Programlama) |
| Mj | : | Megajoule |
| MWh | : | Megawatt Saat |
| Ph | : | Power of Hydrogen (Hidrojen Gücü) |
| STP | : | Standart Sıcaklık Ve Basınç |

| | | |
|---|---|---|
| UKM | : | Uçucu (organik) Katı Madde |
| USD | : | United States Dollar (Amerikan Doları) |
| TWh | : | Tetawatt Saat |
| TÜİK | : | Türk İstatistik Kurumu |
| Vb. | : | Ve benzeri |
| Vs. | : | Versus (Vesayire) |
| YEGM | : | Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü |

**HAYVANSAL ATIK KAYNAKLI BİYOGAZ TESİSİNİN LOJİSTİK MALİYETİNİN FİZİBİLİTEYE OLAN ETKİSİ VE TÜRKİYE PROJEKSİYONU**

## ÖZET

Günümüzde enerjiye olan ihtiyaç katlanarak artmakta ve beraberinde bizi alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Bu alternatif enerji kaynaklarından biri olan biyogaz enerjisi aynı zamanda sürdürülebilirdir ve çevre dostudur. Bir biyogaz tesisinin kurulumu aşamasında yatırım maliyetlerinin yanı sıra lojistik maliyeti de önemli bir işletme gider kalemidir. Kurulacak olan 1 MW elektrik üretim kapasiteli tesisinin hammaddeye olan uzaklığı ve açığa çıkan sıvı gübrenin bertarafı tesis fizibilitesini etkilemektedir. Bu çalışmada 1 MW elektrik üretim kapasiteli biyogaz tesisinin lojistik maliyetleri incelenmiştir. Sonuç olarak hammaddeye olan uzaklığı 20 km olan bir tesis fizibilitesinde geri ödeme süresi 7,07 yıl olarak bulunurken hammaddenin yanında olan bir tesis fizibilitesinde geri ödeme süresi 5,03 yıl olarak bulunmuştur; sıvı gübrenin bertarafı için ise 10 km uzaklıkta geri ödeme süresi 5,88 iken 50 km için 8,54 yıl bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Biyogaz, Lojistik, Maliyet, Maliyete Olan Etkiler, Yenilenebilir Enerji.

**THE EFFECT OF LOGISTIC COST OF ANIMAL WASTE SOURCED BIOGAS PLANT ON FEASIBILITY ON TURKEY PROJECTION**


## ABSTRACT

Today, the need for energy increases exponentially and leads us to alternative energy sources. Biogas energy, which is one of these alternative energy sources, is also sustainable and environmentally friendly. In addition to the investment costs, the cost of logistics is also an important operating expense during the installation of a biogas plant. The distance of the plant and liquid fertilizer distribution to be established with a capacity of 1 MW of electricity generation to the raw material affects the feasibility of the facility. In this study, the logistic costs of a biogas plant with an electricity production capacity of 1 MW were investigated. As a result, in facility with a distance of 20 km to the raw material, the payback period was foud to be 7.07 years, while the payback period was found to be 5.03 years for a facility adjacent to the raw material; for the disposalof liquid fertilizer, the repayment period at a distance of 10 km was 5.88 years, while it was 8.54 years for 50 km.



**Keywords:** Biogas, Cost, Cost Effects, Logistic, Renewable Energy.

## GİRİŞ

Dünya üzerinde canlı sayısı her geçen gün artmaktadır. Buna bağlı olarak enerji tüketim oranı da canlı sayısıyla paralel olarak artış gösterir. Canlı sayısında yaşanan bu artış beraberinde enerji tüketimini getirmektedir.

Enerji üretimi ise daha çok yenilemeyen enerji kaynaklarından üretildiğinden bir soraki nesiller için enerji üretim miktarı kullanılan kaynakların varlığına bağlı olarak risk unsuru oluşturmaktadır. Enerji üretiminde petrol, kömür, doğalgaz gibi kaynağının tükenebileceği hammaddeleri tercih etmek yerine hem çevre dostu hem de kaynağı tükenmeyecek kendini yenileyebilcek enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır .Bu bağlamda çevre dostu ve kendini yenileyebilen enerji kaynaklarına yönelim Türkiye için büyük önem taşır. Aynı zamanda son yıllarda fosil kaynaklı ithalatlarda yaşanan aşırı fiyat artışı ve çevre kirliliği de yenilebilir enerjiye yönelmenin sebeplerinden biridir.

Bu çalışmada alternatif enerji kaynaklarından biri olan biyogaz enerjisinin lojistik maliyeti ve fizibilite üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ülkemizde bulunana enerji tüketim yüzdeliklerinin hangi kaynaklardan sağlandığı, Türkiye ve dünyadaki biyogaz potansiyeli ve biyogazın üretim yöntemlerine değinilmiştir.Daha önce biyogaz enerjisi hakkında benzer makele ve tez çalışmalarına yer verilmiş olup kullanılan yöntemlere de değinilmiştir.

## 1. GENEL BİLGİLER

Ülkemizde sınırlı miktarda fosil kaynaklı rezervler bulunmaktadır, bu da enerjide dışa bağımlı olmamıza neden olmaktadır. Mevcut enerji ihtiyacının neredeyse %50-60'ı ithalatla sağlanmaktadır. Fakat ülkemiz fosil kaynaklı yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir enerji (biyokütle, güneş, rüzgar, jeotermal vb.) kaynaklarına sahiptir, doğru strateji ve planlama ile mevcut potansiyel yenilenebilir enerji kaynakları tespit edilip yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim daha da arttırılmalıdır. Son yıllarda ülkemizde sadece hidrolik, güneş, rüzgar enerjisi değil bunların yanında biyokütle kaynaklı yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan bitkisel ve hayvansal atıklardan oksijensiz ortamda fermantasyonu sonucu açığa çıkan biyogaz da bir enerji kaynağıdır. Biyogazın üretilmesi ile hem enerji elde edilmekte hem de kullanılmayan atık hale gelmiş çevreye zararlı etkileri olan ürünler azaltılmış olur. Kılıç 2007'de yazmış olduğu makalede 1990'larda biyogazdan elektrik enerjisi üretimi dünyada yaklaşık 5.000 GWh iken, 2000'li yıllarda 12.048 GWh seviyesine ulaştığı bilgisine değinmiştir.Yenilenebilir enerji kaynakları;

- ✓ Hidroelektrik Enerji
- ✓ Güneş Enerjisi
- ✓ Rüzgar Enerjisi
- ✓ Jeotermal Enerji
- ✓ Dalga Enerjisi
- ✓ Gel-Git Enerjisi
- ✓ Okyanus Isısı Enerjisi
- ✓ Hidrojen Enerjisi
- ✓ Biyokütle ve Biyogaz Enerjisi

Biyogazın yaygın olmasındaki temel etken biyogaz kaynaklı elektrik üretimi yapılan ülkelerde bu enerjinin en az uygulanan perakende tarifeye yakın bir satın alınması ve organik atıkların işlenmesinin yasal olarak bir zorunlu kılınmasıdır (Kılıç, 2007).

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından biyogaz konusu, kullanılan hammadde, içeriği ve lojistiği detaylı olarak araştırılmıştır.

Biyogaz üretimi yapılırken hammadde olarak hayvansal atıklar, bitkisel atıklar ve endüstriyel atıklar olmak üzere üç çeşit atık türü bulunmaktadır. Türkiye'de biyogaz tesislerinde hammadde seçiminde yaygın olarak hayvansal atıklar kullanılmaktadır. Enerji bitkilerinin ise yaygın olarak kullanılmama nedenleri arasında hayvan yemi olarak satıldığında ticari değerinin daha fazla olmasıdır.

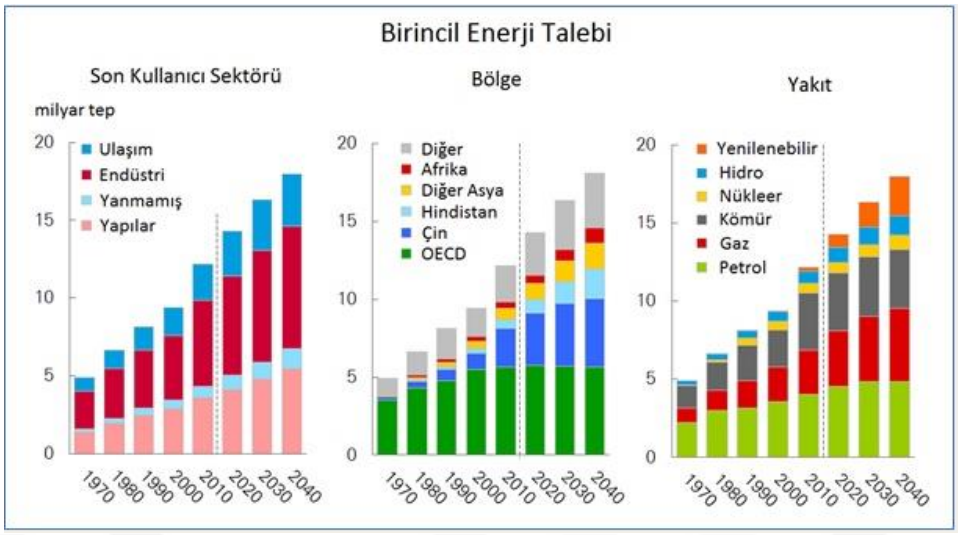
## 1.1. Enerji

Türkiye'nin her geçen gün enerji ve elektrik ihtiyacı hızlı bir oranda artmaktadır. Türkiye, ekonomiye fazla miktarda yük olan pahalı ithal enerji kaynaklarına yüksek oranda bağımlıdır ve bu durum dezavantajı olarak hava kirliliği ülkede bir sorun haline gelmektedir. Türkiye'nin enerji üretimi toplamı birincil enerji tüketimi toplamının yaklaşık % 28'ini karşılamaktadır. Tahmin edildiği üzere, enerji üretimi ve tüketiminin hızlı bir şekilde ilerlemesi, yerel, bölgesel ve küresel düzeyde birbirinden farklı çevresel sorunları beraberinde getirmiştir. Küresel çevre sorunları ile ilgili olarak, Türkiye'nin karbondioksit emisyonları enerji tüketimi ile orantılı olarak yükselmiştir (Yüksel, 2010).

Gelişmiş ülkeler sera gazı emisyonlarının azaltılmasını sağlayarak çevre üzerinde önemli bir rol oynamışlardır. Bu açıdan bakıldığından yenilenebilir enerji kaynakları Türkiye'nin gelişimi için önemli ve etkilidir. Aynı zaman da ilerde dünya geleceğinin şekillenmesinde enerjinin rolü büyük olacaktır.

### 1.1.1. Dünyada mevcut enerji kaynaklarına bakış

Yeryüzünde hala büyük oranda kullanılan ve birincil enerji kaynağı olarak adlandırılan petrol, kömür ve doğalgaz dünya enerji ihtiyacının yaklaşık %75 'ini karşılamaktadır. Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi günümüzde dünya enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğu fosil kaynaklı yakıtlardan sağlanmaktadır



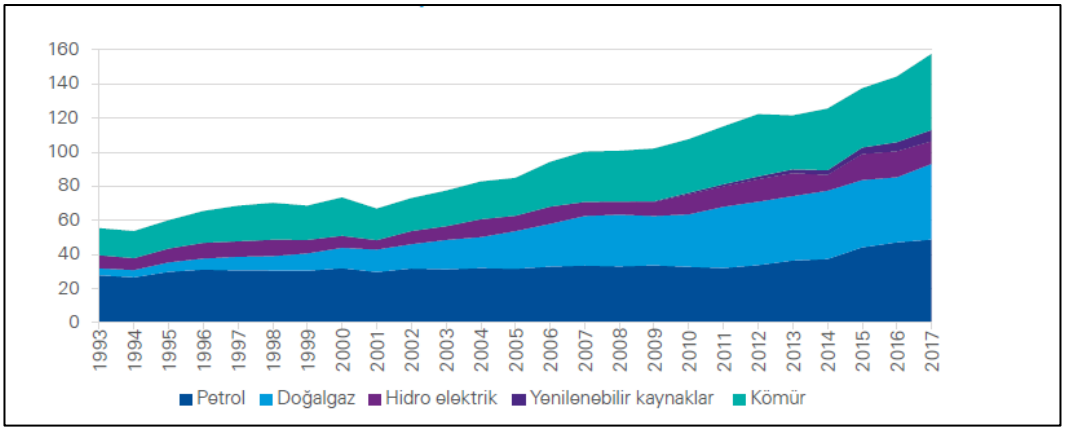

Şekil 1.1. Dünya enerji tüketimi

Fosil yakıt kullanma oranı dünyada belirli alanlarda elektrik kullanımının yaygınlaşması ile zayıflasa dahi kara hava ve deniz taşımacılığında günümüz teknolojileri ile maalesef elektriğe hazır olmadığı görülüyor (Konseyi & Enerji, 2018).

Fakat günümüzde üretimi yeni gerçekleştirilecek olan yatırımların birçoğunda, fosil yakıtlara olan talebin her an düşebileceği öngörülmektedir. Fosil yakıt arzında azalma yaşanması ve fiyatların hızlı bir şekilde yükselme riski ise hala ciddiyetini korumaktadır. Bu nedenle IEA , sunmuş olduğu son raporunda düşük maliyetli ve hızlı enerji dönüşümleri sağlayan daha akıllı, temiz ve verimli enerji teknolojilerine yatırımın hızlandırılması gerektiğinin öngörülerini yaparken, aynı zamanda enerjinin uzun soluklu geleceğini devlet politikalarının belirleyeceği üzerinde durmuştur (Bakış, 2019).

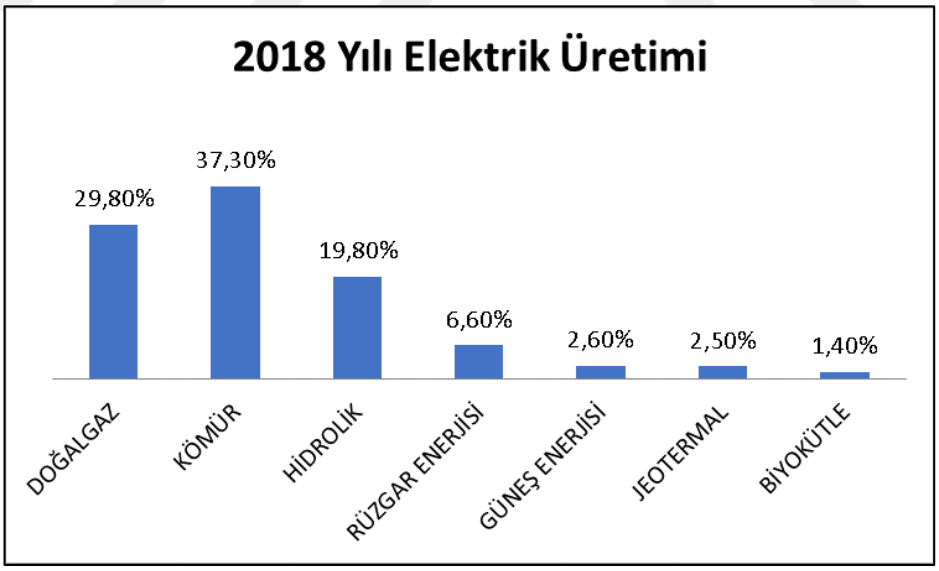
### 1.1.2. Türkiye'de mevcut enerji kaynaklarına bakış

Türkiye hızlı büyüyen bir ekonomiye sahip olduğundan buna paralel olarak enerji tüketimi de her geçen yıl artmaktadır. Yıllara göre enerji tüketim oranın farklı hammaddeler üzerindeki tüketim değerleri de artmıştır. Şekil 1.2. de yıllar içerinde yaşanan artış ve kullanılan yakıt türü gösterilmiştir. Fosil kaynaklı yakıt tüketimi büyük yüzdeliği oluştursa da yenilenebilir enerji kaynakları da her geçen yıl enerji ihtiyacını karşılama oranı olarak artmıştır.




Şekil 1.2. Türkiye enerji tüketimi petrol karşılığı milyon ton

‘’Türkiye’nin elektrik enerjisi tüketimi 2018 yılında bir önceki yıla göre %2,2 artarak 303,3 milyar kWh, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %22 oranında artarak 303,9 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik tüketiminin 2023 yılında baz senaryoya göre yıllık ortalama %4,8 artışla 375,8 TWh’e ulaşması beklenmektedir.’’ (T.C. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2019). Şekil 1.3.’te 2018 yılında Türkiye’de üretilen elektriğin kaynaklarına göre dağılımı incelenmiştir.




Şekil 1.3. 2018 Yılı elektrik üretimi

En fazla yüzdeliği kömür alırken ardından doğalgaz ve hidrolik enerji takip etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise fosil yakıtlara oranla daha küçük bir yüzdeliğe sahiptir.

### 1.1.3. Fosil yakıt kullanımının etkileri

İnsanların ve diğer canlıların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdükleri ve karşılıklı etkileşim içinde oldukları biyolojik, fiziki, sosyo –ekonomik ve kültürel ortam çevre olarak adlandırılır. Yaşadığımız dönemde çevresel sorunları en temel etkisi enerji kullanımı, kullanılan enerjinin türüdür. Öte yandan sanayinin giderek gelişmesiyle kullanılan hammaddelerden kaynaklı, aşırı artan nüfus artışı ve buna bağlı tüketimin artması, meydana gelen atıkların bertarafı, yaşanılan doğal afetlerden kaynaklı (kuraklık, sel, volkan,hastalık vb.) çevresel faktörler meydana gelmektedir.

Hava kirliliğinin neden olduğu en önemli küresel sorunlardan bazıları; Asit yağmurları, Ozon delinmesi, Sera gazı etkisidir (Utlu, 2011). Fosil yakıt kaynaklı yan ürünler, insan-çocuk sağlığı ve geleceği için dünyanın en önemli tehdididir aynı zamanda küresel eşitsizlik ve çevresel adaletsizliğinin de başında yer alır.(Perera, 2018) Karbon içeren yakıtların yanarken, yakıtların içerisinde farklı yüzdeliklerde olan azot miktarı havanın içerisindeki oksijen ile bir araya gelerek $NO_X$ gazlarını meydana getirir. Bu birleşme sonucu açığa çıkan $NO_X$ gazları atmosferde bulunan azot oksit oranının artmasına neden olur. Bu durum hem insan sağlığı hem de bitkiler için ciddi oranlarda zararlıdır. $NO_X$ solunduğunda oksijen ile tepkimelere girmesi sonucu aside dönüşerek akciğerlerde tahribata yol açar, ayrıca bronşların tıkanmasına neden olur. Akciğerin işlevini yerine getirememesine ve dolayısıyla vücudumuza daha az miktarda oksijen almamıza sebebiyet verir

Sera gazları olarak adlandırılan gazlar; metan nitroz oksit, su buharı, karbon dioksit, klora-floro karbondur.

Güneşin etkisi ile Dünya yüzeyine yetişen ışınlar, yeryüzüyle temas ettikten sonra belirli bir miktarda ısı enerji alarak tekrar geriye ulaşırlar. Bu olay gerçekleşirken meydana gelen ısı enerjisi, $CO_2$ kızılötesi ışınlar olarak soğurulmakta ve tekrardan dünyanın yüzeyine yansıtılmaktadır. Kızılötesi ışınlarının soğurması ve tekrardan aynı enerji yeryüzüne iletmesi sebebiyle dünya sıcaklığında artış meydana getirmektedir (Demiral, 2004).

### 1.1.4. Yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları

Sera etkisi yaratan gazların emisyonlarını azaltabilmek amacıyla uluslararası bir anlaşma olan Kyto protokolü ile ülkelerin enerji tüketimlerine bağlı olarak oluşan karbondioksit salınımını azaltan önlemler alınmıştır. Hem enerji elde edilirken kullanılan fosil kökenli yakıtların yenilenemez oluşu, zaman içerinde tükenecek olması hem de enerjinin daha farklı alternatif bir enerji kaynağıyla da üretiminin yapılması kaçınılmaz bir son olmuştur. Enerjinin üretimi için alternatif olarak düşünülen yakıt türleri çevre dostu olmalı, küresel ısınmaya mahal vermemeli, fosil yakıtlara oranla daha temiz olmalıdır. Aynı zamanda her ülkenin kendi enerji ihtiyacını karşılayabilmelidir. Bu sayede enerjide dışarıya olan bağımlılık azalmış olur. Bu özelliklerin yanı sıra yenilenebilir enerji kaynakları zaman içerisinde sürekli olarak kullanılabilme özelliğini içermesine dikkat edilmelidir (Temaner, 2019).

Yenilenebilir enerji Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) çalışmaları neticesinde sürekli olarak kendini yenileyebilen ve oluşumu doğal kaynaklara dayanan bir enerji şekli olarak tanımlamaktadır. Bu enerjinin tek bir şekilde değil birçok şekilde bulunabilir. Örneğin güneşten veya rüzgardan enerji şekilleri örnek verilebilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrojen elde edebildiklerimizi sıralayacak olursak: Rüzgar, güneş, biyokütle, biyoyakıtlar örnek verilebilir.

Tarihin bilinen çağlarından bu yana yenilenebilir enerji fakında olunmadan günlük yaşamsal faaliyetleri sürdürebilmek için (su pompalamak, tahıl öğütmek vb.) kullanılmıştır. İlerleyen çağlarda insanlığın buharlı makinayı icat etmesi yenilenebilir enerji kaynaklarının giderek daha az kullanılmasına sebebiyet vermiştir.

Buharlı makinaların yaygın olarak kullanılması ve yakıt olarak da petrol, kömür gibi fosillerin kullanılmıştır. Yaklaşık 200 yıl kadar bir süre bu kaynakların tükenilmeyeceği düşünülmüş fakat miktarının azlamasıyla 1973 yılında bir petrol krizi meydana gelmiştir. Yaşanılan bu kriz insanları yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Bu konuda araştırma ve inceleme adı altında birçok çalışma yapılmıştır. Daha sonra petrol kaynağına sahip ülkelerin petrol fiyatlarını 1980'li yıllarda düşürmesiyle petrole olan ilgiyi tekrardan arttırmıştır. Kısa süreli olarak

yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi bu petrol fiyatında yaşanan düşüş sebebiyle azalmıştır. Yapılan incelemeler sonucu, enerji politikasını meydana getiren iki ana etmen bulunmuştur: ‘’enerji güvenliği’’ ve ‘’enerji çeşitlendirilmesi’’. 1990 yılının başlarında fosil kaynaklı yakıtlarının yoğun kullanımı nedeniyle çevre ve insan sağlığı üzerinde birçok olumsuz etki yarattığı saptanmıştır. Bu durum çevre bilincinin oluşmasını sağlamıştır. Çevre bilincinin oluşması ile birlikte doğaya ve insan sağlına zarar vermeyen, evre dostu enerji kaynaklarını destekleme politikaları oluşturulmuştur (Uğur, 2005).

## 1.2. Biyogaz

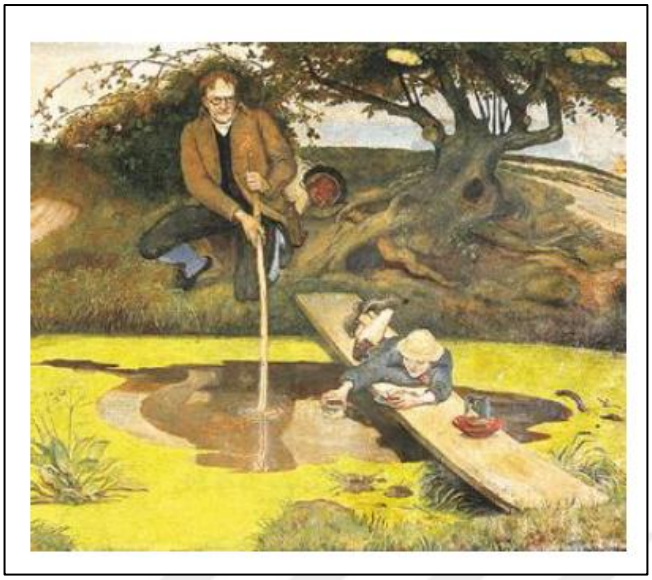
### 1.2.1. Tarihte biyogaz

Flamen asıllı olan kimya bilimcisi Jan Baptista Van Helmant organik maddelerin oksijensiz ortamda fermantasyonu sonucu meydana gelen gazın yanabilme özelliğine sahip sahip olduğunu keşfetmiştir.

Yapılan farklı çalışmalarda ise İtalyan asıllı fizik bilim adamı Allessandra Volta 1776 yılında organik maddelerin fermantasyonu sonucu açığa çıkan gaz miktarı ile organik madde miktarı arasında paralel bir artış olduğunu göstermiştir (Çallı, 2012). Şekil 1.4.’te John Dalton ve öğrencisinin bataklık gazı toplarken tasvir edilen resim gösterilmiştir.

Gelişen teknolojilerle beraber 1930 yıllarının sonlarına doğru artık biyogaz üretimi yapılırken çevresel faktörlerin etkileri incelenmeye başlanmıştır. Sıcaklık, ph, kullanılan hammaddenin cinsi gibi.

1970 yıllarında ise dünyada yaşanan petrol krizi nedeniyle yenilenebilir enerji teknolojilerinden biri olan biyogaza yönelim artmıştır, fakat daha sonra petrol fiyatlarının düşürülmesi sebebiyle bu ilgi kısa süreli olmuştur (Çallı, 2012).



Şekil 1.4. John Dalton (1766-1844) ve öğrencisini bataklık gazı toplarken tasvir eden resim (Manchester City Art Galleries)

Anaerobik çürütme tesisi ilk olarak Hindistan'nın Bombay şehrinde kurulmuştur. Ardından 1895 yılında Donald Cameron, günlük 60.000 galon suyu arıtarak ilk defa İngiltere'nin Exeter şehrinde atık sudan açığa çıkan enerji ile sokak lambasını yakmak için kullanılmıştır. Şekil 1.5'te gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Biyogaz tipi sokak lambası

### 1.2.2. Biyogaz içeriği ve özellikleri

Biyogaz oksijensiz ortamda bitkisel ve hayvansal atıkların fermantasyonu sonucu meydana gelen, içeriğinde %60 – 70 metan , %30 – 40 karbondioksit ve az miktarda hidrojen sülfür, hidrojen, karbon monoksit, azot içeren yanıcı bir gaz karışımı olan biyogaz içeriği Tablo 1.1'de verilmiştir. Yoğunluğu havayla kıyaslandığında 0,83 ve oktan sayısı 110'dur, yandığında parlak mavi rengini aldığını şekil 1.6.'da gösterilmiştir ( Buğutekin, 2007).

Tablo 1.1. Biyogaz bileşimi

| Madde | Yüzde |
|---|---|
| Metan | 50 -70 |
| Karbondioksit | 30 - 40 |
| Hidrojen | 5 -10 |
| Azot | 1-2 |
| Su buharı | 0,3 |
| Hidrojensülfür | Eser miktarda |



Şekil 1.6. Biyogazın LPG ocaklarında yakılması

### 1.2.3. Biyogazın ısıl değeri

Biyogazın ısıl değere sahip olmasının nedeni kendisini meydana getiren ve yanma özelliği taşıyan metan gazından kaynaklamaktadır. İçeriğinde bulunan metan yüzdesine göre ısıl değeri 17-25 MJ/$m^3$ arasında bir değerdir. 1 $m^3$ biyogazın denk geldiği ısı değerleri aşağıda sıralanmıştır.

- ✓ 0,62 litre gaz yağı
- ✓ 1.46 kg kömür

- ✓ 3.47 kg odun
- ✓ 0.43 kg bütan gazı
- ✓ 12.30 kg tezek
- ✓ 5.70 kWh elektrik
- ✓ 1.18 m3 havagazının sağladığı ısıya denk gelmektedir (Arslan, 2005).

### 1.2.4. Biyogaz üretilirken kullanılan atık türleri

Biyogaz üretimi yapılırken tercih edilen katı organik atıkların nem değeri yüksektir. Bunun yanı sıra organik madde miktarı yüksek olan atık sularda da biyogaz üretimi hedeflenmektedir. Biyogaz atık türlerini 3 başlık altında inceleyecek olursak; hayvansal kaynaklı atıklar, bitkisel kaynaklı atıklar ve endüstriyel atıklar diyebiliriz.

Tablo 1.2.'de çeşitli atık türlerinin içerisindeki metan oranları ve biyogaz verimleri gösterilmiştir (YEGM, 2019).

Tablo 1.2. Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları

| Kaynak | Biyogaz verimi (litre / kg) | Metan oranı (hacimce %'si) |
|---|---|---|
| Sığır gübresi | 90-310 | 65 |
| Kanatlı gübresi | 310-620 | 60 |
| Domuz gübresi | 340-550 | 65-70 |
| Buğday samanı | 200-300 | 50-60 |
| Çavdar samanı | 200-300 | 59 |
| Arpa samanı | 290-310 | 59 |
| Mısır sapları ve atıkları | 380-460 | 59 |
| Keten, kenevir | 360 | 59 |
| Çimen | 280-550 | 70 |
| Sebze artıkları | 330-360 | Değişken |
| Ziraat atıkları | 310-430 | 60-70 |
| Yerfıstığı kabuğu | 365 | - |
| Dökülmüş ağaç yaprakları | 210-290 | 58 |
| Algler | 420-500 | 63 |
| Atık su çamuru | 310-800 | 65-80 |

### 1.2.4.1.Bitkisel kaynaklı atıklar

Buğday, arpa, çavdar, yulafın sap ve samanı, mısır silaj, şeker pancarı atıkları, küspe atıkları, çotanak, çimen vs. gibi bitkisel kaynaklı atıklardan uygun işletme koşullarında biyogaz elde edilir. Şekil 1.7.'de bitkisel kaynaklı atıklar gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Bitkisel kaynaklı atıklar

### 1.2.4.2.Hayvansal kaynaklı atıklar

Hayvansal kaynaklı atıklar 3 kısımda incelenebilir; büyükbaş, küçükbaş, kümes hayvan gübresi olarak sınıflandırılabilir. Şekil 1.8.'de hayvansal kaynaklı atıklara yer verilmiştir.



Şekil 1.8. Hayvansal kaynaklı atıklar

### 1.2.4.3.Kentsel ve endüstriyel kaynaklı atıklar

Yulaf posası, nişasta atıkları, peynir altı suyu, zeytinyağı işleme artıkları, zeytin küspesi, meyve posası (meşrubat sektörü), meyve ve sebze artıkları, mutfak atıkları, mezbaha atıkları, arıtma çamurları, hayvansal yan ürünler vs biyogaz üretim tesislerinde kullanılmaktadır. Şekil 1.9.'da bu atıkların görsellerine yer verilmiştir.



Şekil 1.9. Kentsel ve endüstriyel kaynaklı atıklar

Artan nüfus ile birlikte doğru orantılı olarak oluşan atıkların miktarı ve enerji ihtiyacı da sürekli olarak artmaktadır. Oluşan atıkların çevresel açıdan oluşturduğu olumsuz etki sebebiyle bertaraf edilme zorunluluğu ve artan enerji talebi ile ortaya çıkan enerji darboğazı, her iki duruma çözüm teşkil edebilecek biyogaz üretim proseslerine olan ilgiyi git gide artmıştır.

### 1.2.5. Biyogaz üretimini aşamaları ve mikrobiyolojisi

Biyokütlenin oksijenin bulunmadığı bir alanda, mikroorganizmalar tarafından parçalanarak yeni bir ürün ya da yan ürün oluşturması olayına anaerobik parçalanma denir. Biyokütleden enerji elde etmek isteyen tüm ülkelerde kullanılır. Fakat ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre birbirinden farklı iki yöntemle enerji elde edilir. Gelişmiş ülkeler kaynağı farklı olan atıklardan biyogaz üretimi yaparak kalorifik değeri yüksek olan metan gazını elde etmiş olurlar; bu gazı elektrik üretimi, ısınma, araçlarda yakıt olarak farklı yerlerde kullanırlar. Gelişmekte olan ülkelerde ise atıkları direkt yakarak açığa çıkan ısı enerjisini kullanırlar. Anaerobik işlem üç aşamada meydana gelir. Bunlar;

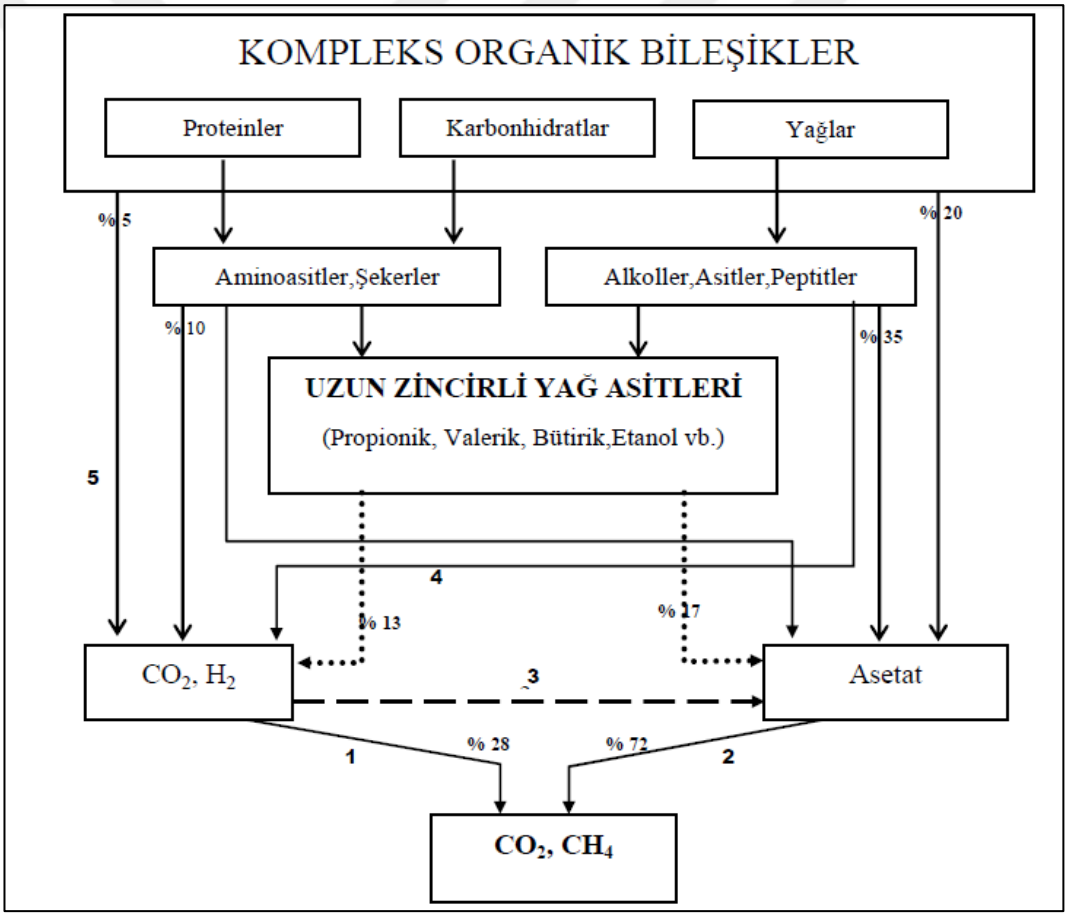
- ✓ Fermantasyon ve hidroliz
- ✓ Asetik asit oluşumu
- ✓ Metanın oluşumu

Hidroliz safhasında kompleks yapıda olan organikler, mikroorganizmalarda bulunan hücre dışında çalışan enzimler sayesinde büyük molekülleri parçalayarak daha küçük ve basit hale getirirler

Örnek verecek olursak biyogaz üretimi için kompleks yapışa olan selüloz, lignin ve karbonhidratlar glikoz, pentoz ve heksoza; proteinler ise polipeptid ve aminoasitlere dönüşürler.

Asit oluşum safhasında ise hidroliz sonucu asit oluşumu için mikroorganizmalar aracılığıyla çeşitli asitleri oluştururlar. Bu asitler valerik asit, bütirik asit, asetik asit gibi organik asitlere ve metanole dönüşürler. Burada asitlerin oluşum aşamaları ve hidroliz reaksiyonları Şekil 1.10'da gösterilmiştir.

Son aşama olan metan oluşum safhasında asit oluşum safhasında meydana gelen organik asitler metanogenez bakterileri ile biyogaz, $H_2$ ve asetat meydana getirirler. Bu reaksiyonda oluşan metanın %70'lik kısmı biyogaza dönüşürken geriye kalan %30'u ise bakterilerin H kullanarak karbondioksiti indirgeme reaksiyonlarında kullanılır (Ard & Taner, 2005).




Şekil 1.10. Biyogaz oluşum safhalar

### 1.2.6. Biyogaz tesis bileşenleri

Bir biyogaz tesisi Şekil 1.11.'de gösterilen bileşenlerden meydana gelmektedir. Bu bileşenleri sıralayacak olursak;

- Atık hazırlama veya kabul ünitesi: Hammaddenin fermantöre yüklenmeden önce tesiste depolandığı ve farklı materyallerin kuru madde oranına göre karışımının yapıldığı ön kabul deposudur.

- Fermantör: İstenen kuru madde oranında hazırlandıktan sonra biyogaz üretimi için yollanan hammadde burada bakteriler tarafından çürütülerek biyogaz üretimi yapılan depodur.

- Nihai Depo: Biyogaz üretimi sonrasında arta kalan hammaddenin katı ve/veya sıvı olarak depolandığı depodur.

- Kojenerasyon Ünitesi: Biyogazın saflaştırıldıktan sonra elektrik ve ısıya dönüşümünü sağlayan ünitedir.

- Separatör: Fermantör sonrasında hammadde seperatör yardımıyla katı ve sıvı olmak üzere iki forma ayrıştırılır.

- Gaz boruları/valfleri ve bağlantı ekipmanları:Biyogazın taşınması için gerekli genellikle paslanmaz malzemeden yapılan borulama ve bunların ekipmanlarıdır.

- Isıtma sistemleri: Fermantörü optimum biyogaz üretimi için belli bir sıcaklıkta tutmak ısıtma sistemiyle mümkün olmaktadır.

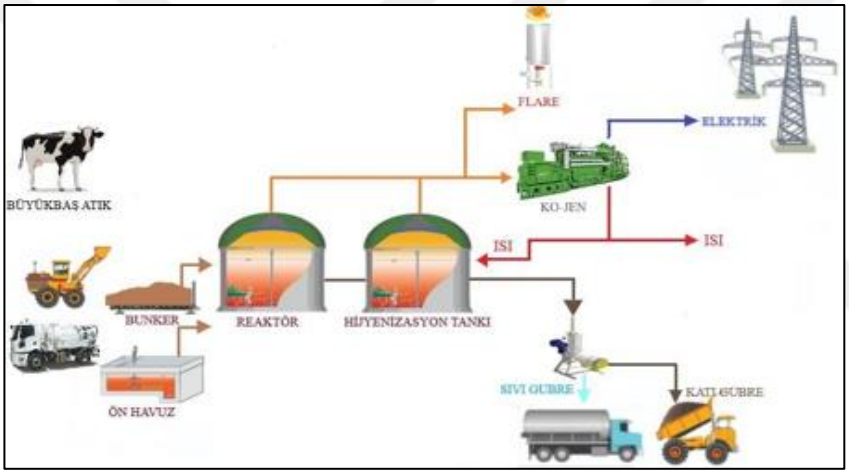
- Pompalar: Hammaddenin üniteler arasında transferini sağlayan ekipmanlardır.

- Karıştırıcılar: Fermantörde ve ön depoda hammaddenin çökelmemesi için kullanılan ekipmanlardır.

Tesis bileşenlerinin yanı sıra bir tesis tasarımı yapılırken öncelikle kullanılacak olan atıkların potansiyeli, üretildikleri ortamdaki özellikleri, nasıl depolandıkları gibi faktörler daha önceden araştırılmalıdır. Araştırma ve incelemeler yapıldıktan

sonra biyogaz tesisinin taslağı ortaya çıkarılıp sırasıyla proje çalışmaları, tesis yapımı ve devreye alma işlemleri hayata geçirilebilir.

Bir biyogaz tesisinin tasarımı, yapılması ve devreye alınması ne kadar kritik ise tesisin sürekli olarak çalıştırılması ve istenen biyogaz veriminin sağlanması da o denli zor ve hayati bir süreçtir. Bunu temel sebeplerinden biri fermantörde biyogaz üretimini sağlayan bakterilerin canlı organizmalar olması ve çevre şartlarından etkilenmeleridir. Bu nedenle öngörülen biyogaz miktarını ve içeriğini sağlayabilmek için üretim prosesine etkisi olan bazı parametrelere dikkat etmek gerekmektedir.




Şekil 1.11. Biyogaz tesis akış şeması

Biyogaz tesislerinde biyogaz üretiminde aşağıdaki veriler etkilidir:

- Hammadde miktarı
- Hammadde cinsi
- Kuru madde miktarı
- Karbon/azot (C/N) oranı
- Partikül büyüklüğü
- Ortam sıcaklığı

- Ortam asitliği (pH)
- Fermantasyon süresi
- Tesis tipi

### 1.2.7. Dünyada ve Türkiye'de biyogaz üretim potansiyeli

Artan nüfus ile birlikte doğru orantılı olarak oluşan atıkların miktarı ve enerji ihtiyacı da sürekli olarak artmaktadır. Oluşan atıkların çevresel açıdan oluşturduğu olumsuz etki sebebiyle bertaraf edilme zorunluluğu ve artan enerji talebi ile ortaya çıkan enerji ihtiyacı artışı, her iki duruma çözüm teşkil edebilecek biyogaz üretim proseslerine olan ilgiyi git gide artmıştır.

1900'lü yılların ilk yarısında biyogaz dünyada yaygınlaşmaya başlamıştır. Almanya, Çin, Hindistan, İngiltere, A.B.D, Fransa, Danimarka, Hollanda, İngiltere, İtalya, İsviçre, Filipinler, Nepal, Peru, Tanzanya, Kore, Zaire, Güney Afrika, Kolombiya gibi ülkeler de biyogaz tesisleri yoğun olarak kullanımda olup bunlardan Almanya endüstriyel tesisler açısından başı çeken ülke konumundadır.Dünya'da mevcut olan hayvansal atık kaynaklı biyogaz tesislerinin yaklaşık %80'i Çin'de , %10 'u Hindistan, Nepal ve Tayvan'da ve geri kalanı farklı ülkelerde mevcuttur. Farklı ülkelerde kurulu olan biyogaz tesislerinin dağılımı Tablo 1.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 1.3. Dünyada bulunan biyogaz tesisleri

| Ülkeler | Tesis sayısı |
|---|---|
| Çin | 7.000.000 |
| Hindistan | 2.900.000 |
| Kore | 29.000 |
| Brezilya | 2.300 |
| Bangladeş | 566* |
| Nepal | 49.500 |
| *: Yarısı faaliyette değil. | |

Bangladeş'te daha önce kurulmuş olan birçok tesisin çalışmama nedeni olarak, projelerinde çizimlerinde bulunan sıkıntılar, inşaat anlamında bulunan eksikler ve

tesisisin bakım işleminin yapılmamasıdır. Bölgede yer alan siyasi ve çeşitli yönetim sebepleri nedeniyle bir ilerleme olmamış, mevcut durum daha kötü bir hal almıştır. Şu an bulunan durumda idari ve teknik açıdan biyogaz sisteminin önünde bir engel oluşturmaktadır.

Türkiye ekonomisinin büyük çoğunluğu tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır. Ülkemizde biyogaz çalışmaları ilk olarak 1957 Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü'nde başlamıştır. 1982 yılında ise biyogaz çalışmaları ciddi önem kazanmış, projeler ve ilk pilot uygulamalar oluşturulmuştur. Bu çalışmalar meydana gelirken Türkiye'nin biyogaz potansiyeli 2,8-3,9 milyar $m^3$ olarak belirlenmiştir. İlerleyen zamanlarda biyogaz, Merkez Toprak su Araştırma Merkezi adı altında Ankara'da şuan kullanılan ismiyle Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü'nde faaliyet alanları meydana getirmiştir. Belirtilen tarihte, her il için 3 adet, bölge merkezlerine ise 5 tane biyogaz tesisi kurulumu planlanmıştır ve işletilmesi için gerekli hazırlıklar tamamlanmıştır.

Eş zamanlı olarak var olan özel girişimli biyogaz projeleri için kredi ve teknik destek verilmiştir. Ne yazık ki tesisler yetersiz eğitim ve danışılacak kişi-kurum yetersizliğinden kaynaklı olarak işletilememiştir.

Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü konu ile ilgili hala çalışmalarını sürdürmektedir. Biyogaz ile ilgili eğitim ve çalışmalar günümüzde Üniversitelerde ve Fen Enstitülerinde devam etmekte ve geliştirmek için birden fazla proje ve çalışmalar üzreinde incelemeler devam etmektedir (Buğutekin, 2007).

### 1.3. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Daniel ve çalışma arkadaşları sürdürülebilir enerji üretim yöntemleri arasında biyogaz enerjisinin yüksek bir potansiyele sahip olduğu kanısındadırlar. Son zamanlarda Nancy bölgesinde tüketimin artması ve oluşan atıkların paralellik göstererek çoğalmasıyla bu duruma bir çözüm bulmaya itmiştir onları. Bölgede oluşan tarımsal kökenli, hayvansal kaynaklı ve evsel atıklardan enerji üretimini hedeflemişlerdir. Bu nedenle projenin uygulanabilmesi için erken aşamada lojistik ve ağı ile ilgili kararların öngörülmesi bilincindedirler. Yazmış oldukları makalede

karmaşık tam sayılı doğrusal programlama ile (MILP) ve analitik hiyerarşik süreç (AHP) metodları önerilmektedir. Bölgenin farklı yerlerinden toplanacak atıkları için öncelikle matematiksel verileri kullanabilmek adına MILP modeli tasarlanmıştır. Daha sonra oluşturulan her senaryo için lojistik ağının belirlenmesi ve maliyetin mesafelere bağlı değişimleri incelenmiştir.

Ortaya çıkan farklı senaryolar değerlendirilmiş birbirinden farklı olan durumlar için bir anket entegrasyonu yapılıp projeye dahil edilmiştir. Bu aşamanın da gerçekleşmesi analitik hiyerarşi metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Galvez, Rakotondranaivo, Morel, Camargo, & Fick, 2015).

Carina ve arkadaşları biyogaz üzerinde yapmış olduğu çalışmasında tarımsal kökenli enerji bitkilerinden biyogaz üretimini inceleyerek yenilemeyen enerji kaynaklarına olan bağlılığı azaltmak istediğini belirtmiştir. Tarlalarda hasat zamanı oluşan atıkların toplanması, nakliye ve taşıma sitemlerini irdelemiştir. Araçlarda kullanılmak üzere $CH_4$ üretimi için tasarılar yapmıştır. Ve tasarlamış olduğu model organik evsel atıkları ve tarlalarda oluşan yemleri kullanarak İsveç'te uygulanmıştır. Hammaddenin taşınması için sistemler oluşturulmuş ve bu çalışmalar neticesinde lojistik için oluşan giderin en aza indirgenmesi adına ortalama mesafe 17 km'den 8,5 km'ye düşürüldüğünü göstermiştir (Gunnarsson, Vågström, & Hansson, 2008).

Bahman ve Sina mantar kompostlarını kullanarak küçük ölçekli bir biyogaz tesisi meydana getirmişlerdir. Bu tesis için karbon azot (C/N) oranını, reaktörün sıcaklığı gibi parametrelerin üzerinde durmuşlardır. Üretim sürecinin modellenmesinde lojiktik kısmında ANFIS (uyarlanabilir nöro bulanık çıkarım sistemi) ve AN (yapay sinir ağı) yöntemlerini kullanmışlardır. Tesisin farklı sıcaklık değerleriolan termofilik ve mezofilik çalışılma şartları değerlendirilirken lojistik modelleri önceden öngörülmüştür (Najafi & Faizollahzadeh Ardabili, 2018).

Basu ve arkadaşlarının incelemiş olduğu çalışmalarında biyogaz üretimi yapılırken kullanılan membran teknolojileri ele alınmıştır. İncelemeleri arasında ilk sırada biyogazın ayrılması ile ilgili membran işlemlerinin çeşitli yönlerine yoğunlamışlardır.Ticari membran ve labaratuvar yapımı membranların performansını etkileyen faktörlere değinilmiştir. Burada öncelikle uygulamaları yapılırken yaşanan

problemler kısmına dikkat çekilmiştir. Problemlerin iyileştirilmesi ve aynı zamanda gaz ayırma performansını arttırıcı çalışmalara yer vermişlerdir.

Ticari polimerik membran performansı, laboratuvar yapımı polimerik performansı, gaz ayırma işlemleri için karma matris membranları incelenmiştir (Basu, Khan, Cano-Odena, Liu, & Vankelecom, 2010).

Karim biyogaz dönüşüm oranlarının ve taslak tüp yüksekliğinin performansları üzerindeki etkisini incelemek için bu çalışmayı yapmıştır. Yapmış olduğu deney ve gözlemler sonucu sindiriciler, günlük litre başına 0,40–0,45 litrede metan ürettiğini gözlemlemiştir. Daha sonra karışım yapılmamış olan sindiricilerde metan üretim hızı artarken, biyogazın dolaşım hızı arttığında bu durumun tersine döndüğüne yani metan üretiminin azaldığı sonucuna varmıştır. Aynı zamanda, farklı taslak boru yüksekliklerinin metan üretim hızında bir değişiklik oluşturmadığına çalışmasında yer vermiştir (Karim vd., 2005).

Börjesson ve Mattiason organik kalıntıların ve enerji bitkilerinin sindiriminden oluşan etanol ve biyodizel üretiminin elde edilmesini incelemişlerdir. Üretilen yakıtın verimliliği arttırmak için biyoyakıt sistemleri, lignoselülozlara dayanan sistemler ve yeni dönüşüm teknolojilerine yer vermişlerdir (Mattiasson, 2007).

Zhang ve diğerleri FeC (demir klorünün) İnek gübresi ve Phragmites samanının anaerobik fermantasyonu sırasında ph değeri değişimlerini, organik madde bozulmalarını (COD) ve enzim akivitelerini mezofilik ortamda $Fe^{+2}$ ilavesinin, günlük biyogaz verimi yüksek olan pik periyodunu uzatarak biyogaz veriminin % 18,1 oranında arttırdığını ortaya koymuşlardır (Zhang, Tian, Wang, Mi, & Chai, 2016).

Jatinder ve sarbjit Hindistan'da biyogaz tesislerinin kapasitelerinin belirlenmesi ve büyüklüğünün seçilmesi konusunda eksikler olduğunu düşünmüşlerdir. Bu bölgede bir biyogaz tesisinin kapasitesinin belirlenmesi ve büyüklüğünün seçilmesi konusunu araştırmışlardır. Aile tipi 1-6 $m^3$ kapasiteli, bitkisel kaynaklı biyogaz tesisleri için üç yaygın model üzerinde karşılaştırmalar yapmışlardır.

Bu modeller: KVIC, Janta, Deenbandhu modelleridir. Modeller üzerinde tesisin maliyeti yıllık işletme giderleri gibi parametreler hesaplanmıştır ve bunun sonucunda en uygun ve ucuz tesis tipinin Deenbandhu olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra Janda , en pahalı olarak ise KVIC modelidir (Singh & Sooch, 2004).

Remigio ve arkadaşları biyogaz üretimi için hayvansal ve biyolojik kaynaklı atıkların lojistiği ve taşınması konusunu ele almışlardır. Lojistiğin biyogaz üretimi için ekonomik ve enerji verimliliği açısından önemli bir parçası olduğuna yer vermişlerdir. Bu gerekçeyle iki farklı lojistik modeli ve yine farklı nakli senaryolarıyla maliyetleri hesaplamışlardır.

Tank sistemi ve göbek sistemi iki ayrı şekilde çalışmalarında incelemiş ve deneysel parametrelerle bunu desteklemişlerdir. Göbek sisteminin tanker sistemine göre daha az zahmetli ve daha az maliyetli olması nedeniyle göbek sistemi uygulamaları uygun bulunmuştur (Berruto, Busato, Bochtis, & Sørensen, 2013).

### 1.4. Çalışmanın Amacı

Hammadde olarak seçilen atığın biyogaz tesisine olan uzaklığı ve aynı zamanda biyogaz üretimi sonucu açığa çıkan sıvı gübrenin bertaraf edilmesi için incelenen lojistik çalışmalarının fizibilite üzerinde ciddi etkileri vardır. Lojistik çalışmaları biyogaz tesisinin konumlandırılacağı yerin seçilmesi, atıkların paketleme ve depolanması işlevi, taleplerin belirlenmesi ve nakliye işleminin gerçekleştirilmesi olarak sınıflandırılabilir. Tüm bu faaliyetlerin yüzdelik olarak yarısını nakliye ve dağıtma sınıfı oluşturmaktadır. Öngörülen çalışmalar sonucunda belirlenen maliyeti aza indirgemek için filo büyüklüğünün tespit edilmesi ve filoda yer alan araçların yıllık olarak rotalarının hazırlanması çalışma kapsamında araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilen bu çalışmada, hayvansal atık kaynaklı 1 MW kapasiteli bir biyogaz tesisinin fizibilite ve lojistik çalışmaları incelenmiştir. Çalışma oluşturulurken biyogaz tesisinin kurulacağı ilde büyükbaş sayısı belirlenmiştir.

### 2.1.Baz Alınan Bölgedeki Biyogaz Potansiyeli

Tesisin kurulacağı ilçede , TÜİK 2017 verileri incelendiğinde toplam büyükbaş hayvan sayısı 16.959' dır. Tablo 2.1.'de hayvanların yetişkinlik düzeyine göre sayıları verilmiştir. (TÜİK, 2019)

Tablo 2.1. TÜİK büyükbaş hayvan sayısı

| Hayvan Türü | Yetişkin | Genç yavru | Toplam |
|---|---|---|---|
| **Sığır (kültür)** | 7.897 | 2.460 | 10.357 |
| **Sığır (melez)** | 5.985 | 590 | 6.575 |
| **Sığır (yerli)** | 6 | 21 | 27 |

#### 2.1.1. Baz alınan bölgedeki iklim koşulları

Aşağıda verilen sıcaklık koşulları baz alınarak biyogaz tesisinin çalışma sıcaklığı 38-40 $^{o}$C yani mezofilik olarak kabul edilmiştir.

- Yıllık ortalama sıcaklık : ~ 14,6 °C
- Yıllık en düşük sıcaklık : -17,5 °C
- Yıllık en yüksek sıcaklık : 44 °C

### 2.1.2. Baz alınan bölgedeki hayvancılık verileri

İl sınırları içerisinde hayvancılık faaliyetinde bulunan tüm işletmeler incelenmiştir. TÜİK'ten alınmış olan değerlerle mevcut durum kıyaslanmıştır, işletmelerde bulunan hayvan adetleri kayıt altına alınmıştır.

Bu işletmeler incelenirken dikkat edilen noktalar;

✓ Hayvan kapasitesi

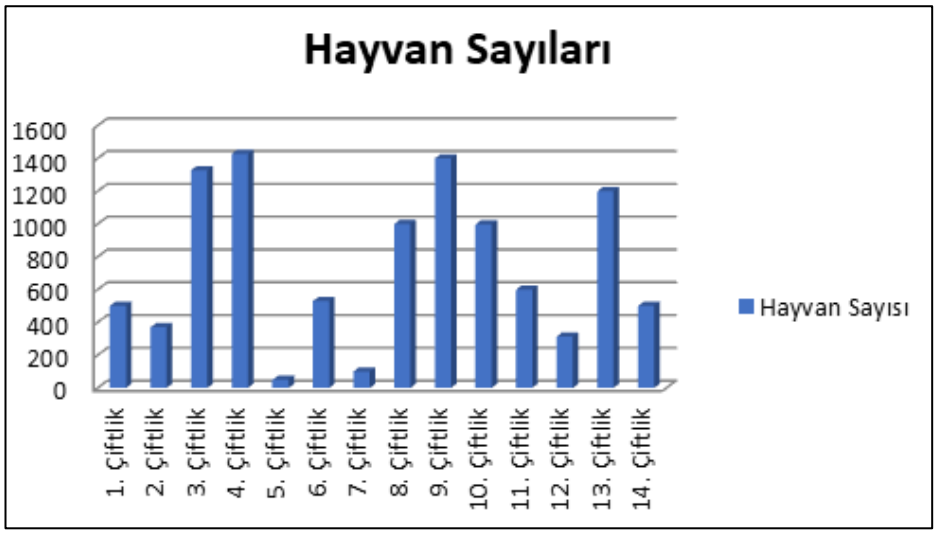
✓ Konumu

✓ Gübrenin işletme dışına çıkarılma şekli

✓ Gübrenin dış alanda nasıl ve nerede depolandığı

gibi hususlara dikkat edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda bölgede yaklaşık 20 adet çiftlik ziyaret edilmiştir. . Bunlardan uygun bulunan çiftlikler bu çalışmaya dahil edilmiştir.

Şekil 2.1.'de her çiftlikte bulunan hayvan sayısı gösterilmiştir. Çektirme sisteminin bulunduğu 14 adet çiftlikte büyükbaş hayvan sayıları Tablo 2.2.'de gösterilmiş olup günlük 352 ton hammadde kaynağı oluşturmaktadır.




Şekil 2.1. Çiftliklerde bulunan hayvan sayıları

Tablo 2.2. Büyükbaş çiftlikler için hayvan bilgileri ve çiftlik detayları

| Çiftlik ismi | Hayvan sayısı | Hammadde cinsi | Miktarı | Çektirme sitemi mevcut mu | Çiftlik türü | Yağmur suyu karışıyor mu |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Çiftlik | 500 | Sıvı atık | 17,7 | Evet | Yarı açık | Evet |
| 2. Çiftlik | 370 | Sıvı atık | 7,5 | Evet | Yarı açık | Evet |
| 3. Çiftlik | 1.328,00 | Sıvı atık | 37,93 | Evet | Yarı açık | Evet |
| 4. Çiftlik | 1.427,00 | Sıvı atık | 48,2 | Evet | Yarı açık | Evet |
| 5. Çiftlik | 50 | Sıvı atık | 1,25 | Evet | Yarı açık | Hayır |
| 6. Çiftlik | 530 | Sıvı atık | 19,98 | Evet | Yarı açık | Evet |
| 7. Çiftlik | 100 | Sıvı atık | 3,38 | Evet | Yarı açık | Evet |
| 8. Çiftlik | 1.000,00 | Sıvı atık | 35,25 | Evet | Yarı açık | Evet |
| 9. Çiftlik | 1.400,00 | Sıvı atık | 40 | Evet | Yarı açık | Evet |
| 10. Çiftlik | 997 | Sıvı atık | 33,39 | Evet | Yarı açık | Hayır |
| 11. Çiftlik | 600.000,00 | Katı atık | 50 | Hayır | Kapalı | Evet |
| 12. Çiftlik | 1.250,00 | Katı atık | 150 | Hayır | Kapalı | Evet |
| 13. Çiftlik | 1.200,00 | Sıvı atık | 50,5 | Evet | Yarı açık | Evet |
| 14. Çiftlik | 500 | Sıvı atık | 20 | Evet | Yarı açık | Hayır |
| **Toplam** | **610.652,00** | | **515,08** | | | |

## 2.2.Metod

İlk olarak bölgedeki çiftlikler ziyaret edilmiştir. Çiftlik işletmesinin yapıldığı ilgili kişilerce daha önceden hazırlanmış olan bilgi formları doldurulmuştur. Bu formda işletmenin koordinatları, hayvan sayısı, türü, atık miktarı (ton/gün), çektirme sistemi türü, havuz olup olmadığı, yağmur suyu karışma durumu gibi bilgiler yer almaktadır. Elde edilen veriler neticesinde biyogaz tesisinin toplam elektrik üretim kapasitesi Buswell Denklemi ve Literatür Hesaplaması olarak 2 çeşit metotla hesaplanmıştır. Buswell Denklemine göre 1.056 kW; Literatür Hesaplamasına göre yaklaşık 1.053 kW elektrik üretimi kapasiteli bir biyogaz tesisi kurulabilmektedir. Sürekli işletme koşulları düşünülerek 1.000 kW'lık biyogaz tesisin kurulması uygun olacaktır. Günlük 352 ton büyükbaş hayvansal atık beslemesiyle; 1.000 kW'lık bir biyogaz tesisinden günlük 13 ton gaz üretimi gerçekleşmektedir. Fermante olan atığın ise seperatör sonrasında 9,6 ton/gün katı ve 329 ton/gün sıvı olarak ayrıştığı Kütle Denkliği yöntemiyle bulunmuştur. 1 MW kapasiteli biyogaz tesisine ilişkin teknik

detaylar verilmiştir. Fizibilite çalışması yapılırken izlenen yol, biyogaz tesisisi kurulum maliyetinin çıkarılması biyogaz tesisi işletme gelir-giderlerinin çıkarılması aynı zaman da gider kalemleri arasında bulunan lojistik maliyeti irdelenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda basit geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

### 2.3.Kullanılan Atık Analizleri

Biyogaz tesis kapasitesi belirlenirken saha ziyaretlerinde farklı hayvan türleri için alınan numuneler bekletilmeden 1 gün içerisinde ilgili laboratuvara ulaştırılmıştır. Laboratuvarda öncelikle aynı grupta bulunan hayvan türleri için toplanmış olan numunemler birbiriyle homojen olarak karıştırılarak kompozit numune elde edilmiştir. Bu çalışmalar doğrultusunda büyükbaş numune örneği üzerinde çalışılmıştır. Bunun yanı sıra biyogaz tesis şartlarını gözlemleyebilmek amacıyla üçüncü bir karışım numunesi de incelenmiştir. Karışım oranı belirlenirken baz alınan bölgedeki büyükbaş hayvan potansiyeli göz önünde bulundurulmuştur.

Numuneler üzerinde çalışmalar yapılırken içeriğindeki kuru madde ve N,P,K analizleri yapılmıştır. Uçucu kuru madde analizi SM-2540 B, kuru madde analizi SM- 2540 D standardına göre oluşturulmuştur. (Kaplan, 2019) N, P, K analizleri yapılırken; içeriğinde bulunan toplam N mikro Kjeldhal'in metodu kullanılmış, Fosfor ve monyum incelenirken molibdat mavisi yöntemi kullanılmış, Potasyum EDTA titrasyonu alev fotometresinde Ca ve Mg oranları saptanmıştır (Ubi, Ubi, Akpan-Idiok, & Okweche, 2016).

#### 2.3.1. Atık analizi yapılırken uygulanan laboratuvar çalışmaları

Alınan numuneler laboratuvar çalışmalarında aşağıda belirtilen aşamaları takip etmektedir.

- ✓ Numune Hazırlama
- ✓ Katı madde (KM) ve Uçucu (Organik) katı madde (UKM) ölçümleri
- ✓ Homojen numune hazırlama ve karıştırma
- ✓ Biyogaz oluşumu
- ✓ Reaktörde metan ölçümü

## 2.4.Tesis Kapasite Hesabı

Kurulması planlanan biyogaz tesisinin yatırım toplam maliyetini ve karını belirleyen en önemli faktörlerden biri kurulacak santralin kapasitesidir. Genel olarak ihitiyaca göre kapasite tayini yapılır. Biyogaz tesisleri aile tipi, çiftlik tipi, köy tipi ve sanayi ölçekli tesisler olmak üzere 4 ana kapasitede sınıflandırılmaktadır (YEGM, 2019).

- ✓ Aile tipi: 6 - 12 $m^3$ kapasiteli
- ✓ Çiftlik tipi: 50 - 100 - 150 $m^3$ kapasiteli
- ✓ Köy tipi: 100 – 200 $m^3$ kapasiteli
- ✓ Sanayi ölçekli tesisler: 1000 – 10.000 $m^3$ kapasiteli şeklindedir.

Tesis yeri mevcut hayvancılık işletmelerinin durumlarına göre belirlenecektir. Hammadde olan atıklar tek bir alanda bulunmadığı için planlı atık toplama stratejisi ile tesis alanına getirilmesi gerekmektedir. Büyükbaş hayvan gübresi idrarı ile toplandığındaki özellikleriyle idrarsız öbekleme usulüyle toplandığındaki özellikleri birbirinden farklıdır. Endüstriyel tip biyogaz tesislerinde hem yabancı madde gelmesinin önlenmesi hem de toplama ve işletme kolaylıkları göz önüne alındığında gübrenin idrarlar ile birlikte toplanıp vidanjörler eşleğinde toplanması daha makul bir yöntemdir. Gübrenin tesiste değerlendirilebilmesi için çıkarılan katı ve sıvı gübre birlikte sıyrılarak/toplanarak beton bir havuz içerisinde depolanmalıdır. Yani ahır ve kümesler gezilip incelemeler yapılırken mevcut olan durumda gübrenin ne şekilde depolandığı da göz önünde bulundurulmuştur.

Tesise olan uzaklık ve elektrik üretim kapasiteleri göz önünde bulundurularak ekonomik olmayan çiftlikler kapasite hesapları yapılırken çalışmaya dahil edilememiştir.

Toplamda üretilecek olan biyogaz ve elektrik potansiyeli literatür hesaplaması ve Buswell denklemi ile olmak üzere iki farklı yöntemle çözülmüştür.

### 2.4.1. Buswell yöntemi ile kapasite tayini

Aşağıda Wijffels ve arkadaşlarının kullanmış olduğu denklem 2.1'de kullanılarak $CH_4$ ve $CO_2$ oranları hesaplanmıştır (Wijffels, Barten, & Reith, 2003),

$C_cH_hO_oN_nS_s+14(4C-H-2O+3N+2S)\ H_2O \rightarrow 18\ (4C-H+2O+3N+2S)\ CO2+18(4C+H-2O-3N-2S)\ CH_4+ nNH_3+ sH_2S$ (2.1)

Yapılan çalışmalara örnek olarak 1. Çiftlik için atık numuneleri kullanılarak Buswell denklemine göre hesaplama yapılmıştır.Ve bu işlemler tüm çiftlikler için aynı aşamalar tekrarlanarak sonuçlar hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken Tablo 2.3'te C, H, N, S, O için elementel analiz ve atom ağırlıkları verilen değerler kullanılmıştır.

Tablo 2.3. Çiftlik ampirik formül hesaplamaları

| | **Elementel analiz (%)** | **Atom ağırlığı (gr/mol)** | **Molekül bileşenleri** |
|---|---|---|---|
| C | 41,07 | 12 | 3,42 |
| N | 2,63 | 14 | 0,19 |
| H | 4,79 | 1 | 4,79 |
| S | 0,4 | 32 | 0,01 |
| O | 26,87 | 16 | 1,68 |

İlk olarak denklem 2.2'de belirtilen $CH_4$ oranı hesaplanmıştır.

Organik bileşiklerden elde edilecek $CH_4$ oranı = 1/8(4C+H-2O-3N-2S) (2.2)

= 1/8[ (4×3,42) + (4,79) - (2×1,68) - (3×0,19) - (2×0,01) ]

=1,81

İkinci aşamada ise denklem 2.3 kullanılarak $CO_2$ oranı belirlenmiştir.

Organik bileşikten elde edilecek $CO_2$ oranı = 1/8(4C-H+2O+3N+2S) (2.3)

=1/8[ (4×3,42) - (4,79) + (2×1,68) + (3×0,19) + (2×0,01) ]

=1,61

Biyogaz Bileşen Oranları (Akyürek, 2019)

- ✓ %53,08 $CH_4$
- ✓ %46,92 $CO_2$

1.Çiftlik İçin Hayvansal Atık Bilgileri:

- ✓ Günlük Atık (ton): 17,7
- ✓ Kuru Madde Oranı : %9,45
- ✓ Uçucu Kuru Madde Oranı: %79,84

17.700 kg (17,7 ton) hayvansal atıktaki;

Su içeriği= 16.027,35 kg

Katı içeriği=1.672,65 kg Kuru Madde (%9,45 KM)

Uçucu kuru madde=1.335,45 kg Uçucu Kuru Madde (%79,84 UKM)

UKM içerisinde %41,07 karbon ( C ) içeriği;

1.355,44 kg UKM içerisindeki karbon (kg) =1335,45 x (41,07 / 100)

=548,47 kg C

Karbonun %60'ı biyogaza dönüşürse;

Biyogaza dönüşen karbon miktarı (kg)=549,25 x (60 / 100 )

=329,08 kg C

Buswell denkleminden , %53,08 $CH_4$ oranı ve %46,92 $CO_2$ oranı bulunmuştur.

Metan gazının içeriğindeki karbon ağırlığı ( $CH_4$ – C ) = 329,08 x 0,5308

=174,67 kg C

Metan ağırlığı ($CH_4$) = 174,67 X (16/12)

=232,9 kg $CH_4$

1 mol gaz STP = 22,4 Litre

STP: Standart Sıcaklık ve Basınç

16 g $CH_4$ =22,4 Litre

$CH_4$ miktarı ($m^3$)

232.900 g $CH_4$ = 232.550 / 16 mol

= 14.556,30 mol $CH_4$

14.556,30 x 22,4= 326.061,29 litre $CH_4$

17700 kg hayvansal atık =326,06 $m^3$ biyogaz

Metanın Enerji Değeri

1$m^3$ metan =36 MJ

1 kWh =3,6 MJ

1 $m^3$ $CH_4$ =10 kW

1 Numaralı Çiftlik Elektrik Üretim Kapasitesi

$$=\frac{(326{,}06\ m^3 CH_4)\times(10\ kWh/m^3 CH_4)\times 0{,}4}{24} = 54{,}34\ kWh$$

Bu hesaplama yöntemi kullanılarak diğer tüm çiftlikler için elektrik üretim kapasitesi tespit edilmiştir.

### 2.4.2.Literatür verileri ile kapasite tayini

Literatür hesaplaması aşamaları aşağıda belirtildiği gibidir.

Uçucu kuru madde miktarı için denklem 2.4 kullanılarak bu oran elde edilmiştir.

Uçucu kuru madde miktarı $\left(\frac{\text{ton.UKM}}{\text{gün}}\right)$ (2.4)

= Toplam gübre miktarı $\left({}^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)$ × Kuru madde oranı (%) × Uçucu kuru madde oranı

Saatte üretilen biyogaz miktarı ise denklem 2.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Biyogaz üretim miktarı} \left({}^{\text{m}^3}/_{\text{saat}}\right)(\%) \tag{2.5}$$

Elde edilen biyogaz miktarının günlük olarak hesaplanması denklem 2.6 kullanılarak belirlenmiştir.

$$= \frac{\text{Uçucu kuru madde miktarı } (\frac{\text{ton.UKM}}{\text{gün}}) \times \text{Biyogaz potansiyeli}(\frac{\text{m}^3}{\text{ton.UKM}})}{24\ ({}^{\text{saat}}/_{\text{gün}})} \tag{2.6}$$

Biyogaz tesis kapasitesi(kW) denklem 2.7'de belirtilen şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Biyogaz üretim miktarı} \left({}^{\text{m}^3}/_{\text{saat}}\right) \times \text{Metan oranı}(\%)$$

$$\times \text{Metan birim enerji içeriği}(\text{kW/m}^3) \times \text{Kojenerasyon elektrik verimi}(\%) \tag{2.7}$$

Kabuller;

$$\text{Büyükbaş hayvan gübresi biyogaz potansiyeli} = 400\ (\frac{\text{m}^3}{\text{ton.UKM}})$$

Literatür hesaplamasına örnek oluşturması açısından 1 Numaralı Çiftlik için hesaplama yapılmıştır.

1 Numaralı Çiftlik için Günlük Atık (ton) = 17,7

Büyükbaş hayvan gübresi biyogaz üretim kapasitesi;

$$\text{Uçucu kuru madde miktarı } \left(\frac{\text{ton.UKM}}{\text{gün}}\right) = 17{,}7 \left({}^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right) \times 0{,}0945 \times 0{,}7984 = 1{,}3354$$

$$\text{Biyogaz üretim miktarı } \left({}^{\text{m}^3}/_{\text{saat}}\right) = \frac{1{,}3354 \left(\frac{\text{ton.UKM}}{\text{gün}}\right) \times 400\ (\frac{\text{m}^3}{\text{ton.UKM}})}{24({}^{\text{saat}}/_{\text{gün}})} = 22{,}256$$

Toplam biyogaz üretim kapasitesi;

Biyogaz üretim miktarı $\left({}^{m^3}/_{saat}\right) = 22{,}256$

Biyogaz tesis kapasitesi (kW) $22{,}256 \left({}^{m^3}/_{saat}\right) \times 0{,}6 \times 10(kW/m^3) \times 0{,}4$

Biyogaz tesis kapasitesi (kW) = 53,42

Aynı hesaplamalar diğer çiftlikler için de yapılmıştır.

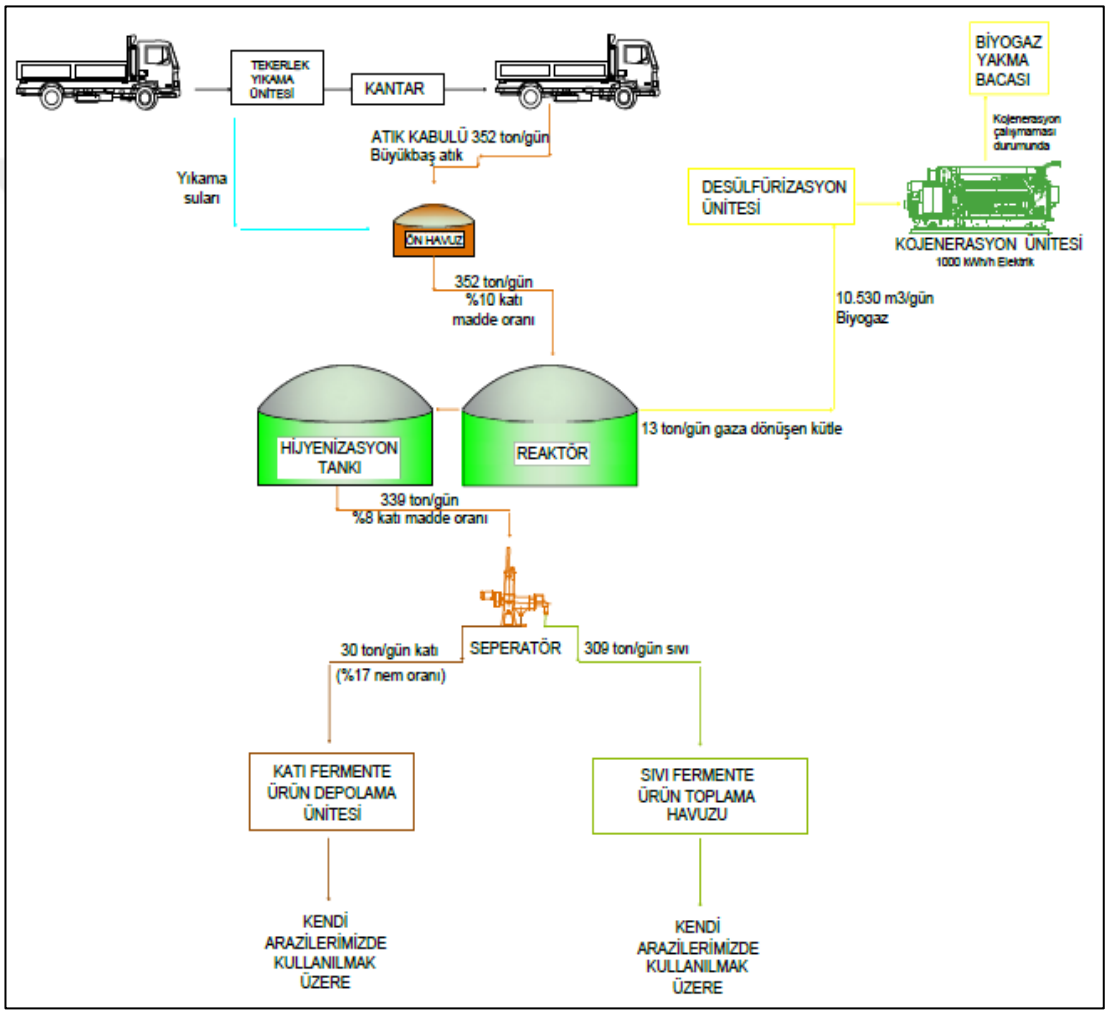
### 2.4.3.Tesis kapasitesine ilişkin teknik detaylar

Kurulması planlanan biyogaz tesisi madde akış diyagramı görülmektedir. Biyogaz tesisine günlük 352 ton büyükbaş atık kabulü yapılmaktadır. Gelen büyükbaş atık ön havuzda homojenize edilerek %10 katı madde oranı ile reaktöre ve hijyenizasyon tankına girmektedir.Tablo 2.4.'te biyogaz tesisi bileşenlerine yer verilmiştir.

Tablo 2.4. Biyogaz tesisi bileşenleri

| **Biyogaz tesis bileşenleri** |
|---|
| Ön Depo |
| Besleme Ünitesi |
| Reaktör |
| *Gaz Deposu |
| *Gaz Deposu Fanı |
| *Karıştırıcı |
| Gaz Şartlandırma |
| *Desülfürizasyon Ünitesi |
| *Blower |
| *Chiller |
| Kojenerasyon Seti |
| *Egzoz |
| *Flare |
| *Kompresör |
| *Hava Fanı |
| *Gaz Motoru |
| Elektrik |
| Otomasyon |
| Pompa Sistemi |
| Son Depo |

Hijyenizasyon tankı sonrası %8 katı madde oranı olan 339 ton/gün atık seperatöre ulaşarak burada katı ve sıvı gübre olmak üzere ayrışır. Seperatör sonrası 9,6 ton/gün katı gübre, 329 ton/gün sıvı gübre çıkmaktadır. Katı gübre katı fermente ürün depolama ünitesine gönderilirken sıvı gübre ise sıvı fermente ürün toplama havuzuna gönderilmektedir. Reaktör çıkışında ise; 13 ton/gün gaza dönüşen kütle desülfürizasyon ünitesinden geçtikten kojenerasyon ünitesine girmekte ve 1000 kWh elektrik üretilmektedir. Hijyenizasyon tankı Şekil 2.2.'de gösterilmektedir.




Şekil 2.2. Biyogaz tesisi madde akış diyagramı

## 2.5.Atık Toplama ve Sıvı Gübre Dağıtım Stratejileri

Kurulacak olan biyogaz tesisine atıkların taşınması durumu bulunmaktadır. Gübre, ahırlardan bir vidanjör vasıtasıyla alınıp hedeflenen noktadaki biyogaz tesisine götürülecektir. Bu nedenle ahırlarda gübrenin depolanmasına olanak sağlayacak

betonarme gübre havuzuna ihtiyaç. Çiftlik ziyaretleri sonucunda 12 çiftlikte gübre havuzu bulunduğu tespit edilmiştir. Ancak 4 ve 13 numaralı çiftliklerde gübre depolanması toprak çukur içerisine yapılmıştır. Seperatör sonrası ayrışan sıvı gübrenin taşınması için vidanjör kullanılacaktır.

Çiftliklerin konumları ve kurulması planlanan bölgeye olan uzaklıkları belirlenmiştir. Bu uzaklıklar hesaplanırken en uzak mesafe 24,30 km, en yakın tesisin hemen yanında bulunan 11 numaralı çiftliktir. Ortalama mesafe ise 12,64 km olarak saptanmıştır şekil 2.3. ve 2.4. ve en yakın ve en uzak mesafeler gösterilmiştir. Yine örnek teşkil etmesi amacıyla 3 numaralı çitliğin tesise olan uzaklığı şekil 2.5.'te gösterilmiştir. Sıvı gübrenin taşınması için gerekli vidanjör turu belirlenmiştir. Belirlenen vidanjör turuna göre maliyet hesabı yapılmıştır. Tüm çiftlikler için toplam 18 vidanjör turu yeterlidir. Günlük vidanjör turu maliyeti 0,65$, yıllık maliyet ise 44.152,23$'dır. Bu maliyet fizibilite çalışmasında hammadde ve ürün dağıtım maliyeti kalemine dahil edilmiştir.




Şekil 2.3. Biyogaz tesisine olan en yakın mesafe konumu




Şekil 2.4. Biyogaz tesisine olan en uzak mesafe konumu




Şekil 2.5. Biyogaz tesisi ve 3 numaralı çiftlik konumu

### 2.5.1. Atık toplama ve dağıtımı için yapılan hesaplamalar

Atık temini yapılacak olan 14 çiftlik ve biyogaz tesisinin kurulacağı yer arasında bulunan mesafeler tablo 2.5'te gösterilmiştir. Bu mesafeler ve günlük hammadde beslemesi incelenerek vidanjör sayısı ve kapasitesi belirlenmiştir.

Aynı zamanda biyogaz oluşumu sonucu sıvı gübrenin bertaraf edilmesi gerekmektedir. Meydana gelen sıvı gübreyi civarda bulunan en yakın tarla ve boş arazilere taşınması için gerekli maliyet hesaplamaları aşağıda belirtilen kabuller ve hesaplamalar yapılarak saptanmıştır.

Kabuller;

Vidanjör Kapasitesi: 20 ton olarak kabul edilmiştir.

Günlük Vidanjör Turu Maliyeti: 0,65 USD olarak kabul edilmiştir.

Sıvı gübre bertarafı için mesafe: 20 km olarak kabul edilmiştir.

Atığın dağıtılması ve toplanması için vidanjör tur sayısı denklem 2.8 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Vidanjör tur sayısı} = \left({}^{\text{Atık miktarı}}/_{\text{Vidanjör kapasitesi}}\right) \quad (2.8)$$

Gider kalemlerinden biri olan atık taşıma maliyeti 2.9'da belirtilen denklem kullanılarak bulunmuştur.

Günlük atık taşıma maliyeti= Tesise olan Uzaklık (km) x Vidanjör Turu x (2.9)

Her bir vidanjörün tur başına maliyeti ise denklem 2.10'da gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Vidanjör Tur Maliyeti($/km)

Sıvı gübre dağıtım maliyeti= Tesise olan Uzaklık (km) x Vidanjör Turu x (2.10)

Vidanjör Tur Maliyeti ($/km)

1 numaralı çiftlik için örnek bir hesaplama yapılırsa;

Atık toplama için vidanjör tur sayısı = $\left({}^{17,7}/_{20}\right)$ = 0,0885 tur sayısı 1 kabul edilmiştir.

Günlük atık taşıma maliyeti=16,3 (km) x 1 x 0,65($/km) = 10,595 $/gün

Tüm çiftlikler için aynı işlem tekrarlanmıştır. 2, 8 ve 13 numaralı çiftliklerde tur sayısı 0,5 değerlerinde çıkmaktadır bu nedenle vidanjörün tek turda bu üç çiftlikte bulunan atıkları toplaması uygun bulunmuştur. Mesafe ise en uzak noktada bulunan 13 numaralı çiftlik baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Sıvı Gübre Dağıtımı için vidanjör tur sayısı = $\left({}^{329}/_{20}\right)$ = 16,45 tur sayısı 16 olarak kabul edilmiştir. Tablo 2.6.'da çiftliklerin biyogaz tesisine olan uzaklıkları verilmiştir. Biyogaz üretimi sonucu açığa çıkan sıvı gübrenin dağıtımı için mesafe ilk olarak 20 km kabul edilmiştir.

Sıvı gübrenin dağıtım mesafeleri Tablo 2.5.'te gösterilmiştir. Aynı zaman da sıvı gübrenin dağıtımı için uygun öngörülen mesafe amortisman süresini etkilediğinden 50 km ve 10 km kabul edildiğinde gider kalemi de aşağıda belirtilen şekilde hesaplanmıştır;

Sıvı gübre dağıtım maliyeti= 20 (km) x 16 x 0,65($/km) = 208 $/gün

Sıvı gübre dağıtım maliyeti= 10 (km) x 16 x 0,65($/km) = 104 $/gün

Sıvı gübre dağıtım maliyeti= 50 (km) x 16 x 0,65($/km) = 520 $/gün

Tablo 2.5. Sıvı gübre ve dağıtım mesafesi

| **Açığa çıkan sıvı gübre (ton/gün)** | **Dağıtım mesafesi (km)** |
|---:|---:|
| 329,6 | 10 |
| 329,6 | 20 |
| 329,6 | 50 |

Tablo 2.6. Çiftlikler ve biyogaz tesisine olan uzaklıkları

| Çiftlik | Tesise olan uzaklık (km) |
|---|---|
| **1. Çiftlik** | 16,3 |
| **2. Çiftlik** | 19,4 |
| **3. Çiftlik** | 13,6 |
| **4. Çiftlik** | 24,3 |
| **5. Çiftlik** | 7,8 |
| **6. Çiftlik** | 7 |
| **7. Çiftlik** | 2,7 |
| **8. Çiftlik** | 7 |
| **9. Çiftlik** | 9,8 |
| **10. Çiftlik** | 10 |
| **11. Çiftlik** | 0 |
| **12. Çiftlik** | 22 |
| **13. Çiftlik** | 17,4 |
| **14. Çiftlik** | 7 |

### 2.5.2. Kütle denkliği ile sıvı gübre tayini

Günlük 352 ton besleme yapılan tesis için uçucu kuru madde miktarı 2.11'de verilen denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Uçucu kuru madde miktarı} \left( \frac{\text{ton.UKM}}{\text{gün}} \right) \quad (2.11)$$

Toplam gübre miktarı ise 2.12'de belirtilen denklem ile kullanılarak bulunmuştur,

$$= \text{Toplam gübre miktarı} \left( {}^{\text{ton}}/_{\text{gün}} \right) \times \text{Kuru madde oranı } (\%) \times \text{Uçucu kuru madde oranı}$$

Saatte üretilen biyogaz miktarı denklem 2.12 kullanılarak saptanmıştır,

$$\text{Biyogaz üretim miktarı} \left( {}^{\text{m}^3}/_{\text{saat}} \right) (\%) \quad (2.12)$$

Oluşan metan gazı miktarı ise denklem 2.13 kullanılarak hesaplanmışır,

$$= \text{Uçucu kuru madde miktarı } \left( \frac{\text{ton.UKM}}{\text{gün}} \right) \times \text{Biyogaz potansiyeli} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{ton.UKM}} \right) \quad (2.13)$$

Kabuller;

Büyükbaş hayvan gübresi biyogaz potansiyeli = 400 ( $\frac{m^3}{ton.UKM}$ )

Sıvı gübrede bulunan KM oranı = 0,05

Katı gübrede bulunan KM oranı = 0,25

Biyogaz öz kütlesi= 1,25 kg/$m^3$

Uçucu kuru madde miktarı $\left(\frac{ton.UKM}{gün}\right) = 352 \left({}^{ton}/_{gün}\right) \times 0,09 \times 0,8076 = 25,584$

Biyogaz üretim miktarı $\left({}^{m^3}/_{gün}\right)$=25,584 $\left(\frac{ton.UKM}{gün}\right)$ × 400 ( $\frac{m^3}{ton.UKM}$ )= 10,233

Oluşan Metaz Gazı Miktarı= $10,233 \left({}^{ton}/_{gün}\right) \times 1,25 \left({}^{kg}/_{m^3}\right)$ =12,792

352 Ton Gübre -12,792 ( Metan gazı miktarı ) = 339,208 ( Oluşan gübre miktarı )

Meydana gelen gübre katı ve sıvı olarak ikiye ayrılır katı ve sıvı gübre olarak ikiye ayrılır katı gübreyi y sıvı gübreyi x değişkeni olarak kabul edersek;

X + Y = 339,208

0,05X + 0,25Y =18,88

X = 329,61 ton/gün olarak hesaplanmıştır.

### 2.5.3. Tesis fizibilite hesapları

Fizibilite çalışmaları yapılırken izlenen adımlar aşağıda başlıklar halinde sunulmuştur. Biyogaz tesisi kurulum maliyeti, gelirleri, giderleri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

### 2.5.3.1. Biyogaz tesisi kurulum maliyetlerinin çıkarılması

Fizibilite çalışması yapılırken detayları Tablo 2.7'de verilen tüm maliyet kalemleri belirlenmiştir;

Tablo 2.7. Biyogaz tesisi yatırım maliyeti bileşenleri

| **Biyogaz tesisi yatırım maliyeti bileşenleri** |
|---|
| Mühendislik |
| Ön depo sıvı |
| Merkezi sıvı dağıtım |
| Hidroliz reaktörü |
| Besleme sistemi |
| Reaktör |
| Hijyenizayon tankı |
| Gaz şartlandırma |
| Gaz motoru |
| Destek ekipmanı |
| Proses kontrol cihazı |
| Otomasyon |
| İşcilik |
| Merdiven ve korkuluk |
| Borulama |
| Sarf malzeme |
| Merkezi sıvı dağıtım |
| Isı dağıtım hattı |
| Gaz motoru destek ekipmanı |
| Elektrik |
| İnşaat |
| Kamyon ve vidanjör maliyeti |

- ✓ Tüm inşaat, mekanik ve elektriksel işlerin temin ve kurulum maliyetleri
- ✓ İlk devreye alma maliyeti
- ✓ Sistem kullanım bedeli
- ✓ Dağıtım bedeli
- ✓ Yıllık lisans bedeli
- ✓ Sigorta
- ✓ Lisans ve ruhsatlandırma bedelleri
- ✓ Biyogaz tesisi iç tüketim oranı %15 alınmıştır.

Aşağıda 1 MW biyogaz tesisi yatırım maliyeti bileşenleri görülmektedir. Baz alınan bölge civarına kurulması planlanan 1 MW'lık biyogaz tesisi için yatırım maliyeti 2.620.000 $ olarak hesaplanmıştır.

Maliyet bileşenlerinin büyük oranını gaz motoru ve inşaat oluştururken lojistik kaleminin de küçümsenemeyecek bir payı olduğu görülmektedir. Bu çalışma da lojistik maliyenin en aza indirgenmesi büyük önem taşımaktadır.

#### 2.5.3.2. Biyogaz tesisi işletme giderlerinin çıkarılması

✓ Hammadde ve ürün dağıtım maliyeti: Hammadde temini ve oluşan ürün için maliyet hesabı yapılmış olup gider kaleminde hammadde ve ürün dağıtım maliyeti kalemine eklenmiştir.
✓ Personel maliyeti
✓ Kojen bakım maliyeti
✓ Genel bakım maliyeti: Kojenerasyon sistemi bakım maliyetinin yarısı tutarında kabul edilmiştir.
✓ 5 yıllık ara bakım maliyeti: 5 yıllık ara bakımda reaktörlerin boşaltılması ve temizlenerek bakımların yapılması fiyatlandırılmıştır. Bu iki bakımın maliyeti tabloda 10 yıla dağıtılmıştır.
✓ Biyolojik destek maliyeti: Fermantasyon sürecinde olumsuz durumlara karşı alınan önlemdir.
✓ Tesis ofis giderleri

#### 2.5.3.3. Biyogaz tesisi işletme gelirlerinin çıkarılması

İşletme esnasında biyogaz tesisinde girdi olarak gübre kullanılacak olup çıktı olarak elektrik, ısı, katı ve sıvı gübre eldesi sağlanacaktır. Bunlardan elektrik satışı 5346 no'lu yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun gereğince elektrik satış bedeli 13,3 $cent/kWh olarak kanunla belirlenmiştir (YEGM, 2019).

✓ Elektrik satış geliri

✓ Katı gübre satış geliri

✓ Isı satış geliri

✓ Karbon sertifikası gelir

## 2.6. Amortisman Süresi Hesaplanması

Amortisman süresi biyogaz tesisi kurulmadan önce yapılan inceleme ve çalışmalar sonucu denklem 2.14'te belirtildiği üzere aşağıda belirtilmiş olan parametreler doğrultusunda hesaplanmaktadır;

✓ Toplam maliyet
✓ Gelirler
✓ Giderler

Bu üç parametreyle denklem 2.14'ten yola çıkarak elde edilir;

Amortisman süresi= Toplam Maliyet/(Gelir-Gider) (2.14)

Amortisman süresi hesaplanırken Favök, vergi, faaliyetten doğan nakit akım parametreleri dikkate alınmıştır.

### 2.6.1. Hammadde sağlanacak çiftlik ve biyogaz tesisi arasındaki mesafenin amortisman süresine etkileri

Amortisman süresi hesaplanırken atıkların temin edileceği çiftliğin uzaklığı ve yine biyogaz üretimi sonucu meydana gelen sıvı gübre tayini için tesis işletmesi boyunca bir gider kalemi oluşmaktadır. Bu çalışmada lojistik giderinin amortisman süresi üzerindeki etkisini atık sağlanacak çiftliklerin farklı konumlandırılmasıyla göstereceğiz. Tablo 2.4'te bulunan tesis uzaklıklarına bakıldığında en uzak tesis olan 14 numaralı tesisten hammadde ihtiyacı karşılandığında amortisman süresi hesaplanacaktır. Yine Tablo 2.4'te en yakın olan 11. Çiftlik seçildiğinde hammaddeyi taşımak için bir lojistik maliyeti olmayıp amortisman süresi hesaplanacaktır. Bir de 14 adet çiftliğin ortalama uzaklıklarına en yakın olan 3 numaralı çiftlikten hammadde sağlandığında gerekli hesaplamalar yapılacaktır.

### 2.6.2. Meydana gelen sıvı gübrenin dağıtımı ve mesafenin amortisman süresine etkileri

Biyogaz üretimi sonucu açığa çıkan sıvı gübrenin hacmi katı gübreyle kıyaslanınca daha fazla olduğundan genellikle depolanmak yerine civarda bulunan tarla veya boş arazilere dökülerek bertaraf edilmektedir. Bu nedenle sıvı gübre bertaraf edilirken bir gider maliyeti oluşturmaktadır. Oluşan sıvı gübreyi biyogaz tesisinden 20 km uzaklıktaki bir araziye götürüleceği kabul edilip gider kalemi bu şekilde hesaplanmıştır. Aynı zaman da bu mesafe 10 km ve 50 km olarak değişmesi durumu için öngörü yapılmış olup, bu uzaklıklar için de gider kalemi hesaplanmıştır. Daha sonra amostisman süresinin sıvı gübre dağıtılırken mesafeye bağlı değişimi incelenecek ve değişimler gösterilecektir.

# 3. BULGULAR

Yapılan çalışmalar sonucunda biyogaz tesisi kurulacak bölge belirlenmiş. Baz alınan bölgenin hava şartlarına uygun koşullarda tesis parametreleri seçilmiş ve tesisin beslenmesi için hammaddenin temin edileceği çiftlikler belirlenmiştir. Günlük olarak atık besleme miktarı 352 ton olup bu atıklar deney ve analizleri belirtilen yöntemlerle yapılmıştır. Daha sonra tesisinin fizibilite çalışması incelenirken lojistik kalemi üzerinde özel olarak durulmuş olup atık toplama ve sıvı gübre dağıtımı için stratejiler geliştirilmiştir.

## 3.1. Hammadde Analiz Sonuçları

Ziyaret edilen 14 adet çiftlikten numuneler alınıp incelenmek üzere laboratuvara gönderilmiştir. Numune sonuçları Tablo 3.1.' de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Numunelerden elde edilen UKM ve KM sonuçları

| Çiftlik adı | Kuru madde (%) | Uçucu kuru madde (%) |
|---|---|---|
| 1. Çiftlik | 9,45 | 76,01 |
| 2. Çiftlik | 10,99 | 84,12 |
| 3. Çiftlik | 8,19 | 80,81 |
| 4. Çiftlik | 8,19 | 80,81 |
| 5. Çiftlik | 9,59 | 83,54 |
| 6. Çiftlik | 8,19 | 80,81 |
| 7. Çiftlik | 9,59 | 83,54 |
| 8. Çiftlik | 26 | 75 |
| 9. Çiftlik | 26 | 75 |
| 10. Çiftlik | 26 | 75 |
| 11. Çiftlik | 26 | 75 |
| 12. Çiftlik | 26 | 75 |
| 13. Çiftlik | 26 | 75 |
| 14. Çiftlik | 26 | 75 |

### 3.2. Biyogaz Tesis Kapasitesi Ve Dizayn Parametreleri

Tablo 3.2. ‘de biyogaz tesisinin tasarım ve kapasitesine ilişkin detaylar verilmiştir.

Tablo 3.2. 1MW Biyogaz tesisi tasarımına ilişkin detaylar

| **Yaş fermantasyon** | |
|---|---|
| Bakteri Çeşidi | Mezofilik |
| Hidrolik Bozunma Süresi | 31 gün |
| Kojenerasyon Kapasitesi (kWh) | 1000 |
| Elektriksel Verim (%) | 40% |
| Fermantör Hacmi ($m^3$) | 2 x 5624 |
| Ön Depo Hacmi ($m^3$) | 615 |
| Lagün Hacmi ($m^3$) | 10.000 |
| Katı Fermente Ürün Depo Alanı ($m^2$) | 300 |
| Separatör ($m^3$/saat) | 50 |

#### 3.2.1. Buswell yöntemi ile kapasite tayini

Buswell yöntemi ile yapılan hesaplamalar sonucu her çiftlik için aynı metotlar kullanılarak elektrik üretim kapasiteleri saptanmıştır. Tablo 3.3.’te her çiftlik için hesaplanmış olan sonuçlar gösterilmiştir.

#### 3.2.2. Literatür verileri ile kapasite tayini

Literatür verileri ile yapılan hesaplamalar sonucu her çiftlik için aynı metotlar kullanılarak elektrik üretim kapasiteleri saptanmıştır. Tablo 3.4.’te her çiftlik için hesaplanmış olan sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Buswell denklemine göre biyogaz kapasite hesabı

| Çiftlik adı | Kuru madde | Uçucu kuru madde | C | N | H | S | O | Günlük atık (ton) | Metan hesabı | CO2 hesabı | Metan oranı (%) | CO2 oranı (%) | Elektrik üretim kapasitesi (kwh) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Çiftlik | 9,45 | 79,84 | 41,07 | 2,63 | 4,79 | 0,4 | 26,87 | 17,7 | 1,82 | 1,61 | 53,08 | 46,92 | 54,34 |
| 2. Çiftlik | 10,99 | 84,12 | 46,91 | 2,37 | 5,56 | 0,39 | 31,47 | 7,5 | 2,09 | 1,82 | 53,5 | 46,5 | 32,48 |
| 3. Çiftlik | 9,45 | 76,01 | 41,07 | 2,63 | 4,79 | 0,4 | 26,87 | 37,93 | 1,82 | 1,61 | 53,08 | 46,92 | 110,85 |
| 4. Çiftlik | 15,62 | 81,78 | 42,59 | 2,26 | 4,3 | 0,41 | 32,6 | 23,5 | 1,74 | 1,81 | 49 | 51 | 116,93 |
| 5. Çiftlik | 8,19 | 80,81 | 45,53 | 2,24 | 5,15 | 0,33 | 33,76 | 48,2 | 1,95 | 1,84 | 51,41 | 48,59 | 139,39 |
| 6. Çiftlik | 8,19 | 80,81 | 45,53 | 2,24 | 5,15 | 0,33 | 33,76 | 1,25 | 1,95 | 1,84 | 51,41 | 48,59 | 3,62 |
| 7. Çiftlik | 8,19 | 80,81 | 45,53 | 2,24 | 5,15 | 0,33 | 33,76 | 19,98 | 1,95 | 1,84 | 51,41 | 48,59 | 57,77 |
| 8. Çiftlik | 8,19 | 80,81 | 45,53 | 2,24 | 5,15 | 0,33 | 33,76 | 3,38 | 1,95 | 1,84 | 51,41 | 48,59 | 9,76 |
| 9. Çiftlik | 8,19 | 80,81 | 45,53 | 2,24 | 5,15 | 0,33 | 33,76 | 35,25 | 1,95 | 1,84 | 51,41 | 48,59 | 101,94 |
| 10. Çiftlik | 9,45 | 79,84 | 41,07 | 2,63 | 4,79 | 0,4 | 26,87 | 40 | 1,82 | 1,61 | 53,08 | 46,92 | 122,8 |
| 11. Çiftlik | 9,59 | 83,54 | 38,67 | 3,03 | 4,47 | 0,41 | 31,05 | 33,39 | 1,6 | 1,62 | 49,67 | 50,33 | 95,9 |
| 12. Çiftlik | 8,19 | 80,81 | 45,53 | 2,24 | 5,15 | 0,33 | 33,76 | 22,5 | 1,95 | 1,84 | 51,41 | 48,59 | 65,07 |
| 13. Çiftlik | 9,45 | 79,84 | 41,07 | 2,63 | 4,79 | 0,4 | 26,87 | 11,9 | 1,82 | 1,61 | 53,08 | 46,92 | 36,53 |
| 14. Çiftlik | 8,19 | 80,81 | 45,53 | 2,24 | 5,15 | 0,33 | 33,76 | 50,5 | 1,95 | 3,13 | 38,39 | 61,61 | 109,04 |
| **Toplam** | | | | | | | | | | | | | **1.056,44** |

Tablo 3.4. Literatür hesaplamasına göre elektrik üretim kapasitesi

| Çiftlik adı | Günlük atık (ton) | Kuru madde | Uçucu kuru madde | Günlük üretilen metan (m3/gün) | Elektrik üretim kapasitesi (kwh) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. Çiftlik | 17,7 | 9,45 | 79,84 | 320,51 | 53,42 |
| 2. Çiftlik | 7,5 | 10,99 | 84,12 | 166,41 | 27,73 |
| 3. Çiftlik | 37,93 | 9,45 | 76,01 | 653,79 | 108,97 |
| 4. Çiftlik | 23,5 | 15,62 | 81,78 | 720,46 | 120,08 |
| 5. Çiftlik | 48,2 | 8,19 | 80,81 | 765,61 | 127,6 |
| 6. Çiftlik | 1,25 | 8,19 | 80,81 | 19,86 | 3,31 |
| 7. Çiftlik | 19,98 | 8,19 | 80,81 | 317,28 | 52,88 |
| 8. Çiftlik | 3,38 | 8,19 | 80,81 | 53,61 | 8,93 |
| 9. Çiftlik | 35,25 | 8,19 | 80,81 | 559,91 | 93,32 |
| 10. Çiftlik | 40 | 9,45 | 79,84 | 724,31 | 120,72 |
| 11. Çiftlik | 33,39 | 9,59 | 83,54 | 642,01 | 107 |
| 12. Çiftlik | 22,5 | 8,19 | 80,81 | 357,39 | 59,57 |
| 13. Çiftlik | 11,9 | 9,45 | 79,84 | 215,48 | 35,91 |
| 14. Çiftlik | 50,5 | 8,19 | 80,81 | 802,14 | 133,69 |
| **Toplam** | **352,97** | | | **6.318,76** | **1.053,13** |

### 3.3. Atık Toplama ve Dağıtımı İçin Yapılan Hesaplamalar

Yapılan kabuller ve hesaplamalar neticesinde her tesis için hesaplanan tur sayısı, günlük ve yıllık olarak maliyeti tablo 3.5. ve 3.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Sıvı gübre lojistiği

| Sıvı gübrenin dağıtım mesafesi (km) | Vidanjör tur sayısı | Vidanjör tur maliyeti ($/km) | Tesis sıvı çıktısı dağıtımı ($ / gün) | Tesis sıvı çıktısı dağıtımı ($/yıl) |
|---|---|---|---|---|
| 10 | 16 | 0,65 | $104,00 | $82.112,23 |
| 20 | 16 | 0,65 | $208,00 | $75.920,00 |
| 50 | 16 | 0,65 | $520,00 | $189.800,00 |

Tablo 3.6. Lojistik hesaplaması

| Çiftlik | Tesise olan uzaklık (km) | Tesisten alınan atık miktarı (ton) | Kaç vidanjör turu | Vidanjör turu | Vidanjör tur maliyeti ($/km) | $/gün | $/yıl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1. Çiftlik** | 16,3 | 17,7 | 0,89 | 1 | 0,65 | 10,6 | 3867,2 |
| **2. Çiftlik** | 19,4 | 7,5 | 0,38 | 0 | 0,65 | 0,0 | 0,0 |
| **3. Çiftlik** | 13,6 | 37,93 | 1,90 | 2 | 0,65 | 17,7 | 6453,2 |
| **4. Çiftlik** | 24,3 | 23,5 | 1,18 | 1 | 0,65 | 15,8 | 5765,2 |
| **5. Çiftlik** | 7,8 | 48,2 | 2,41 | 2 | 0,65 | 10,1 | 3701,1 |
| **6. Çiftlik** | 7 | 1,25 | 0,06 | 0 | 0,65 | 0,0 | 0,0 |
| **7. Çiftlik** | 2,7 | 19,98 | 1,00 | 1 | 0,65 | 1,8 | 640,6 |
| **8. Çiftlik** | 7 | 3,38 | 0,17 | 0 | 0,65 | 0,0 | 0,0 |
| **9. Çiftlik** | 9,8 | 35,25 | 1,76 | 2 | 0,65 | 12,7 | 4650,1 |
| **10. Çiftlik** | 10 | 40 | 2,00 | 2 | 0,65 | 13,0 | 4745,0 |
| **11. Çiftlik** | | 33,39 | 1,67 | 2 | 0,65 | 0,0 | 0,0 |
| **12. Çiftlik** | 22 | 22,5 | 1,13 | 1 | 0,65 | 14,3 | 5219,5 |
| **13. Çiftlik** | 17,4 | 11,9 | 0,60 | 1 | 0,65 | 11,3 | 4128,2 |
| **14. Çiftlik** | 7 | 50,5 | 2,53 | 3 | 0,65 | 13,7 | 4982,3 |
| **Toplam** | | | | **18** | | **120,965** | **44.152,23** |

### 3.4. Biyogaz Tesis Yatırım Maliyeti

Biyogaz tesisi için maliyet kalemleri ve tutarları Tablo 3.7.'de gösterilmiştir. Biyogaz tesisinde kullanılacak hammadde için para ödenmemiştir. Tesis yatırım maliyeti ve tesise sağlanacak atık ve oluşan gübre taşınması için 4 adet vidanjör kullanılması belirlenmiştir.

Tablo 3.7. Biyogaz tesisi yatırım maliyeti bileşenleri

| **Biyogaz tesis yatırım maliyeti bileşenleri** | **Tutar ($)** |
|---|---|
| Biyogaz tesis yatırım maliyeti | 2.500,00$ |
| Vidanjör / loader /kamyon | 120.000,00$ |
| Toplam | 2.620.000,00 $ |

### 3.5. Biyogaz Tesisi İşletme Giderleri

Tesis işletme giderleri tablo 3.8.'de verilmiştir.

Tablo 3.8. Biyogaz tesisi işletme giderleri

| **İşletme giderleri** | **Tutar ($)** |
|---|---|
| Hammadde ve ürün dağıtım maliyeti | 120.072,23 |
| Personel maliyeti | 95.000,00 |
| Kojen bakım maliyeti | 110.700,00 |
| Genel bakım maliyeti | 65.350,00 |
| Biyolojik destek maliyeti | 14.760,08 |
| İlk devreye alma maliyeti | 8.000,00 |
| 5 Yıllık ara bakım maliyeti | 6.000,00 |
| Sistem kullanım bedeli | 16.653,00 |
| Dağıtım bedeli | 15.842,77 |
| Sigorta | 5.000,00 |
| Lisans ve ruhsatlandırma bedelleri | 15.000,00 |
| Tesis ofis giderleri | 6.000,00 |
| **Toplam** | **478.378,08** |

### 3.6. Biyogaz Tesis Gelirleri

Tesis işletme gelirleri 927.010,00$'dır. İşletme geliri yalnızca elektrik satışı ile elde edilecektir. Katı gübre satışı, ısı satış geliri, karbon sertifikasından bir gelir elde edilmemiştir.

### 3.7. Biyogaz Tesisi Fizibilite Hesapları

Fizibilite hesapları yapılırken 2 farklı şekilde incelenmiştir. Bunlardan ilki biyogaz tesisi mesafesi ve atığın sağlanacağı çiftlik arasında mesafenin değişimine bağlı tesisinin geri ödeme süresidir. İkincisi ise biyogaz üretimi sonucu açığa çıkan sıvı gübrenin bertarafı için seçilen mesafenin geri ödeme süresi üzerindeki etkisidir.

#### 3.7.1. Biyogaz tesisi ve atığın sağlanacağı çiftlik arasındaki mesafe

##### 3.7.1.1. Çiftlik mesafesi en uzak seçildiğinde fizibilite hesabı

Hammaddenin temin edileceği çiftlik en uzak mesafe olan 24,3 km seçildiğinde tesisin gelir gider kalemi ve basit geri ödeme süresi Tablo 3.9.'da verilmiştir.

Tablo 3.9. Çiftlik mesafesi en uzak seçildiğinde fizibilite hesabı

| 1 MW Biyogaz tesisi fizibilitesi | $/yıl |
|---|---|
| Yatırım Maliyeti | 2.620.000,00 |
| Giderler | 478,378,08 |
| Gelirler | 981.540,00 |
| Geri Ödeme Süresi | 7,07 |

##### 3.7.1.2. Çiftlik mesafesi en yakın seçildiğinde

Hammaddenin temin edileceği çiftlik ve biyogaz tesisi yan yana olarak seçildiğinde tesisin geri ödeme süresi Tablo 3.10.'da gösterilmiştir. Çiftlik ve biyogaz tesisinin yan yana seçilmesinde dolayı gider kaleminde ciddi bir azalma olduğu tabloda gösterilmiştir, bu durum tesisin kendini geri ödeme süresini de kısaltmasına katkıda bulunmuştur.

Tablo 3.10. Çiftlik mesafesi en yakın seçildiğinde fizibilite hesabı

| 1 MW Biyogaz tesisi fizibilitesi | $/yıl |
|---|---|
| Yatırım maliyeti | 2.620.000,00 |
| Giderler | 314.128,08 |
| Gelirler | 981.540,00 |
| Geri ödeme süresi | 5,03 |

### 3.7.1.3. Çiftlik mesafesi ortalama bir uzaklık seçildiğinde fizibilite hesabı

Daha önce atık toplama stratejilerinde gösterilen Tablo 2.4. incelendiğinde çiftlik mesafeleri görülmektedir. Buradan ortalama mesafenin yaklaşık olarak 12,64 km olduğuna ulaşabiliriz. Ortalama çiftlik uzaklığı baz alındığında tesisin geri ödeme süresi tablo 3.11'de gösterilmiştir.

Tablo 3.11. Ortalama mesafe seçildiğinde fizibilite hesabı

| 1 MW Biyogaz tesisi fizibilitesi | $/yıl |
|---|---|
| Yatırım maliyeti | 2.620.000,00 |
| Giderler | 412,678,08 |
| Gelirler | 981.540,00 |
| Geri ödeme süresi | 6,08 |

### 3.7.2. Biyogaz tesisi ve sıvı gübrenin taşınacağı mesafe

### 3.7.2.1. Sıvı gübre mesafesi 10 km iken fizibilite hesabı

İlk olarak sıvı gübrenin bertarafının yapılacağı tarla veya boş arazi 10 km olarak kabul edildiğinde gider kalemi ve buna bağlı basit geri ödeme süresi Tablo 3.12'de gösterilmiştir. Ayrıca mesafe 10 km olarak kabul edildiğinde daha önce yapılmış atık toplama ve dağıtım hesaplamaları kısmında günlük sıvı atık miktarı 104 $/gün olarak hesaplanmış olup yıllık olarak 37.960,00 $'dır.

Çiftliklerden sağlanacak hammadde için Tablo 3.6.'da verilen yıllık lojistik gideriyle toplandığında ilk yıl için gider kalemi 82.112,23 $ olarak alınmıştır.

Tablo 3.12. Sıvı gübrenin taşınacağı mesafe 10 km seçildiğinde amortisman süresi

| **1 MW Biyogaz tesisi fizibilitesi** | **$/yıl** |
|---|---|
| Yatırım maliyeti | 2.620.000,00 |
| Giderler | 396.240,31 |
| Gelirler | 981.540,00 |
| Geri ödeme süresi | 5,88 |

### 3.7.2.2. Sıvı gübre mesafesi 20 km iken fizibilite hesabı

Sıvı gübrenin götürülüceği mesafe 20 km kabul edildiğinde gider kalemine bağlı geri ödeme süresi Tablo 3.13.'te gösterilmiştir. Uzaklık 20 km kabul edildiğinde atık toplama ve sıvı gübre dağıtım hesapları kısmında da gösterildiği gibi günlük 208 $/gün olarak hesaplanmıştır. Yıllık 75.920,00 $ iken, hammadde lojistiği (Tablo 3.6.'da) verilmiş olan gider kalemiyle birlikte ilk yıl için 120.072,23 $'dır.

Tablo 3.13. Sıvı gübrenin taşınacağı mesafe 20 km seçildiğinde amortisman süresi

| **1 MW Biyogaz tesisi fizibilitesi** | **$/yıl** |
|---|---|
| Yatırım maliyeti | 2.620.000,00 |
| Giderler | 478,378,08 |
| Gelirler | 981.540,00 |
| Geri ödeme süresi | 7,07 |

### 3.7.2.3. Sıvı gübre mesafesi 50 km iken fizibilite hesabı

Son olarak ise gübrenin taşınacağı mesafe 50 km olduğunda geri ödeme süresinin değişimi tablo 3.14.'te gösterilmiştir. Günlük olarak sıvı gübre için gider kalemi daha önce sıvıgübre hesaplamaları kısmında 520 $ olarak hesaplanmış olup, yıllık 189.800,00 $'dır. Yine tablo 3.6.'da verilmiş olan hammadde atık temini için oluşan lojistik gideri ile toplandığında 233.952,23 $ olarak ilk yıl maliyeti kabul edilmiştir.

Tablo 3.14. Sıvı gübrenin taşınacağı mesafe 50 km seçildiğinde amortisman süresi

| **1 MW Biyogaz tesisi fizibilitesi** | **$/yıl** |
|---|---|
| Yatırım maliyeti | 2.620.000,00 |
| Giderler | 548.080,31 |
| Gelirler | 981.540,00 |
| Geri ödeme süresi | 8,54 |

# 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ilk olarak bir biyogaz tesisinin elektrik üretim kapasitesi hesaplanırken iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan ilki Buswell denkelemi ile kapasite tayini ikincisi ise literatür hesaplaması ile kapasite tayinidir. Daha sonra elde edilen hesaplamalar neticesinde fizibilite kalemleri tek tek sıralanmış ve biyogaz tesisinin geri ödeme süresi basit bir şekilde formülize edilmiştir.

Basit geri ödeme süresinin temel olarak tesis maliyeti, gelir faaliyetleri ve gider faaliyetlerine bağlı olarak değiştiği gösterilmiştir. Basit geri ödeme süresinin kısaltılabilmesi doğrudan gider kalemi ile paralellik gösterdiğinden gider kaleminin azaltılması hedeflenmiştir. Gider kalemi azaltma yöntemlerinden biri olan atıkların toplanması ve oluşan gübrenin dağıtımı adı altında lojistik maliyetinin en aza indirgenmesidir.

Lojistik maliyetini minimum düzeye indirgemek için ilk olarak hammaddenin sağlanacağı çiftlik ve biyogaz tesisi arasındaki mesafe incelenmiştir. Tesis kurulmadan önce baz alınan bölgedeki 14 çiftlik için mesafeler belirlenmiştir. Her bir çiftliğe atıkları toplamak üzere gönderilecek vidanjörlerin tur sayısı önceden hesaplanmıştır.

Biyogaz tesisinin geri ödeme süresini hesaplarken tüm atıkların 24 km uzaklıklığındaki bir mesafeden temin edileceği kabul edilip bu tesis için geri ödeme süresi 7,07 yıl olarak bulunmuştur. Aynı şekilde biyogaz tesisi için atığın sağlanacağı çiftlik mesafesi 12,5 km olarak kabul edilmiş ve geri ödeme süresi 6,08 yıl olarak tespit edilmiştir. Son olarak ise atığın temin edileceği çiftliğin mesafesi 0 km kabul edilirse, yani tesis ve çiftlik yan yana konumlandırılırsa geri ödeme süresi 5,03 yıl olarak hesaplanmıştır.

Bu üç örnek incelendiğinde gider kalemini azaltmak için lojistik maliyetinin yadsınamayacak bir payı olduğu görülmektedir. Atığın temin edileceği çiftlik mesafesi azaldıkça biyogaz tesisinin de kendini geri ödeme süresinin azaldığı tespit edilmiştir.

İkinci olarak ise biyogaz üretimi sonucu meydana gelen sıvı gübrenin depolanması katı gübreye göre daha zahmetli ve miktar olarak da daha fazla olduğundan bertaraf edilmesinin daha uygun olacağı düşünülmüştür. Günlük olarak açığa çıkan 329,6 ton sıvı gübre 3 farklı mesafeye dağıtımında oluşan lojistik giderleri incelenmiştir. Biyogaz tesisi ve sıvı gübrenin taşınacağı konum arasındaki uzaklık 10 km kabul edildiğinde tesisin basit geri ödeme süresi 5,8 yıl olarak hesaplanmıştır. Daha sonra tesis ve oluşan sıvı gübrenin taşınacağı mesafe 20 km kabul edildiğinde gider lojistiği artmış ve dolayısıyla tesisin geri ödeme süresi 7,07 yıl olarak bulunmuştur. Son olarak ise biyogaz tesisi ve sıvı gübrenin taşınacağı mesafe 50 km olarak kabul edilmiş, tesisin geri ödeme süresi 8,5 yıl olarak hesaplanmıştır.

Genelde biyogaz üretimi sonucu tesis çıktısı olan sıvı gübrenin taşınma maliyeti oluşturduğu göz ardı edilmektedir. Verilen 3 farklı mesafede görüldüğü üzere uzaklığın artması sonucu gider maliyetinin arttığı ve doğrudan geri ödeme süresi ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Yalnızca gider maliyetleri arasında hammadde sağlanması düşünülmemeli, aynı zamanda açığa çıkan sıvı gübrenin de bertarafı için en uygun mesafe ve maliyet inclenemesi de yapılmalıdır. Üç farklı mesafe baz alınarak incelenen tesis geri ödeme sürelerinde mesafenin artmasına bağlı olarak geri ödeme süresinin de arttığı saptanmıştır.

Yapılan bu çalışmalar neticesinde lojistiğin biyogaz maliyeti ve tesisin kendini geri ödeme süresinde büyük bir payı olduğu gözler önüne serilmiştir. Biyogaz tesisi kurulmadan önce hammaddenin sağlanacağı çiftliklerin belirlenmesi, oluşan sıvı gübrenin taşınacağı konumun belirlenmesi, mesafelerin hesaplanması ve yıllık ne kadar gider oluşturacağının ön görülmesi işletme giderleri için önemli bir kaynak olmuştur.

Araştırmalar ve hesaplamalar sayesinde lojistik maliyetinin bir biyogaz tesisi için önemi vurgulanmış, ortaya konulan çeşitli örnekler ile sayısal verilerle desteklenmiştir. Ayrıca yalnızca gider kalemi ve tesis maliyeti olarak değil aynı zamanda lojistiğin en aza indirgenmesi durumunda atıklar toplanırken ve sıvı gübre dağıtılırken vidanjörlerin harcamış olduğu yakıt miktarının da azalacağı unutulmamalıdır. Bu sayade doğaya salınan karbondioksit oranı da azalır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyogaz üretimi yapılırken dolaylı olarak dahi çevreye zarar vermeden enerjiyi üretmek mümkündür. Atığın sağlanacağı çiftlik ve biyogaz tesisinin entegre olarak seçilmesi biyogaz üretimi yapılırken lojistik maliyeti açısından en uygun yöntemdir. Bu şekilde kurulan tesislerde çiftlik, tarla, biyogaz tesisi yan yana seçilir atık çiftlikten sağlanırken oluşan sıvı gübre tarlalarda kullanılır.

Ayrıca biyogaz tesisi kurulurken hammadde ve sıvı gübre taşınması için azaltılan mesafeler sonucu doğaya km başına salınan $CO_2$ miktarı hesaplanarak çevreye verilebilecek zararın nasıl azaltıldığı gösterilebilir.

Kurulacak olan biyogaz tesisinin geri ödeme süresinin kısalması beraberinde fosil kaynaklı yakıtlara da bağımlılığı azaltır. Daha çevre dostu ve kaynağını doğadan olan bir enerji kaynağına yatırım oranları artmış olur.

## KAYNAKLAR


Akyürek Z., Energy Recovery From Animal Manure Biogas Potential of Burdur Turkey, *Anadolu University Journal of Science and Technology-A Applied Sciences and Engineering*, **20**(2), 161–170, 2019.

Ardıç İ. ve Taner F., Biyokütleden Biyogaz Üretimi I: Anaerobik Arıtımın Temelleri, http://www.biyogazder.org/makaleler/mak11.pdf, (Ziyaret tarihi:27 Aralık 2019).

Bakış S., *Enerji*, 4-18, 2019 .

Basu S., Khan A. L., Cano-Odena A., Liu C., & Vankelecom I. F. J. Membrane-Based Technologies For Biogas Separations, *Chemical Society Reviews*, **39**(2), 750–768, 2010.

Berruto R., Busato P., Bochtis D. D., & Sørensen C. G., Comparison Of Distribution Systems For Biogas Plant Residual, *Biomass and Bioenergy*, **52**, 139–150, 2013.

Buğutekin A., Atıklardan Biyogaz Üretiminin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 177994.

Çallı B., Atiklardan Biyogaz Üretimi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003, 139495.

Demiral İ., Gıda Sanayi Atıklarından Biyogaz Eldesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2004, 152962.

Galvez D., Rakotondranaivo A., Morel, L., Camargo M., & Fick M., Reverse Logistics Network Design For A Biogas Plant: An Approach Based On MILP Optimization And Analytical Hierarchical Process (AHP), *Journal Of Manufacturing Systems*, **37**, 616–623, 2015.

Gunnarsson C., Vågström L., & Hansson, P. A., Logistics For Forage Harvest to Biogas Production-Timeliness, Capacities and Costs İn a Swedish Case Study, *Biomass and Bioenergy*, **32**(12), 1263–1273, 2008.

Kaplan G., Çoban V., Çağman S., Hayvansal Kaynaklı Biyogaz Üretim Tesislerinde Üretilen Gübrenin Değerlendirilme Methodları ve Fizibiliteye Olan Etkisinin İrdelenmesi, *Imascon Bahar Kongresi*, Kocaeli, 798-801, 26-28 Nisan 2019.

Karim K., Klasson K. T., Hoffmann R., Drescher S. R., Depaoli, D. W., & Al-dahhan, M. H., *Anaerobic Digestion Of Animal Waste Effect of Mixing*, **96**, 1607–1612, 2005.

Kılıç F. C., *Biyogaz, Önemi, Genel Durumu ve Türkiyede'ki Yeri*, 94–106, 2007.

Konseyi E., & Enerji, B. P., *BpEnerji Görünümü*,13-15, 2018.

Mattiasson B., *Biogas as a Resource-Efficient Vehicle Fuel*, 7–13, 2007.

Najafi B., & Faizollahzadeh Ardabili S., Application Of ANFIS, ANN, and Logistic Methods İn Estimating Biogas Production From Spent Mushroom Compost (SMC). Resources, *Conservation and Recycling*, **133**, 169–178, 2018.

Perera F., Pollution From Fossil-Fuel Combustion İs The Leading Environmental Threat To Global Pediatric Health And Equity: Solutions Exist, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **15**(1),13-15 ,2018.

Arslan H., Pamuksu Maddelerin Piroliziyle Sentetik Yakıt Üretimi, Yükseklisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004, 154478.

Singh K. J., & Sooch S. S., Comparative Study Of Economics of Different Models Of Family Size Biogas Plants For State of Punjab India, *Energy Conversion and Management*, **45**(9–10), 1329–1341, 2004.

T.C. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik, (Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2019).

Temiz Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi, http://temenar.gazi.edu.tr/, (Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2019).

TÜİK, http://www.tuik.gov.tr/Start.do, (Ziyaret tarihi: 13 Kasım 2019).

Ubi W., Ubi G.M., Akpan-Idiok A U., Okweche T., Nutrient Dynamics in Vegetative Propagules of Pineapple (Ananas Comosus) Cultivar as İnfluenced by Post N: P: K Fertilizer Application in Southern Nigeria, *International Journal of Academic Research and Development*, **1**(7), 2455–4197, 2016.

Uğur A., *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun Tasarısı*, 9385–9390, 2005.

Utlu Z., *Enerji kullanımının çevresel etkileri ve sürdürülebilir gelişme açısından değerlendirilmesi*, 33–45, 2011.

Wijffels R. H., Barten H., & Reith R. H., *Bio_methane & Bio-hydrogen*,149-160,2003.

YEGM, http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_yetistiriciligi.aspx (Ziyaret tarihi: 27 Aralık 2019).

Yüksel I., Energy Production and Sustainable Energy Policies in Turkey, *Renewable Energy*, **35**(7), 1469–1476, 2010.

Zhang H., Tian Y., Wang, L., Mi X., & Chai Y., Effect of Ferrous Chloride On Biogas Production and Enzymatic Activities During Anaerobic Fermentation of Cow Dung and Phragmites Straw, *Biodegradation*, **27**(2–3), 69–82, 2016.

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

**Özaydın M.**, Çoban V., Çağman S., Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Tesisinin Lojistik Maliyetinin Fizibiiteye Etkisi Ve Türkiye Projeksiyonu, *Imascon Bahar Kongresi*, Kocaeli, 698 -705, 26-28 Nisan 2019.

## ÖZGEÇMİŞ

Meryem ÖZAYDIN 1994'te Batman'da doğdu. Lise öğrenimini Batman Türk Telekom Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2013 yılında Kocaeli Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 2017 yılında mezun oldu. Aynı yıl içinde Kocaeli Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği anabilim dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitiminde bir biyogaz tesisi için maliyet unsurlarını etkileyen noktaları araştırdı ve lojistik üzerinde araştırmalar yaptı. Bunun yanı sıra 2019 yılında satış mühendisi olarak bir enerji firmasında çalıştı.