



**T.C.  
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK VE BİYOGAZ ENERJİ SİSTEMLERİNİN ENERJİ VE  
ÇEVRESEL POTANSİYELLERİNİN İNCELENMESİ: SÜT SİĞİRİ  
ÇİFTLİĞİ ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Beyza KORKMAZ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

**EKİM 2024**

T.C.  
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK VE BİYOGAZ ENERJİ SİSTEMLERİNİN ENERJİ VE  
ÇEVRESEL POTANSİYELLERİNİN İNCELENMESİ: SÜT SIĞIRI  
ÇİFTLİĞİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beyza KORKMAZ

(22434980005)

ORCID: 0009-0007-2934-990X

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Çevre Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Saadet HACISALİHOĞLU

ORCID: 0000-0001-5969-4180

EKİM 2024



BTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 22434980005 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Beyza KORKMAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “FOTOVOLTAİK VE BİYOGAZ ENERJİ SİSTEMLERİNİN ENERJİ VE ÇEVRESEL POTANSİYELLERİNİN İNCELENMESİ: SÜT SİĞİRİ ÇİFTLİĞİ ÖRNEĞİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Dr. Öğr. Üyesi Saadet HACISALİHOĞLU**  
Bursa Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. İlker KILIÇ**  
Bursa Uludağ Üniversitesi

**Doç. Dr. Ahmet AYGÜN**  
Bursa Teknik Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Saadet HACISALİHOĞLU**  
Bursa Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**  
**Savunma Tarihi : 17.10.2024**



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.





*Aileme,*

## ÖNSÖZ

“Fotovoltaik Ve Biyogaz Enerji Sistemlerinin Enerji Ve Çevresel Potansiyellerinin İncelenmesi: Süt Sığırcı Çiftliği Örneği” adlı bu çalışma Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmamda, çalışmamın her aşamasında görüş ve fikirlerini eksik etmeyen hocalarım sayın Dr. Öğr. Üyesi Saadet HACISALİHOĞLU ve Prof. Dr. Osman YALDIZ’a teşekkürlerimi sunarım.

Ekim 2024

Beyza KORKMAZ  
(Çevre Mühendisi)

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
KISALTMALAR .....	x
SEMBOLLER .....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiv
ÖZET.....	xv
SUMMARY .....	xvi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Biyokütle Enerjisi.....	3
1.1.1 Biyogaz sistemlerinin ana üniteleri.....	4
1.1.1.1 Biyogaz üretim prosesinin aşamaları .....	4
1.1.1.2 Biyogaz üretiminde kullanılabilir hammadde .....	5
1.1.2 Türkiye’de ve Dünyada biyogaz potansiyeli .....	7
1.1.2.1 Biyogaz’ın üretimini etkileyen çeşitli faktörler .....	9
1.1.2.2 Reaktör tipleri.....	13
1.1.3 Biyogaz kullanım alanları .....	20
1.1.4 Biyogaz enerji sisteminin avantajları ve dezavantajları.....	25
1.2 Güneş Enerjisi .....	25
1.2.1 Güneş enerjisi ile ilgili temel bilgiler.....	25
1.2.1.1 Güneş enerjisi uygulamaları.....	27
1.2.1.2 Dünyada ve Türkiye’de fotovoltaik sistemlerin yıllara göre gelişim süreci.....	30
1.2.2 Fotovoltaik modüller ve hücreler ile ilgili temel bilgiler.....	32
1.2.2.1 Gölgeleme .....	35
1.2.2.2 Fotovoltaik güç sistemi temel bileşenleri.....	36
1.2.3 Fotovoltaik sistemlerin uygulama sahasına göre türleri .....	38
1.2.3.1 Fotovoltaik sistemlerin şebeke bağlantısına göre türleri.....	39
1.2.3.2 Ülkemizdeki fotovoltaik uygulamalara genel bakış.....	40
1.2.3.3 Fotovoltaik enerji sisteminin avantajları ve dezavantajları.....	43
<b>2. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>56</b>
2.1 Materyal .....	56
2.2 Çalışma Alanı .....	56
2.3 Metot .....	58
2.3.1 Biyogaz potansiyelinin ve engellenen CO <sub>2</sub> emisyonunun belirlenmesi ...	58
2.3.2 RETScreen analiz programı (Government of Canada-OpenSource).....	61
2.3.2.1 Fotovoltaik enerji sistemi programı enerji menüsü.....	63
2.3.2.2 Fotovoltaik enerji sistemi programı maliyet menüsü .....	63
2.3.2.3 Fotovoltaik enerji sistemi programı emisyon menüsü .....	64
2.3.2.4 Fotovoltaik enerji sistemi programı finansman menüsü .....	65

<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>66</b>
3.1 Yıllık Biyogaz Miktarı ve Engellenen CO <sub>2</sub> Salınım Bulguları .....	66
3.2 Fotovoltaik Enerji Sistemi Programı Enerji Analizi Bulguları .....	70
3.3 Fotovoltaik Enerji Sistemi Programı Emisyon Analizi Bulguları.....	70
3.4 Fotovoltaik Enerji Sistemi Programı Ekonomik Analiz Bulguları .....	71
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>74</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>77</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>81</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>84</b>



## KISALTMALAR

<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>AC</b>	: Alternatif Akım
<b>a-Si</b>	: Amorf Silisyum
<b>BBH</b>	: Büyükbaş Hayvan
<b>BEPA</b>	: Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası
<b>BEFV</b>	: Binalara Entegre Fotovoltaik Sistemler
<b>CBG</b>	: Konsantre Edilmiş Biyogaz
<b>CCHP</b>	: Combined Cooling Heat and Power veya Trijenerasyon
<b>CHP</b>	: Combined Heat and Power veya Kojenerasyon
<b>CSTR</b>	: Sürekli Karıştırılmalı Tank Tipi Reaktörler
<b>c-si</b>	: Silisyum Kristal Hücreler
<b>CdTe</b>	: Kadmiyum Tellürid
<b>CIS</b>	: Bakır İndiyum Selenid
<b>CIGS</b>	: Bakır İndiyum (Galyum) Di-Selenid
<b>DC</b>	: Doğru Akım
<b>FV</b>	: Fotovoltaik
<b>GEPA</b>	: Güneş Enerji Potansiyeli Atlası
<b>GES</b>	: Güneş Enerji Santrali
<b>GWh</b>	: Gigawatt Saat
<b>GJ</b>	: Giga Joule
<b>GW</b>	: Gigawatt
<b>g</b>	: Gram
<b>HRT</b>	: Hydraulic Retention Time
<b>KBH</b>	: Küçükbaş Hayvan
<b>KH</b>	: Kanatlı Hayvan
<b>kWh</b>	: Kilowatt saat
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>K</b>	: Kelvin
<b>LBG</b>	: Sıvılaştırılmış Biyogaz

<b>MTEP</b>	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
<b>MPPT</b>	: Maksimum Güç Noktası Takibi
<b>MWh</b>	: Megawatt saat
<b>MJ</b>	: Mega Joule
<b>ORL</b>	: Organic Loading Rate
<b>PFR</b>	: Piston Akışlı Reaktörler
<b>PWM</b>	: Darbe Genişlik Modülasyonu
<b>RETScreen</b>	: Temiz Enerji Yönetim Yazılımı
<b>TE</b>	: Temiz Enerji
<b>UASB</b>	: Yukarı Akışlı Reaktörler
<b>USD</b>	: Amerikan Doları
<b>YEKDEM</b>	: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması
<b>W</b>	: Watt

## SEMBOLLER

<b>A<sub>CH</sub></b>	: Canlı Hayvan Ağırlığı
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>C</b>	: Karbon
<b>°C</b>	: Celcius
<b>E<sub>B</sub></b>	: Biyogaz Isıl Değeri
<b>E<sub>İSİ</sub></b>	: Biyogazdan Üretilebilecek Enerji Miktarı
<b>m</b>	: Metre
<b>m<sup>2</sup></b>	: Metrekare
<b>m<sup>3</sup></b>	: Metreküp
<b>M<sub>B</sub></b>	: 1 Ton Yaş Gübreden Elde Edilen Biyogaz Oranı
<b>N</b>	: Azot
<b>N<sub>CH</sub></b>	: Canlı Hayvan Sayısı
<b>tCO<sub>2</sub></b>	: Ton Karbondioksit
<b>gCO<sub>2</sub></b>	: Gram Karbondioksit
<b>T<sub>YGM</sub></b>	: Toplam Yaş Gübre Miktarı
<b>T<sub>KYGM</sub></b>	: Toplam Kullanılabilir Yaş Gübre Miktarı
<b>T<sub>YGP</sub></b>	: Yıllık Toplam Yaş Gübre Miktarı
<b>T<sub>Biyogaz</sub></b>	: Yıllık Biyogaz Miktarı
<b>Y<sub>KG</sub></b>	: Kullanılabilir Gübre
<b>\$</b>	: Dolar
<b>H<sub>2</sub>S</b>	: Hidrojen Sülfür

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 1.1 : Biyogaz içerisindeki bileşenlerin oranları .....	3
Çizelge 1.2 : Dünya’da biyoyakıtların durumu .....	9
Çizelge 1.3 : 3 farklı yükleme oranında CHP verimleri .....	24
Çizelge 1.4 : Biyogaz enerji sisteminin avantajları ve dezavantajları. ....	25
Çizelge 1.5 : Türkiye’de bulunan en yüksek kurulu güce sahip ilk 10 güneş santralleri. ....	42
Çizelge 1.6 : Fotovoltaik enerji sisteminin avantajları ve dezavantajları.....	43
Çizelge 2.1 : Hayvan türlerine göre literatür katsayı değerleri.....	59
Çizelge 2.2 : Hayvansal atık kaynaklı gübre ve biyogaz potansiyeli hesaplamasında kullanılan eşitlikler. ....	60
Çizelge 3.1 : Süt Sığırı Çiftliğinin yıllara ve hayvan türlerine göre elde edilen gübre ve biyogaz miktarları. ....	66
Çizelge 3.2 : Biyogazdan üretilen elektrik enerjisi ve engellenen CO <sub>2</sub> salınım değerleri. ....	67
Çizelge 3.3 : Biyogaz üzerine yapılan literatür çalışmaları.....	69
Çizelge 3.4 : Maliyet analizi sonuçları. ....	72
Çizelge 3.5 : Güneş enerji sistemleri üzerine yapılan literatür çalışmaları. ....	73

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: Biyogaz sisteminin ana üniteleri. ....	4
Şekil 1.2 : Biyogaz üretim aşamaları. ....	4
Şekil 1.3 : Biyogaz tesislerinde kullanılabilir hammadde. ....	6
Şekil 1.4 : Türkiye’de biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç. ....	8
Şekil 1.5 : Bakterilerin verimli çalıştığı ortalama sıcaklık aralıkları. ....	10
Şekil 1.6 : Hidrolik bekleme süresi ve proses sıcaklığı arasındaki değişim. ....	12
Şekil 1.7 : Biyogaz reaktör tipleri. ....	13
Şekil 1.8 : Bir aşamalı reaktör sistemi çizimi. ....	14
Şekil 1.9 : İki aşamalı reaktör sistemi çizimi. ....	15
Şekil 1.10 : İki aşamalı reaktör sistemi çizimi. ....	15
Şekil 1.11 : CSTR tipi iç reaktör yapısı. ....	16
Şekil 1.12: Biyogazın kullanım alanları. ....	20
Şekil 1.13 : Biyogaz ile çalışan aydınlatma aracı. ....	21
Şekil 1.14 : Trijenerasyon ve kojenerasyon sistemlerinde kullanılan üniteler. ....	23
Şekil 1.15 : Su döngüsü. ....	26
Şekil 1.16 : Düzlemsel kolektör örneği. ....	27
Şekil 1.17 : Dünya genelinde güneş enerjisinden elde edilen elektrik üretimleri. ....	31
Şekil 1.18 : Dünya genelinde GW ölçeği bakımından fotovoltaik kurulum kapasiteleri. ....	31
Şekil 1.19 : Fotovoltaik hücre çeşitleri. ....	32
Şekil 1.20 : FV sistemlerinin temel bileşenleri. ....	36
Şekil 1.21 : Şebekeye bağlı (on-grid) fotovoltaik enerji sistemi örneği. ....	40
Şekil 1.22 : Şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sistemi (off grid) örneği. ....	40
Şekil 1.23 : Türkiye’de yıllık toplam güneş radyasyonu miktarları. ....	41
Şekil 1.24 : Türkiye’nin yıllara göre güneş enerjine bağlı elektrik kurulu güç değerleri. ....	41
Şekil 1.25 : Türkiye’nin toplam kurulu güç içerisindeki oranı. ....	42
Şekil 2.1 : 2024 yılı güneş enerji potansiyeli atlası Bursa ili örneği. ....	57
Şekil 2.2 : 2024 yılı güneş radyasyonu ile ortalama sıcaklık değerlerinin günlük ve aylık değerleri. ....	57
Şekil 2.3 : Çalışmanın uygulanacağı yerin uzaktan görüntüsü. ....	58
Şekil 2.4 : Çalışmanın uygulanacağı çiftliğin içten görüntüsü. ....	58
Şekil 2.5 : Fotovoltaik enerji sistemi programında kabul edilen fotovoltaik panel parametreleri. ....	63
Şekil 2.6 : Fotovoltaik enerji sistemi programı maliyet analizi ekranı. ....	64
Şekil 2.7 : Emisyon analiz kabulleri. ....	64
Şekil 2.8 : Finansal analiz kabulleri. ....	65
Şekil 3.1 : Aylık ve yıllık olarak panellerin enerji üretim miktarları. ....	70
Şekil 3.2 : Sera gazı emisyon azaltım sonuçları. ....	71
Şekil 3.3 : GES kurulu gücü 818 kW için nakit akış grafiği. ....	72

# FOTOVOLTAİK VE BİYOGAZ ENERJİ SİSTEMLERİNİN ENERJİ VE ÇEVRESEL POTANSİYELLERİNİN İNCELENMESİ: SÜT SIĞIRI ÇİFTLİĞİ ÖRNEĞİ

## ÖZET

Doğal kaynaklardan enerji kazanımları dünya genelinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Günümüzde de sık duyduğumuz rüzgar, güneş, biyogaz, jeotermal vs. yenilenebilir enerji sistemleri yatırımcıların da ilgisini çekmektedir. Bu kaynakların avantajları arasında da fosil yakıt kullanımını azaltarak karbondioksit emisyon miktarını azaltma, yerli kaynak oldukları için enerjide dışa bağımlılığı azaltma, çevre dostu enerji tüketimi sağlama gibi birçok faydaları vardır. Bu enerji sistemlerinin uygun bölgede uygun yatırımlar ile kurulması büyük kazançlar elde edilmesini sağlamıştır. Ayrıca enerjisi daha çevreci ve yatırımcıyı da daha karlı duruma getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları tüm sektörlerde kullanılabilirliği gibi hayvancılık ve tarım sektörlerinde kullanılması ile de sektörlerin kendi enerji tüketimlerini karşılayarak dışarıya olan enerji bağımlılığını azaltmaktadır. İklim ve çevre koşulları, tarım ve hayvancılık sektöründe enerji kaynaklarının kullanımı ve ekonomik olması açısından son derece önemlidir. Tarım ve hayvancılık sektöründe kullanılan başlıca yenilenebilir enerji sistemleri; biyokütle, güneş, rüzgâr enerji sistemleridir. Bu çalışmada Bursa'nın Karacabey ilçesinde bir süt sığırları çiftliğine güneş veya biyogaz enerji sistemlerinden birinin kurulması için, enerji ve çevresel potansiyelleri incelenmiş, iki enerji sistemi arasında karşılaştırma yapılmıştır. Güneş enerji sistemi için RETScreen programı kullanılarak sistemin toplamda 1.030.419 kWh/yıl'lık elektrik üreteceği ve toplamda 346 tCO<sub>2</sub>/yıl sera gazı emisyonu azaltabileceği tespit edilmiştir. Biyogaz sistemi için 2023 yılının sonunda çiftlikten üretilecek toplam elektrik üretim potansiyeli 1.012.158 kWh/yıl olduğu ve toplamda 692,316 tCO<sub>2</sub>/yıl emisyonun engellenebileceği belirlenmiştir. Çiftliğin yıllık tüketilen elektrik enerjisi miktarının 885.855 kWh/yıl olduğu tespit edilmiştir. Güneş enerji sistemi ile çiftliğin yıllık elektrik enerjisi tüketim miktarının daha fazla karşılanacağı fakat seragazı emisyonunu ise biyogaz tesisinin daha fazla engelleyeceği sonucuna varılmıştır. Bu karşılaştırmalara ilaveten ekonomik ve çevresel dezavantajlar açısından da kıyaslama yapıldığında süt sığırları çiftliğine güneş enerjisi sisteminin kurulmasına karar verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Biyogaz, RETScreen, Fotovoltaik, Elektrik enerjisi, Sera gazı, Çiftlik.

# **EXAMINATION OF ENERGY AND ENVIRONMENTAL POTENTIALS OF PHOTOVOLTAIC AND BIOGAS ENERGY SYSTEMS: THE CASE OF A DAIRY CATTLE FARM**

## **SUMMARY**

Energy gains from natural resources have become widespread around the world. Renewable energy systems such as wind, solar, biogas, geothermal, etc., which we often hear about today, also attract the attention of investors. Among the advantages of these resources, there are many benefits such as reducing the amount of carbon dioxide emissions by reducing the use of fossil fuels, reducing foreign dependence on energy since they are domestic resources, and providing environmentally friendly energy consumption. The establishment of these energy systems in the appropriate region with appropriate investments has led to great gains. It has also made energy more environmentally friendly and the investor more profitable. Renewable energy sources can be used in all sectors, as well as in the livestock and agriculture sectors, reducing energy dependence on foreign energy by meeting the sectors' own energy consumption. Climate and environmental conditions are extremely important for the use and economical use of energy resources in the agriculture and livestock sector. The main renewable energy systems used in the agriculture and livestock sector are biomass, solar and wind energy systems. In this study, the energy and environmental potentials for the installation of either solar or biogas energy systems on a dairy farm in Karacabey district of Bursa were examined and a comparison was made between the two energy systems. Using the RETScreen program for the solar energy system, it was determined that the system would generate a total of 1.030.419 kWh/year of electricity and reduce a total of 346 tCO<sub>2</sub>/year of greenhouse gas emissions. For the biogas system, it was determined that the total electricity generation potential to be produced from the farm at the end of 2023 is 1.012.158 kWh/year and a total of 692,316 tons/year of CO<sub>2</sub> emissions can be prevented. It has been determined that the annual electricity consumption of the farm is 885.855 kWh/year. It was concluded that the annual electrical energy consumption of the farm will be met more with the solar energy system, but the biogas plant will prevent greenhouse gas emissions more. In addition to these comparisons in terms of economic and environmental disadvantages, it was decided to install a solar energy system on the dairy farm.

**Keywords:** Biogas, RETScreen, Photovoltaic, Electrical energy, Greenhouse gases, Farm.

## 1. GİRİŞ

Gün geçtikçe artan nüfus, sanayileşme ve gelişmekte olan teknolojiler ile birlikte dünyanın enerjiye olan ihtiyacı da artmaktadır. Kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlar dünyada yaygın halde kullanılmaktadır ve bu yakıtların kullanımı ile dünyanın büyük orandaki enerji ihtiyacı karşılanmaktadır. Ancak nüfusun hızlı bir şekilde artması ile dünyada sınırlı miktarda bulunan fosil yakıt miktarında azalma görülmektedir. Evsel ısıtmalarda, fabrikalarda vb. yerlerde fosil yakıtların kullanılması ve ulaşımda petrole dayalı olan yakıtların kullanılması atmosferdeki karbondioksit (CO<sub>2</sub>) miktarı ve diğer sera gazı emisyonlarını arttırarak küresel ısınma, iklim değişikliği ve asit yağmurlarının oluşmalarına neden olmaktadır. Nüfusun hızlı bir şekilde artması ile gıdaların miktarında da azalma görülmektedir (Alma, 2022). Bu nedenle de gıda ihtiyacında artış durumu söz konusu olacaktır. Hayvansal üretimin arttırılması ile de gıda ihtiyacı karşılanmış olacaktır. Hayvansal üretimler sonucunda oluşan hayvansal atıklar önemli bir değere sahip olmakla birlikte ayrıca gübre görevi de taşımaktadır (Hacısalıhoğlu, 2023). Gübrelerin tarımda kullanılması bitkilerin daha kaliteli ve verimli olmasını sağlamaktadır. Ülke ekonomisine katkısının çok fazla olduğu tarım sektörü için gübre, çok önemli bir değere sahiptir. Böyle önemli bir konuda hayvansal atıklar atık olmaktan ziyade ülkenin ekonomisine fayda sağlayan değer olarak görülmelidir. Dünyada ve Türkiye'de hayvansal atıkların düzenli olarak depolanmaması bir takım olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. Atıkların düzensiz olarak depolanması; mikroorganizmaların çoğalmasına, su kaynakları ile temas halinde su kirliliğine, kötü koku oluşumuna, atıkların içerisinde bulunan organik maddelerin (azot, fosfor) yüzeysel sularda ötrofikasyona neden olmasına, görüntü kirliliğine, doğrudan tarım arazilerine verilmesiyle bitkilerin ürün kalitesinin düşmesine, sera gazı emisyon artışına neden olmaktadır (Tırınk, 2022). Bu nedenle atıkların uygun işlemlere tabi tutularak gübreye dönüştürülmesiyle olası çevresel problemlerin önüne geçilmiş olacaktır.

Tarımsal üretim tüm ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de önemli bir değere sahiptir ve bu üretimin en önemli ihtiyacı enerjidir. Tarımsal işletmelerde üretilen ürünlerin

maliyetine etki eden en önemli unsurlardan biri enerji maliyetidir. İşletmelerde kar payını arttırmak için enerji maliyetini en aza indirmek işletmelere fayda sağlayacaktır. Tarımsal üretim işlemleri arasında çok fazla miktarda enerji tüketilen başlıca işlemler; sulama, ürün kurutma, sera ve hayvan barınaklarının ısıtma ve soğutulması, aydınlatma ile hayvancılık işletmelerindeki süt sağım üniteleridir. Teknolojinin en çok kullanıldığı ve en fazla enerji kullanımının gerçekleştiği sektör süt hayvancılığıdır. Yılın her günü ve günde iki üç sağım yapılır. Süt hayvancılığında harcanılan enerjinin büyük bir çoğunluğu süt sağım pompalarından kaynaklanmaktadır. Bu işlemler sırasında yaygın olarak; motorin, doğal gaz, elektrik, sıvılaştırılmış petrol gazı veya propan gibi yakıtlar kullanılır. Bu fosil yakıtların kullanımı neticesinde oluşan çevre sorunlarının önlenmesi için fosil yakıtların yerine çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı faydalı olacaktır (Güler, 2014). Güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, rüzgar enerjisi vb. gibi kaynaklar kendini yenilediği, çevre dostu ve tükenmeyen enerji kaynakları oldukları için yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılırlar. Bu kaynakların avantajları arasında da fosil yakıt kullanımını azaltarak karbondioksit emisyon miktarını azaltma, yerli kaynak oldukları için enerjide dışa bağımlılığı azaltma, çevre dostu enerji tüketimi sağlama gibi birçok faydaları vardır (Alma, 2022). İklim ve çevre koşulları, tarım ve hayvancılık sektöründe enerji kaynaklarının Yenilenebilir enerji kaynakları tüm sektörlerde kullanılabilirliği gibi hayvancılık ve tarım sektörlerinde kullanılması ile de sektörlerin kendi enerji tüketimlerini karşılayarak dışarıya olan enerji bağımlılığını azaltmaktadır. kullanımı ve ekonomikliği açısından son derece önemlidir. Tarım ve hayvancılık sektöründe kullanılan başlıca yenilenebilir enerji sistemleri; biyokütle, güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji sistemleridir (Emiroğlu ve diğ., 2021).

Bu çalışma kapsamında Bursa'nın Karacabey ilçesinde bulunan bir süt sığırcılığına güneş veya biyogaz enerji sistemlerinden birinin kurulumu için enerji ve çevresel potansiyelleri incelenerek iki enerji sistemi arasında karşılaştırma yapılmıştır. Güneş enerjisi sistemi için temiz enerji yönetim (RETScreen) yazılımı kullanılarak kurulması düşünülen fotovoltaik sistemi için fizibilite çalışması yapılmıştır. Yazılımda sistemin aylık veya yıllık ne kadar enerji üreteceği ve bu enerji ile yıllık ne kadar sera gazı emisyonu azaltımının sağlanacağı ve maliyetler belirlenmiştir. Biyogaz tesisi için yapılacak olan hesaplamalar hayvan gübresinden biyogaz eldesinin teorik olarak hesaplanması ile belirlenmiştir.

Büyükbaş hayvan sayıları esas alınarak, hayvansal kaynaklı atıkların gübre potansiyelleri, gübrelerin teorik biyogaz miktarları, elektrik üretim potansiyelleri, engellenen CO<sub>2</sub> salınım değerleri ve tahmini biyogaz tesisi maliyetleri karşılaştırılarak hangi enerji sisteminin gerçekleştirileceğine karar verilmiştir.

## 1.1 Biyokütle Enerjisi

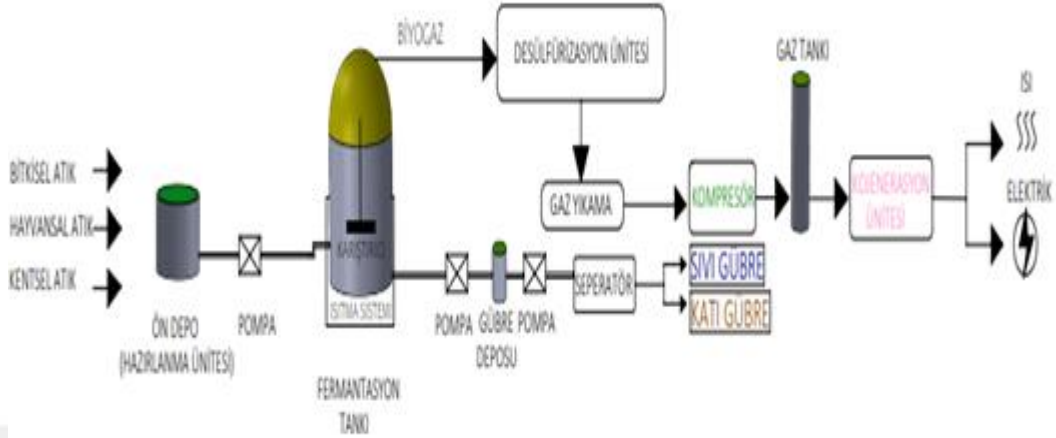
Biyokütle enerjisi, üretim teşvikleri nedeniyle son yıllarda kullanımı giderek artan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Biyogaz üretimi için ana bileşen olarak protein, karbonhidrat, hemiselüloz ve selüloz içeren her türlü biyokütle, biyogaz üretiminde kullanılabilir (Yağlı ve Koç, 2019). Biyokütle enerji kaynaklarından elde edilen yakıtlardan biri olan biyogaz, bitkisel ve hayvansal kökenli organik atıkların (biyokütle), havasız (anaerobik) ortamda mikroorganizmaların yardımı ile bozunması sonucunda oluşan nihai gaz ürünüdür (Anonim, 2020). Biyogaz tesislerinin ana ünitelerine; hammaddenin fermentöre yüklenmeden önce depolandığı atık kabul ve hazırlama ünitesi, seçilen organik maddelerin bakteriler tarafından çürütülerek biyogaz üretiminin gerçekleştiği fermantasyon tankı, hammaddenin katı ve sıvı olarak iki faza ayrıldığı seperatör ünitesi, gaz depoları, biyogaz üretimi sonrasında arta kalan hammaddelerin katı ve/veya sıvı olarak depolandığı nihai depo vs. olarak örnek verilebilir. Şekil 1.1’de tesisin ana üniteleri gösterilmektedir. Çizelge 1.1’de Biyogazın içerisindeki bileşenlerin oranları gösterilmiştir. Bu oranlara göre biyogazın içerisinde en yüksek miktarda bulunan bileşen %50-%75 oran ile metan olarak görülmektedir. Bu sırayı %25-%50 oran ile karbondioksit bileşeni takip etmektedir.

**Çizelge 1.1** : Biyogaz içerisindeki bileşenlerin oranları (Yapılcan, 2021).

Biyogaz Bileşeni	Ağırlık Yüzdesi
Metan	%50 - %75
Karbondioksit	%25 - %50
Nitrojen	%0 - %10
Hidrojen Sülfür	%0 - %3
Hidrojen	%0 - %1
Oksijen	%0,5
Su	%5 - %6

### 1.1.1 Biyogaz sistemlerinin ana üniteleri

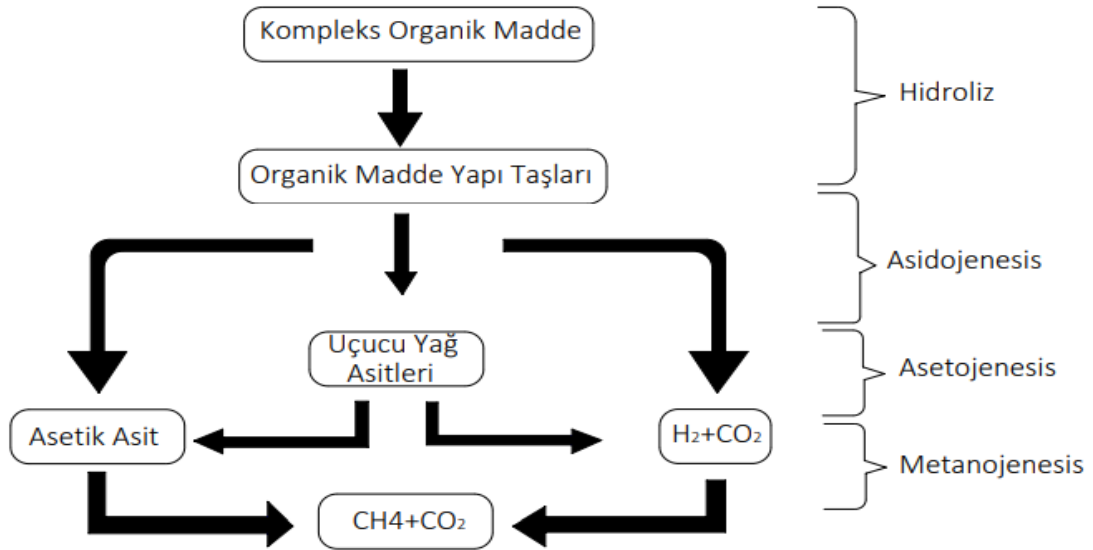
Şekil 1.1’de biyogaz sisteminin ana üniteleri gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Biyogaz sisteminin ana üniteleri.

#### 1.1.1.1 Biyogaz üretim prosesinin aşamaları

Anaerobik ortamda parçalanan organik maddelerin biyogaza dönüştürülmesi 3 aşamada Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 : Biyogaz üretim aşamaları.

#### 1. Hidroliz Aşaması

Bu aşamada kompleks yapıli organik maddeler (protein, karbondioksit, yağlar vb.) hidrolitik bakterileri tarafından daha basit yapıli organik maddelere (aminoasit, şeker, yağ asitleri) dönüştürülür.

## 2. Asit Üretimi

Asit üretimi, asitojenezis ve asetojenez olmak üzere 2 aşamaya ayrılmaktadır. Asitojenezis aşamasında, basit yapıları organik maddeler fermentatif mikroorganizmalar tarafından uçucu yağ asitleri, hidrojen, karbondioksit, alkoller ve ketonlara dönüştürülür. Üretilen uçucu yağ asitlerinden başlıcaları asetik asit, bütirik asit, formik asit, propiyonik asit ve laktik asittir. Üretilen alkollerden başlıcaları etanol ve metanoldür. Bu aşamada yan ürün olarak sülfid ve amonyak açığa çıkabilmektedir. Asetik asit, karbondioksit ve hidrojen direkt olarak metan üretiminde kullanılabilirdiği için asetojenez aşamasına girmelerine gerek yoktur. Asetojenez aşamasında ise bütirik asit ve etanol gibi uçucu yağ asitleri ve alkoller metan üretimi için asetojenik bakteriler yardımı ile asetik asit ya da karbondioksit ve hidrojene dönüştürülür ve son aşamaya geçilir.

## 3. Metan Üretimi (Metanojenez)

Biyogaz oluşumunun son aşaması olan bu safhada, asit üretiminde oluşan asetik asit ya da karbondioksit ve hidrojen, metan bakterileri (arke) yardımı ile metan gazına (biyogaza) dönüştürülmektedir. Bu bakteriler yalnızca asetik asit ya da karbondioksit ve hidrojeni metan gazına çevirebilmektedir. Bu aşamada 2 farklı metanojen grubu vardır. İlk grup asetik asidi parçalayarak metana dönüştürürken (oluşan metanın %70'i bu gruptan gelmektedir), diğer grup ise CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> metana dönüştürür (Url-1).

### 1.1.1.2 Biyogaz üretiminde kullanılabilir hammadde

Biyogaz tesisi, çeşitli organik maddelerin kullanılabilirdiği bir enerji üretim ve atık yönetim prosesi olarak görülmektedir. Tesis için farklı kaynaklardan gelen hammadde tek başlarına kullanılabilirdiği gibi farklı karışımlar oluşturarak da kullanmak mümkündür. Proseste kullanılabilen hammadde bazıları atık, bazıları biyogaz üretimi için özel hazırlanmış olan veya yetiştirilmiş hammadde ile hayvan gübreleri gibi materyallerden oluşmaktadır. Biyogaz tesislerinde kullanılabilir hammadde belirlenmesinde; hammadde özellikleri, taşıma ve hazırlama maliyetleri ve tesisin yapısının bu hammadde kullanımına uygunluğu gibi kriterler değerlendirilmektedir (Akman ve diğ., 2023). Şekil 1.3'te Biyogaz tesislerinde kullanılabilir hammadde gösterilmektedir.

<b>Bitkisel Atıklar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peyzaj Atıkları</li> <li>• Biyogaz İçin Özel Yetiştirilen Bitkiler</li> </ul>
<b>Hayvansal Atıklar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Büyükbaş Hayvan Gübreleri</li> <li>• Küçükbaş Hayvan Gübreleri</li> <li>• Kanatlı Hayvan Gübreleri</li> </ul>
<b>Kentsel Atıklar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kentsel Katı Atıklar</li> <li>• Kentsel Sıvı Atıklar</li> </ul>

**Şekil 1.3 :** Biyogaz tesislerinde kullanılabilen hammaddeler (Akman ve diğ, 2023).

#### 1. Hayvansal Materyaller

Hayvansal atıklar (inek, koyun, tavuk vs.), hayvancılık işletmelerinde ortaya çıkan dışkılar, mezbaaha atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sonrası ortaya çıkmakta olan atıklar biyogaz tesislerinde hammadde olarak kullanılabilir. Hayvan dışkılarının içerisinde bulunan mikroorganizmalar ve yüksek miktarda azot içeriklerinden dolayı biyogaz tesislerinin oldukça yüksek verimli sonuçlar elde etmesine fayda sağlarlar. Ülkemizde hayvansal atıklar ya tarımda gübre olarak kullanılabilir.

#### 2. Bitkisel Materyaller

Biyogaz tesislerinde kullanılabilen bitkisel materyaller; peyzaj atıkları, tesiste kullanım için yetiştirilen bitkisel ürünler, tarımsal üretim atıkları olarak sınıflandırılabilir. Tarımsal üretim atıkları, budama atıkları, hasat sonrası kalan anız, sebze ve meyvelerin kullanılmayan kısımlarından oluşmaktadır.

#### 3. Gıda Endüstrisi Atıkları

Genel itibarı ile; yemek fabrikası atıkları, fermentasyon atıkları ve gıda işleme tesisi atıkları olarak sınıflandırılabilir. Gıda işleme atıkları, meyve suyu fabrikaları, paketli gıda üretim işletmeleri ve şeker fabrikalarından oluşmaktadır. Meyve suyu atıklarından çıkan posalar, meyve kabukları, paketli gıda üretiminden çıkan bozulmuş

ürünler ile şeker fabrikalarından çıkan pancar küspeleri biyogaz tesislerinde kullanılabilir önemli hammaddelerdir.

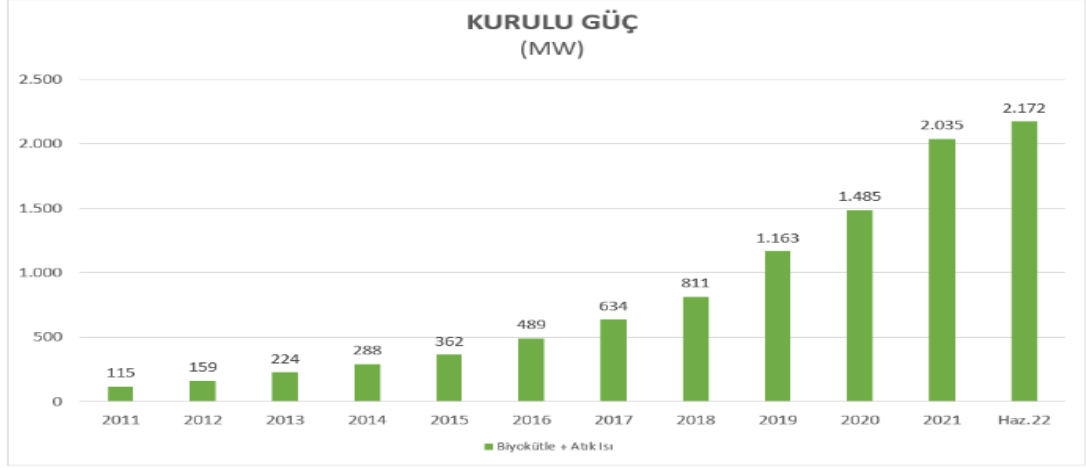
#### *4. Kentsel Atıklar*

Katı ve sıvı atıklar olarak ayrı değerlendirilmektedir. Kentsel katı atıklar; konutlar, kamu yapıları ve özel sektöre ait yapılardan çıkan evsel nitelikli atıklar olarak sınıflandırılabilir. Bu atıkların içerisindeki organik fraksiyonlar biyogaz üretiminde kullanılabilir. Kentsel atıklar ile metan gazı üretimi gerçekleştirilebilir için ya biyogaz yöntemi ya da landfill gaz üretimi yöntemi kullanılabilir. Biyogaz yöntemi, kentsel katı atıkların organik kısmı ayrılarak anaerobik ortamda anaerobik fermentasyon ile biyogaz üretimi gerçekleştirilir. Landfill gaz üretimi ise, kentsel katı atıkların tamamı düzenli katı atık depolarında toplanır. Biriktirilen atıkların üzeri sızdırmaz bir tabaka olan kil tabakası ile kapatılır. Aerobik bakteriler kapalı alandaki atıkların içerisindeki oksijeni zamanla tüketir ve doğal olarak oksijensiz ortam oluşur bu durumda anaerobik bakteriler ortaya çıkar ve anaerobik çürüme gerçekleştirilir. Bu çürüme işlemi sonucunda ise Landfill gazı ortaya çıkmaktadır. Kentsel sıvı atıklar ise arıtma tesislerinde bulunan anaerobik çürütücülerde işlenmekte ve bu işlem sırasında biyogaz üretimi gerçekleştirilmektedir (Akman ve diğ, 2023; Çelebi ve diğ, 2017).

### **1.1.2 Türkiye’de ve Dünyada biyogaz potansiyeli**

#### *1. Türkiye’nin Biyogaz Üretim Potansiyeli*

Biyoenjerji potansiyel incelendiğinde, Türkiye’de en yaygın kullanılan yöntemin biyogaz üretimi ve biyogaz üretiminde en yaygın kullanılan maddenin ise büyükbaş hayvan gübresi olduğu görülmektedir. Çiftliklerde oluşan atıklar ve bu durum nedeniyle ortamda oluşan metan gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla, biyogaz tesislerinin kurulması giderek benimsenmektedir. Enerji ve Tabii kaynaklar bakanlığı, biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç Haziran 2022 sonu itibarı ile 2.172 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %2,14 olduğunu göstermiştir. Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA) verilerine göre toplanabileceği değerlendirilen atıklarımızın toplam ekonomik enerji eşdeğeri yaklaşık 3,9 MTEP/yıl’dır (Url-2). Şekil 1.4’te Türkiye’de biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu gücün yıllar içerisindeki değişimi gösterilmektedir.



**Şekil 1.4 :** Türkiye’de biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç (Url-2).

Türkiye, biyogaz üretimi açısından yüksek derecede organik madde potansiyeline sahip olmasına rağmen, biyogaz üretim sistemleri ve kapasitesi bakımından AB ülkelerinin oldukça gerisindedir.

## 2. Dünya’da Biyogaz Üretim

Son 10 yılda, dünya çapında yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimindeki en önemli sistemler, sırası ile rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve biyokütle enerjisi olmuştur. Avrupa, biyogaz üretimi ve kullanımında dünya lideridir. Danimarka, Estonya ve Finlandiya’da üretilen elektriğin %15’inden fazlası biyokütleden kaynaklı CHP tesislerinden gelirken, belediye katı atıklarının elektrik üretimi için önemli bir değere sahip olduğu İsveç, elektrik enerjisini biyogazdan üreten ve bu konuda lider olan ülkeler arasında, Almanya, İngiltere ve Brezilya gibi ülkelere de bu 3 ülkeyi takip etmektedir. Kanada, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Avrupa Birliği (AB) gibi birçok ülke, 2050’lerde enerji ihtiyaçlarının %25-50’sinin biyokütleden karşılanması amacıyla sırasıyla 40 milyon hektar, 100 milyon hektar ve 200 milyon hektar alanı ağaçlandırmaya ayırdı (Ilgar, 2016). Biyokütle ve fosil yakıtlar gibi küresel malzeme tüketiminin önümüzdeki 40 yıl içinde dünya genelinde iki katına çıkması beklenirken, yıllık atık üretiminin de 2050 yılına kadar %70 oranında artması bekleniyor. 2015 yılı Paris İklim Anlaşması Ülkeler Bildirgesi’nin imzalanması ile küresel iklim değişikliğini 2°C’nin altında tutulmasının taahhüt edilmesi, tüm ülkeleri başta biyokütle enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarını uygulamaya yöneltmiştir (PwC, 2021). Çizelge 1.2’de Dünya’da biyoyakıtların durumu gösterilmektedir.

**Çizelge 1.2 : Dünya’da biyoyakıtların durumu (Akman ve diğ, 2023).**

Ülke	Ürün	Enerji Bitkisi	Biyoyakıt Üretimi
ABD	Biyometanol	Mısır	66 milyar litre/yıl
	Biyodizel	Soya, Kanola, Mısır, Pamuk, Fıstık, Ayçiçeği	9,5 milyon litre/yıl
Almanya	Biyodizel	Kanola, Mısır, Şeker Pancarı	3,2 milyon litre/yıl
	Biyometanol	Mısır, Buğday, Arpa Şeker Pancarı, Şeker Kamışı	613 bin ton/yıl
	Biyogaz	Mısır silajı, Çim, Şeker Pancarı	132 bin ton/yıl
İsviçre	Biyodizel	Tall Yağı (Ağaç ürünlerinin işlenmesinden sonra oluşan yağ)	1,6 milyar litre/yıl
	Biyometanol	Mısır, Talaş, Saman, Şeker Kamışı	190 milyon litre/yıl
	Biyogaz	Mısır silajı, Çim, Şeker Pancarı	1,3 TWh/yıl
	Biyogaz	Çim, Bitkisel Artıklar	14,5 milyar m <sup>3</sup> /yıl
Çin	Biyometanol	Mısır, Pirinç, Akdarı, Kassava, Şeker Kamışı	3,4 milyar litre/yıl

Gelişmiş ülkeler, birincil enerji tüketiminde biyoyakıtların kullanımını artırmak ve zamanla fosil yakıtların yerini yenilenebilir enerji kaynaklarının almasını sağlamak için adımlar atmaktadırlar. 2018 yılı anket verilerine göre, bu sektörde 3,2 milyon kişi çalışmaktadır. Bu da biyokütle enerjisi sektörünün küresel yenilenebilir enerji istihdamının üçte birini oluşturduğu anlamına gelmektedir (İleez, 2020).

### 1.1.2.1 Biyogaz’ın üretimini etkileyen çeşitli faktörler

#### 1. pH/Alkalinite

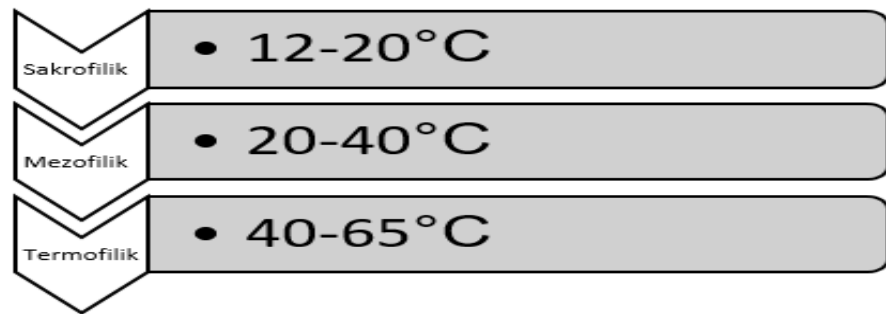
Bu değerler, bir biyogaz üretim prosesinde anaerobik performans verimini etkileyen parametrelerin başında gelmektedir. Hidroliz aşamasında pH aralığı 5-6, asitojenesis aşamasında ise pH aralığı 5,5-6,5 arasındadır. Metan bakterileri için uygun pH değerleri 7 (nötr) veya hafif alkali değer olan 6,5-8 aralığıdır. İnhibitör etki açısından,

pH değeri ne kadar düşük ise, metanojen bakterilerinin çalışması o kadar düşük olmaktadır. Düşük performansta çalışan metan bakterileri nedeniyle uçucu yağ asit miktarı artmaktadır. Reaktörlerde pH değeri düştüğü zaman 2 yaklaşım uygulanmaktadır. Birinci yaklaşım, reaktöre hammadde girişini kesmek ve böylece metan bakterilerinin konsantrasyonu artarak uçucu yağ asidi miktarı azaltılabilir. İkinci yaklaşımda ise ortama alkali kimyasal maddeler eklenerek pH değerinin artırılmasıdır. Bakteri aktivitesinin inhibisyonunu önlemek için bu kimyasalların uygun miktarlarda ve azar azar eklenmeleri gerekmektedir. pH'nın kararlı bir hale gelebilmesi için kullanılan kimyasallardan en bilineni sönmüş kireç olarak da bilinen kalsiyum hidroksit ve sodyum bikarbonat (soda)'tır.

Alkalinite; proses içerisinde birikmesi muhtemel yağ asidi miktarı ve proses içindeki tamponlanma kapasitesi hakkında bilgi vermektedir. Uçucu Yağ Asidi/Toplam Alkalinite oranı, pek çok çalışmada, proses performansını izlemek için bir indikatör olarak kullanılabilen ve sağlıklı çalışan bir anaerobik reaktörde bu oranın 0,1-0,35 arasında olması istenmektedir. Bu oran 0,5'den büyük olması durumunda sistemin stabil olmadığını, 1'den büyük olması gaz üretiminin çok düştüğünü gösterir.

## 2. Sıcaklık

Anaerobik prosesinde önemli rol oynayan ve düzenli takip gerektiren parametrelerden biridir. Biyogaz üretimini gerçekleştiren bakteri türleri sıcaklık değişimlerine karşı oldukça hassastırlar ve özellikle çok yüksek ve çok düşük sıcaklıklarda metanojenik bakterilerin aktiviteleri düşük olmaktadır. Bu bakterilerin verimli bir şekilde çalıştığı ortalama sıcaklık aralıkları aşağıda verilmektedir. Sıcaklığın 10°C'nin altına düşmesi durumunda biyogaz üretimi durmaktadır. Şekil 1.5'te bakterilerin verimli bir şekilde çalıştığı ortalama sıcaklık aralıkları gösterilmektedir (Akman ve diğ., 2023; Hacısalihoğlu, 2022).



Şekil 1.5 : Bakterilerin verimli çalıştığı ortalama sıcaklık aralıkları.

### 3. Karbon/Azot (C/N) Oranı

Fermentasyonda kullanılan anaerobik bakteriler, kullanacakları enerji eldesinde karbon (C) ve büyüme ve üremeleri için ise azot (N) ihtiyaç duyarlar. Biyogaz proseslerinde optimum C/N oranı 25/1 olarak kabul edilir. C/N oranı 25/1'den fazla ve 10/1'den az olmamalıdır. Bu oranın 10'dan küçük olması durumunda amonyak üretiminin oluşmasına neden olacaktır ve bu durumda, reaktördeki biyogaz üretimini ve bakteri aktivitesini olumsuz yönde etkileyecektir. 25'in üzerinde ise uçucu yağ asitleri biyogaz üretiminde yavaşlamasına neden olur.

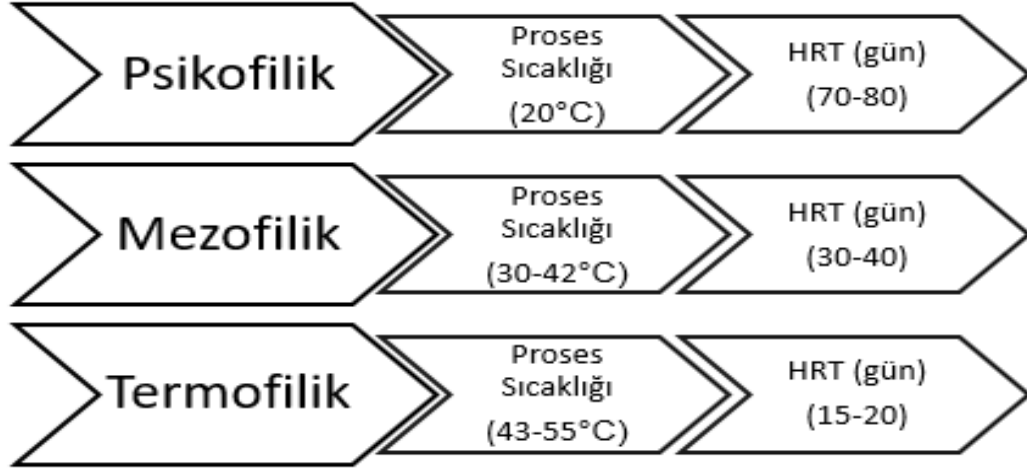
### 4. Organik Madde Yükleme Oranı (Organic Loading Rate) (ORL)

Anaerobik ortamda bulunan mikroorganizmaların organik madde yönünden günlük olarak desteklenmesi amacıyla reaktör içerisine yüklenen organik madde miktarını ifade eder. Kısaca, birim reaktör hacmine bir günde yüklenen organik madde miktarını göstermektedir. Optimum organik madde oranı, kullanılan hammaddelerin organik madde yüzdeleri, bekleme süresi ve proses sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Organik loading rate (ORL), prosesin durumuna göre belirli bir aralıkta olmalıdır. Reaktöre istenilenden daha az organik maddelerin yüklenmesi ile mikroorganizmalar yeterince beslenememekte ve bu nedenle gaz üretimi azalmaktadır. İstenilenden daha fazla yüklenmesinde ise ortamda uçucu yağ asidi oranı artma buna bağlı olarak da pH değerinin düşmesine neden olacaktır bu durumda gaz üretimini azaltmaktadır. Organik madde yükleme oranı metan ve biyogaz veriminin yanında biyogaz reaktörleri içerisinde köpük oluşumunu da tetikleyebilmektedir. Köpük oluşumu, reaktörlerde taşıma, karıştırma ve iletim elemanları gibi birçok ünitenin çalışmasını mekanik olarak zorlaştırdığı gibi biyolojik aktivite üzerinde de bazı sorunlara neden olabilmektedir.

### 5. Hidrolik Bekletme Süresi (Hydraulic Retention Time) (HRT)

Biyogaz üretiminde kullanılan organik hammaddelerin fermentasyon koşullarında reaktör içerisinde bekletildiği süreyi ifade etmektedir. Hidrolik bekletme süresinin uzunluğu; iklim değişkenleri, proses sıcaklığı, kullanılan hammaddelerin kalitesi, çalışma parametreleri ve hammaddelerin metan oluşturma potansiyelinden ne ölçüde yararlanıldığı gibi parametrelere bağlıdır. Örneğin hammadde içerisinde selüloz gibi yağ ve karbonhidratlardan daha zor ayrışan bileşenlerin yüksek olması hidrolik bekleme süresini uzatacaktır.

Biyogaz üretim tesislerinde hidrolik bekleme süreleri genellikle 20-120 gün gibi geniş bir aralıkta kullanılabilir. Optimum hydraulic retention time (HRT) seviyesinde atıkların %70-80'inin fermente olduğu kabul edilmektedir (Öztürk, 2005). Optimum HRT değerinin belirlenmesinde en önemli faktör proses sıcaklığıdır. Şekilde 1.6'da hidrolik bekleme süresi ve proses sıcaklığı arasındaki değişim gösterilmiştir.



**Şekil 1.6 :** Hidrolik bekleme süresi ve proses sıcaklığı arasındaki değişim (Al Seadi ve diğ., 2008).

Şekil 1.5'teki bu değerler atık özelliklerine ve diğer proses parametrelerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Kullanılan malzemelerin içeriği de optimum HRT seviyelerini etkiler. Örneğin, mezofilik koşullarda sıvı sığır gübresinde HRT 12-30 gün ve saman atığı içeren sığır gübresinde HRT 18-36 gün ve bitki ve odun atıkları için HRT 50-80 gün seviyelerinde olmaktadır (İlkılıç ve Deviren, 2011).

Hidrolik bekletme süresinin belirlenen aralıktan daha uzun günlerde tutulması, zamanla mikroorganizmaların besinlerini tüketmeleri sonucunda mikroorganizmaların besinlerini tüketmeleri sonucunda popülasyonlarının azalması nedeniyle yeni reaktöre yüklenecek olan hammaddenin ayrışma hızlarını da olumsuz yönde etkileyerek biyogaz verimini düşürebilmektedir. Bu durumdan dolayı da hidrolik bekleme süresini en uygun değerlerde tutabilmek için bakteri popülasyonları da göz önünde bulundurulmalıdır.

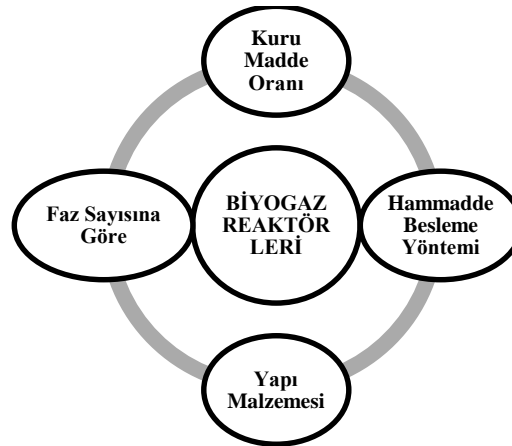
#### 6. Hidrojen Sülfür ( $H_2S$ )

Biyogaz'ın içerisinde  $H_2S$ , nem ve  $CO_2$  vardır. Biyogazın ısı değerinin daha fazla olması için bu bileşenlerin biyogaz içerisinden arıtılması gereklidir (saflaştırma işlemi). Biyogaz yakıldığı zaman içerisinde bulunan hidrojen sülfür tepkimeye girerek

Sülfür Dioksiti ( $\text{SO}_2$ ) oluşturmaktadır.  $\text{SO}_2$  atmosferdeki su ile tepkimeye girdiği zamanda asit yağmurlarını oluşturmaktadır. Asit yağmurlarında tarımdaki ürünlere, doğal kaynaklara vs. zarar vermektedir. Ayrıca  $\text{H}_2\text{S}$  kötü kokulara ve borularda korozyonlara sebebiyet verebilmektedir. Bu nedenle biyogaz içerisinde bulunan  $\text{H}_2\text{S}$  'in ortamdan uzaklaştırılması gereklidir. Desülfürizasyon, biyogazda  $\text{H}_2\text{S}$  oranının düşürülmesi için kullanılan bir yöntemdir. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemleri mevcuttur. Biyolojik yöntemde giderim, kule içerisinde yüzeylere tutunan birtakım mikroorganizmalar sayesinde hidrojen sülfürü parçalaması ile sağlanır. Biyolojik desülfürizasyon sistemleri ilk yatırım maliyetleri olarak yüksek maliyetli desülfürizasyon sistemleridir. Fakat işletme maliyeti olarak kimyasal desülfürizasyon sistemlerine göre daha avantajlıdır. Fiziksel süreçte ise kule içerisine gelen  $\text{H}_2\text{S}$  su ile yıkanır ve çözünerek sülfür iyonuna dönüştürülür. Kimyasal süreçte ise kule içerisinde yıkama suyuna kimyasal madde eklenir ve oluşan bu su ile  $\text{H}_2\text{S}$  yıkanır, reaksiyona girer ve biyogaz içerisinden ayrılmış olur. Kimyasal desülfürizasyon ilk yatırım maliyeti biyolojik desülfürizasyon sistemine göre daha düşüktür. (Url-3)

### 1.1.2.2 Reaktör tipleri

Biyogaz reaktörleri, mikrobiyal proseslerin kontrollü, etkin ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Temel amaç aynı olsa da aslında biyogaz reaktörlerinin farklı türleri bulunmaktadır. Ayrıca biyogaz tesisi kuran firmaların geliştirdikleri birçok reaktör yapısı da bulunmaktadır. Biyogaz reaktörleri sınıflandırmaya tabi tutulduğunda bu ayırım; faz sayısına, kuru madde oranına, hammadde besleme yöntemine ve yapı malzemesine göre gerçekleştirilebilir. Şekil 1.7'de biyogaz reaktör tipleri gösterilmiştir.



Şekil 1.7 : Biyogaz reaktör tipleri (Akman ve diğ, 2023).

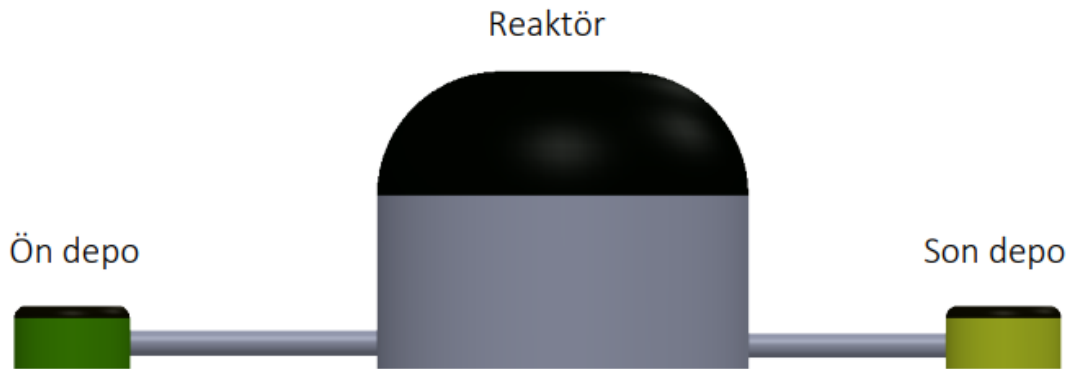
### A) Faz Sayısına Göre Reaktörler

Biyogaz reaktörleri yaygın olarak 1 aşamalı ve 2 aşamalı olarak kullanılmaktadır.

#### 1) Bir Aşamalı Reaktörler

Bir aşamalı reaktörlerde anaerobik işlemin tüm süreçleri aynı reaktör içerisinde gerçekleşmektedir.

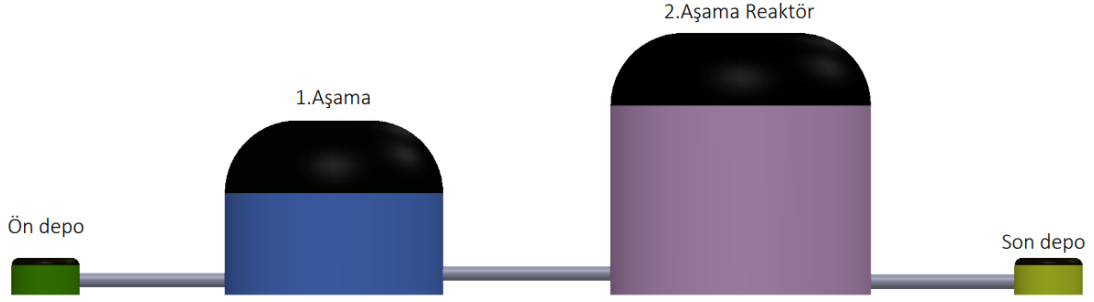
İlk önce hammadde hazırlama ünitesinde (ön depo) hammaddeler hazırlanır daha sonra reaktöre yüklenir ve kullanılan sistemin karakteristiklerine (kesikli, sürekli vs.) bağlı olarak mikrobiyolojik süreç yürütülür. Bir reaktörün içerisinde anaerobik sürecin tüm aşamalarının gerçekleştirilmesi; PH değişimlerine duyarlılık, mikroorganizma popülasyonları arasında rekabet gibi durumların artması sebebiyle HRT süresi uzayabilmektedir. Bir aşamalı reaktörlerde serbest amonyum azotu konsantrasyonlarında yükselişler yaşanabilmektedir ve bu durum metan verimini %50 seviyesine kadar düşürmektedir. Bu olumsuzlukları onarmak amacıyla iki aşamalı sistemler geliştirilmiştir. Şekil 1.8’de bir aşamalı reaktör sistemi gösterilmektedir.



**Şekil 1.8 :** Bir aşamalı reaktör sistemi çizimi.

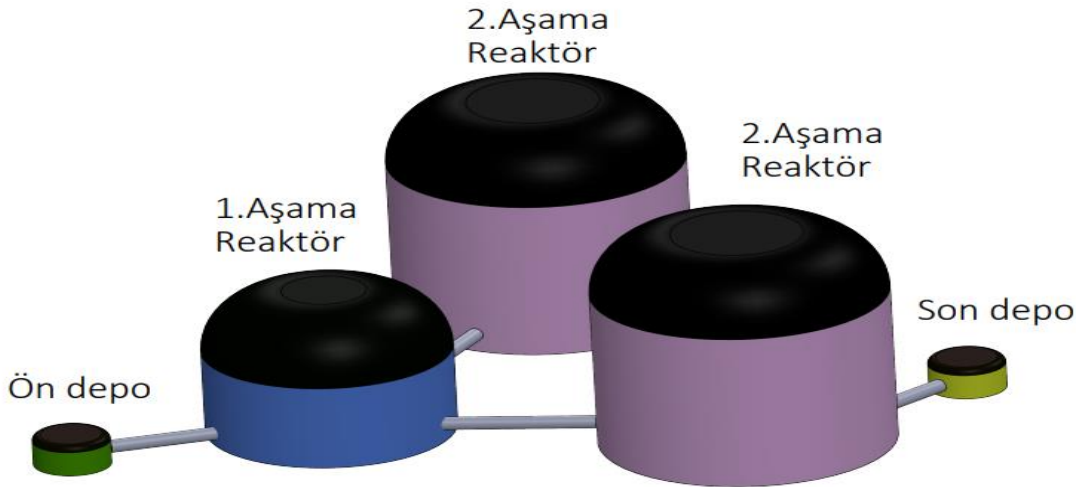
#### 2) İki Aşamalı Reaktörler

İki aşamalı bir reaktör için; Birinci reaktörde hidroliz ve asit üretimi gerçekleşirken, ikinci reaktörde asetat ve metan üreten bakteriler ile metan üretimi gerçekleştirilir. İki aşamanın farklı reaktörlerde çalıştırılması verimliliği artırır. Şekil 1.9’da iki aşamalı reaktör sistemi gösterilmektedir.



**Şekil 1.9 :** İki aşamalı reaktör sistemi çizimi.

Her iki iki aşamalı reaktörde de süreç mezofilik veya termofilik koşullar altında devam edebilir. Ancak iki kademeli reaktörlerde yapılan çalışmalarda birinci kademe reaktörde termofilik koşulların, ikinci kademe reaktörde ise mezotermal koşulların sağlanmasının proses başarısı ve enerji tasarrufu açısından daha iyi sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir. İki aşamalı sistemde dikkate alınması gereken diğer bir faktör de reaktörün hidrolik bekleme süresidir. Kullanılan hammaddenin biyolojik olarak parçalanabilirliğine bağlı olarak, birinci aşama reaktör, tipik olarak termofilik koşullar altında HRT 1-4 gün, ikinci aşama reaktör için mezofilik koşullar altında HRT 10-15 gün ve termofilik koşullar altında ise HRT 10-12 gün olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla birinci kademeden bekleme süresinin ikinci kademeye göre daha kısa olması reaktör hacimlerinin farklı olduğunu düşündürmektedir. İki aşamalı reaktörlerin kullanıldığı sistemlerde, birinci aşama reaktörün hacmi, ikinci aşama reaktörün hacminden daha küçüktür. Bu uygulamaya alternatif olarak Şekil 1.10'da reaktör hacimlerinin aynı olduğu ancak iki fazlı reaktörlerin birinci fazlı reaktörlere göre daha fazla kullanıldığı sistemler gösterilmektedir.



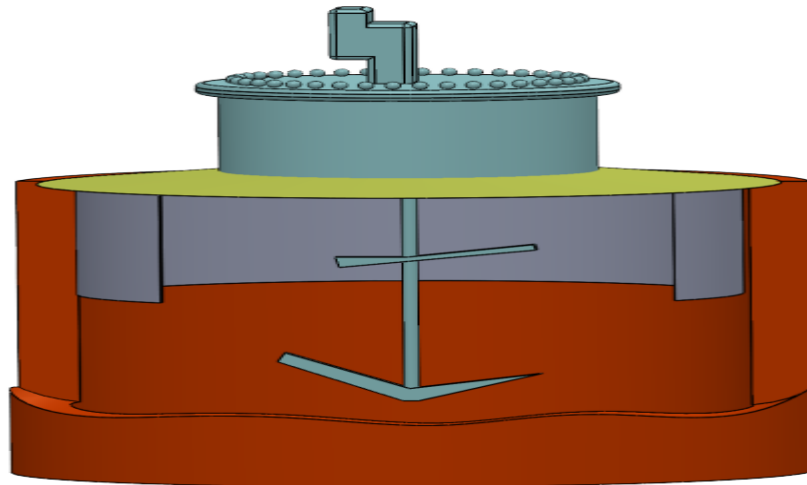
**Şekil 1.10 :** İki aşamalı reaktör sistemi çizimi.

## B) Kuru Madde Oranına Göre Reaktörler

Reaktördeki karışımın katı madde içeriği %20'den fazla olacak şekilde tasarlanan reaktörlere "Kuru Fermantasyon Reaktörleri", bu oranın altında katı maddeyle çalışan reaktörlere ise "Yaş Fermantasyon Reaktörleri" adı verilir.

### 1) Yaş Fermantasyon Reaktörleri

Yaş fermantasyon, %20 kuru madde oranının altındaki karışımlardan biyogaz üretimi gerçekleştirecek şekilde tasarlanmış reaktör tiplerini ifade etmektedir. Bu sistemlerde, hammadde için sulandırma ön işlemleri sıklıkla gerekebilir. Yaş fermantasyon sistemleri genellikle yüksek ve düşük hızlı sistemler olmak üzere iki kategoriye ayrılır (Türker, 2021). Düşük hızlı reaktörler, eski ve basit yapıya sahip olup, ısıtma yapılmayan, etkin bir karıştırmanın olmadığı ve hidrolik bekleme süresinin 30-60 gün arasında olduğu sistemlerdir. Günümüzde ise modern biyogaz tesislerinde genellikle yüksek hızlı yaş fermantasyon sistemleri tercih edilmektedir. Bu sistemlerde hidrolik bekleme süresini azaltmak ve biyogaz verimini arttırmak amacıyla ısıtma ve etkin karıştırma uygulamaları sıklıkla gerçekleştirilmektedir. Bu reaktörlerin ilk örnekleri PFR olarak görülmektedir. Ancak günümüzde, sürekli karıştırmalı tank tipi reaktör (CSTR), biyogaz üretimi için yaygın olarak tercih edilmektedir. Şekil 1.10 CSTR tipi iç reaktör yapısı gösterilmektedir. CSTR reaktörler, termofilik ve mezofilik şartlarda işletilebilir. Bu reaktörlerde karıştırma işlemi, karışımın sürekli homojen olmasını, reaktör içerisindeki materyalin pH seviyelerinin bölgesel artışlarının engellenmesini, reaktör içerisinde ölü noktaların azalmasını ve sıcaklığın düzgün dağılımını sağlar (Akman ve diğ., 2023). Şekil 1.11'de CSTR tipi reaktör dıştan görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 1.11 : CSTR tipi iç reaktör yapısı.

Son yıllarda geliştirilen reaktör tipleri arasında yukarı akışlı reaktör (UASB), özellikle düşük kuru madde oranlarıyla karakterize edilen ortamlarda etkin bir biçimde işlev görmektedirler.

## *2) Kuru fermentasyon reaktörleri*

Bu sistemlerin işletilmesinde iki temel sorun ortaya çıkmaktadır: viskozitesi yüksek hammaddenin karıştırılması ve pompalanmasındaki zorluklar. Ancak, kuru fermentasyonun olumlu etkilerinden faydalanmak ve olumsuz yönlerini aşmak için çeşitli reaktör tasarımları geliştirilmiştir. Bu yeni tasarımlar, kuru fermentasyonun verimliliğini artırırken, aynı zamanda hammaddenin işlenmesindeki zorlukları da minimize etmeyi amaçlamaktadır. Kuru fermentasyon teknolojileri arasında öne çıkan Dranco, Kompogas ve Valorga sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemler, biyogaz üretiminde etkinliği artırmak ve hammaddenin işlenmesindeki zorlukları en aza indirmek için geliştirilmiş yenilikçi çözümler sunmaktadır.

## *C) Hammadde Besleme Yöntemine göre reaktörler*

Anaerobik reaktörler, işletim şekillerine göre kesikli (Batch), yarı kesikli (Fed-Batch) ve sürekli fermentasyon sistemleri olmak üzere sınıflandırılabilir.

### *1) Kesikli (Batch) fermentasyon sistemleri*

Reaktörün bir kerede ya da kademeli olarak yüklenmesi ve kademeli olarak yüklenmesinden dolayı değişen bekleme süreleri sonrası reaktörün tamamen boşaltılması ile çalışan biyogaz üretim sistemidir. Her bekleme süresince ortama yeni substrat veya mikroorganizma ilavesi yapılmamaktadır. Endüstriyel uygulamalarda daha çok bu sistem tercih edilmektedir.

### *2) Yarı kesikli (Fed-Batch) fermentasyon sistemleri*

Reaktör başlangıçta kesikli olarak başlatılmakta ve belirli bir oranda substrat ile doldurulmaktadır. Substratlar tükenmeye başlayınca çeşitli zamanlarda ortama substrat beslemesi yapılmaktadır. Süreç içerisinde reaktörden ürün uzaklaştırması yapılmamakta ve fermentasyon sonucunda yüksek derişimde biyokütle ve ürün elde edilmektedir. Bu fermentasyon sisteminde reaktör tamamen boşaltılarak, yeniden doldurulmaktadır.

### *3) Sürekli fermantasyon sistemleri*

Reaktörden gaz çıkışı başladığında organik madde günlük olarak eklenir. Her gün reaktöre belirli bir miktarda organik madde verilmekte ve yeteri kadar bekleme süresi sonrası günlük reaktöre verilen organik madde, fermente edilmiş ürün olarak reaktörden alınmaktadır.

#### *D) Yapı malzemesine göre reaktörler*

Reaktörün yapımında kullanılan malzeme; proses başarısını, reaktör maliyetini ve ömrünü önemli seviyede etkilemektedir.

##### *1) Basit yapılı beton, tuğla ve plastik reaktörler*

Basit yapılı biyogaz reaktörleri, genellikle küçük ölçekli ve üretilen gazın çoğunlukla ısıl enerji dönüşümü için kullanıldığı sistemlerdir. Bu tür sistemlerin çoğunda ısıtma uygulaması yapılmadığı için, koşullar psikofilik olduğundan metan verimleri düşük olabilir. Ancak, bu tür reaktörlerin basit yapısı ve düşük maliyeti, özellikle kırsal alanlarda veya kaynak sınırlı yerlerde biyogaz üretimi için tercih edilmelerini sağlar. Metan verimini artırmak için çeşitli yöntemler ve iyileştirmeler geliştirilmektedir, ancak bu genellikle ek maliyetler getirebilir ve tasarımı karmaşık hale getirebilir.

Beton ve tuğla yapılı basit biyogaz sistemleri, genellikle kendi içlerinde sabit kubbeli ve hareketli kubbeli sistemler olmak üzere iki türde üretilmiştir. Bu sistemlerde, ön karıştırma havuzunda hazırlanan karışım yer altındaki reaktör kısmına yüklenir ve burada anaerobik süreç sonunda üst kısımdan gaz çıkışı sağlanır. Bu şekilde, organik malzeme içeren karışımın fermantasyonu ve gaz üretimi gerçekleştirilir.

Basit yapılı plastik reaktör sistemleri, küçük ölçekli biyogaz üretimi için kullanılmaktadır. Bu tesisler genellikle balon tipi ve polimer tank malzemedен imal edilmiş sistemler olarak sınıflandırılabilir. Balon tipi basit sistemlerde, genellikle yarısı toprak altında kalacak şekilde konumlandırılmış özel üretim balon reaktörler kullanılmaktadır. Polimer tank tipi biyogaz sistemlerinde ise günlük yükleme yapılmakta ve genellikle hareketli kubbeli olarak imal edilmektedirler.

##### *2) Güçlendirilmiş Beton*

Biyogaz tesislerinde reaktör yapımında beton malzeme kullanımı oldukça yaygındır. Betonun istenilen formda uygulanmasının kolay olması, fiziksel ve kimyasal olarak dayanıklı olması, içerisine farklı katkı maddeleri eklenerek özelliklerinin

değiştirilebilir olması ve kolay temin edilebilmesi, betonun biyogaz tesislerinde tercih edilmesinin önemli sebeplerindendir. Beton, biyogaz tesislerinin reaktörlerinin yapımında kullanıldığında, uzun ömürlü ve sağlam bir yapı oluşturur ve tesisin dayanıklılığını artırır. Bu nedenle, beton reaktörler biyogaz tesislerinde geniş bir kullanıma sahiptir. Biyogaz tesislerinin üretiminde genellikle C25/30 kalitede beton malzeme kullanılmaktadır. Ancak, gaz ile temas eden kısımlarda daha yüksek dayanıklılık gerektiğinden, C35 kalitesinde betonlar tercih edilmektedir. Bu, gaz ile temas eden bölgelerin daha dayanıklı olmasını sağlayarak reaktörün uzun ömürlü olmasına katkı sağlar.

Beton kalitesinin yanı sıra, reaktör malzemesini sudan ve asitten korumak için ek önlemler de alınmalıdır. Bu önlemler, reaktörün dayanıklılığını artırarak çürüme veya erozyon gibi olumsuz etkilerin önüne geçilmesine yardımcı olur. Bu sayede biyogaz tesislerinin verimli ve güvenli bir şekilde çalışması sağlanır (Akman ve diğ., 2023). Bu kapsamda reaktörlerin iç yüzeylerinde koruyucu kaplamalar yapılmaktadır. Bunlar;

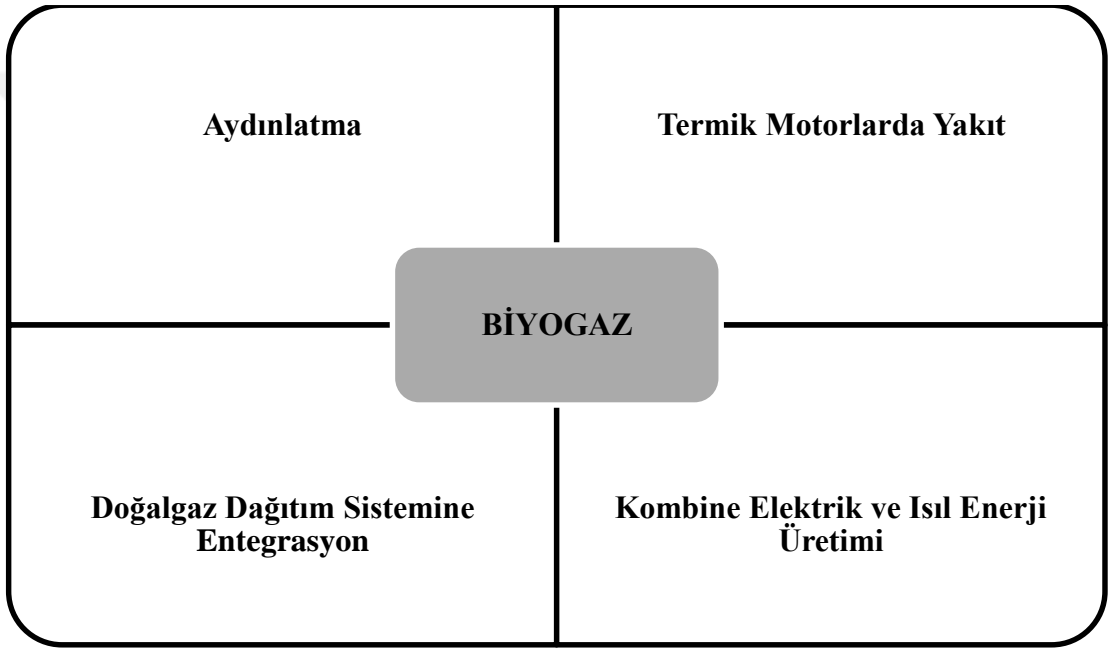
- Bitün kaplama
- Çeşitli polimer ve plastik esaslı kaplama malzemeleri
- Epoksi ve bitüm karışımları
- Poliüretan kaplama (kuvars katkılı yapılabilmektedir)
- Asfalt kaplama

### 3) Çelik konstrüksiyon reaktörler

Modern biyogaz tesislerinde güçlendirilmiş beton malzemedен sonra en yaygın yapı malzemesi çeliktir. Çelik, biyogaz tesislerinde kullanılan birçok yapıda tercih edilen bir malzemedir. Özellikle çelik yapılar, dayanıklılıkları ve hızlı montaj süreçleri gibi avantajları nedeniyle popülerdir. Bu nedenle, çelik biyogaz tesisleri genellikle beton bir temel üzerine konumlandırılır. Çelik malzemelerin avantajları arasında yüksek mukavemet, hızlı kurulum, betona göre daha düşük reaktör ağırlığı, tamir ve bakımın kolaylığı sayılabilir. Çelik konstrüksiyon reaktörlerde genellikle paslanmaz çelik veya galvanizli sac levhalar kullanılmaktadır. Bu malzemeler, dayanıklılıkları ve korozyona karşı dirençleri nedeniyle biyogaz üretim tesislerinde tercih edilir (Akman ve diğ., 2023).

### 1.1.3 Biyogaz kullanım alanları

Biyogaz, metanın yanmasıyla çeşitli enerji dönüşümlerine olanak tanır. Biyogaz tesislerinden elde edilen gaz, çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Bu amaçlar arasında ısıtma, aydınlatma, termik motorlarda yakıt olarak kullanma, doğal gaz sistemlerine entegrasyon, combined heat and power veya kojenerasyon (CHP) sistemlerinde ısı enerji ve elektrik üretimi yer alır. Biyogazın esnek kullanımı, sürdürülebilir enerji üretimi ve atık yönetiminde önemli bir rol oynar. Bu şekilde, biyogazın çeşitli enerji ihtiyaçlarını karşılamak için çok yönlü bir kaynak olduğu görülür. Biyogazın kullanıldığı alanlar Şekil 1.12’de gösterilmektedir.



Şekil 1.12: Biyogazın kullanım alanları (Akman ve diğ., 2023).

#### 1) Isıtma ve aydınlatma için kullanım

Biyogazın, kurulduğu işletmede ısıtma ihtiyacının karşılanması amacıyla kullanıldığı işletmeler küçük ölçekli aile işletmeli veya yüksek proses ısısına ihtiyaç duyan işletmeler olarak gruplandırılabilir. Küçük aile işletmelerinde, düşük teknoloji tesislerden üretilen biyogaz; gaz sobalarında, özel tasarım kaloriferlerde ve biyogaz ocaklarında kullanılabilir. Biyogazın ısıtmada en efektif şekilde kullanılabileceği yöntem özel tasarımlı su ısıtıcılarıdır. Bu sistemlerde yakılan biyogazdan elde edilen ısı enerjisi bir eşanjör yardımıyla suya aktarılmaktadır. Sıcaklığı arttırılan su; konutların ısıtılması, evsel sıcak su ihtiyacının karşılanması ve bazı işletmelerde proses ısısının karşılanması gibi amaçlarla kullanılabilir.

Biyogaz lambaları günümüzde çok yaygın olarak kullanılmasa da, 1970'li yıllarda küresel enerji krizi döneminde aydınlatmada önemli bir alternatif oluşturuyordu. Tarih boyunca biyogazın aydınlatma için kullanımına dair bazı örnekler mevcuttur. Örneğin, 1895 yılında İngiltere'de kanalizasyon sisteminden üretilen biyogaz ile sokak aydınlatmaları yapılmıştır (Avcıoğlu, 2011). Ancak, biyogaz kullanarak çalışan lambaların verimliliği oldukça düşüktür. Bu tür lambalar, enerjinin yalnızca %3'ünü ışığa dönüştürebilmektedirler. Şekil 1.13'te Biyogaz ile çalışan aydınlatma aracı gösterilmektedir.



**Şekil 1.13 :** Biyogaz ile çalışan aydınlatma aracı (Hunda, 2022).

Biyogaz, doğrudan ısıtma ve aydınlatma amacıyla kullanılabilir; ancak, bu uygulamaların hem verimlilik hem de kullanım kolaylığı ile güvenlik açılarından sınırlılıkları bulunmaktadır. Bu nedenle, modern biyogaz tesislerinde biyogazın elektrik ve ısı enerjisiye dönüştürülerek kullanımı tercih edilmektedir. Biyogazın elektrik ve ısı enerjisiye dönüştürülmesi, daha verimli bir enerji kullanımını sağlar. Elektrik enerjisi, aydınlatma, elektrikli cihazlar ve endüstriyel işlemler gibi birçok farklı alanda kullanılabilir. Isıl enerji ise ısıtma, sıcak su sağlama ve endüstriyel işlemler için kullanılabilir (Akman ve diğ., 2023).

## *2) Taşıtlar ve iş makineleri için yakıt olarak kullanımı*

Son yıllarda elektrikli araçların üretiminde önemli bir ilerleme sağlanmış olsa da günümüzde taşıtlar ve iş makineleri genellikle güç ihtiyaçlarını büyük oranda termik motorlar vasıtasıyla karşılamaktadır. Bununla birlikte, biyogazın otomobil ve diğer araçlarda kullanımına dair birçok çalışma bulunmaktadır.

Volvo firması tarafından geliştirilen bir araçta biyogaz veya doğal gaz ile benzin yakıt kullanabilen çift yakıtlı dönüşümlü bir teknoloji bulunmaktadır. Bu teknoloji, benzinli

bir motorun modifiye edilerek biyogaz veya doğal gazla çalışmasını sağlar (Pesic ve diğ, 2018).

Biyogaz, sadece otomobillerde değil, aynı zamanda toplu taşıma araçları, iş makineleri ve traktörler gibi çeşitli araçlarda da kullanılabilir. İsveç merkezli otobüs, iş makinesi ve tır üreticisi olan Scania, biyometanı kullanan taşıtlar konusunda önemli çalışmalar yapmaktadır.

### *3) Doğalgaz dağıtım sistemine entegrasyon*

Biyogaz tesislerinde üretilen gaz, temizleme ve arındırma işlemlerine tabi tutulduktan sonra doğalgaz hatlarına verilebilmektedir. Bu işlemler, gazın kalitesini artırmak ve doğalgazla uyumlu hale getirmek amacıyla gerçekleştirilir. Biyogaz içerisinde kullanılan teknoloji ve hammaddelere bağlı olarak %55-70 arasında metan bulunurken, doğalgaz içerisinde ise %95-98 oranında metan bulunmaktadır.

Biyogazın doğalgaz hattına verilebilmesi için öncelikle biyogazın içerisindeki metan konsantrasyonunun artırılması gerekmektedir. Bu durumun da gerçekleştirilebilmesi için metandan sonra en yüksek konsantrasyona sahip gaz olan karbondioksitin ve mekanik sistemler için korozif etkisi olan hidrojen sülfürün temizlenmesi gerekmektedir.

Doğalgaz tesislerinde biyogazın kullanılabilmesi için biyometan olarak adlandırılan gazın üretilmesi gerekmektedir. Biyometan, bileşimindeki metan dışındaki gazlardan arındırıldıktan sonra elde edilir. Ancak, doğalgaz tesislerindeki gaz standartlarının bozulmaması için biyometanın ısı değeri doğalgaza eşitlenmelidir. Biyometanın ısı değerinin doğalgazla uyumlu hale getirilmesi gerekiyorsa, ısı değeri düşürülmek isteniyorsa hava ilavesi yapılabilir. Bu durumda, biyometanın içerisine hava eklenerek karışımın ısı değeri düşürülebilir. Buna karşılık, biyometanın ısı değerinin yükseltilmesi isteniyorsa, propan-bütan gibi yüksek ısı değere sahip gazların ilavesi yapılabilmektedir.

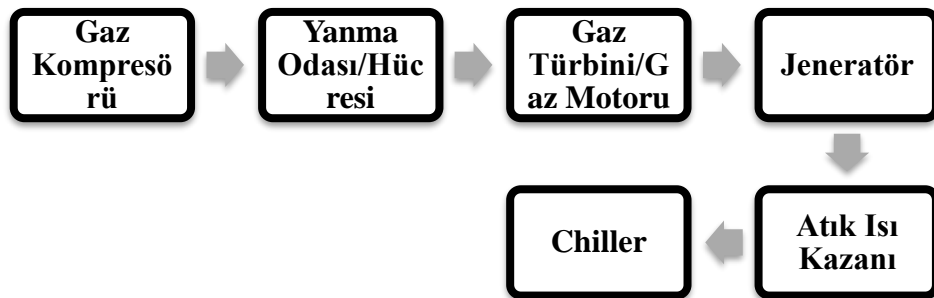
Biyogaz, doğalgaz hattına verilebilecek nitelik kazandırıldıktan sonra dağıtım sistemine gönderilmektedir. Özellikle AB ülkelerinde bu uygulamalar oldukça yaygındır. AB ülkelerinde toplam 367 biyogaz tesisi bulunmaktadır ve bu tesislerin toplam kapasitesi 310.053 m<sup>3</sup>/saat seviyesindedir (Url-4). 2020 yılı istatistiklerine göre, Avrupa Birliği ülkelerinde doğalgaz hattına enjekte edilen biyometan yoluyla arz

edilen enerji miktarları şu şekildedir: Almanya'da 11.000 GWh, İngiltere'de 7.000 GWh, Fransa'da 4.337 GWh, Danimarka'da 4.000 GWh, Hollanda'da 2.160 GWh ve İtalya'da 2.100 GWh seviyelerine ulaşmıştır (Url-5). Bu istatistikler, AB ülkelerinde biyometanın doğalgaz sistemlerine entegrasyonunun ve enerji arzına katkısının önemini göstermektedir. Biyometanın kullanımı, sürdürülebilir enerji üretimi ve sera gazı emisyonlarının azaltılması açısından büyük öneme sahiptir, bu da Avrupa'da bu alanda yapılan çalışmaların artmasına yol açmaktadır.

#### 4) *Kombine elektrik ve ısı enerjisi üretimi*

Günümüzde biyogaz tesislerinde üretilen gazın en yaygın kullanım şekli, kombine elektrik ve ısı enerjisi üretim sistemlerindedir. Kombine elektrik ve CHP, basit çevrimle çalışan sistemlere göre daha yüksek verim sağlar. Çünkü basit sistemlerde gazın yakılmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisi sadece elektrik enerjisine dönüştürülürken, kombine sistemlerde hem elektrik hem de ısı enerjisi elde edilir. Ayrıca, combined cooling heat and power veya trijenerasyon (CCHP) sistemlerinde ise elektrik ve ısı enerjisi üretiminin yanında soğutma çevrimi de gerçekleştirilir.

CHP genellikle gaz kompresörü, yanma hücresi veya odası, gaz türbini veya motoru, jeneratör ve atık ısı toplama kazanından oluşur. Bu sistemlerde, gaz yakılarak elektrik üretilirken, gaz motorunda veya türbininde oluşan ısı enerjisi, soğutma suyu gibi bir akışkan tarafından toplanarak kullanılır. CCHP ise, elektrik ve ısı enerjisi üretiminin yanı sıra soğutma işlemi de gerçekleştirilir. Bu sistemlerde absorpsiyonlu bir çiller kullanılarak soğutma sağlanır. Bu sayede, aynı sistem içinde elektrik, ısı ve soğutma ihtiyaçları karşılanabilir ve enerji verimliliği maksimum seviyeye çıkarılabilir. Şekil 1.14'te Trijenerasyon ve kojenerasyon sistemlerinde kullanılan üniteler gösterilmektedir.



Şekil 1.14 : Trijenerasyon ve kojenerasyon sistemlerinde kullanılan üniteler.

CHP sistemleri, geleneksel elektrik veya ısı üretim sistemlerine kıyasla daha yüksek bir verimlilik sağlar. Bunun temel nedeni, CHP sistemlerinde elektrik ve ısı üretiminin aynı sistem içinde entegre bir şekilde gerçekleştirilmesidir. Geleneksel bir elektrik üretim tesisi, yalnızca elektrik üretiminde kullanılan yakıttan elde edilen enerjinin yalnızca bir kısmını elektrik enerjisine dönüştürebilir. Bu nedenle, yakıttan elde edilen enerjinin verimliliği genellikle %25 ila %40 arasında değişir. Ancak, CHP sistemlerinde, elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan atık ısı geri kazanılarak ısıtma veya sıcak su üretimi gibi başka amaçlar için kullanılır. Bu durum toplam enerji verimliliğini artırır ve yakıttan elde edilen enerjinin daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Sonuç olarak, CHP sistemlerinde enerji verimliliği %80 ila %90'a kadar çıkabilir, bu da geleneksel sistemlere kıyasla çok daha yüksektir (Kaparaju ve Rintala, 2013).

Biyogaz tesislerinde kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin kullanılması oldukça yaygındır. Bu sistemler, biyogazın üretim tesislerinde elektrik ve ısı üretimi için etkin bir şekilde kullanılmasını sağlar. CHP ünitelerinin doğru boyutta seçilmesi büyük öneme sahiptir. Bir CHP ünitesinin tesis kapasitesinden düşük seçilmesi durumunda, üretilen biyogazın tamamı kullanılamaz ve potansiyel enerji kaybı yaşanır. Bu durum, tesisin verimliliğini olumsuz yönde etkiler. Öte yandan, gereğinden büyük bir CHP ünitesi seçmek, fazladan yatırım maliyetlerine, artan bakım masraflarına ve düşük elektrik verimliliğine neden olabilir. Doğru boyutta bir CHP sistemi seçilmesi, tesisin biyogaz üretim kapasitesi, enerji talebi ve diğer faktörler dikkate alınarak yapılmalıdır. Slavica ve diğ. (2022) çalışmalarında 1000 kW elektrik çıkışına sahip bir biyogaz kojenerasyon tesisini farklı güç çıkışlarında çalıştırarak elektrik ve termal enerji üretim verimliliğini araştırmışlardır. Çizelge 1.3'te yaptıkları çalışma sonucunda elde ettikleri değerler gösterilmektedir.

**Çizelge 1.3 : 3 farklı yükleme oranında CHP verimleri (Slavica ve diğ, 2022).**

Yükleme Oranı	%100	%75	%50
Elektrik Üretim Verimi (%)	41,2	40,1	37,7
Isıl Enerji Üretim Verimi (%)	42,3	43,3	45

Yaptıkları çalışmada gözlemledikleri durum, yükleme oranının azalmasıyla birlikte elektrik üretim veriminin düştüğü ancak ısıl enerji üretim veriminin arttığıdır. Bu

durum, sistemin daha fazla ısındığını ve daha fazla ısı enerji ürettiğini göstermektedir. Bu bulgular ile biyogaz kojenerasyon sistemlerinin performansının yükleme oranına bağlı olarak nasıl değişebileceğini göstermektedir (Akman ve diğ, 2023).

#### 1.1.4 Biyogaz enerji sisteminin avantajları ve dezavantajları

Biyogaz enerji sistemlerinin avantajları olduğu gibi dezavantajlarında bulunmaktadır. Çizelge 1.4'te biyogaz enerji sisteminin avantajları ve dezavantajları gösterilmektedir.

**Çizelge 1.4 : Biyogaz enerji sisteminin avantajları ve dezavantajları.**

Avantajları	Dezavantajları
Atık geri dönüşümü sağlamaktadır. Böylelikle hem atık depolama giderleri azalmakta hem de daha temiz bir çevre oluşturmaktadır.	Biyogaz tesisleri bazı enerji ihtiyaçlarını karşılayabilse de birçok hükümet sektöre yatırım yapma konusunda istekli değildir.
Üretimden sonra kalan atıklar seperatör yardımı ile sıvı gübre olarak lagünlerde kullanılabilir.	Biyogaz tesisi işledikleri atıklardan dolayı kötü koku yaymaktadır. Bu nedenle konutlardan ve diğer endüstriyel alanlardan uzak bir yere inşa edilmelidir.
Aydınlatma, araçlarda yakıt, elektrik ve ısı amaçlı olarak kullanılabilir.	Büyük ölçekli biyogaz tesisinin kullanımı ekonomik olarak uygun değildir.
	Tesiste üretilen metan gazının oksijen ile temas etmesi ile patlamalar meydana gelebilmektedir.
	Biyogaz sistemlerinin etkinliğini arttırmak oldukça zordur.
	Biyogaz sistemlerinin nakliyesi ve montajı sera gazı emisyonları ile ilişkilendirilmiştir.

## 1.2 Güneş Enerjisi

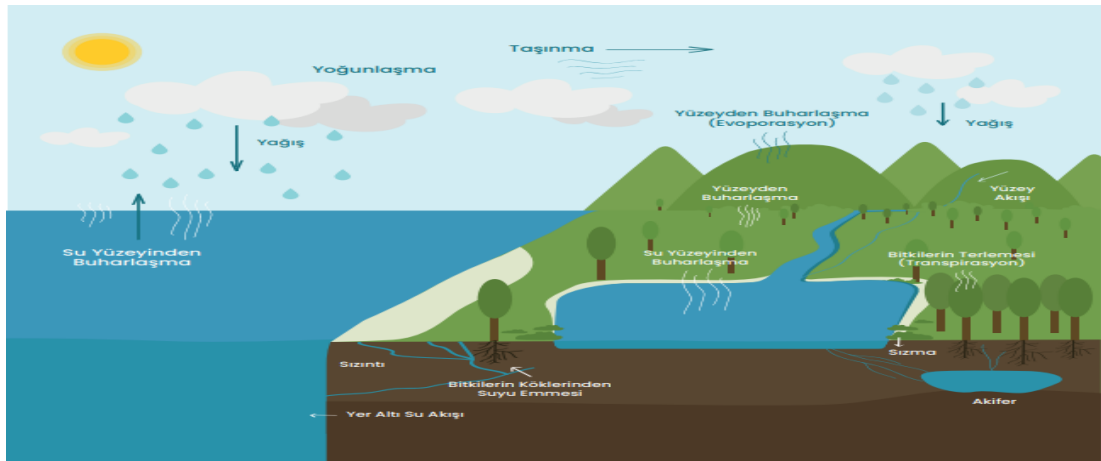
### 1.2.1 Güneş enerjisi ile ilgili temel bilgiler

Güneş enerjisi, eski tarih boyunca kullanılmış bir enerji kaynağıdır. Başlangıçta, sıcak su elde etmek ve güneş enerjisiyle pişirme gibi basit ama etkili yöntemlerle kullanılmıştır. Ancak, teknolojinin ilerlemesiyle birlikte güneş enerjisi, fotovoltaiik paneller aracılığıyla doğrudan elektrik üretimi için de kullanılmaya başlanmıştır. Güneş, yaklaşık 1.392.684 kilometre çapa sahip küresel bir yıldızdır. Bu çap,

Dünya'nın çapının 109 katı kadardır. Kimyasal olarak, Güneş'in kütleinin yaklaşık  $\frac{3}{4}$  hidrojenden oluşurken, geri kalan  $\frac{1}{4}$  kısım çoğunlukla helyumdan meydana gelir. Bunların yanı sıra, Güneş'in içeriğinde az miktarda oksijen, karbon, demir gibi elementler de bulunur.

Güneş, Dünya üzerindeki rüzgar, hidroelektrik ve diğer birçok doğal enerji kaynağının oluşumunda kilit bir rol oynar. Rüzgar enerjisi, Güneş'in yeryüzündeki farklı bölgelere farklı açılarla ısı sağlamasıyla atmosferde basınç farklılıklarının oluşmasına ve sonuç olarak rüzgarın hareket etmesine yol açar. Hidroelektrik enerji ise Güneş'in su döngüsü üzerindeki etkisiyle ortaya çıkar; Güneş, suyun buharlaşmasını sağlar, buhar gökyüzüne yükselir ve yağmur veya kar şeklinde tekrar yeryüzüne döner, bu da akarsuların ve göllerin suyunu besler ve hidroelektrik santrallerinde enerji üretimini destekler.

Güneş, su döngüsü üzerinde kritik bir rol oynar. Güneş ısıyla suyun buharlaşması sağlanır ve bu buharlar gökyüzünde bulutları oluşturur. Soğuk hava dalgaları ile karşılaştıklarında, bu bulutlar yağmur veya kar şeklinde yeryüzüne döner. Yağmur ve kar, yüksek bölgelerden alçak bölgelere doğru akan nehirler, ırmaklar ve akarsular oluşturur. Bu şekilde bir potansiyel enerjiye sahip olan suyun enerjisi kinetik enerjiye dönüşmüş olur. Barajlar vasıtasıyla su biriktirilerek hidroelektrik santrallerde elektrik üretimi sağlanabilmektedir. Ancak baraj olmadan da, daha küçük ölçekli hidroelektrik santralleri doğrudan akarsuların veya nehirlerin enerjisini kullanarak elektrik üretebilir. Güneş, su döngüsünün bu şekilde işlemesinde ve hidroelektrik enerji üretiminde kilit bir faktördür. Şekil 1.15'de bu şekilde oluşan su döngüsü gösterilmektedir.



Şekil 1.15 : Su döngüsü (Url-6).

Kömür gibi fosil yakıtların oluşumunda Güneş'in etkisi oldukça önemlidir. Milyonlarca yıl önce, Güneş'in ışığı ve ısısı ile fotosentez yoluyla bitkiler tarafından emilen karbon, bitki kalıntılarında birikmiştir. Bu bitki kalıntıları, zamanla toprak altında kalarak çürüme ve çökme süreçlerine maruz kalmıştır. Zamanla, yüksek basınç ve sıcaklık altında, bu bitki kalıntıları karbon yoğun kömür kayalarına dönüşmüştür (Bıyık ve diğ, 2023).

### 1.2.1.1 Güneş enerjisi uygulamaları

#### A) Isıl Güneş Enerjisi Uygulamaları

- *Aktif Güneş Enerjisi Isıl Uygulamaları*

Güneş enerjisi toplama sistemleri, güneşten gelen enerjiyi emerek ve bir akışkana (sıvı veya hava) aktararak çalışır. Bu sistemler, güneş ışığını ve ısısını emerek bunları bir taşıyıcı akışkana transfer ederler. Bu taşıyıcı akışkan daha sonra enerjiyi istenilen yere taşır. Üç ana tip güneş kolektörü bulunmaktadır.

#### 1) Düzlemsel Kolektörler

Konutlarda ve endüstriyel yapılarda genellikle su ısıtma ve iklimlendirmede kullanılırlar. Şekil 1.16'da düzlemsel kolektör örneği gösterilmektedir.



Şekil 1.16 : Düzlemsel kolektör örneği (Url-7).

Şekil 1.16'da Saydam örtü, güneş kolektörlerinin verimliliğini artırmak için önemli bir unsurdur. Bu örtü, yutucu yüzeyi koruyarak kolektörün ömrünü uzatır ve ısı kaybını önler. Aynı zamanda güneş ışınlarını geçirmelidir ki kolektörün altındaki yutucu yüzey güneş ışığını absorbe edebilsin. Cam ve plastik malzemeler, saydam örtü olarak

kullanılan yaygın malzemelerdir. Yutucu yüzey, güneş ışınlarını absorbe ederek ısı enerjisine dönüştürür. Bu enerji daha sonra bir akışkan boru ağı aracılığıyla taşınır. Isı yalıtımı, kolektörün ısının dış ortamla kaybolmasını engelleyerek verimliliği artırır. Isı yalıtımı olmaksızın, kolektörün sıcaklığı ile çevre arasında sıcaklık farkı oluşur ve bu da ısı kaybına neden olur. Bu nedenle, kolektörün etkin bir şekilde çalışabilmesi için iyi bir ısı yalıtımı önemlidir (Bıyık ve diğ, 2023).

Akışkan borular, güneş kolektörlerinde önemli bir role sahiptir. Bu borular, yutucu yüzeyin absorbe ettiği güneş enerjisini taşır ve ısıtılmış sıvının depoya veya ısı değişim sistemine yönlendirilmesini sağlar. Kolektör kasası olarak kullanılan malzemeler arasında alüminyum, paslanmaz çelik, galvaniz çelik ve plastik gibi çeşitli seçenekler bulunmaktadır. Bu malzemeler, kolektörün dayanıklılığını, hafifliğini ve maliyetini etkiler. Örneğin, alüminyum hafif ve korozyona dayanıklıdır ancak yüksek maliyetlidir. Paslanmaz çelik daha dayanıklıdır ancak maliyeti daha yüksektir. Plastik ise hafif ve düşük maliyetlidir ancak bazı durumlarda dayanıklılık sorunları yaşanabilir. Her bir malzeme seçimi, kolektörün kullanılacağı ortam ve koşullara bağlı olarak yapılmalıdır (Url-8).

## 2) Vakum Kolektör

Vakumlu kolektörler, içerisinde vakum durumundaki cam tüplerden oluşur. Bu tüplerin iç kısmında, emici yüzey bir ısı borusuna bağlanmıştır. Dış kısmı çevreleyen vakum, konveksiyon ve iletim ısı kaybını büyük ölçüde azaltır. Bu nedenle, özellikle daha soğuk iklimlerde, düz plakalı toplayıcılara kıyasla daha yüksek verimlilik sağlarlar. Bu sistemde, güneş ışınları ısı borusuna çarpar ve içindeki suyu buharlaştırır. Buhar yükselir ve soğuyarak yoğunlaşır. Bu yoğunlaşmış su tekrar ısı borusunun içine döner ve döngü bu şekilde devam eder. Bu süreç, güneş ışığı mevcut olduğu sürece devam eder ve ısıyı toplar, böylece ısıtma veya sıcak su sağlamak için kullanılabilir (Düzcan, 2018).

## 3) Odaklayıcı Kolektör

Odaklayıcı kolektörler, güneş ışınlarını suyun sirküle edildiği tekli veya çoklu tüplere odaklar ve yoğunlaştırır. Bu yoğunlaştırma işlemi, daha yüksek su sıcaklıklarına ulaşmayı sağlar.

- *Pasif Güneş Enerjisi Isıl Uygulamaları*

Pasif güneş enerjisi uygulamalarında, aktif güneş enerjisi sistemlerinde olduğu gibi mekanik sistemler veya akışkanlar kullanılmaz. Bunun yerine, doğrudan güneş ışığının kullanılmasına dayanır ve herhangi bir mekanik veya hareketli parça içermez (Bıyık ve diğ, 2023).

### *1) Doğrudan Kazanım Sistemleri*

Bu sistemin temel prensibi, güneş ışınlarını doğrudan kazanım sistemine yönlendirmektir. Güneş ışınları, güneye yönlendirilmiş pencereler veya doğrudan güneş ışığı alan herhangi bir yapı kabuğu boşluğundan içeri girerek duvar veya ısı depolama işlevi görecektir yüzeye düşer. Genellikle bu yüzeyler, güneş ışınlarını emen ve depolayan koyu renkli seçici bir malzeme ile kaplanmıştır. Bu sistemlerde depolanan ısı, termodinamiğin doğal bir sonucu olarak sıcak taraftan daha düşük bir sıcaklığa doğru hareket eder. Doğrudan kazanım sistemlerinde, güneş ışınlarının kazanımı ve etkinliği geniş pencere kullanımıyla sağlanır, özellikle güneye veya güneye yakın yönlendirilmiş pencereler tercih edilir. Ancak, yaz aylarında aşırı ısınmayı önlemek için güneş kontrol sistemlerinin kullanılması önemlidir.

Bu sistemde toplayıcı elemanların temel işlevi, güneş ışınlarını emmek ve depolamaktır. Bu elemanlar genellikle güneye yönlendirilmiş pencereler, çatı arası pencereler ve çatı pencereleri gibi yapı elemanlarıdır.

Doğrudan kazanım sistemlerinde, yaz aylarında aşırı ısı kazanımından korunmak ve sistem performansını artırmak için güneş kontrolü elemanlarının kullanılması gereklidir. Bu elemanlar, güneş ışınlarının içeri girişini kontrol ederek aşırı ısınmayı engellerler. En etkili güneş kontrolü elemanları şunlardır: Asılı elemanlar, ızgara kafes, bitkilendirme, tente, panjur, saçaklar ve iç gölgeleme elemanları da kullanılabilir ancak genellikle dıştaki elemanlar kadar etkili olmazlar. Bununla birlikte, iç gölgeleme elemanlarının kontrolü ve bakımı daha kolaydır.

### *2) Dolaylı Kazanım Sistemleri*

Dolaylı kazanım sistemleri, güneş enerjisinin doğrudan kazanılması yerine, ısı depolayıcı bir kütle için güneş ışınlarını toplayıp depolaması prensibine dayanır. Bu sistemlerde, ısıtma istendiği dönemde güneş ışınları toplayıcıdan geçer ve ısı kütlesi olarak işlev gören duvar tarafından emilerek duvar ısıtılır. Isı, depolanan ısı kütleden yaşam alanına aktarılır ve bu alanı ısıtır. Bu sistem gece boyunca yaşam alanına yeterli

ısıyı sağlar. Dolaylı kazanım sistemlerinde, pencereler ısı depolama kütlesi içerisine yerleştirilerek, ışık ve görüntü sağlamak için kullanılabilir. Bu sayede pencereler, opak alanın etkisini azaltarak daha iyi bir görsel deneyim sunar. Isıtmaya ihtiyaç duyulmayan soğutma döneminde, güneşe bakan toplayıcıda aşırı ısınmayı önlemek için güneş kontrolü sağlanmalıdır. Bu kontrol, güneş ışınlarının içeri girişini sınırlayarak aşırı ısınmanın engellenmesini sağlar. Bu durumda, özellikle yaz aylarında güneş kontrolü elemanları kullanılarak iç mekanın aşırı ısınmasının önüne geçilir (Url-9).

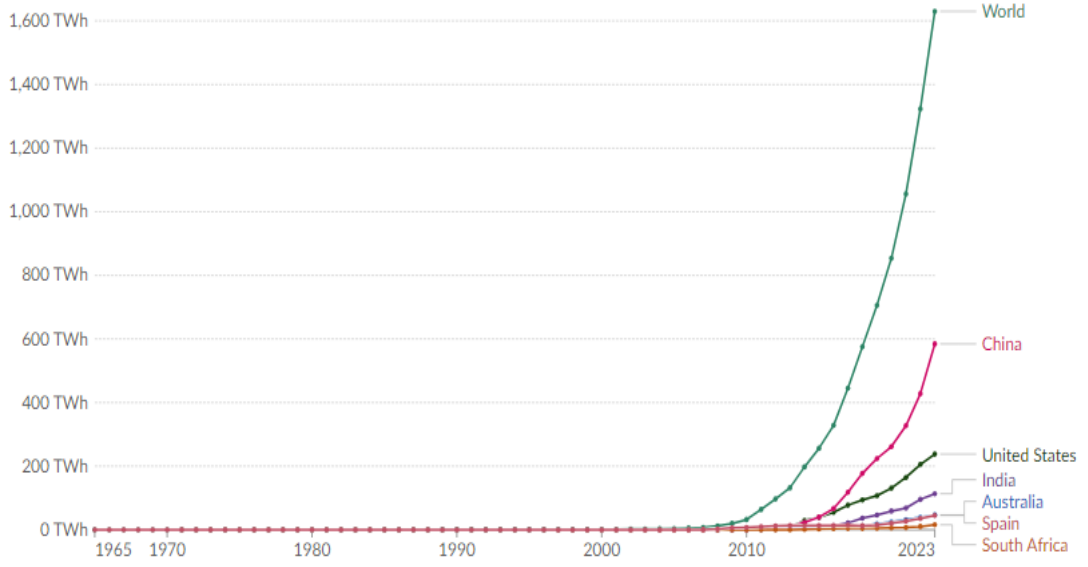
### *B) Fotovoltaik Güneş Enerjisi Uygulamaları*

"Fotovoltaik" terimi, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren teknolojiyi ifade eder. Fotovoltaik hücreler genellikle "güneş pilleri" olarak da adlandırılır. Bu hücreler, güneş ışığı tarafından uyarıldığında elektrik üreten yarı iletken cihazlardır. Güneş ışığından gelen fotonlar, fotovoltaik hücrelerdeki yarı iletken malzemelerde serbest taşıyıcıların oluşmasına neden olarak bir elektrik akımı üretir.

Fotovoltaik/termal sistemler, hem elektrik üretimi hem de ısı üretimi sağlayan bir tür güneş enerjisi sistemidir. Bu sistemlerde, fotovoltaik paneller güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürken, aynı zamanda panelin yüzeyinden ısı da alınır. Panelin yüzeyinden alınan ısı, hava veya su gibi bir akışkan aracılığıyla ısı üretimi için kullanılır. Bu ısı üretim sistemi, fotovoltaik panelin soğumasını sağlayarak panelin verimliliğini artırır. Sonuç olarak, sistem aynı anda elektrik ve ısı üretir, böylece güneş enerjisini daha verimli bir şekilde kullanır.

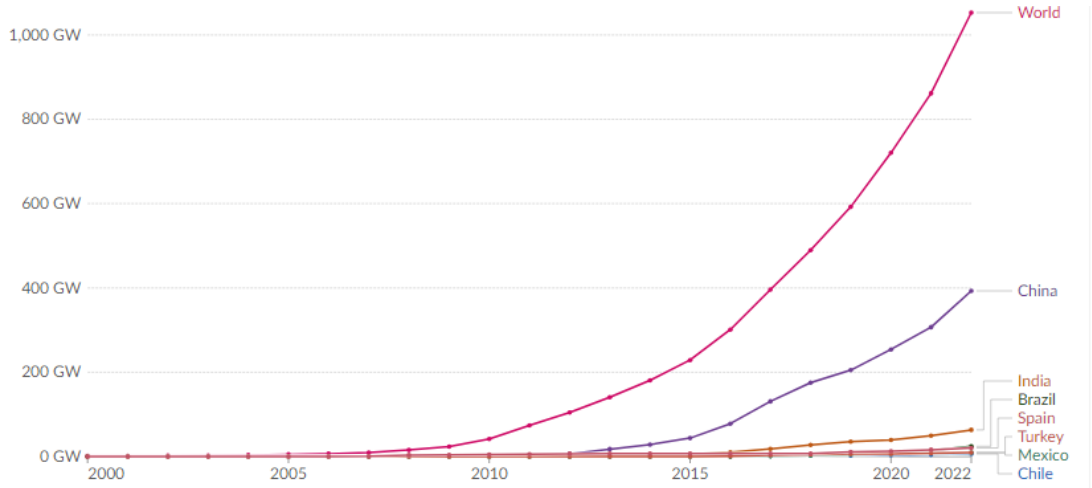
#### **1.2.1.2 Dünyada ve Türkiye’de fotovoltaik sistemlerin yıllara göre gelişim süreci**

Şekil 1.17’de Dünya genelinde güneş enerjisinden elde edilen elektrik üretimleri (TWh) gösterilmektedir. Dünya genelinde 2023 yılı itibarı ile toplam güneş enerjisi elektrik üretim miktarının 1.629,90 TWh olduğu belirlenmiştir. 2023 yılı sırasıyla ülkelerin elektrik üretim miktarları karşılaştırıldığında, Çin 584,15 TWh ile 1. sırada, 238,12 TWh ile ABD 2. sırada ve 113,41 TWh ile Hindistan 3. Sırada yer almaktadır. Türkiye’nin ise 2023 yılı itibarı ile elektrik üretim miktarının 18,40 TWh olduğu görülmektedir (Url-10).



**Şekil 1.17 :** Dünya genelinde güneş enerjisinden elde edilen elektrik üretimleri (TWh) (Url-10).

Şekil 1.18'de, Dünya genelinde GW ölçeği bakımından fotovoltaik kurulu güçleri gösterilmektedir. Dünya genelinde 2022 yılı itibarı ile toplam güneş enerjisi kurulu gücün 1.053,12 GW olduğu belirlenmiştir. 2022 yılı sırasıyla ülkelerin toplam kurulu güç (GW) miktarları karşılaştırıldığında, Çin 393,03 GW ile 1. sırada, 63,15 GW ile Hindistan 2. sırada ve 24,08 GW ile Brezilya 3. Sırada yer almaktadır (Url-10).



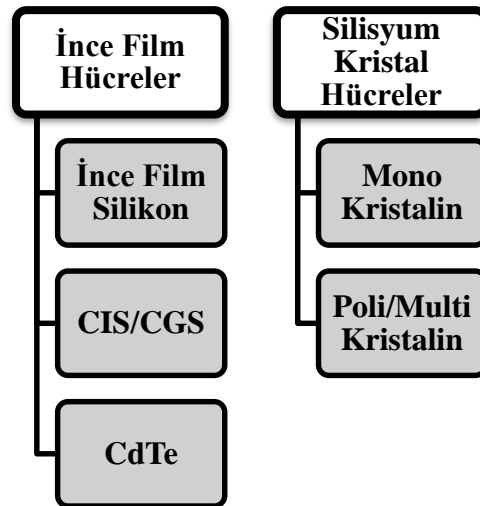
**Şekil 1.18 :** Dünya genelinde GW ölçeği bakımından fotovoltaik kurulum kapasiteleri (Url-10).

2022 yılı itibarıyla Türkiye'deki fotovoltaik kurulu gücün 9,43 GW olduğu ve bu rakamın hızla 10 GW'a doğru ilerlediği görülmektedir. Bu veriler, Türkiye'nin fotovoltaik enerji alanında önemli bir büyüme kaydettiğini ve yenilenebilir enerjiye olan katılımının arttığını göstermektedir (Url-10).

### 1.2.2 Fotovoltaik modüller ve hücreler ile ilgili temel bilgiler

Fotovoltaik modüller veya paneller, güneş hücrelerinden oluşur. Bu güneş hücrelerinin belirli elektriksel özelliklere sahip olmaları gerektiğinden dolayı üretilebilecekleri ham maddeler sınırlıdır. En yaygın kullanılan ham madde silisyumdur. Bununla birlikte, hücreler kadmiyum tellürid ve bakır indiyum (galyum) diselenitten de üretilebilir. Bu farklı malzemelerin kullanılması, farklı tip ve performansta güneş panellerinin üretilmesini sağlar ve farklı uygulama alanlarına yönelik çözümler sunar.

Fotovoltaik hücreler, genellikle silisyum tabanlı veya ince film teknolojisi ile üretilirler. Fotovoltaiklerin belirli elektriksel özellikler taşıması gerekliliği, üretilebilecekleri ham maddelerin sınırlı olmasına neden olur. Silisyum en yaygın kullanılan malzemedir, ancak kadmiyum tellürid ve bakır indiyum (galyum) diselenit gibi malzemelerden yapılmış hücreler de mevcuttur. Her malzemenin kendine özgü karakteristik özellikleri vardır ve hücre performansını, üretim metodunu ve maliyetini etkiler. Fotovoltaik hücreler, yapılarına ve yarı iletken malzemelerine göre monokristalin, multikristalin/polikristalin veya amorf olabilirler. Bu farklı yapılar, farklı performans özelliklerine ve üretim maliyetlerine sahiptir (Bıyık ve diğ, 2023). Şekil 1.19’da bu yapılar gösterilmektedir.



Şekil 1.19 : Fotovoltaik hücre çeşitleri.

A) *Silisyum Kristal Hücreler (c-Si)*

1) *Monokristal Hücre*

Monokristal güneş panelleri, tek bir silikon kristalinden yapıldığı için tek renkli bir yapıya sahiptir. Monokristal paneller, yüksek verimlilikleriyle bilinirler ve özellikle

küçük alanlarda tercih edilirler. Uzmanlara göre, monokristal güneş panellerinin verimlilik oranı yaklaşık %24'tür. Bu yüksek verimlilik, daha az alanda daha fazla enerji üretmelerini sağlar, bu nedenle küçük alanlar için bile tercih edilirler.

Monokristal güneş panelleri, uzun vadeli kullanım ömrü ve yüksek verimlilikleri nedeniyle tercih edilir. Silikon malzemesi sayesinde verimli bir enerji üretimi sağlarlar ve küçük alanlarda da etkilidirler. Küçük alanlar için tercih edilen bir panel modeli olsa da özellikle yüksek enerji gereksinimi olan alanlarda, örneğin uzay istasyonlarında sıklıkla tercih edilirler. Ancak, diğer panellere kıyasla daha yüksek maliyetlidirler, bu nedenle tercih ederken maliyet-etkinlik dengesi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durum, kullanıcıların tercihlerinde bazı kararsızlıklara yol açabilir.

## 2) Polikristal Hücre

"Poli" kelimesi "çok" anlamına gelir ve "polikristal güneş paneli" ise "çok kristalli güneş paneli" demektir. Polikristal panel modelleri, monokristal panellere göre daha yeni teknolojilerdir ve genellikle daha uygun fiyatlıdır. Bu panellerde kullanılan çok kristalli yapı, üretim sürecini daha ekonomik hale getirir, bu da daha uygun fiyatlı güneş panelleri sunulmasını sağlar. Fiyat ve maliyet açısından avantajlı olmaları, polikristal güneş panellerini solar enerji sistemleri için popüler bir seçim haline getirir. Bu paneller, genellikle uygun fiyat aralığına sahip olmaları nedeniyle ev sahipleri ve küçük işletmeler gibi uygulamalarda tercih edilir. Polikristal güneş panelleri son zamanlarda yaygınlaşmış olup bu durumun birkaç nedeni bulunmaktadır.

Öncelikle, polikristal güneş panellerinin uygun maliyetli olması, birçok tüketici için cazip hale getirilmektedir. Daha düşük maliyetli olmaları, güneş enerjisi sistemlerine yatırım yapmayı düşünen kişiler için daha erişilebilir hale gelmektedir. Ayrıca, polikristal güneş panellerinin kolay kurulumu da tercih edilme sebeplerinden biridir. Daha basit ve hızlı bir kurulum süreci, hem maliyetleri düşürmekte hem de kullanıcılar için daha az zahmetli bir seçenek sunmaktadır. Ancak, polikristal güneş panellerinin bir dezavantajı da: verimliliklerinin genellikle monokristal panellere göre biraz düşük olmasıdır. Bu durum, bazı kullanıcılar için önemli bir faktör olabilir çünkü daha düşük verimlilik, daha fazla panelin veya daha büyük bir alanın gerekliliğine işaret eder. Ayrıca, kullanılan silikon malzemenin saflık derecesinin düşük olması da verimliliği

etkileyebilir. Bu nedenle, bazı uygulamalarda daha yüksek verimliliğe ihtiyaç duyulduğunda, monokristal güneş panelleri tercih edilebilir (Url-11).

## *B) İnce Film Hücreler*

### *1) Amorf Silisyum*

Morf silikon güneş hücreleri, çeşitli esnek alt tabakalara düşük sıcaklıklarda ince filmlerde biriktirilen yarı iletken malzeme olarak kullanılır. Bu tür güneş pilleri, genellikle amorf silikon (a-Si) güneş pilleri veya ince film silikon güneş pilleri olarak adlandırılır. Amorf silikon güneş hücreleri, geleneksel kristal silikon güneş hücrelerine göre daha düşük maliyetli üretim süreçlerine sahiptir ve daha esnek alt tabakalara uygulanabilirler. Bu özellikleri, çeşitli uygulama alanlarında avantaj sağlar. Ancak, amorf silikon hücrelerin genellikle düşük verimliliği vardır. Diğer güneş hücreleri gibi yüksek verimlilik seviyelerine ulaşamazlar. Bununla birlikte, çevre dostu bir seçenek olmaları, çoğu kullanıcı için önemli bir avantajdır. Amorf silikon hücreler, kadmiyum veya kurşun gibi potansiyel olarak zararlı ağır metaller içermez (Url-12).

### *2) Kadmiyum Tellürid*

Kadmiyum tellürid (CdTe), güneş ışığını yüksek bir verimle absorbe edebilen ve ideal bant genişliğine sahip olan bir malzemedir. Bu özellikleri, CdTe'nin ince film güneş pili teknolojileri için gelecek vaad eden bir malzeme olmasını sağlar. CdTe güneş hücrelerinin verimliliği %15'in üzerindedir ve bu hücrelerle yapılan güneş paneli modülleri %9'dan daha fazla verimlilik sağlayabilir. Bu, CdTe'nin güneş enerjisi dönüşümünde oldukça etkili bir malzeme olduğunu gösterir. Ayrıca, kadmiyum tellürün diğer ince film güneş pili teknolojilerine kıyasla depolamasının daha kolay olduğu ve daha geniş ölçekli üretim için daha uygun olduğu belirtilmektedir. Bu özellikler, CdTe'nin endüstriyel ölçekte kullanımını teşvik eder ve güneş enerjisi sektöründe daha yaygın bir şekilde benimsenmesini sağlar (Url-13).

### *3) Bakır İndiyum Selenid (CIS) ve Bakır İndiyum (Galyum) Di-Selenid (CIGS)*

CIGS güneş panelleri, güneş ışınımını kristal silisyumdan daha iyi absorbe edebilirler. Bu durum, daha yüksek bir verimlilik potansiyeline sahip oldukları anlamına gelir. Ancak, CIGS tabanlı modüllerin ince film teknolojisi ile üretilmesi gerektiği için, a-Si tabanlı modüllerden daha ince olmaları gerekir. Bu, özellikle yer darlığı olan veya hafif panellere ihtiyaç duyulan uygulamalarda avantaj sağlar. CIGS'in dezavantajlarından biri, indiyum gibi bazı hammaddelerin nispeten pahalı olmasıdır. Ancak, CIGS

panellerinin üretiminde kullanılan indiyum miktarı, levha bazlı teknolojilerle karşılaştırıldığında oldukça azdır. Bu da maliyeti düşürebilir ve CIGS panellerinin rekabetçi olmasına yardımcı olabilir.

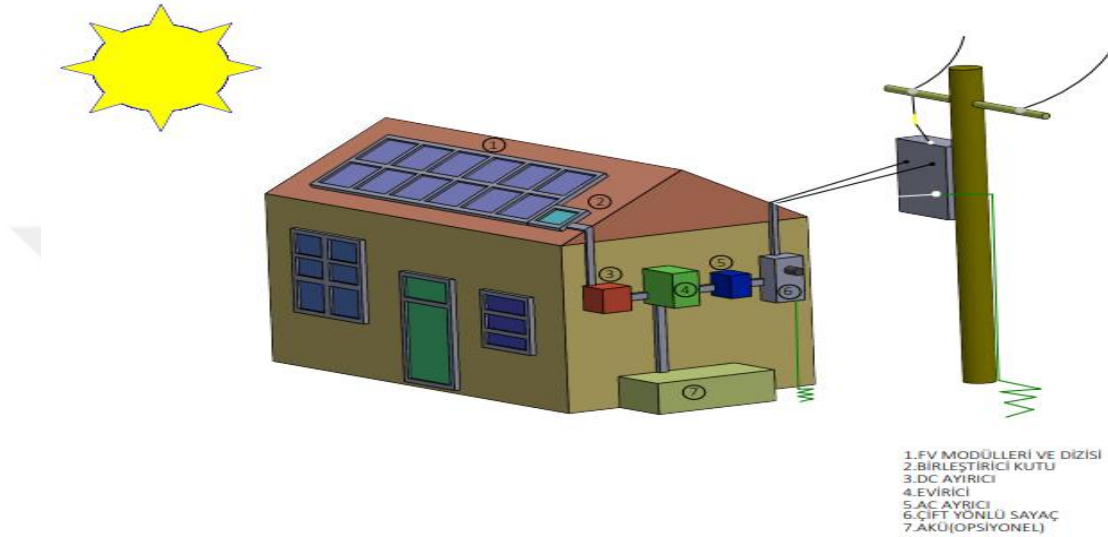
### 1.2.2.1 Gölgeleme

Fotovoltaik panellerin performansı üzerinde gölgenin etkisi önemlidir. Gölge, güneş panellerinin üzerine düştüğünde, gölgelenen panellerin ürettiği enerji azalır ve bu da toplam güç üretiminde düşüslere neden olabilir. Bu nedenle, güneş panellerinin yerleştirilmesinde çevresel engellerin dikkate alınması önemlidir. Örneğin, binalar, ağaçlar, elektrik direkleri gibi yapay veya doğal engeller, güneş panellerinin verimliliğini etkileyebilir. Bunun yanı sıra, panellerin sıralar halinde kurulacağı durumlarda, sıralar arasındaki mesafe önemlidir. Ön sıradaki panellerin arka sıradaki panelleri gölgelememesi için uygun bir mesafe bırakılmalıdır. Sıralar arasındaki mesafeyi belirlerken, panellerin eğim açısı, boyutları ve güneşin yükseklik ve azimut açıları gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Bu faktörler, gölgeleme riskini minimize etmek ve güneş panellerinin maksimum verimlilikle çalışmasını sağlamak için önemlidir.

Fotovoltaik panellerin yerleştirilmesinde, panellerin en üst noktasının yerden yüksekliği ile panel sıraları arasında bırakılması gereken mesafe arasında belirli bir oranın kabul edilmesi doğru bir yaklaşımdır. Bu oran, panel sıraları arasında oluşabilecek gölgelenmeyi minimize etmek için önemlidir. Oğlak ve yengeç dönencelerine yakın bölgelerde, panel sıraları arasındaki mesafenin, panelin en üst noktasının yerden yüksekliğine oranı genellikle 2:1 olarak kabul edilir. Bu bölgelerde güneş ışınlarının daha dik geldiği ve dolayısıyla gölgeleme riskinin daha yüksek olduğu düşünülür. Daha kuzey ve daha güney bölgelerde ise, güneş ışınlarının daha yatay bir açıyla geldiği ve gölgeleme riskinin daha düşük olduğu düşünülür. Bu nedenle, bu bölgelerde panel sıraları arasındaki mesafenin, panelin en üst noktasının yerden yüksekliğine oranı genellikle 3:1 olarak kabul edilir. Ancak, binaların çatılarına fotovoltaik panellerin yerleştirilmesi durumunda bile, çevredeki engellerin paneller üzerinde gölgeleme yapabileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle, panel yerleşimi ve çevresel faktörler dikkate alınarak, gölgeleme riski minimize edilmelidir (Bıyık ve diğ., 2023).

### 1.2.2.2 Fotovoltaik güç sistemi temel bileşenleri

Fotovoltaik sistemlerin temel bileşenlerinden biri fotovoltaik modüllerdir. Bu modüller, güneş ışığına maruz kaldıklarında fotovoltaik etkiyi kullanarak doğru akım elektrik üretirler. Diğer önemli bileşenler arasında güç koşullandırıcı ekipmanlar, enerji depolama cihazları, diğer güç kaynakları ve elektriksel yük bulunmaktadır. Şekil 1.20'de FV sistemlerinin temel bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 1.20 : FV sistemlerinin temel bileşenleri.

1) *Fotovoltaik Paneller:* Fotovoltaik enerji sistemlerinin ana bileşeni olan paneller, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılır. Bu paneller, güneş ışığı tarafından etkilenerek içlerinde bulunan fotovoltaik hücreler aracılığıyla doğru akım elektrik üretirler. Günümüzde ticari olarak yaygın olarak kullanılan fotovoltaik panellerin çoğu monokristal veya polikristal silikon teknolojisine dayanmaktadır. Monokristal silikon paneller, tek bir büyük kristal silikon kullanılarak üretilirken, polikristal silikon paneller birden fazla kristal silikon parçasının bir araya getirilmesiyle üretilir. Her iki teknoloji de güneş ışığını elektrığe dönüştürmek için oldukça etkilidir ve geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır.

2) *Batarya:* Fotovoltaik panellerden elde edilen enerjinin fazlası, genellikle bataryalarda depolanarak gece veya düşük ışık koşullarında sistemin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için kullanılır. Bu bataryaların yüksek şarj-deşarj verimliliği ve uzun ömre sahip olması önemlidir, çünkü sistemdeki enerji depolama ve kullanımını güvenilir kılar. Fotovoltaik sistemlerde genellikle üç tür batarya kullanılır: Özel OPzS tip sulu batarya, jel batarya ve derin çevrimli kurşun asit bataryalardır. Bu batarya

türleri, fotovoltaik sistemlerin depolama ihtiyaçlarına göre farklı avantajlar ve dezavantajlar sunarlar. Sistem gereksinimlerine bağlı olarak doğru batarya tipinin seçilmesi önemlidir.

3) *Şarj Kontrol Cihazı*: Şarj kontrol cihazları, fotovoltaik güneş enerji sistemlerinde kullanılan akü depolamasını yönetmek için önemli bir bileşendir. Bu cihazlar, güneş panellerinden gelen elektriği düzenleyerek akü grubunu daha sabit bir elektrikle etkili bir şekilde şarj ederler.

Şarj kontrol cihazları genellikle Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT) ve Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) şeklinde iki çeşittir. Hangi tip şarj kontrol cihazının kullanılacağı, sistem gereksinimlerine ve bütçeye bağlı olarak belirlenir.

4) *Evirici (İnvertör)*: Güneş panelleri tarafından üretilen elektrik doğru akım (DC) olduğundan, evlerimizde kullandığımız alternatif akım (AC) ile uyumlu olması için bu DC elektriğin AC'ye dönüştürülmesi gereklidir. Bu dönüşüm işlemi gerçekleştiren cihazlara inverter adı verilir. İnverterler, güneş panellerinden gelen DC elektriği alır ve bunu evlerimizde ve ticari binalarda kullanılan AC elektriğe dönüştürürler. Bu dönüşüm işlemi, güneş panellerinden gelen enerjinin evlerimizde veya iş yerlerimizde kullanılabilir hale gelmesini sağlar. İnverterler, ayrıca şebeke bağlantılı sistemlerde de önemli bir rol oynarlar. Bu sistemlerde, fazla üretilen elektrik şebekeye aktarılır ve ev sahipleri tarafından kullanılmayan enerji geri satılabilir. İnverterler bu tür sistemlerde de kullanılarak şebekeye uygun AC elektriği sağlarlar. İnverterlerin türleri ve özellikleri, kullanılacak güneş enerjisi sisteminin boyutuna, bağlantı tipine ve özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Bıyık ve diğ., 2023).

5) *Çift yönlü sayaç*: Şebekeye bağlı fotovoltaik enerji sistemleri, ev veya iş yerinde üretilen elektrik enerjisinin öncelikle kendi ihtiyaçları için kullanılmasını ve ardından fazla üretilen enerjinin şebekeye geri satılmasını sağlar. Bu tür sistemlerde kullanılan özel sayaçlara "çift yönlü sayaç" adı verilir. Çift yönlü sayaçlar, ev veya iş yerinde üretilen elektriğin tüketimini kaydederken aynı zamanda şebekeye satılan fazla enerji miktarını da ölçerler. Bu sayaçlar, elektriğin her iki yönde akışını takip ederek net enerji akışını ve miktarını belirlerler. Böylece, ev sahipleri ürettikleri enerjinin miktarını doğru bir şekilde izleyebilir ve şebekeye sattıkları enerjinin bedelini alabilirler (Url-14).

6) *Sistem Dengesi Bileşenleri*: Bir fotovoltaik sistem, sadece güneş panellerinden oluşmaz. Bunun yerine, güneş panelleriyle birlikte bir dizi mekanik ve elektriksel ekipman ve donanımı içerir. Bu bileşenler, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmek, elde edilen elektriği depolamak, dağıtmak ve kullanmak için gereklidir. Elektriksel sistem dengesi bileşenleri, sistemdeki elektrik gücünün iletilmesi, dağıtılması ve güç akışının kontrol edilmesi için kullanılır. Bunlar genellikle aşağıdakileri içerir:

- İletkenler ve kablolama
- Kablo yolları ve kanallar
- Bağlantı noktaları ve birleştiriciler
- Bağlantı kesici anahtarlar
- Sigortalar ve devre kesiciler
- Bağlantı uçları ve konektörler
- Topraklama ekipmanları
- Dizi birleştiricileri ve diğer yapısal donanım

### **1.2.3 Fotovoltaik sistemlerin uygulama sahasına göre türleri**

Fotovoltaik sistemler yaygın olarak uygulama sahalarına bağlı olarak Çatı Tipi FV Sistemler, Binaya Entegre FV Sistemler ve Güneş Enerjisi Tarlası olarak üç temel sınıfa ayrılırlar:

1) *Çatı Tipi Fotovoltaik Sistemler*: Konutlar, ticari binalar ve endüstriyel tesislerin çatılarına kurulan fotovoltaik sistemler, yerinde üretilen elektrik enerjisini doğrudan tüketmek için kullanılır. Bu, elektriğin doğrudan üretildiği ve tüketicinin ihtiyaçlarını karşılamak için kullanıldığı anlamına gelir. Bu yerinde tüketim yaklaşımı, iletim hattı kayıplarını en aza indirir, çünkü üretilen elektrik doğrudan kullanıldığından uzun mesafelere iletilmesine gerek yoktur. Ayrıca, tesis sahibine enerji maliyetlerinde tasarruf sağlar ve çevresel etkiyi azaltır (Bıyık ve diğ, 2023).

2) *Binalara Entegre Fotovoltaik Sistemler (BEFV)*: Fotovoltaik paneller, geleneksel çatı uygulamalarının yanı sıra binaların yapı bileşeni olarak da entegre edilebilirler. Böylece binaların dış cephe veya çatılarına doğrudan entegre edilerek mimari açıdan estetik bir görünüm elde edilebilir. Bu tür entegre sistemlere "Binalara Entegre

Fotovoltaik Sistemler (BEFV) veya İngilizce karşılığıyla "Building Integrated Photovoltaic Systems (BIPV)" denir. BEFV veya BIPV sistemleri, hem enerji üretimi sağlayarak elektrik ihtiyacını karşılar hem de bina tasarımına estetik bir katkı sağlar. Bu şekilde, fotovoltaik teknolojisi, binaların sürdürülebilirliği ve enerji verimliliği açısından önemli bir rol oynar (Url-15).

3) *Güneş Enerjisi Tarlası (Arazi Uygulaması)*: Güneş enerjisi tarlaları genellikle büyük ölçekli ticari elektrik enerjisi üretimi için kullanılan fotovoltaik güç istasyonlarıdır. Bu tarz güneş enerjisi sistemleri genellikle geniş arazilere kurulur ve MW cinsinden yüksek kapasiteli elektrik üretimine olanak sağlar. Güneş enerjisi tarlaları, uzun güneşlenme sürelerine sahip bölgelerde, özellikle açık ve güneş ışığına en çok maruz kalan alanlarda kurulur. Bu tarz sistemler genellikle birçok fotovoltaik panelden oluşur ve toplamda büyük bir elektrik üretim kapasitesine sahiptirler.

### **1.2.3.1 Fotovoltaik sistemlerin şebeke bağlantısına göre türleri**

#### *1) Şebekeye Bağlı (on-grid) Fotovoltaik Enerji Sistemler*

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler, üretilen elektrik enerjisinin öz tüketimden sonra fazlasını merkezi şebekeye bağlanabilen eviriciler aracılığıyla ana elektrik şebekesine aktarabilirler. Bu sistemler, enerji santrali olarak kabul edilir çünkü fazla üretilen enerjiyi geniş bir altyapıya aktararak merkezi elektrik şebekesine entegre ederler. Şebekeye bağlı FV sistemler, hem yüksek güçteki güneş enerjisi tarlaları gibi büyük kurulumlarda kullanılabilir, hem de evsel veya endüstriyel ihtiyaçları karşılamak için daha küçük güçlerde tasarlanabilir. Bu esneklik, farklı ölçeklerdeki enerji ihtiyaçlarına uygun çözümler sunmalarını sağlar.

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerde, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine verilir ve ihtiyaç duyulduğunda şebekeden enerji alınır. Bu sistemlerde enerji depolama için batarya gruplarına ihtiyaç duyulmaz çünkü ana elektrik şebekesi enerji depolama işlevini üstlenir. Bu durum yatırım ve bakım maliyetlerini düşürür. Ayrıca, depolama olmadığı için enerji dönüşümü kaynaklı kayıplar az olacaktır. Şebekeye bağlı sistemlerin bir diğer avantajı, FV panellerden üretilen enerjinin yeterli olmadığı durumlarda ana şebekenin devreye girerek yükü eksiksiz besleyebilmesidir. Şekil 1.21'de örnek bir şebekeye bağlı fotovoltaik enerji sistemi gösterilmektedir.



**Şekil 1.21** : Şebekeye bağlı (on-grid) fotovoltaik enerji sistemi örneği (Url-14).

## 2) Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Enerji Sistemleri (Off-grid)

Şebekeden bağımsız sistemler merkezi elektrik şebekesine bağlı olmayan, genellikle uzak bölgelerde kurulan sistemlerdir. Bu sistemlerde, fotovoltaik panellerden üretilen elektrik enerjisi bataryalarda depolanır ve ardından eviriciler aracılığıyla alternatif akım elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılır. Temel bileşenler şunlardır: fotovoltaik paneller, batarya grubu, şarj kontrol cihazı ve evirici.

Şebekeden bağımsız sistemlerde fotovoltaik panellerden üretilen elektrik enerjisi bataryalarda depolanır. Bu depolama işlemi, güneş ışığı mevcut olduğunda elektrik enerjisi üretildiğinde ve tüketilmediğinde gerçekleşir. Bataryalar, depolanan enerjiyi saklar ve ihtiyaç olduğunda elektrik enerjisini serbest bırakır, böylece fotovoltaik paneller güneş ışığı almadığında veya üretimleri azaldığında bile elektrik sağlanır. Bu, şebekeden bağımsız sistemlerin bağımsız olarak elektrik sağlamak için güneş enerjisini etkili bir şekilde kullanmalarını sağlayan bir özelliktir (Url-14). Şekil 1.22'de örnek bir şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sistemi gösterilmektedir.

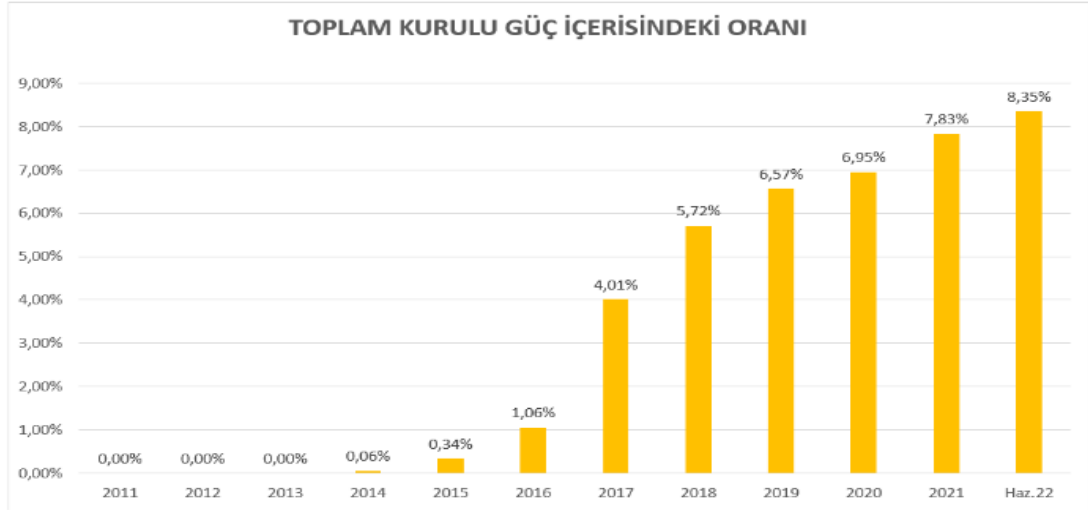


**Şekil 1.22** : Şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sistemi (off grid) örneği (Url-14).

### 1.2.3.2 Ülkemizdeki fotovoltaik uygulamalara genel bakış

Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli gerçekten de oldukça yüksektir. Güney bölgelerimiz, özellikle Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri, yüksek güneşlenme





**Şekil 1.25 :** Türkiye'nin toplam kurulu güç içerisindeki oranı (Url-17).

Türkiye güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü açısından önemli bir konumdadır. Türkiye'de bulunan en yüksek kurulu güce sahip fotovoltaik güneş santralleri ise Çizelge 1.5'te verilmektedir.

**Çizelge 1.5 :** Türkiye'de bulunan en yüksek kurulu güce sahip ilk 10 güneş santralleri (Url-18).

Santral Adı	İl	Kurulu Güç
Karapınar Güneş Enerji Santrali (GES)	Konya	1000 MW
Naturel & Esenboğa GES	Ankara	118 MW
BOR 2 GES	Niğde	100 MW
BOR 3 GES	Niğde	100 MW
Kayseri OSB GES	Kayseri	50 MW
Van Arısu GES	Van	45 MW
Özkoyuncu Madencilik GES	Balıkesir	40 MW
Kıvanç 2 GES	Mersin	35 MW
Teksin Enerji GES	Karaman	33 MW
Cıngıllı GES	Niğde	26 MW

### 1.2.3.3 Fotovoltaik enerji sisteminin avantajları ve dezavantajları

Fotovoltaik enerji sistemlerinin avantajları olduğu gibi dezavantajlarında bulunmaktadır. Çizelge 1.6'da fotovoltaik enerji sisteminin avantajları ve dezavantajları gösterilmektedir.

**Çizelge 1.6 :** Fotovoltaik enerji sisteminin avantajları ve dezavantajları.

Avantajları	Dezavantajları
Düşük kurulum maliyeti	Güneş bataryası pahalı olması
Bol ve tükenmeyen bir enerji kaynağıdır	Hava durumuna bağımlılık
Enerji faturalarını düşürmektedir.	Günün zamanı
Tüm dünya ülkelerinin faydalanabileceği bir kaynaktır. Bu nedenle enerji bağımsızlığı kazandırır.	Coğrafi konumu
Bakım onarım maliyetleri düşüktür.	Güneş sistemlerinin nakliyesi ve montajı sırasında sera gazı emisyonlarının oluşması

## 2. MATERYAL VE METOT

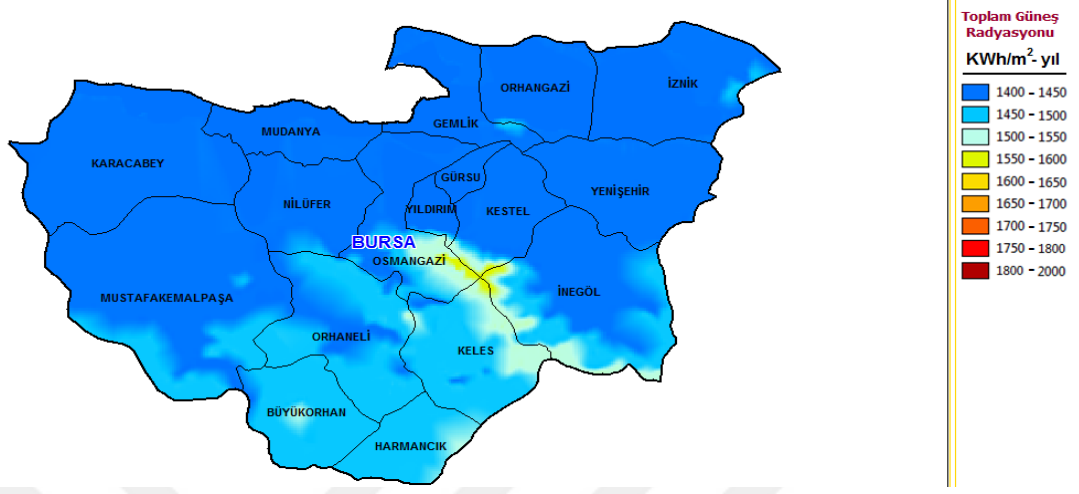
### 2.1 Materyal

Bir süt sğırı çiftliğine güneş veya biyogaz enerji sistemlerinden uygun olanın kurulumu için enerji ve çevresel potansiyelleri incelenerek iki enerji sistemi arasında karşılaştırma yapılacaktır. Bu amaçla alışma Bursa'nın Karacabey ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Hayvancılık faaliyetleri sonucu oluşan hayvansal atıkların gübre ve biyogaz değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada biyogaz tesisi için yapılan tüm hesaplamalarda 2023 yılı sağmal hayvan ve ge hayvan sayıları için çiftlik bilgileri esas alınmıştır. Çiftlikte mevcut olan hayvan türleri, sayıları ve 2023 yılına göre oluşabilecek gübre miktarları belirlenerek, bu gübrelerden elde edilebilecek biyogaz içerikleri hesaplanmıştır. Fotovoltaik enerji sistemi için fotovoltaik enerji sistemi programı kullanılarak Karacabey'in günlük güneş radyasyonunun 4,18 kWh/M<sup>2</sup>/g olduğu lokasyona kurulması düşünülen sistem için fizibilite çalışması yapılmıştır (Url-19). İki sistem enerji ve çevresel potansiyelleri açısından değerlendirilmiştir.

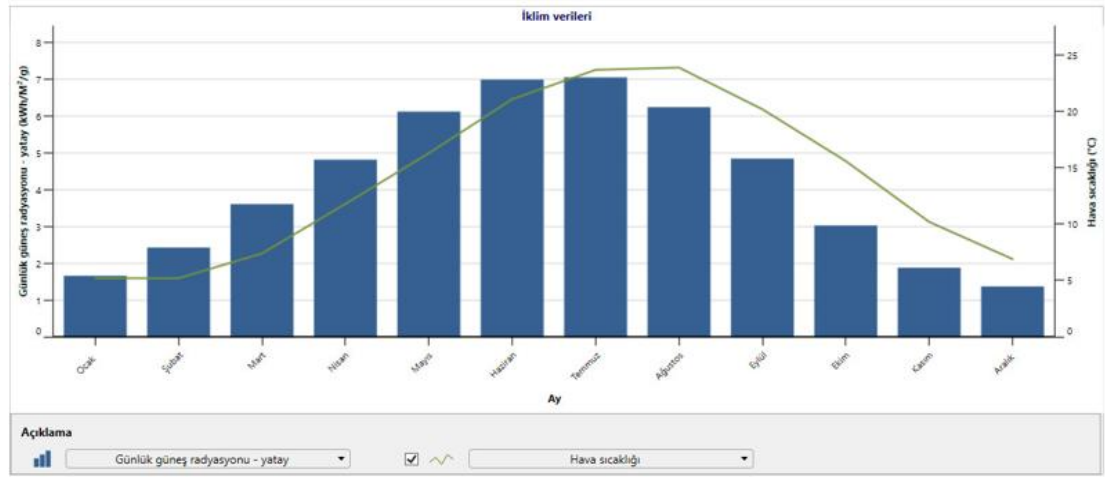
### 2.2 Çalışma Alanı

Bursa, Marmara Bölgesinin Güney Marmara bölümünde, 40° batı boylam ve 29° kuzey enlem dairelerinde yer almaktadır. Türkiye'nin dördüncü en kalabalık şehri olup, 17 ilçesi bulunmaktadır (Url-20). Karacabey ilçesi, Bursa'nın 70 km batısında yer alıp, nüfus bakımından Bursa'nın 9. en büyük ilçesidir. İlçede hayvancılık ileri düzeyde yapılmaktadır. Hayvancılık faaliyetleri halka büyük gelir sağlamakta ve önemli geçim kaynağını oluşurmaktadır (Url-21). Bursa iline ait, güneş enerji potansiyel atlası (GEPA) şekil 2.1'de verilmiştir (Url-16). şekil 2.2'de Bursa için aylık ve günlük güneş radyasyonu ile ortalama sıcaklık değerleri gösterilmektedir. Güneş ışınımının Aralık ve şubat aylarında minimum değer gösterdiği, Ağustos ayında ise maksimum değere ulaştığı görülmüştür. Sıcaklık değeri 5,2 °C ile 23,9°C arasında

değişirken, günlük güneş radyasyonu 1,37 ile 7,06 kWh/M<sup>2</sup>/g değerleri arasında değişmektedir (Url-19).



Şekil 2.1 : 2024 yılı güneş enerji potansiyeli atlası Bursa ili örneği (Url-16).



Şekil 2.2 : 2024 yılı güneş radyasyonu ile ortalama sıcaklık değerlerinin günlük ve aylık değerleri (Url-19).

Çalışmanın gerçekleştirileceği işletme, 2013 yılında Bursa'nın Karacabey ilçesine bağlı Fevzipaşa Köyünde, toplamda 300.000 m<sup>2</sup> arazi içerisinde kurulmuştur. Süt üretimi, damızlık düve yetiştiriciliği ve besicilik faaliyet alanlarıyla üretim yapan işletme 1000 baş sağmal olmak üzere toplamda 3500 büyükbaş hayvan kapasitesine sahiptir. Şu an çiftlikte 1100 adet sağmal hayvan, 900 adet genç hayvan bulunmaktadır. Çiftliğin sağmal ahırlarında süt sağım pompaları, aydınlatma, havalandırma, ısıtma üniteleri ile hayvanların boyunlarına bağlanan kızgınlık ve adım takip cihazlarının bilgisayar ortamında takip edilmesi gibi çeşitli ekipmanların bulunmasından dolayı enerji tüketimleri diğer ahırlara göre daha fazladır. İşletme ile görüşme gerçekleştirildiğinde

Şebekeye, bağlantılı güneş enerjisi sistemlerinin, sağmal ahır çatısına kurulması uygun görülmüştür. Ahırın çatı alanı ise 4500 m<sup>2</sup> (150m–30m)'dir. Çalışmada incelenen ve enerji sisteminin uygulanacağı süt sığırı işletmesinin üstten görünüşü Şekil 2.3'te, çiftliğin içten görüntüsü Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



**Şekil 2.3 :** Çalışmanın uygulanacağı yerin uzaktan görüntüsü (Url-19).



**Şekil 2.4 :** Çalışmanın uygulanacağı çiftliğin içten görüntüsü.

## 2.3 Metot

### 2.3.1 Biyogaz potansiyelinin ve engellenen CO<sub>2</sub> emisyonunun belirlenmesi

Kaliteli gübre üretimi için hayvan türleri, beslenme türleri, günlük su içme sıklıkları, hayvanların ağırlıkları önemli bir durumdur. Bu çalışmada Bursa'nın Karacabey ilçesinde bulunan bir süt sığırı çiftliği için 2023 yıllarında mevcut olan hayvan sayıları değerlendirilmiş ve bu veriler yardımıyla gübre miktarları, yıllık biyogaz miktarları ve biyogazdan üretilebilecek enerji miktarları hesaplanmıştır. Hayvansal atıklardan oluşacak gübrenin hesaplanmasında hayvan türüne göre birim yükün bireysel olarak

ölçülebilirliği söz konusu olmadığından literatürde öngörülen bazı kabullerin kullanılması gereklidir. Buna göre bu kabuller Çizelge 2.1’de (Hacısalıhoğlu, 2023; Tırınk, 2022; Omer ve Fadalla, 2003; Koçer ve diğ., 2006; Avcıoğlu ve diğ., 2013; Aktaş ve diğ., 2015; Ilgar, 2016; Salihoğlu ve diğ., 2019), hayvansal atık kaynaklı gübre ve biyogaz potansiyeli hesaplamasında kullanılan eşitlikler ise Çizelge 2.2’de verilmiştir (Salihoğlu ve diğ., 2019; Tırınk, 2022; Omer ve Fadalla, 2003). Hesaplamalar Çizelge 2.1’de verilen en büyük ve en küçük değer aralıkları baz alınarak yapılmış, bu değerler dışına çıkılmamıştır.

**Çizelge 2.1 : Hayvan türlerine göre literatür katsayı değerleri.**

Simge	Katsayı/Birim	Büyükbaş Hayvan (BBH)	Küçükbaş Hayvan (KBH)	Kanatlı Hayvan (KH)
A <sub>CH</sub>	Canlı hayvan ağırlığı (kg)	135-800	30-75	1,5-12
T <sub>YGM</sub>	Toplam yaş gübre miktarı (kg/gün)	6-48	1,2-3,75	0,045-0,48
Y <sub>KG</sub>	Kullanılabilir Gübre (%)	65	13	99
M <sub>B</sub>	1 ton yaş gübreden elde edilen biyogaz oranı (m <sup>3</sup> /ton)	33	58	78
E <sub>B</sub>	Biyogaz ısı değeri (MJ/m <sup>3</sup> )	20-27	20-27	20-27

Çizelge 2.1 incelendiğinde A<sub>CH</sub> (kg) hayvan türüne göre hayvanların ağırlıklarını ifade etmektedir. Çiftlikte 1100 adet sağmal hayvan ve 900 adet genç hayvan bulunmaktadır. Hesaplamalarda bu değer sağmal hayvan için 550 kg, genç hayvan için 200 kg olarak kabul edilmiştir. Benzer şekilde Çizelge 2.1’deki aralık değerleri dikkate alınarak üretilen toplam yaş gübre miktarları (T<sub>YGM</sub>; kg/gün) sağmal hayvan için 43 kg/gün, genç hayvan için 2,48 kg/gün (Yağlı ve Koç, 2019; Görmüş, 2018) olarak kabul edilmiştir. Buzağı, genç hayvan olarak kabul edilecektir. Y<sub>KG</sub> (%) değeri hayvanların türlerine göre oluşan gübrenin kullanılabilirlik oranını ifade etmektedir. Hayvan türlerinin ahırda veya kümeste kalma süreleri dikkate alınarak, oluşan atığın kullanılabilirliğini ifade eden bu değer, hayvan türüne göre büyükbaş hayvan (BBH) için 0,65 olacak şekilde alınmıştır. Hesaplamalarda kullanılan N<sub>CH</sub> değeri canlı hayvan sayısını ifade etmektedir.

Biyogazın üretim miktarı hayvan türü ve atık özelliğine göre farklılıklar gösterebilmektedir. 1 ton yaş gübreden elde edilen biyogaz miktarı M<sub>B</sub> (m<sup>3</sup> /ton) ile ifade edilmekte olup, bu değer hayvan türüne göre BBH için 33 m<sup>3</sup> /ton olarak

alınmıştır (Tırınk, 2022; Ay ve Kaya, 2020). Hayvansal atıklardan elde edilen biyogaz enerjisinin ısıl değerinin hesaplanabilmesi için, birim biyogazın ısıl değerinden ( $E_B$ ;  $MJ/m^3$ ) faydalanılır. Oluşacak biyogazın içerdiği metan miktarına göre biyogaz ısıl değeri 20-27  $MJ/m^3$  aralığında değişim göstermektedir (Ayhan, 2015). Çalışmada bu değer 23,5  $MJ/m^3$  olarak alınmıştır. Biyogazın 23,5  $MJ$ 'lük ısıl değerinin elektrik enerjisi eşdeğeri 6,53 kWh'e eşdeğerdir (1 kWh elektrik enerji değeri 3,6  $MJ$ 'e eşittir) (Tırınk, 2022; Salihoğlu ve diğ., 2019). Biyogazdan elektrik enerjisi üretiminin gerçekleşmesi için kojenerasyon sistemleri kullanılmaktadır. Kojenerasyon, enerjinin etkin kullanımı için elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretilmesini sağlayan teknolojidir. Bu sistemlerde gaz yakılarak mekanik enerjiye dönüştürülür. Kombine ısı ve güç sistemlerinin elektriksel verimliliği %35-40 arasında değişmektedir. Hesaplamalarda bu değer %40 olarak kabul edilmiştir ve bu oranla çalışan kojenerasyon sistemi için 1  $m^3$  biyogazın elektriksel eşdeğeri 2,61 kWh olarak kabul edilmiştir. Toz kömürün yakılmasıyla 1 kWh elektrik üretimi için ortalama sera gazı emisyonu 710  $gCO_2$ , doğalgazın yakılmasıyla 1 kWh elektrik üretimi için ortalama sera gazı emisyonu 380  $gCO_2$  olurken biyogazın yakılması için ortalama sera gazı emisyonu 26  $gCO_2$ 'dir (Tırınk, 2022; Url-22). Yılda ne kadar  $CO_2$  salınımının engellenebileceğini hesaplamak için bu iki değer arasındaki fark alınmıştır ve işlemlerde 684  $g kWh^{-1}$  katsayısı kullanılmıştır. Yetkili kişiler ile yapılan görüşmeler sonucunda 1 ton gübre miktarı 18 \$ olarak kabul edilmiştir. Temiz enerji (TE) üretim kredi oranı 0,007  $\$/tCO_2$  kabul edilmiştir (Eremkere ve Aktaş, 2020). Biyogaz tesisi için yenilenebilir enerji kaynaklarını destekleme mekanizması (YEKDEM) elektrik ihracat gelirini 1 Temmuz 2024 tarihi itibarı ile 0,086  $\$/kWh$  (Url-23) olarak belirledi ve işlemlerde bu değer kabul edilmiştir.

**Çizelge 2.2 :** Hayvansal atık kaynaklı gübre ve biyogaz potansiyeli hesaplamasında kullanılan eşitlikler (Hacısalihoğlu, 2023).

Eşitlik Adı	Birim	Formülasyon
Toplam Kullanılabilir Yaş Gübre Miktarı (1)	kg/gün	$T_{KYGM} = T_{YGM} * Y_{KG}$
Yıllık Toplam Yaş Gübre Potansiyeli (2)	ton/yıl	$T_{YGP} = T_{KYGM} * N_{CH} * 365/1000$
Yıllık Biyogaz Miktarı (3)	$m^3/yıl$	$T_{biyogaz} = T_{YGP} * M_B$
Biyogazdan Üretilebilecek Enerji Miktarı (4)	$MJ/yıl$	$E_{ısı} = T_{biyogaz} * E_B$

Çizelge 2.2’de sunulan Eşitlik 1’de  $T_{KYGM}$  toplam kullanılabilir yaş gübre miktarını ifade etmektedir ve bu miktarı bulmak için toplam yaş gübre miktarı ile oluşan gübrenin kullanılabilirlik oranı çarpılarak hesaplanmaktadır. Eşitlik 2’de  $T_{YGP}$  yıllık toplam yaş gübre potansiyelini ifade etmektedir ve bu potansiyeli bulmak için toplam kullanılabilir yaş gübre miktarı ile hayvan türlerine göre hayvan sayıları çarpılarak hesaplanmaktadır. Eşitlik 3’te  $T_{Biyogaz}$  hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarını ifade etmektedir ve bu miktarı bulmak için toplam yaş gübre miktarı ile 1 ton yaş gübreden elde edilebilecek biyogaz oranı çarpılarak hesaplanmaktadır. Son olarak Eşitlik 4’te  $E_{ısı}$  biyogazdan üretilebilecek enerji miktarını ifade etmektedir ve bu miktarı bulmak için yıllık üretilen biyogaz miktarı ile biyogazın ısı değeri çarpılarak hesaplanmaktadır.

### **2.3.2 RETScreen analiz programı (Government of Canada-Opensource)**

RETScreen, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve kojenerasyon proje fizibilite çalışmaları ve devam eden enerji verimliliği analizlerine yönelik temiz bir enerji yönetim yazılımı sistemidir (Url-19). RETScreen, Microsoft Excel program altyapısı ile birlikte çalışır. Açık kaynaklı bir yazılım programıdır. Programı çalıştırdığınızda karşınıza çıkan sayfada projenin kapsamına ilişkin kapak bilgilerini girebileceğiniz bir bölüm bulunmaktadır. Bu bölümün hemen altında ise analiziniz için gerekli temel girişleri girebileceğiniz bir bölüm bulunmaktadır. Gireceğiniz veriler seçtiğiniz proje türüne bağlıdır. Bu program basit veya ayrıntılı analiz yapma olanağı sağlar.

Program, "Başlat" sayfasında girilen alan referans girişi ve online veri tabanına entegre edilen iklim veri tabanı sayesinde otomatik olarak çalışabilmektedir. RETScreen iklim veri tabanı enlem, boylam ve rakım değerlerini, aylık sıcaklıkları, bağıl nemi, güneş radyasyonunu, barometrik basıncı, rüzgar hızını, yüzey sıcaklığını, ısıtma ve soğutma talebi değerlerini görüntülemenize olanak sağlar (Doğan ve diğ., 2012). Yazılımın menüleri sırasıyla; Dosya, Yer, Tesis, Enerji, Maliyet, Emisyon, Finansman, Risk, Veriler, Analiz, Rapor ve Özel’dir.

- *Dosya Menüsü:* RETScreen Expert yazılımını çalıştırdığınızda, ilk olarak dosya menüsü açılır. Bu menü, analize başlamadan önce yapılacak seçimlerin yapıldığı önemli bir noktadır. Kullanıcılar, performansı inceleme, kıyaslama yapma, fizibilite analizi veya hepsini içeren seçenekler arasından tercihlerini belirlemelidirler.

Bu seçim, kullanıcının analiz sürecinin doğru bir şekilde başlamasını sağlar ve hangi adımların izleneceğini belirler.

- *Yer menüsü:* RETScreen Expert yazılımında önemli bir bölümdür. Bu menü, kullanıcıların analiz edecekleri tesisin konumunu belirtmelerine olanak tanır. Kullanıcılar, tesisin bulunduğu bölgenin coğrafi ve iklimsel verilerine erişebilirler.
- *Tesis Menü:* Tesisin türü, tipi ve açıklamaları gibi detaylarla birlikte, analizi hazırlayan veya varsa hazırlatılan kişi bilgilerini içerir. Aynı zamanda tesisin adresi ve ismi gibi tanımlayıcı bilgiler de burada girilir. Bununla birlikte, tesisin enerji kullanımı veya üretimiyle ilgili tüketilen yakıtlar ve oluşan emisyonlar gibi veriler de bu menü altında kaydedilir ve analize devam edilir. Bu bilgiler, analizin doğru bir şekilde yapılarak, tesisin performansının etkili bir biçimde değerlendirilmesine olanak tanır.
- *Enerji Menü:* Analiz sürecinde, enerjiyle ilgili tüm bilgiler, enerji menüsü altında toplanır. Bu menüde, enerjinin üretimi ve kullanımıyla ilgili ekipmanlar, üretim yöntemleri, tüketim alanları gibi çeşitli bilgiler ilgili bölümlere girilir. Bu şekilde, analizin devamında enerjiye dair detaylı incelemeler yapılarak, tesisin enerji performansı etkili bir şekilde değerlendirilir.
- *Maliyet Menü:* Analiz kapsamında, ilgili tesis için gerçekleştirilen tüm masraflar, kredi çekimleri ve bakım maliyetleri bu menüde incelenir. Bu bilgiler, tesisin finansal durumunun detaylı bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlar.
- *Emisyon Menü:* Tesisin bulunduğu bölgedeki seragazı emisyon oranlarını içerir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla elde edilen enerjiye bağlı olarak seragazı salınımindaki azalmaları da gösterir.
- *Finansman Menü:* Tesisle ilgili yakıt maliyetleri, teşvik ve hibe programları, borç oranı, faiz oranları, ve faiz ödemeleri gibi çeşitli finansal veriler girilir. Bu veriler, amortisman hesaplamalarının ve analizin temelini oluşturur, böylece tesisin finansal durumu ve yatırımın getirisi değerlendirilebilir.
- *Rapor Menü:* Veri girişleri tamamlandıktan sonra, yazılımın bu menüsü altında çeşitli rapor türlerinden istenilenler seçilerek, analiz sonuçlarına dayalı raporlar kolayca oluşturulabilir. Bu raporlar, Nihai Kullanım, Kıyaslama, Seragazı Emisyonu, Finansal Sürdürülebilirlik, Nakit Akışı, Risk gibi çeşitli alanlarda detaylı bir görünüm sunar ve kullanıcılara analizlerinin sonuçlarını net bir şekilde görmelerini sağlar (İzmirli, 2019).

### 2.3.2.1 Fotovoltaik enerji sistemi programı enerji menüsü

Çalışma alanında yer alan ve hayvanların barındığı ahırın çatısına kurulacak olan güneş enerji santralinin (GES) kurulu gücü 818 kW'tır. Ahırın toplam çatı alanı 4500 m<sup>2</sup> 'dir. Toplam 4500 m<sup>2</sup> çatı alanına sahip ahır için çatının her iki kısmına 750 adet olacak şekilde toplamda 1500 adet panel kullanılacaktır. Panel tipi olarak daha yüksek verim ve dolaylı olarak daha fazla elektrik enerjisi vermesinden dolayı fotovoltaik enerji sistemi analiz programına mono-si panel tipi girilmiştir (Gültuna, 2015). Güneş üretim tesisi projelerinde görevli olan yetkili ile yapılan görüşmeler sonucunda çiftliğe kurulması planlanan GES için Panel markası Trina Solar ve her bir panelin gücü ise 545 W kapasitesine sahip olacak şekilde seçilmiş, panel eğimi 30°, azimut açısı -20° olacak şekilde kabul edilmiştir. İnverter sayısı 5 adet olacak şekilde planlanmış ve her bir inverterin verimlilik değeri %95, kapasiteleri 100 kW olacak şekilde fotovoltaik enerji sistemi programına girilmiştir. Güneş enerjisi sistemi için YEKDEM elektrik ihracat gelirini 1 Temmuz 2024 tarihi itibarı ile 0,053 \$/kWh (Url-23) olarak belirledi ve işlemlerde bu değer kabul edilmiştir. Kabul edilen değerler Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

Fotovoltaik	
Tip	mono-Si
Güç kapasitesi	817,5 kW
İmalatçı	Trina Solar
Model	mono-Si - TSM-DE19 / 545 W
Ünite sayısı	1.500
Verimlilik	20,9%
Nominal çalışma hücresi sıcaklığı	45 °C
Sıcaklık katsayısı	0,4% / °C
Güneş kollektörü alanı	3.911 M <sup>2</sup>
İki yüzeyli hücre ayarlama faktörü	0%
Çeşitli kayıplar	15%
İnverter	
Verimlilik	95%
Kapasite	500 kW
Çeşitli kayıplar	1%
Özet	
Kapasite faktörü	14,4%
İlk maliyetler	350.004 USD
İşletme ve Bakım maliyetleri (tasarrufları)	4.156 USD
Elektrik ihracat fiyatı	Elektrik ihracat fiyatı - yıllık
Şebekeye verilen elektrik	0,053 USD/kWh
Elektrik ihracat geliri	1.030 MWh
	54.612 USD

Şekil 2.5 : Fotovoltaik enerji sistemi programında kabul edilen fotovoltaik panel parametreleri (Url-19).

### 2.3.2.2 Fotovoltaik enerji sistemi programı maliyet menüsü

İlk maliyetler bölümünde güneş üretim tesisi projelerinde görevli olan yetkili ile yapılan görüşmeler sonucunda etüt - proje giderleri 5.000 \$, geliştirme 1.500 \$, mühendislik ve işçilik birim maliyeti 10.000 \$, konstrüksiyon birim maliyeti 13.500

\$, inverter miktarı 5 adet ve birim maliyeti 5000 \$, DC-AC kablo 1500 m için 7.500 \$, GES panosu 6.000 \$, çatı güçlendirme 75.000 \$, bağlantı ekipmanları 3.000 \$ olacak şekilde karar verilmiştir. Elektrik sistemi kısmında GES kurulu gücü olan 818 kW'a panel birim maliyeti 140 \$ olacak şekilde karar verilmiştir ve bu değerler Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

İlk maliyetler (krediler)	Birim	Miktar	Birim maliyet	Miktar	Nisbi maliyetler
<b>Fizibilite etüdü</b>					
- Fizibilite etüdü	maliyet	1	USD 5.000	USD 5.000	5.000
<b>Ara Toplam:</b>				<b>USD 5.000</b>	<b>1,8%</b>
<b>Geliştirme</b>					
- Geliştirme	maliyet	1	USD 1.500	USD 1.500	1.500
<b>Ara Toplam:</b>				<b>USD 1.500</b>	<b>0,5%</b>
<b>Mühendislik</b>					
- Mühendislik	maliyet	1	USD 10.000	USD 10.000	10.000
- İşçilik	maliyet	1	USD 10.000	USD 10.000	10.000
<b>Ara Toplam:</b>				<b>USD 20.000</b>	<b>7,1%</b>
<b>Elektrik sistemi</b>					
Fotovoltaik - 1000 kW	kW	818	USD 140	USD 114.450	
Yol yapımı	km			USD -	
İletim hattı	km			USD -	
Trafo Merkezi	proje			USD -	
Enerji verimliliği önlemleri				USD -	
- Solar DC Kablo	maliyet	1	USD 7.500	USD 7.500	7.500
- Inverter	maliyet	5	USD 5.000	USD 25.000	25.000
- GES Panosu	maliyet	1	USD 6.000	USD 6.000	6.000
<b>Ara Toplam:</b>				<b>USD 152.950</b>	<b>54,2%</b>
<b>Sistem dengesi ve diğer</b>					
Yedek parçalar	%			USD -	
Nakliye	proje	1	USD 5.000	USD 5.000	5.000
Eğitim ve işletmeye alma	p-g	1	USD 6.000	USD 6.000	6.000
- Konstrüksiyon	maliyet	1	USD 13.500	USD 13.500	13.500
- Çatı Güçlendirme	maliyet	1	USD 75.000	USD 75.000	75.000
- Bağlantı Ekipmanları	maliyet	1	USD 3.000	USD 3.000	3.000
Öngörülmeyen giderler	%			USD 281.950	
İnşaat dönemi faizi				USD 281.950	
<b>Ara Toplam:</b>				<b>USD 102.500</b>	<b>36,4%</b>
<b>Toplam ilk maliyetler</b>				<b>USD 281.950</b>	<b>100,0%</b>

Şekil 2.6 : Fotovoltaik enerji sistemi programı maliyet analizi ekranı (Url-19).

### 2.3.2.3 Fotovoltaik enerji sistemi programı emisyon menüsü

Emisyon analizi için ülkemizde kullanılan yakıt türleri araştırılmıştır. Kullanılan yakıt türleri T.C Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı sitesinden alınmıştır (Url-22). Sera gazı azaltma kredi oranı 15 \$/tCO<sub>2</sub> olarak kabul edilmiştir (Diken ve Kayışoğlu, 2022). Emisyon analizi için kabul edilen değerler Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

Yakıt türü	Yakıt karşımı %	CO <sub>2</sub> emisyon faktörü kg/GJ	CH <sub>4</sub> emisyon faktörü kg/GJ	N <sub>2</sub> O emisyon faktörü kg/GJ	Elektrik üretim verimliliği %	İ&D kayıpları %	Seragazı emisyo faktörü tCO <sub>2</sub> /MWh
- Doğal gaz	23,9%	49,6	0,0010	0,0009	40,8%	7,0%	0,473
- Fuel oil (#6)	0,2%	74,1	0,0029	0,0019	28,6%	7,0%	1,012
- Kömür	20,5%	92,7	0,0145	0,0029	33,8%	7,0%	1,073
- Güneş	10,6%	0,0	0,0000	0,0000	100,0%	7,0%	0,000
- Rüzgar	11,0%	0,0	0,0000	0,0000	100,0%	7,0%	0,000
- Jeotermal	1,6%	0,0	0,0000	0,0000	30,0%	7,0%	0,000
- Hidro	29,8%	0,0	0,0000	0,0000	100,0%	7,0%	0,000
- Biyokütle	2,4%	0,0	0,0299	0,0037	23,3%	7,0%	0,030
<b>Elektrik karşımı</b>	<b>100,0%</b>	<b>92,1</b>	<b>0,0134</b>	<b>0,0029</b>		<b>7,0%</b>	<b>0,336</b>

SG azaltım geliri	
Seragazı azaltım kredi oranı	\$/tCO <sub>2</sub> 15

Şekil 2.7 : Emisyon analiz kabulleri (Url-19).

### 2.3.2.4 Fotovoltaik enerji sistemi programı finansman menüsü

Enflasyon oranı %16,5, iskonto oranı %12,85 ve yeniden yatırım oranı %9 (Url-24), proje ömrü ise 10 yıl olacak şekilde kabul edilmiştir. Borç oranı %0 olarak kabul edilmiştir. Elektrik ihracatı eskalasyon oranı %11 olarak kabul edilmiştir (Url-24). Temiz enerji (TE) üretim kredi oranı 0,007 \$/tCO<sub>2</sub> olarak kabul edilmiştir (Eremkere ve Aktaş, 2020). Finansal analiz için kabul edilen değerler Şekil 2.8’de gösterilmiştir.

Finansal parametreler		
<b>Genel</b>		
Yakıt maliyeti eskalasyon oranı		11%
Enflasyon oranı	%	16,5%
İskonto oranı	%	12,85%
Yeniden yatırım oranı	%	9%
Proje ömrü	yıl	10
<b>Finansman</b>		
Teşvikler ve hibeler	USD	
Borç oranı	%	0%
<b>Gelir vergisi analizi</b>		
<input checked="" type="checkbox"/>		
Geçerli gelir vergisi oranı	%	15%
Zarar beyanı?		Hayır
Amortisman yöntemi		Azalan denge
Yan yıl kuralı - yıl 1	evet/hayır	Hayır
Amortisman vergi matrahı	%	100%
Amortisman oranı	%	4%
Vergi tatili var mı?	evet/hayır	Hayır
<b>Yıllık ciro</b>		
<b>Elektrik ihraç geliri</b>		
Şebekeye verilen elektrik	kWh	1.030.419
Elektrik ihracat fiyatı	USD/kWh	0,05
Elektrik ihraç geliri	USD	54.612
Elektrik ihracatı eskalasyon oranı	%	11%
<b>SG azaltım geliri</b>		
Net seragazi azaltımı	tCO <sub>2</sub> /yıl	346
Net seragazi azaltımı - 10 yıl	tCO <sub>2</sub>	3.461
Seragazi azaltma kredi oranı	USD/tCO <sub>2</sub>	15
SG azaltım geliri	USD	5.191

Şekil 2.8 : Finansal analiz kabulleri (Url-19).

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Yıllık Biyogaz Miktarı ve Engellenen CO<sub>2</sub> Salınım Bulguları

Bursa'nın Karacabey ilçesi bir süt sığırı çiftliğinde hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan atıkların gübre ve biyogaz potansiyelleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, çiftlikte 2023 yılında mevcut olan hayvan sayıları işletmeden temin edilmiştir. Hayvan türlerine ve 2023 yılına göre oluşabilecek gübre miktarları belirlenerek, bu gübrelerden elde edilebilecek biyogaz içerikleri hesaplanmıştır. Çizelge 3.1'de çiftliğin 2023 yılı ve türlerine göre hayvan sayıları verilmiştir. Bu veriler yardımı ile hesaplanan yıllık yaş gübre potansiyeli ve yıllık üretilen biyogaz miktarları da Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

**Çizelge 3.1 : Süt Sığırı Çiftliğinin yıllara ve hayvan türlerine göre elde edilen gübre ve biyogaz miktarları.**

ÇİFTLİK	Hayvan Türü	Hayvan Sayısı (Adet)	Yıllık Yaş Gübre Potansiyeli (T <sub>YGP</sub> ; ton/yıl)	Yıllık Biyogaz Miktarı (T <sub>Biyogaz</sub> m <sup>3</sup> /yıl)
	Sağmal Hayvan	1.100	11.222	370.326
2023 TOPLAM	Genç Hayvan	900	529,5	17.474
	Toplam	2000	11.752	387.800

Çizelge 3.1 incelendiğinde, hayvan türüne göre en fazla sayıya sahip olan türün sağmal hayvan olduğu görülmektedir. Elde edilen yıllık yaş gübre potansiyeli incelendiğinde, sağmal hayvan sayısı yüksek olduğundan yıllık en yüksek yaş gübre potansiyeline (11.222 ton/yıl) sahip olduğu görülmektedir. Hayvansal atıklardan elde edilen yıllık biyogaz üretim miktarı incelendiğinde en düşük biyogaz üretiminin genç hayvan kaynaklı olduğu (17.474 m<sup>3</sup> /yıl) tespit edilmiştir. Biyogazdan üretilen elektrik enerjisi ve engellenen CO<sub>2</sub> salınım değerleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2** : Biyogazdan üretilen elektrik enerjisi ve engellenen CO<sub>2</sub> salınım değerleri.

ÇİFTLİK	Hayvan Türü	Hayvan Sayısı (Adet)	Biyogazdan Üretilen Enerji Miktarı (E <sub>1</sub> ; MJ/yıl)	Elektrik Enerjisi Miktarı (kWh/yıl)	Engellenen CO <sub>2</sub> Salınım Miktarı (tCO <sub>2</sub> /yıl)
	Sağmal Hayvan	1.100	8.702.661	966.551	661,121
2023 TOPLAM	Genç Hayvan	900	410.639	45.607	31,195
	Toplam	2000	9.113.300	1.012.158	692,316

Çizelge 3.2 incelendiğinde, biyogazdan üretilen enerji miktarının en yüksek olduğu (8.702.661 MJ/yıl) hayvan türü sağmal hayvan kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu veriler hayvan sayıları ve oluşan gübrenin kullanılabilirliği ile ilişkilidir. Biyogaz enerjisinin elektrik enerjisi eşdeğeri de benzer şekilde değişim göstermektedir. En yüksek elektrik enerjisi miktarı (966.551 kWh/yıl) sağmal hayvan atıklarından, en düşük elektrik enerjisi miktarı (45.607 kWh/yıl) ise genç hayvan atıklarından elde edilmiştir. Engellenen CO<sub>2</sub> salınım değerine bakıldığı zaman 2023 yılında toplamda 692,316 tCO<sub>2</sub> emisyonunun engellenebileceği tespit edilmiştir. Çalışmada 2023 yılında çiftlik atıklarından üretilebilecek toplam elektrik enerjisi üretim potansiyeli (sağmal hayvan + genç hayvan) 1.012.158 kWh/yıl olarak belirlenmiştir. Çiftliğin elektrik faturalarından 2023 yılında yıllık tüketilen toplam elektrik enerjisi miktarının 885.855 kWh/yıl olduğu tespit edilmiştir ve böylece çiftliğe biyogaz tesisi kurulumu tercih edilirse çiftliğin elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanmış olacaktır. Biyogaz üretim tesisi projelerinde görevli olan yetkili ile yapılan görüşmeler sonucunda çiftliğe, 818 kW kurulu güce sahip biyogaz tesisinin kurulması halinde yıllık toplam üretilen elektrik enerjisi potansiyelinin (çiftlik+dışarıdan alınan atıklar) 6.700.000 kWh, ilk yatırım maliyetinin 1 milyon 300 bin \$, işletme ve bakım maliyetinin 230.000 \$ olacağına karar verilmiştir. Tesiste, toplam üretilen elektrik enerjisi potansiyeli ile çiftlik atıklarından üretilen elektrik enerjisi potansiyeli farkı ile 5.687.842 kWh/yıl elektrik enerjisi açığı bulunacaktır. Bu açığı çiftlik dışarısından gelebilecek olan atıklar ile kapatma durumu mümkün olacaktır. 818 kW kurulu güce sahip tesisin ilk yatırım maliyetinin içerisinde; seperatör 40.900 \$, pompalar 20.000 \$, biyogaz üreteçleri (3 adet\*4000 m<sup>3</sup>) 250.500 \$, karıştırıcılar (6 adet) 120.000 \$, işçilik 95.000 \$, komuta kontrol sistemi 240.000 \$ ve gaz motoru+jeneratör maliyetinin

590.000 \$ olacağına karar verilmiştir. Elektrik ihracat geliri 87.046 \$ (sadece çiftlik atıklarından oluşan gelir), ton başına yıllık gübre geliri 211.536 \$ (sadece çiftlik gübresinden oluşan gelir), seragazı geliri 10.385 \$, TE üretim geliri ise 7.085 \$ olmaktadır. Böylelikle çiftlik atıklarından oluşan toplam yıllık tasarruf ve gelirlerin 316.052 \$ olduğu bunun sonucunda yıllık net gelirin ise 86.052 \$ olacağı kararna varılmıştır. Çiftlikte kurulması planlanan biyogaz enerji sistemi için 10 yıl yatırım ömrü sonunda sadece çiftliğin atıklarının kullanılması ile kazancın -774.468 \$ olacağı ve böylece çiftliğin 10 yıl içerisinde kendini amorti edemeyeceğinin 15-20 yıl içerisinde sistemin kendini amorti edeceği sonucuna varılmaktadır.

2024 yılı itibariyle elektriğin birim fiyatı 0,13 \$/kWh (Url-25) olarak belirlenmiştir. Üretilen 1.012.158 kWh/yıl elektrik enerjisinin öz tüketimde kullanılması durumunda, çiftlik elektrik tüketim giderlerinden yıllık 131.581 \$ tasarruf edecektir. 2023 yılı için çiftlik 885.855 kWh/yıl enerji tüketimi gerçekleştirdiği için 115.161 \$ kendi öz tüketiminde kullanabilecek, geriye kalan 126.303 kWh/yıl elektrik enerjisini ise şebekeye satabilecektir. Çizelge 3.3'te biyogaz üzerine yapılan literatür çalışmaları gösterilmektedir.

**Çizelge 3.3 : Biyogaz üzerine yapılan literatür çalışmaları.**

Yazar/Yıl	Araştırma Amacı	Örneklem	Bulgular
Tırnk (2022)	Iğdır ilindeki biyogaz enerji potansiyeli, ısı ve elektrik enerji miktarları ve engellenen CO <sub>2</sub> salınım değerleri ilçe bazında potansiyel değerleri araştırılmıştır.	Iğdır ilindeki büyükbaş,küçükbaş ve kümes hayvanlar	Yıllık Iğdır ilinde üretilebilecek biyogaz potansiyeli 43.952.304 m <sup>3</sup> , ısı enerji miktarı 1.032.879 GJ ve elektrik enerji miktarı 114.716 MWh olarak hesaplanmıştır. Biyogaz enerjisinin kullanılması ile elde edilecek elektrik enerjisinden yıllık 78 465 tCO <sub>2</sub> emisyon salınımı azaltımı sağlanacaktır.
Ay ve Kaya (2020)	Kahramanmaraş ilindeki biyogaz enerji potansiyeli, elektrik enerji miktarları ilçe bazında potansiyel değerleri araştırılmıştır.	Kahramanmaraş ilindeki büyükbaş,küçükbaş ve kümes hayvanlar	Kahramanmaraş ilinde büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvan varlığından faydalanılarak yapılan hesaplama göre, yıllık gübre potansiyelinin 1 691 310 ton olduğu ve teorik biyogaz potansiyelinin ise yaklaşık 70 milyon m <sup>3</sup> olduğu tespit edilmiştir. Kahramanmaraş ilinde biyogaz potansiyelinden üretilen teorik enerjinin yaklaşık 326 GWh olduğu belirlenmiştir.
Salihoğlu ve diğ. (2019)	Balıkesir ili sınırları içerisinde bulunan büyükbaş ve küçükbaş hayvanların atıklarından elde edilebilecek biyogaz üretim miktarı ve enerji potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.	Balıkesir ilindeki büyükbaş,küçükbaş hayvanlar	Balıkesir ilinde, büyükbaş hayvan sayısı 512.487 adet ve küçükbaş hayvan sayısı 991.521 adet olarak tespit edilmiştir. Balıkesir ilindeki hayvan varlığına göre yapılan hesaplamalar sonucunda potansiyel yıllık biyogaz enerjisinin 82.815.600 m <sup>3</sup> ve elde edilebilecek yıllık elektrik enerjisinin yaklaşık 389.233.320 kWh olduğu tespit edilmiştir.
Yağlı ve Koç (2019)	Adana ilindeki biyogaz enerji potansiyeli ve elektrik enerji miktarları ve engellenen CO <sub>2</sub> salınım değerleri ilçe bazında araştırılmıştır.	Adana ilindeki büyükbaş, küçükbaş, tek tırnaklı ve kanatlı hayvanlar	Toplam 3.062.992 adet hayvandan toplam yılda 88.367,417 m <sup>3</sup> metan üretilebileceği, bu metan gazının 78.745,94 m <sup>3</sup> 'ünün büyükbaş hayvanlardan, 4.611,26 m <sup>3</sup> 'ünün küçükbaş hayvanlardan, 223,85 m <sup>3</sup> 'ünün tek tırnaklı hayvanlardan ve 4.786,38 m <sup>3</sup> 'ünün kanatlı hayvanlardan üretilebileceği, 2018 yılında hayvan gübresinden biyogaz üretimi yapılması sonucu, üretilebilecek toplam metan gazının enerji değerinin 3.181,227 GJ/yıl ve yılda 309,286 MWh elektrik üretiminin mümkün olacağı ve hayvansal atıklardan biyogaz eldesi ile yılda yaklaşık 179,4 tCO <sub>2</sub> salınımının engellenebileceği görülmüştür.

### 3.2 Fotovoltaik Enerji Sistemi Programı Enerji Analizi Bulguları

Kullanılan panel özellikleri ve hava koşulları fotovoltaik enerji sistemi programına girildikten sonra aylık ve yıllık toplam enerji üretimi belirlenmiştir. Şekil 3.1' deki aylık sonuçlara göre; en düşük elektrik üretimine 40,433 MWh ile Aralık ayında, en yüksek elektrik üretimine ise 124,568 MWh ile Temmuz ayında ulaşılmıştır. Yazılım ile elde edilen sonuçta yıllık toplam 1.030,419 MWh'lik elektrik üretimi gerçekleşecektir. Fotovoltaik enerji sistemleri kurulumunun gerçekleşmesi halinde çiftliğin elektrik enerjisi karşılanmış olacaktır.

Ay	Günlük güneş radyasyonu - yatay kWh/M <sup>2</sup> /g	Günlük güneş radyasyonu - eğimli kWh/M <sup>2</sup> /g	Elektrik ihracat fiyatı USD/kWh	Şebekeye verilen elektrik MWh
Ocak	1,66	2,37	0,05	48,880
Şubat	2,43	3,13	0,05	57,987
Mart	3,61	4,18	0,05	84,178
Nisan	4,82	5,05	0,05	96,343
Mayıs	6,13	5,96	0,05	114,714
Haziran	7,00	6,56	0,05	119,330
Temmuz	7,06	6,73	0,05	124,568
Ağustos	6,25	6,39	0,05	118,198
Eylül	4,85	5,51	0,05	100,588
Ekim	3,03	3,79	0,05	73,871
Kasım	1,88	2,63	0,05	51,329
Aralık	1,37	1,97	0,05	40,433
<b>Yıllık</b>	<b>4,18</b>	<b>4,53</b>	<b>0,05</b>	<b>1.030,419</b>

Yıllık güneş radyasyonu - yatay MWh/M<sup>2</sup> 1,53  
Yıllık güneş radyasyonu - eğimli MWh/M<sup>2</sup> 1,65

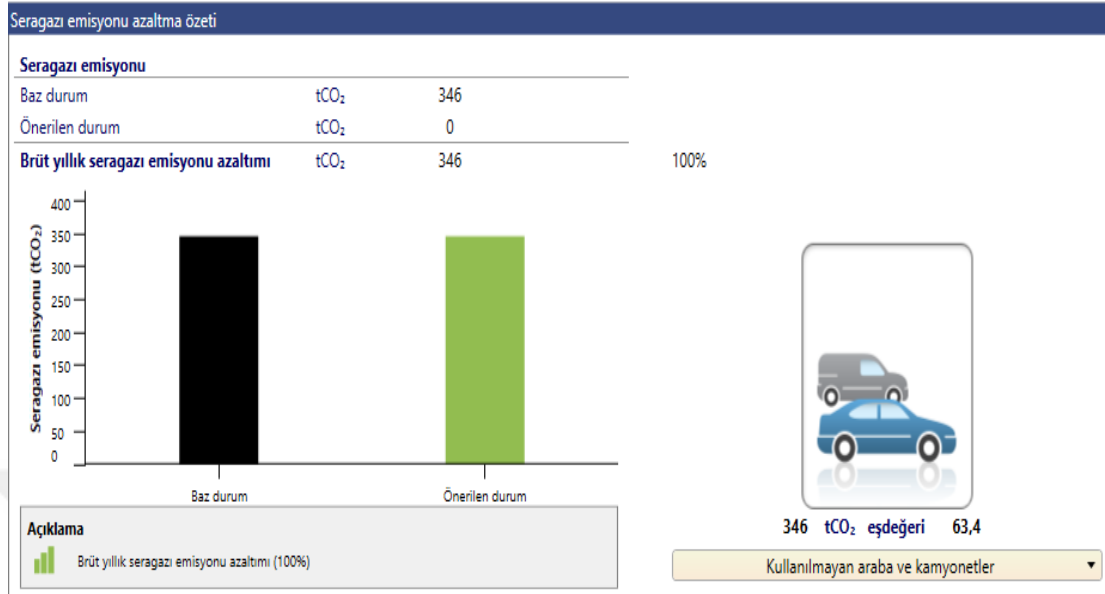
Şekil 3.1 : Aylık ve yıllık olarak panellerin enerji üretim miktarları (Url-19).

### 3.3 Fotovoltaik Enerji Sistemi Programı Emisyon Analizi Bulguları

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının sosyal maliyetlere etkisi oldukça önemlidir. Emisyonların azaltılması sayesinde hem çevreye hem de insanlığa katkısı büyüktür. Yapılan emisyon analizi hesaplamaları sonucunda fotovoltaik enerji sistemi kurulmadan önce yıllık 346 tCO<sub>2</sub> sera gazı emisyonu çevreye yayılması beklenirken (baz durum) eğer fotovoltaik güneş enerji sisteminin kurulumu gerçekleşir ise yıllık 346 tCO<sub>2</sub> sera gazı emisyonunun tamamının azaltımı gerçekleşecektir.

Elde edilen sonuç, ülkemizde bulunmakta olan yakıt türleri değerlerinin sisteme girilmesi ile bulunmaktadır. Sistemden elde edilen sonuçlara bakılacak olursa 346 tCO<sub>2</sub> yıllık sera gazı, 119 ton geri kazanılmış atığa, 63,4 kullanılmamış araba ve

kamyonete, tüketilmeyen 805 ham petrol variline eşdeğerdir. Sera gazı emisyon azaltımı sonuçları Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Sera gazı emisyon azaltım sonuçları (Url-19).

### 3.4 Fotovoltaik Enerji Sistemi Programı Ekonomik Analiz Bulguları

Programın ekonomik analiz kısmı beş bölümden oluşmaktadır: Finansal Parametreler, Yıllık Gelirler, Proje Maliyet ve Gelir Özeti, Finansal Sürdürülebilirlik ve Yıllık Nakit Akışları. "Proje Maliyet ve Gelirlerinin Özeti" ve "Yıllık Gelirler" bölümleri; enerji modelinin, maliyet analizinin ve emisyon analizinin bir özetidir.

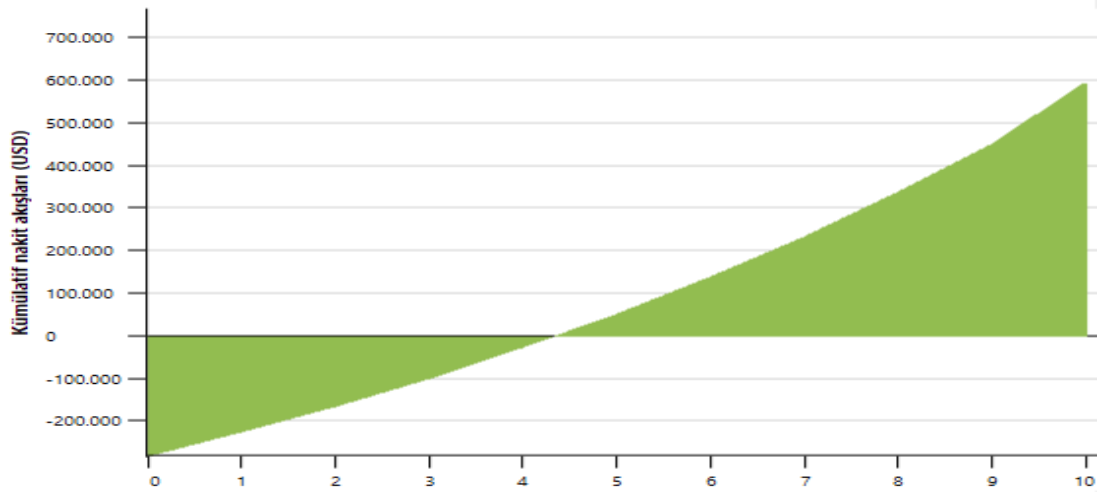
"Finansal parametreler" bölümünde kullanıcı tarafından girilen bilgilere göre projenin finansal göstergelerini oluşturan bölüm "Finansal Sürdürülebilirlik" bölümüdür. Kullanıcıların vergi öncesi nakit akışını, vergi sonrası nakit akışını ve toplam nakit akışını görebildiği bölüm yıllık nakit akışı bölümüdür. Bir projenin kümülatif nakit akışı genellikle negatif bir değer olarak başlar ve yıllar geçtikçe pozitif değere doğru artar. Kümülatif nakit akışının 0 olması projenin başa baş noktasını gösterir (Şanlı ve Günöz, 2018).

Bu çalışmada yukarıdaki veriler doğrultusunda ilk kurulum maliyetleri için ihtiyaç duyulan miktarın 281.950 \$, yıllık maliyetler ve borç ödemelerinin 4.156 \$, yıllık tasarruflar ve gelirin 67.016 \$ olduğu ve bunun sonucunda yıllık net gelirin 62.860 \$ olduğu saptanmıştır. Çizelge 3.4’te maliyet analizi tablosu gösterilmektedir.

Çizelge 3.4 : Maliyet analizi sonuçları (Url-19).

Maliyetler   Tasarruflar   Hasılat				Yıllık nakit akışı			
<b>İlk maliyetler</b>				<b>Yıl #</b>	<b>Vergi öncesi USD</b>	<b>Vergi sonrası USD</b>	<b>Kümülatif USD</b>
Fizibilite etüdü	1,8%	USD	5.000	0	-281.950	-281.950	-281.950
Geliştirme	0,53%	USD	1.500	1	63.135	55.356	-226.594
Mühendislik	7,1%	USD	20.000	2	69.151	60.402	-166.191
Elektrik sistemi	54,2%	USD	152.950	3	75.772	65.965	-100.226
Sistem dengesi ve diğer	36,4%	USD	102.500	4	83.057	72.095	-28.131
<b>Toplam ilk maliyetler</b>	<b>100%</b>	<b>USD</b>	<b>281.950</b>	5	91.069	78.846	50.714
<b>Yıllık nakit akışı - Yıl 1</b>				6	99.879	86.277	136.991
<b>Yıllık maliyetler ve borç ödemeleri</b>				7	109.563	94.453	231.444
İşletme ve bakım		USD	4.156	8	120.204	103.445	334.889
Borç ödemeleri		USD	0	9	131.890	113.327	448.216
<b>Toplam yıllık maliyetler</b>		<b>USD</b>	<b>4.156</b>	10	144.719	144.719	592.934
<b>Yıllık tasarruflar ve gelir</b>							
Elektrik ihraç geliri		USD	54.612				
SG azaltım geliri - yıl		USD	5.191				
Diğer gelir (maliyet)		USD	0				
TE üretim geliri		USD	7.213				
<b>Toplam yıllık tasarruflar ve gelir</b>		<b>USD</b>	<b>67.016</b>				
<b>Net yıllık nakit akışı - Yıl 1</b>		<b>USD</b>	<b>62.860</b>				

Çiftliğin çatısı için kurulması planlanan 1500 adet güneş panelinin kümülatif nakit akışları değerlendirildiğinde söz konusu projenin geri ödeme süresinin 4,4 yıl olduğu 10 yılın sonunda elde edilecek paranın ise 592.934 \$ olacağı tespit edilmiştir. GES kurulu gücü 818 kW için nakit akış grafiği Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3 : GES kurulu gücü 818 kW için nakit akış grafiği (Url-19).

2024 yılı itibariyle elektriğin birim fiyatı 0,13 \$/kWh (Url-25) olarak belirlenmiştir. Üretilen 1.030.419 kWh/yıl elektrik enerjisinin öz tüketimde kullanılması durumunda, çiftlik elektrik tüketim giderlerinden yıllık 133.955 \$ tasarruf edecektir. 2023 yılı için çiftlik 885.855 kWh/yıl enerji tüketimi gerçekleştirdiği için 115.161 \$ kendi öz tüketiminde kullanabilecek, geriye kalan 144.564 kWh/yıl elektrik enerjisini ise şebekeye satabilecektir. Çizelge 3.5'te güneş enerji sistemleri üzerine yapılan literatür çalışmaları gösterilmektedir.

**Çizelge 3.5 : Güneş enerji sistemleri üzerine yapılan literatür çalışmaları.**

Yazar/Yıl	Araştırma Amacı	Örneklem	Bulgular
Diken ve Kayışoğlu (2022)	14 kW'lık PV sistemi kurulumu yapılmadan önce RETScreen programı ile, sistemin uygunluğunun analiz edilmesi (çevresel, finansal, enerji, gölge analizleri) ve performansının gözlemlenmesi amaçlanmıştır.	RETScreen kullanılmıştır	Programı PV santralinden yıllık toplam 20.1 MWh enerji üretilmiştir. Ziraatbiyotek binası yıllık elektrik ihtiyacının yaklaşık %40'ını güneş enerjisinden karşılayacağı elde edilmiştir. PV sisteminden elde edilen 20.1 MWh'lık enerji ile yıllık 9.5 tCO <sub>2</sub> sera gazı salınımı azaltılacaktır.
Dal (2021)	Kayseri'de hidroelektrik üretimi yapan Yamula Barajının su yüzeyine kurulabilecek yüzer GES potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.	Küresel Güneş Atlası (GSA) programı ve sera gazı emisyon analizinde ise RETScreen Programı kullanılmıştır	Sonuç olarak, yüzer GES'in 13°'lik panel eğim açısında olması ve barajın %10'luk alanının kullanılması ile 576,4 MW PV sistemi kurulabileceği ve bu gücün yılda 802,4 GWh elektrik üretimi yapacağı tespit edilmiştir. Yüzer GES ile yılda 378.336,3 tCO <sub>2</sub> emisyonu önlenmesi planlanmaktadır.
İzmirli (2022)	200 kW'lık güneş enerjisi santralının İskenderun'da yerleşik olarak düşünülen bir AVM çatısında kurulduğu varsayılarak, amortisman, enerji üretimi ve çevresel analizleri yapılmıştır.	RETScreen kullanılmıştır.	Programı Sonuçta, yıllık 263 MWh elektrik ürettiği hesaplanmıştır ve çevresel etkiler açısından fotovoltaik güneş enerji güç sisteminin seragazi salınımı bulunmazken, kömür yakıtlı termik santralin GES ile üretilen yıllık 263 MWh elektriği üretebilmek için, 282 tCO <sub>2</sub> seragazi salınımı yapacağı anlaşılmıştır.
Sulukan (2020)	İstanbul'da bulunan Deniz Harp Okulu'nun elektrik talebini karşılayacak, güneş enerjisini kaynak olarak kullanan fotovoltaik (FV) modüllerden oluşan bir sistemin teknolojik ve çevresel yönlerini bulmak amaç edinilmiştir.	RETScreen kullanılmıştır.	Programı Çalışmada hücre sıcaklık değerleri de göz önünde bulundurularak poli-Si malzemeden imal edilmiş FV modüller seçilmiştir. Tavsiye edilen FV kurulumunun sadece dört sene geri ödeme süresi ile pozitif nakit akışına ulaştığı ve öngörülen 25 yıllık proje ömrü devamında da kâr durumunu devam ettirdiği hesaplanmıştır. Yapılan analizde baz durum için, yıllık SG salımı 334.4 tCO <sub>2</sub> ve önerilen sistemde ise yıllık SG salımı 24.3 tCO <sub>2</sub> olarak hesaplanmıştır. FV sistem, yıllık 310.1 tCO <sub>2</sub> SG salımının azalmasını sağlamaktadır.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğal kaynaklardan su, rüzgar, güneş, biyogaz birer enerji kaynağıdır. Gün geçtikçe artan enerji ihtiyacının karşılanması için son zamanlarda yenilenebilir enerji sistemlerine yatırımlar artmaktadır. Bu yatırımlardan biri de güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş ışığı potansiyelinin fazla olduğu bölgelerde kurulması ile yatırımcıya büyük kar sağlar. Yatırımcıların bu durumu değerlendirebilmeleri için fotovoltaik enerji sistemi gibi yazılım programları ile fizibilite analizleri yaparak uygunluğu belirlemeleri gereklidir. Böylece bölgenin uygun olması ile hem bölgedeki insanlar hem de yatırımcılar büyük kazanç sağlayabilir. Fizibilite analizleri ile bölgede kurulması planlanan yenilenebilir enerji sistemlerinin ekonomik ve emisyon değerleri elde edilerek gerekli kararlar verilir. Bu çalışmada Bursa'nın Karacabey ilçesinde bulunan bir süt sığırcı çiftliğine güneş enerji sistemi ve biyogaz enerji sistemlerinin kurulmasının uygunluğu değerlendirilmiştir. Kurulması planlanmakta olan ilk sistem (güneş enerji sistemi) için fotovoltaik enerji sistemi programı kullanılarak 818 kW güçte 1500 adet güneş paneli yatırımının fizibilite analizi yapılmıştır. Karacabey'in ortalama günlük güneş radyasyonu 4,18 kWh/M<sup>2</sup>/g ve yıllık toplam da 1.030.419 kWh 'lik elektrik üreteceği ve bu durumun çiftliğin elektrik tüketim miktarını (885.855 kWh/yıl) karşılayacağını göstermiştir. 1500 adet güneş paneli için ilk yatırım maliyeti 281.950 \$, işletme ve bakım maliyeti 4.156 \$ olarak analiz edilmiştir. Süt sığırcı çiftliğinde kurulması planlanan bu tesis için geri ödeme süresinin 4,4 yıl olduğu, 10 yıl yatırım ömrü sonunda kazancın 592.934 \$ olacağı ve yıllık toplam da 346 tCO<sub>2</sub> sera gazı emisyon azaltımı sağlayacağı sonucuna varılmıştır. Böylece çiftliğin yatırım açısından uygun olabileceği, 5 yıldan fazla kar sağlayacağı öngörülmüştür. Üretilen 1.030.419 kWh/yıl elektrik enerjisinin öz tüketimde kullanılması durumunda ise çiftlik elektrik tüketim giderlerinden yıllık 133.955 \$ tasarruf edecektir. 2023 yılı için çiftlik 885.855 kWh/yıl enerji tüketimi gerçekleştirdiği için 115.161 \$ kendi öz tüketiminde kullanabilecek, geriye kalan 144.564 kWh/yıl elektrik enerjisini ise şebekeye satabilecektir.

Çalışmada, süt sığırı çiftliğine kurulması planlanan bir diğer önemli sistem (biyogaz enerji sistemi) için 2023 yılında mevcut, sağmal hayvan ve genç hayvan sayıları esas alınarak, hayvansal kaynaklı atıkların gübre potansiyelleri belirlenmiştir. Ayrıca, oluşan gübrelerin teorik biyogaz miktarları ve elektrik üretim potansiyeli hesaplanmıştır. 2023 yılının sonunda 11.752 ton/yıl yaş gübre oluşma potansiyeli ve 387.800 m<sup>3</sup>/yıl biyogaz potansiyelinin elde edilebileceği belirlenmiştir. Oluşan biyogazın 9.113.300 MJ/yıl enerji potansiyeline sahip olduğu ve buna bağlı olarak çiftlikten üretilen atıklardan üretilecek toplam elektrik enerjisi üretim potansiyelinin 1.012.158 kWh/yıl olduğu ve yıllık toplam da 692,316 tCO<sub>2</sub> seragazı emisyon azaltımı sağlayacağı ve bu durumun çiftliğin elektrik tüketim miktarını (885.855 kWh/yıl) karşılayacağını göstermiştir. Kurulu gücü 818 kW olan biyogaz tesisinin toplam üreteceği (çiftlik+dışarıdan alınan atık) elektrik üretim potansiyelinin ise 6.700.000 kWh/yıl sonucuna varılmıştır. Tesiste, toplam üretilen elektrik enerjisi potansiyeli ile çiftlik atıklarından üretilen elektrik enerjisi potansiyeli farkı ile 5.687.842 kWh/yıl elektrik enerjisi açığı bulunacaktır. Tesis bu enerji açıklığını dışarıdan gelecek olan atıklar ile sağlayabilecektir. 818 kW kurulu güçteki biyogaz tesisinin ilk yatırım maliyeti 1.300.000 \$, işletme ve bakım maliyeti 230.000 \$ olarak analiz edilmiştir. Çiftlik atıklarından oluşan toplam yıllık tasarruf ve gelirlerin 316.052 \$ olduğu bunun sonucunda yıllık net gelirin ise 86.052 \$ olacağı sonucuna varılmıştır. Çiftlikte kurulması planlanan biyogaz enerji sistemi için 10 yıl yatırım ömrü sonunda sadece çiftliğin atıklarının kullanılması ile kazancın -774.468 \$ olacağı ve böylece çiftliğin 10 yıl içerisinde kendini amorti edemeyeceğinin 15-20 yıl içerisinde sistemin kendini amorti edeceği sonucuna varılmaktadır. Üretilen 1.012.158 kWh/yıl elektrik enerjisinin öz tüketimde kullanılması durumunda ise çiftlik elektrik tüketim giderlerinden yıllık 131.581 \$ tasarruf edecektir. 2023 yılı için çiftlik 885.855 kWh/yıl enerji tüketimi gerçekleştirdiği için 115.161 \$ kendi öz tüketiminde kullanabilecek, geriye kalan 126.303 kWh/yıl elektrik enerjisini ise şebekeye satabilecektir.

Sonuçta iki sistem arasında enerji ve seragazı emisyon azaltımı açısından karşılaştırma yapıldığında her iki sisteminde çiftliğin yıllık elektrik enerjisi miktarını karşıladığı fakat güneş enerjisi sisteminin yıllık daha fazla elektrik enerjisi üreteceği sonucuna varılmıştır. Seragazı emisyon azaltımı açısından biyogaz tesisinin daha fazla emisyon azaltımı gerçekleştireceği fakat tesisin ilk yatırım ile işletme bakım maliyetlerinin fazla olması, 10 yıl yatırım ömrü sonunda kendini amorti edememesi ve çevresel

açıdan bakıldığında ise tesislerde kötü koku, patlama ve kurulum aşamasında emisyon çıkışı gibi dezavantajların gözlenmesinden dolayı çiftliğe güneş enerji sisteminin kurulmasına karar verilmiştir.

Biyogaz enerji sisteminin seçilebilmesi için;

- Tesislere yatırım konusunda teşvikte bulunulabilir. Böylelikle daha fazla biyogaz tesislerinin kurulmasına olanak sağlanabilir.
- Koku problemleri nedeniyle tesisler kurulmadan önce rüzgar yönlerine bakılarak daha az rüzgarın olduğu veya kokuların konutlara vs. gelmeyecek şekilde (ters yönde) kurulum gerçekleştirilebilir.
- Sistemin üretim zamanlarında makine ve ekipmanlarda oluşabilecek herhangi bir olumsuz durumların oluşmaması için personel eğitimleri sıkça gerçekleştirilerek sistemin üretim veriminin düşmesine engel olunabilir.

## KAYNAKLAR

- Alma, M. H.** (2022). TÜBA Biyokütle Enerjisi Raporu. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S. ve Janssen, R.** (2008). Biogas Handbook, University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark.
- Akman, H. E., Alagöz, B. A., Çağman S., Külcü, R., Tolay, M. ve Ünşar E.,** (2023). *Biyogaz Sistemleri Nitelikli Teknik İş Gücü (Seviye +5) İçin Mesleki Temel Konular El Kitabı*. RE-You Projesi, Balıkesir.
- Anonim.** (2020) Ardahan İli Biyogaz Tesisi Ön Fizibilite Raporu. Ardahan: Serhat Kalkınma Ajansı.
- Avcıoğlu, A.O.** (2011). “Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler Biyoyakıtlar.” Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Aktaş, T., Özer, B., Soyak, G. ve Ertürk. M. C.** (2015). Tekirdağ İli’nde Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogazdan Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 11(1), 69-74.
- Ayhan, A.** (2015). Biogas Production Potential from Animal Manure of Bursa Province. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2), 47-53.
- Ay, Ö. F. ve Kaya, A.** (2020). Kahramanmaraş İlinin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(4), 2822-2830.
- Bıyık, E., Bilir, L., Bulunuz, O., Sarı, E. ve Yıldırım, N.** (2023). *Fotovoltaik Güç Sistemleri Nitelikli Teknik İş Gücü (Seviye +5) İçin Mesleki Temel Konular El Kitabı*. RE-You Projesi, Balıkesir.
- Çaçan, F.** (2018). *Fotovoltaik Sistemlerin Kurulum ve Maliyet Analizinin Örnek Bir Otele Uygulanması*. (Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Çelebi, M., Dökmetaş B., Sönmez B. ve Akçam N.** (2017). Belediye Atıklarından Çöp Gazı (LandFill Gas-LFG) Elde Edilerek Elektrik Enerjisi Üretilmesi ve Ülkemizdeki Örneklerinin İncelenmesi. *International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, 695-701.
- Dal, A. R.** (2021). Göl ve Barajların Güneş Enerji Santrali Olarak Kullanım Potansiyelinin İncelenmesi: Yamula Barajı Örneği. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(4), 726-738.
- Diken, B. ve Kayışoğlu, B.** (2022). RETScreen Programı Kullanılarak Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraatbiyotek Binasına Uygulanabilecek

Fotovoltaik Tasarımın Fizibilite Analizi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(3), 656-667.

- Doğan, B. T., Çolakoğlu, A. ve Kıncay, O.** (2012). RETScreen Analiz Programı ile Hatay'da Rüzgar Enerji Santrali Fizibilite Analizi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 131, 15-26.
- Durgun, İ. S., Arslan, M. ve Kalkışım, Ö.** (2021). Gümüşhane OSB'de Çatı Tip Ges Kurulumu Ön Fizibilite Raporu. Gümüşhane: Gümüşhane Ticaret Ve Sanayi Odası.
- Düzcan, A.** (2018). Vakum Tüplü Güneş Kollektör Deney Föyü (1)(4).
- Emiroğlu, F. M., Aybek, A. ve Kuzu, H.** (2021) İki Farklı Fotovoltaik (PV) Enerji Sisteminin Farklı Hayvancılık İşletmelerinde Kullanımının Değerlendirilmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(3), 808-820.
- Eremkere, M. ve Aktaş, T.** (2020). Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Üzüm Suyu İşleme Tesis Çatısına Uygulanabilecek Fotovoltaik Tasarımların Teknik, Ekonomik ve Çevresel Açılardan Analizi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 275-294.
- Güler, S.** (2014). *Orta Ölçekli Hayvancılık İşletmelerinde Yenilenebilir Enerji Kullanım Olanakları Ve Örnek Bir Uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi). Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Gültuna, K. M.** (2015). *Gürsu-Bursa Fotovoltaik Güç Santralinin Simülasyonu; Teknoekonomik Ve Çevresel Optimizasyon*. (Yüksek Lisans Tezi). Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Görmüş, C.** (2018). *Türkiye'deki Hayvan Gübrelerinin Biyogaz Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Hacısalihoğlu, S.** (2022). Hayvansal Kaynaklı Yayılı Kirlilik Yükleri Hesabı, Bursa Örneği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27 (1), 361-374.
- Hacısalihoğlu, S.** (2023). Hayvansal Atıkların Yönetimi, Bursa-Karacabey Örneği. *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 403-415.
- Hunda, (2022).** Xunda Science & Technology Corporation Biogas Lamp Model No:ZD800-400.
- Ilgar, R.** (2016) Hayvan Varlığına Göre Çanakkale Biyogaz Potansiyelinin Tespine Yönelik Bir Çalışma. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 21 (35), 89 -106.
- İzmirli, A. C.** (2022). *200 Kw'lık Pv Güneş Enerji Güç Sisteminin RETScreen Programı Kullanılarak Amortisman Ve Enerji Analizlerinin İrdelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Hatay.
- İleez, B.** (2020) Türkiye'de Biyokütle Enerjisi, İçinde: Türkiye'nin Enerji Görünümü 2020. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Raporu, Yayın No: MMO/717, Ankara.

- İlkılıç C. ve Deviren H.** (2011). Biyogazın Oluşumunu Etkileyen Fiziksel ve Kimyasal Parametreler, 6th International Advanced Technologies Symposium, 125-131 s.
- Öztürk, İ.** (2005) Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Müsteşarlığı, Ankara.
- Omer, A. ve Fadalla, Y.** (2003). Biogas Energy Technology in Sudan. *Renewable Energy*, 28(3), 499-507.
- Salihoğlu, N. K., Teksoy, A. ve Altan, K.** (2019). Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Atıklarından Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Balıkesir İli Örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 31-47.
- Slavica, P., Ivica1, M., Dragica1, R., Milios, J., Slobodan, J. ve Vladislav, N.** (2022). Testing The Energy Efficiency Of CHP Engines And Cost-Effectiveness Of Biogas Plant Operation. *IET Renewable Power Generation*, 555-562.
- Sulukan, E.** (2020). İstanbul'da Bir Fotovoltaik Sistemin Tekno-Ekonomik ve Çevresel Analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 127-132.
- Şanlı, B. ve Günöz, A.** (2018). Mersin İlinin Farklı İlçelerinde Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santrallerinin RETScreen Programı ile Fizibilite Analizleri ve Karşılaştırmaları. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(3), 478-487.
- Kaparaju, P. ve Rintala, J.** (2013). The Biogas Handbook Science, Production and Applications, 17 - Generation of heat and power from biogas for stationary applications: boilers, gas engines and turbines, combined heat and power (CHP) plants and fuel cells. Woodhead Publishing Series in Energy, 404-427.
- Koçer, N. N, Öner, C. ve Sugözü, İ.** (2006). Türkiye'de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi* 4 (2): 17-20.
- Kocabey, S.** (2019) Balıkesir ili için hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17, 234-243.
- PwC (2021)** Biyokütle ve Biyoenerji Sektörlerine Genel Bakış, Türkiye.
- Tırnık, S.** (2022). Calculation of Biogas Production Potential of Animal Wastes: Example of Iğdır Province. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(1), 152-163.
- Türker, G.** (2021). Tarımsal Atıklardan Biyogaz Üretimi İçin Anaerobik Fermentör Tasarımında Etkili Etmenler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* Sayı 21, 181-190.
- Yağlı, H. ve Koç, Y.** (2019) Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Adana İli Örnek Hesaplama. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3), 35-48.

**Yapılcan, H.** (2021) *Aksaray İli Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Aksaray Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aksaray.

**Url-1** <<https://www.drbioengineer.com/post/bi-yogaz>>, erişim tarihi: 01.05.2024.

**Url-2** <<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-biyokutle>>, erişim tarihi: 01.05.2024.

**Url-3** <<https://www.etaekipman.com>>, erişim tarihi:12.08.2024.

**Url-4** <<http://www.isaac-project.it>>, erişim tarihi: 23.10.2022.

**Url-5** <<https://www.statista.com>>, erişim tarihi: 23.10.2022.

**Url-6** <<https://sutema.org>>, erişim tarihi: 12.08.2024.

**Url-7** <<https://www.guneysangunesenerjisi.com.tr>>, erişim tarihi: 03.04.2024.

**Url-8** <[https://tr.wikipedia.org/wiki/Düzlemsel\\_güneş\\_kollektörü](https://tr.wikipedia.org/wiki/Düzlemsel_güneş_kollektörü)>, erişim tarihi: 03.04.2024.

**Url-9** <<https://www.yenienerji.com/bilimsel-bakis/gunes-enerjisinden-pasif-yararlanma-gunes-evleri>>, erişim tarihi: 03.04.2024.

**Url-10** <<https://ourworldindata.org>>, erişim tarihi:12.08.2024.

**Url-11** <<https://www.yapibahce.com/blog-monokristal-ve-polikristal-gunes-paneli-arasindaki-fark-nedir>>, erişim tarihi: 03.04.2024.

**Url-12** <[https://tr.wikipedia.org/wiki/Amorf\\_silisyum](https://tr.wikipedia.org/wiki/Amorf_silisyum)>, erişim tarihi: 03.04.2024.

**Url-13** <<https://moduled.com.tr>>, erişim tarihi: 03.04.2024.

**Url-14** <<https://www.greensolarnetwork.org>>, erişim tarihi: 03.04.2024.

**Url-15** <<https://muhendistan.com/binalara-entegre-fotovoltaik-bipv-sistemler-nedir/>>, erişim tarihi: 03.04.2024.

**Url-16** <<https://gepa.enerji.gov.tr>>, erişim tarihi: 10.01.2024.

**Url-17** <<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>>, erişim tarihi: 01.05.2024.

**Url-18** <<https://www.enerjiatlas.com/gunes/>>, erişim tarihi: 03.04.2024.

**Url-19** <<http://www.retscreen.net>>, erişim tarihi: 10.01.2024.

**Url-20** <<https://tr.wikipedia.org/wiki/Bursa>>, erişim tarihi: 28.01.2024.

**Url-21** <<https://tr.wikipedia.org/wiki/Karacabey>>, erişim tarihi: 27.12.2023.

**Url-22** <<https://enerji.gov.tr>>, erişim tarihi:25.12.2023.

**Url-23** <<https://www.gensed.org/>>, erişim tarihi:25.08.2024.

**Url-24** <<https://www.youtube.com/>>, erişim tarihi:25.08.2024.

**Url-25** <<https://enerjiajansi.com.tr/>>, erişim tarihi:25.08.2024.

## **EKLER**

**EK A:** Yıllık Biyogaz Miktarı ve Engellenen CO<sub>2</sub> Salınım Hesaplamaları

**EK B:** Biyogaz Tesisi İçin Gelirlerin Hesaplanması



## **EK A**

### **1. Hayvansal Atık Kaynaklı Gübre Ve Biyogaz Potansiyeli Değerleri**

#### **1.1 2023 Yılı İçin Toplam Kullanılabilir Yaş Gübre Miktarı (T<sub>KYGM</sub>)**

$$T_{KYGM, \text{Sağmal Hayvan}} = 43 \text{ kg/gün} * 0,65 = 27,95 \text{ kg/gün}$$

$$T_{KYGM, \text{Genç Hayvan}} = 2,48 \text{ kg/gün} * 0,65 = 1,612 \text{ kg/gün}$$

#### **1.2 2023 Yılı İçin Yıllık Toplam Yaş Gübre Potansiyeli (T<sub>YGP</sub>)**

$$T_{YGP, \text{Sağmal Hayvan}} = 27,95 \text{ kg/gün} * 1.100 * 365/100 = 11.222 \text{ ton/yıl}$$

$$T_{YGP, \text{Genç Hayvan}} = 1,612 \text{ kg/gün} * 900 * 365/100 = 529,5 \text{ ton/yıl}$$

#### **1.3 2023 Yılı İçin Yıllık Biyogaz Miktarı (T<sub>Biyogaz</sub>)**

$$T_{Biyogaz, \text{Sağmal Hayvan}} = 11.222 \text{ ton/yıl} * 33 \text{ m}^3 / \text{ton} = 370.326 \text{ m}^3 / \text{yıl}$$

$$T_{Biyogaz, \text{Genç Hayvan}} = 529,5 \text{ ton/yıl} * 33 \text{ m}^3 / \text{ton} = 17.474 \text{ m}^3 / \text{yıl}$$

### **2. Biyogazdan Üretilen Elektrik Enerjisi Ve Engellenen CO<sub>2</sub> Salınım Değerleri**

#### **2.1 2023 Yılı İçin Biyogazdan Üretilen Enerji Miktarı (E<sub>İSİ</sub>)**

$$E_{İSİ, \text{Sağmal Hayvan}} = 370.326 \text{ m}^3 / \text{yıl} * 23,5 \text{ MJ/m}^3 = 8.702.661 \text{ MJ/yıl}$$

$$E_{İSİ, \text{Genç Hayvan}} = 17.474 \text{ m}^3 / \text{yıl} * 23,5 \text{ MJ/m}^3 = 410.639 \text{ MJ/yıl}$$

#### **2.2 2023 Yılı İçin Elektrik Enerjisi Miktarı**

$$\text{Elektrik Sağmal Hayvan} = 8.702.661 \text{ MJ/yıl} * 2,61 \text{ kWh/m}^3 / 23,5 \text{ MJ/m}^3 = 966.551 \text{ kWh/yıl}$$

$$\text{Elektrik Genç Hayvan} = 410.639 \text{ MJ/yıl} * 2,61 \text{ kWh/m}^3 / 23,5 \text{ MJ/m}^3 = 45.607 \text{ kWh/yıl}$$

$$\text{Elektrik Toplam} = 1.012.158 \text{ kWh/yıl}$$

#### **2.3 2023 Yılı İçin Engellenen CO<sub>2</sub> Salınım Miktarı**

$$\text{CO}_2, \text{Sağmal Hayvan} = 966.551 \text{ kWh/yıl} * 684 \text{ g kWh}^{-1} * 1 \text{ ton} / 10^6 \text{ g} = 661,121 \text{ tCO}_2 / \text{yıl}$$

$$\text{CO}_2, \text{Genç Hayvan} = 45.607 \text{ kWh/yıl} * 684 \text{ g kWh}^{-1} * 1 \text{ ton} / 10^6 \text{ g} = 31,195 \text{ tCO}_2 / \text{yıl}$$

$$\text{CO}_2, \text{Toplam} = 692,316 \text{ tCO}_2 / \text{yıl}$$

## **EK B**

### **1. Elektrik İhracat Geliri**

#### **Çiflik Atıkları**

1.012.158 kWh/yıl\*0,086 \$/kWh= 87.046 \$/yıl

## **2. Engellenen CO<sub>2</sub> Salınım Geliri**

### **Çiflik Atıkları**

692,316 (çiftlikten engellenen CO<sub>2</sub> Salınım miktarı) ton/yıl\*15 \$/tCO<sub>2</sub>= 10.385 \$

## **3. Temiz Enerji Üretim Geliri**

### **Çiflik Atıkları**

1.012.158 kWh/yıl\*0,007 \$/kWh =7.085 \$/yıl

## **4. Gübre Geliri**

### **Çiflik Atıkları**

11.752 ton/yıl\*18 \$/yıl=211.536 \$/yıl

## ÖZGEÇMİŞ

TARANMIŞ  
VESİKALIK  
FOTOĞRAF

**Ad-Soyad** :

**Doğum Tarihi ve Yeri** :

**E-posta** :

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021, Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

### TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Korkmaz B. ve Salihoğlu S.** (2024). Fotovoltaik ve Biyogaz Enerji Sistemlerinin Enerji Ve Çevresel Potansiyellerinin İncelenmesi: Süt Sığırcı Çiftliği Örneği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 29, Sayı 1, 245-262.