



**SARICAKAYA İLÇESİNİN GÜNEŞ VE
BİYOGAZ ENERJİ POTANSİYELİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Harun KAYNARCA

Eskişehir 2023

**SARICAKAYA İLÇESİNİN GÜNEŞ VE BİYOGAZ ENERJİ
POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Harun KAYNARCA

Yüksek Lisans Tezi

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Enerji Kaynakları ve Yönetimi Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Özlem ONAY

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Mayıs 2023

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Harun KAYNARCA'nın SARICAKAYA İLÇESİNİN GÜNEŞ VE BİYOGAZ ENERJİ POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ başlıklı çalışması 24/05/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, İleri Teknolojiler Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye

: Prof. Dr. Özlem ONAY

Üye

: Prof. Dr. Ümran TEZCAN ÜN

Üye

: Prof. Dr. Ayşegül AŞKIN

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

24/05/2023

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Harun KAYNARCA, SARICAKAYA İLÇESİNİN GüNEş VE BİYOGAZ ENERJİ POTANSİYELİNİN DEğERLENDİRİLMESİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun grlmştır.

Tez Danişmanı

Prof. Dr. Özlem ONAY

ÖZET

SARICAKAYA İLÇESİNİN GÜNEŞ VE BİYOGAZ ENERJİ POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Harun KAYNARCA

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Enerji Kaynakları ve Yönetimi Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mayıs 2023

Danışman: Prof. Dr. Özlem ONAY

Yenilenebilir enerji kaynakları, sürekli artan enerji ihtiyaçlarını karşılamada ve enerji arz güvenliğini sağlamada yardımcı olduğu gibi çevre ve doğa tahribatını da en aza indiren enerji kaynaklarıdır. Bundan dolayı günümüzde ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarını sürekli geliştirmeye çalışmaktadırlar.

Bu çalışmada, Eskişehir iline bağlı Sarıcakaya ilçesinin güneş enerji potansiyeli ve biyokütle enerjisinin bir ürünü olan biyogaz enerji potansiyeli değerlendirilmiştir.

Sarıcakaya ilçesine kurulacak 385 Wp gücündeki 28.200 fotovoltaik panel ile yıllık güneşlenme süresine göre üretilebilecek elektrik enerji potansiyeli yaklaşık 25.905 MW/yıl'dır. Kurulan fotovoltaik sistem verimliği yaklaşık %72 olursa kullanılabilecek yıllık elektrik enerjisi üretimi 18.650 MW/yıl olarak hesaplanmıştır.

Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılı hayvan varlığından elde edebileceği hayvansal atık ile 1.109.951 m³-CH₄ metan gazı üretilebileceği ve üretilen metan gazı ile de 3.884 MWhe elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır.

Sarıcakaya'da her iki yenilenebilir enerji kaynağı ile üretilebilecek elektrik enerjisi, ilçenin yıllık elektrik tüketiminin %265,1 'ine karşılık gelmektedir. Ayrıca her iki yenilenebilir enerji kaynağı ile üretilebilecek 22.535 MWh/yıl elektrik enerjisinin diğer enerji kaynaklarına göre 23.222 ton/CO₂'e kadar karbondioksit salınımını önleyebileceği hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Yenilenebilir enerji, Güneş enerjisi, Biyogaz, Hibrit enerji.

ABSTRACT

EVALUATION OF SOLAR AND BIOGAS ENERGY POTENTIAL OF SARICAKAYA DISTRICT

Harun KAYNARCA

Department of Advanced Technologies

Programme in Energy Resources and Management

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, May 2023

Supervisor: Prof. Dr. Özlem ONAY

Renewable energy sources are energy sources that not only help to meet the ever-increasing energy needs and ensure energy supply security, but also minimize the destruction of the environment and nature. Therefore, today, countries are constantly trying to develop renewable energy sources.

In this study, the solar energy potential of Sarıcakaya district of Eskişehir province and the biogas energy potential, which is a product of biomass energy, were evaluated.

With 28.200 photovoltaic panels with 385 Wp power to be installed in Sarıcakaya district, the electrical energy potential that can be produced according to the annual sunshine duration is approximately 25.905 MW/year. If the efficiency of the installed photovoltaic system is approximately 72%, the annual electrical energy production that can be used is calculated as 18.650 MW/year.

It has been calculated that 1,109,951 m³-CH₄ methane gas can be produced with the animal waste that Sarıcakaya district can obtain from animal existence in 2021, and 3,884 MWh electrical energy can be produced with the produced methane gas.

The electrical energy that can be produced with both renewable energy sources in Sarıcakaya corresponds to 265.1% of the annual electricity consumption of the district. In addition, it has been calculated that 22,535 MWh/year electrical energy that can be produced with both renewable energy sources can prevent carbon dioxide emissions up to 23,222 tons/CO₂ compared to other energy sources.

Keywords: Renewable energy, Solar energy, Biogas, Hybrid energy.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yazılmasında, çalışmamı sahiplenerek takip eden danışmanım Sayın Prof. Dr. Özlem ONAY'a değerli katkı ve emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca, bilgi ve deneyimlerini bizlere yansıtan, her konuda yardımcı olan Eskişehir Teknik Üniversitesi öğretim üyeleri ve personeline teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Son olarak, hayatımın her anında, yaşadığım her türlü zorlukta yanımda olan, sevgisini ve anlayışını bir gün bile esirgemeyen canım babam Mehmet KAYNARCA'ya sonsuz saygı ve sevgilerimle teşekkürlerimi sunarım.

Harun KAYNARCA

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Harun KAYNARCA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI.....	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI.....	III
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIII
GÖRSELLER DİZİNİ	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XV
1. GİRİŞ.....	17
1.1. Literatür Araştırması	2
1.2. Tezin Amacı.....	3
2. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	5
2.1. Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli	6
2.2. Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemleri	7
2.3. Fotovoltaik Pil Yapısı ve Çalışma Prensibi	8
2.4. Fotovoltaik Pil Çeşitleri	10
2.4.1. Kristal silikon fotovoltaik güneş pilleri.....	10
2.4.2. İnce film fotovoltaik güneş pilleri.....	11
2.4.3. Gelişmekte olan güneş pilleri	12
2.5. Güneş Enerjisi Kullanım Tasarımları.....	12
2.5.1. Şebekeden bağımsız (Off-Grid) güneş enerjisi sistemleri	13
2.5.2. Şebekeye bağlı (On-Grid) güneş enerjisi sistemleri.....	14

2.5.3. Karma bağlantılı (Hibrit) enerjisi sistemleri	15
2.6. Fotovoltaik Pil Tasarımlarında Kullanılan Bileşenler	16
2.6.1. Fotovoltaik paneller	16
2.6.2. İnvertör	16
2.6.3. Akü	17
2.6.4. Şarj kontrol cihazı	17
2.6.5. Çift yönlü sayaç	17
2.7. Fotovoltaik Sistemlerin Kurulum Alanları	18
2.7.1. Arazi üzerine fotovoltaik sistem kurulumu	18
2.7.2. Çatı üzerine fotovoltaik sistem kurulumu	19
2.7.3. Seralar üzerine fotovoltaik sistem kurulumu	21
2.7.4. Kanal üzerine fotovoltaik sistem kurulumu	22
2.7.5. Açık deniz üzerine fotovoltaik sistem kurulumu	22
2.8. Güneş Enerjisi Potansiyelinin Hesaplanması	23
3. BİYOGAZ ENERJİSİ	25
3.1. DÜNYADA BİYOGAZ KULLANIMI	25
3.2. TÜRKİYE’DE BİYOGAZ KULLANIMI	29
3.3. Türkiye’deki Biyogaz Santral Örnekleri	30
3.3.1. Tire Biyogaz Santrali (Tire Biyogaz Elektrik Üretim A.Ş.)	30
3.3.2. Afyon Biyogaz Enerji Santrali (Afyon Enerji ve Gübre A.Ş.)	30
3.3.3. Ödemiş Biyogaz Enerji Santrali (ARFBIO Yenilenebilir Enerji Üretim A.Ş.)	31
3.3.4. ENFAŞ (Enfaş Elektrik Üretim A.Ş.)	32
3.4. Biyogaz Tanımı	32
3.5. Biyogazın Özellikleri	33
3.6. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atıklar	34
3.6.1. Hayvansal atıklar	34
3.6.2. Bitkisel atıklar	36
3.6.3. Organik içerikli şehir ve endüstriyel atıklar	37
3.7. Biyogaz Üretim Aşamaları	37
3.7.1. Fermentasyon ve hidroliz	38
3.7.2. Asetik asidin oluşumu	38

3.7.3. Metan gazının oluşumu	38
3.8. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler	39
3.8.1. Organik besleme akımı.....	40
3.8.2. Katı madde oranı.....	40
3.8.3. Hidrolik besleme süresi	40
3.8.4. Organik yükleme hızı	42
3.8.5. Karıştırma hızı.....	42
3.8.6. Reaktör sıcaklığı	42
3.8.7. pH değeri.....	43
3.8.8. Karbon/Azot (C/N) oranı.....	44
3.8.9. Toksik etki	44
3.8.10. Reaktörde köpük oluşumu	45
3.9. Biyogazın Saflaştırılması.....	45
3.9.1. Biyogazdaki CO ₂ gazının ayrıştırılması.....	45
3.9.2. Biyogazdaki H ₂ S gazının ayrıştırılması	47
3.9.3. Biyogazdaki nemin giderilmesi	48
3.10. Biyogaz Miktarının Hesaplanması	48
4. HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİ	52
4.1. Dünyada Hibrit Enerji Sistemleri	52
4.1.1. Adani Green Energy (Rüzgâr-Güneş hibrit enerji)	52
4.1.2. Kela güneş enerji santrali (Hidroelektrik-güneş hibrit enerji)	53
4.1.3 State Power Investment Corporation (Açık deniz rüzgâr-güneş hibrit enerji)	54
4.2. Türkiye’de Hibrit Enerji Sistemleri	55
4.2.1. Aşağı Kaleköy Hibrit Enerji Santrali (Hidroelektrik-güneş hibrit enerji).....	56
4.2.2. Alaçehir Jeotermal Hibrit Enerji Santrali (Jeotermal-güneş hibrit enerji).....	56
4.2.3. Murat Hidroelektrik Hibrit Enerji Santrali (Hidroelektrik-güneş hibrit enerji)	57
5. SARICAKAYA İLÇESİNİN HİBRİT ENERJİ POTANSİYELİ	58
5.1. Sarıcakaya İlçesinin Tarihi.....	58

5.2. Sarıcakaya İlçesinin Coğrafya ve İklimi	58
5.3. Sarıcakaya İlçesinde Tarım ve Hayvancılık.....	59
5.4. Sarıcakaya İlçesinin Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	60
5.5. Sarıcakaya İlçesinin Biyogaz Potansiyeli	65
5.6. Sarıcakaya İlçesinde Üretilen Hibrit Enerjinin Elektrik Tüketimine Oranı	67
5.7. Sarıcakaya İlçesinde Üretilen Hibrit Enerjinin Sera Gazı Salınımına Etkisi.....	69
6. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER	73
6.1. Sonuç	73
6.2. Tartışma	74
6.3. Öneriler	77
KAYNAKÇA	78
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Biyogazın bileşimi (Çelikkaya, 2016)	33
Tablo 3.2. Hayvan türüne göre biyogaz süreci için kabul edilen gübre miktarı ve özellikleri (Yağlı, Koç, 2019)	35
Tablo 3.3. Hayvan türlerinin gübre verimleri ve 1 ton gübreden üretilen biyogaz miktarı (Özbaşer ve Erdem, 2013)	36
Tablo 3.4. Mezofilik Şartlarda Atık Ortalama HBS (Öztürk, 2017)	41
Tablo 3.5. Biyogaz Miktarının Hesaplanabilmesinde Kabul Edilen Değerler (Yağlı ve Koç, 2019)	50
Tablo 5.1. Kurulan fotovoltaiik panel sisteminin yıllık en az, ortalama ve en fazla günlük enerji üretim değerleri	64
Tablo 5.2. Sarıcakaya ilçesi 2021 yılı hayvan türüne göre toplanabilir gübre, km miktarı ve ukm miktarı	65
Tablo 5.3. 2021 Yılı Sarıcakaya Hayvansal Atık Varlığı İle Üretebileceği Metan, Enerji, TEP ve Elektrik Miktarı	66
Tablo 5.4. Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılı elektrik tüketim miktarları	67
Tablo 5.5. Güneş Enerjisi ile Üretililebilecek Elektrik Enerjisinin Tüketime Katkısı	68
Tablo 5.6. Biyogaz ile Üretililebilecek Elektrik Enerjisinin Tüketime Katkısı	68
Tablo 5.7. Hibrit enerji ile üretililebilecek elektrik enerjisinin tüketime katkısı	69
Tablo 5.8. Elektrik Üretim Kaynaklarına Göre Sera Gazı Salınım Miktarları (Enerji Atlası, 2021)	70
Tablo 5.9. Üretilen elektrik miktarının kaynaklara göre Sera Gazı Salınım Miktarları	70
Tablo 5.10. Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılı kaynaklara göre karbondioksit salınım miktarları	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Güneş enerjisi oluşumu (Tekin, 2013)	5
Şekil 2.2. Türkiye güneş potansiyeli haritası (ETKB, 2022)	6
Şekil 2.3. Türkiye'nin yıllar arası güneş enerjisi kurulu güç miktarları (ETKB, 2022).....	7
Şekil 2.4. Fotovoltaik Pilin Boyutsal Gösterimi (http-1)	8
Şekil 2.5. Fotovoltaik Pil Yapısı (Öztürk, 2022)	9
Şekil 2.6. Fotovoltaik Pillin Çalışma Prensibi (Öztürk, 2022).....	10
Şekil 2.7. Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Güneş Enerji Sistem Şeması (http-2)	13
Şekil 2.8. Şebekeye Bağlı (On-Grid) Güneş Enerji Sistem Şeması (http-3).....	15
Şekil 2.9. Karma Bağlantılı Enerji Sistemleri Şeması	15
Şekil 3.1. 1 m ³ biyogazın diğer ısı kaynaklarının eş değer miktarları (Yılmaz, 2019).....	34
Şekil 3.2. 1 m ³ biyogaza eşdeğer yakıt miktarı (Yılmaz, 2019)	34
Şekil 3.3. Biyogaz üretim aşamaları şeması (Çelikkaya, 2016)	37
Şekil 3.4. Metan bakterileri (Yokuş, 2011)	39
Şekil 3.5. Metan oluşumunun mikroskobik görünümü (Yokuş, 2011).....	41
Şekil 3.6. Farklı pH Değerlerindeki Metan Bakterilerinin Görünümü (Yokuş, 2011).....	44
Şekil 3.7. Biyogaz Saflaştırma Ünitesi Şeması (Eyidoğan, 2018).....	46
Şekil 5.1. Sarıcakaya ilçesinin haritası.....	59
Şekil 5.2. Eskişehir güneş potansiyeli haritası (GEPA, 2022)	60
Şekil 5.3. Sarıcakaya aylık güneş radyasyon değerleri (GEPA, 2022).....	61
Şekil 5.4. Sarıcakaya güneşlenme süreleri (GEPA, 2022).....	62
Şekil 5.5. Sarıcakaya fotovoltaik pil türü ile üretililecek enerji miktarı (GEPA, 2022).....	62

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1. Arazi üzerine kurulmuş fotovoltaiik sistem görüntüsü (http-4)	18
Görsel 2.2. Eğimli araziye kurulmuş fotovoltaiik sistem görüntüsü (Şençiçek, 2017).....	19
Görsel 2.3. Fotovoltaiik sisteminin çatı kurulumu görüntüsü (Enerjiportali, 2018)	20
Görsel 2.4. Anadolu Isuzu tesislerinin çatı fotovoltaiik sistem görüntüsü (Taşıyanlar, 2022)	20
Görsel 2.5. Sera çatısına kurulmuş fotovoltaiik panel görseli (http-5).....	21
Görsel 2.6. Plastik örtü ile kurulmuş sera yanına kurulan fotovoltaiik panel görüntüsü (Özdemir, 2022).....	21
Görsel 2.7. Kanal üzerine kurulmuş fotovoltaiik panel görüntüsü (Şençiçek, 2017).....	22
Görsel 2.8. Deniz üzerine kurulmuş fotovoltaiik panel kurulum görüntüsü (Tunçer, 2021).....	23
Görsel 3.1. Tire Biyogaz Tesisinden Bir Görüntü (http-6).....	30
Görsel 3.2. Afyon Biyogaz Enerji Santralinden Bir Görüntü (http-7)	31
Görsel 3.3. Ödemiş Biyogaz Enerji Santralinden Bir Görüntü (http-8).	31
Görsel 3.4. Aksaray, Bursa Karacabey ve İzmir Tire Doğal Enerji Tesislerinden Birer Görüntü ((http-9).....	32
Görsel 3.5. 60 çiftçilik bir kooperatifin kurmuş olduğu merkezi biyogaz tesisi (Yokuş, 2011)	38
Görsel 3.6. Polietilen Glikol İle Ayrıştırma Sistemi (Eyidoğan, 2018).....	47
Görsel 4.1. Adani Green Energy rüzgar ve güneş enerjisi tesis görseli (http-10).....	53
Görsel 4.2. Lianghekou Hidroelektrik santralinden bir görsel (Wei, 2022)	54
Görsel 4.3. SPIC’e ait açık deniz üzeri rüzgar-güneş enerjisi tesisinden bir görsel (Baycan, 2022).....	55
Görsel 4.4. Aşağı Kaleköy Hibrit Enerji Santralinden bir görsel (http-11).....	56
Görsel 4.5. Alaçehir Jeotermal Enerji Santralinden bir görsel (http-12)	57
Görsel 5.1. Sarıcakaya ilçesinin bir görüntüsü (http-13)	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	: Alternatif Akım
CH ₄	: Metan Gazı
CO ₂	: Karbondioksit
CPV	: Yoğunlaştırılmış Güneş Pili
DC	: Doğru Akım
E	: Elektrik Enerjisi
GJ	: Giga Joule
GW	: Giga Watt
GWh	: Giga Watt Saat
H ₂	: Hidrojen
H ₂ S	: Hidrojen Sülfür
H _{METAN}	: Metanın ısı değeri (36 MJ/m ³ olarak alınmıştır)
HOMER	: Hybrid Optimization Model for Electric Renewables
KGGS	: Kapalı Geçen Gün Sayısı
KJ	: Kilo Joule
KM	: Yaş gübre içerisindeki katı madde oranı (%)
kW	: Kilo Watt
kWh	: Kilo Watt Saat
L	: Litre
m ³	: Metreküp
MJ	: Mega Joule
M _{KM}	: Hayvanların ürettiği yıllık toplanabilir faydalı yaş gübre miktarı içerisindeki toplam katı madde miktarı (kg/yıl)
M _{METAN}	: Hayvanların ürettiği toplanabilir faydalı gübreden üretilebilecek toplam yıllık metan miktarı (m ³ -CH ₄ /yıl)
MO	: 1 kg uçucu katı maddeden üretilen metan miktarı
MPPT	: Maximum Power Point Tracking (maksimum güç noktası izleyici)
M _{UKM}	: Hayvanların ürettiği yaş gübre içerisindeki yıllık toplam uçucu katı madde miktarı (kg/yıl)
MW	: Mega Watt

MWhe	: Mega Watt Saat Elektrik Enerjisi
M _{YFYG}	: Hayvanların ürettiği yıllık toplanabilir faydalı yaş gübre miktarı (kg/yıl)
M _{YG}	: Bir hayvanın bir yılda üretebileceği gübre miktarı (kg/yıl)
M _{YYM}	: Hayvanların yılda üretebilecekleri toplam gübre miktarı (kg/yıl)
N ₂	: Azot
$\eta_{akü}$	: Akü verimliliği
η_e	: Verim (elektrik)
NH ₃	: Amonyak
η_{inv}	: İnvertör verimliliği
Nm ³	: Normal şartlarda metre küp
η_{pv}	: Fotovoltaik pillerin verimliliği
η_{sis}	: Sistem verimliliği
O ₂	: Oksijen
OEDAŞ	: Osmangazi Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
Off-Grid	: Şebekeden bağımsız
On-Grid	: Şebekeye bağlı
P _{boy}	: Panel boyu
P _{en}	: Panelin eni
PS	: Panel sayısı
Q	: Yıllık üretilen metan gazının enerji karşılığı (MJ/yıl)
S	: Hayvan sayısı
SO ₂	: Sülfür Dioksit
T	: Toplanabilir faydalı gübre miktarı (%)
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
TiO ₂	: Titanyum Dioksit
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UKM	: Katı madde içerisindeki uçucu madde oranı (%)
ÜGE	: Üretilmesi Gereken Enerji
W	: Watt
YE	: Yükün Enerjisini

1. GİRİŞ

İnsanlar, yaşamlarında aydınlatma, iklimlendirme, ulaşım, sağlık, hizmet, endüstri ve teknoloji başta olmak üzere hemen hemen tüm alanlarda enerjiye ihtiyaç duyarlar. Ülkelerde vatandaşlarının enerji ihtiyaçlarını karşılamak için tüm imkanları kullanırlar (Yılmaz, 2012).

Ülkeler ihtiyaç duyulan enerjiyi üretmek için birçok kaynaktan faydalanmaktadır. Günümüzde enerji üretiminde kullanılan en fazla kaynak yenilenemez olan fosil yakıtlardır. Ancak fosil yakıtlar her ülkede bulunabilen ve ulaşılabilen yakıtlar değildir. Fosil yakıtları temin etmenin zorluğu yanında kullanımı da birçok çevresel sorunlara neden olmaktadır.

Dünyada enerjiyi en çok üreten ve tüketen ülkeler teknolojisini, sanayisini ve sosyal ekonomisini geliştirmiş ülkelerdir. Buna bağlı olarak fosil yakıt kaynaklı enerji payının büyük olduğu ülkeler çevresel kirliliğe en çok sebep olan ülkelerdir. Ancak bu ülkeler neden oldukları kirliliği en aza indirmek ve kendi enerji arz güvenliklerini sağlamak için gerekli çalışmaları da yapmaktadırlar (Doğan, 2011).

1973 yılındaki petrol krizi, özellikle enerji tedarikinde dışa bağımlı olan ülkelere enerji arz güvenliğinin önemini öğretmiş ve bu ülkeler başta olmak üzere tüm ülkeler alternatif enerji kaynakları ile tedarik imkanlarını geliştirme çabası içine girmişlerdir (Karagöl, 2017). Günümüzde Rusya ve Ukrayna savaşından dolayı özellikle Avrupa ülkelerinde daha çok yaşanan enerji krizi, enerji tedarikinde milliliğin ve çeşitliliğin ne kadar önemli olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur.

Dünyada yaşanan enerji krizleri ve enerji tüketiminden kaynaklanan çevre sorunları ülkeleri enerji üretiminde yenilebilir enerji kaynaklarına yöneltmiş ve bununla birlikte, fosil yakıt kaynakları olmayan gelişmiş ülkeler yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişmesinde ve uygulanmasında büyük çaba göstermektedirler.

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, su, biokütle, hidrojen ve jeotermal enerjiden oluşan ve kendi kendilerini yenileyebildikleri için sürekli ve tekrar tekrar kullanılabilen tükenmeyen enerji kaynaklarıdır. Her ülkenin kendi jeolojik ve coğrafi yapısına bağlı olarak yenilenebilir enerji potansiyeli mevcuttur. Yenilenebilir enerji ülkelerin enerji arz güvenliğine olan faydalarının yanında çevre kirliliğinin azaltılmasında en büyük faydayı sağlayan etkidir.

Dünyada en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, hidrojenin füzyon yoluyla helyuma dönüşmesidir. Bu dönüşümden oluşan ısımlar dünyaya ulaşarak insanlığın kullanımı için muazzam bir enerji kaynağı sağlamaktadır. Güneş tükenmeyen bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi temiz, ucuz, bozulmayan ve taşıma zahmeti olmayan yerli bir enerji kaynağıdır (Yılmaz,2012).

Bir diğer önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biride biokütle enerjisidir. Biokütle kaynaklarının yakılarak enerji elde edilmesi, eskiden beri uygulanan klasik bir yöntemdir. Günümüzde teknoloji ve teknik imkanları kullanarak, biyokütle kaynaklarını havasız çürütme, hidroliz, esterleşme reaksiyonu ve mayalanma gibi reaksiyonlara uğratarak yüksek kaliteli biyoyakıtlar elde edilebilmektedir (Torunoğlu Gedik, 2015).

Bu çalışmada; Eskişehir iline bağlı Sarıcakaya ilçesinin güneş ve biyogaz enerji potansiyeli hesaplanmıştır. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek elektrik enerjisinin ilçe elektrik tüketimine olan katkısı ve bu katkı ile birlikte diğer enerji kaynaklarına göre karbondioksit salınım miktarı incelenmiştir.

1.1. Literatür Araştırması

Korkmaz (Korkmaz, 2016), yüksek lisans tez çalışmasında İnönü Üniversitesinin elektrik ihtiyacının karşılanması için yenilenebilir enerji kaynakları ile en uygun maliyette tedarik etme yöntemini araştırmıştır. Çalışmada güneş ve rüzgâr enerji sistemleri seçilmiş ve şebekeye bağımlı, şebekeden bağımsız olmak üzere birçok senaryo HOMER programı ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda en uygun maliyetli senaryo rüzgâr-güneş-dizel jeneratör hibrit enerji sistemi olduğu görülmüştür. Güneş ısımlarının düşük olmasından dolayı sisteme en çok katkırı rüzgâr enerji sisteminin sağladığı belirlenmiştir.

İster (İster, 2020), yüksek lisans tez çalışmasında Bozcaada'nın elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgâr-güneş-depolama sistemleri ile karşılanabilme potansiyeli ve maliyet değerlendirmesini HOMER programı ile incelemiştir. Çalışmada, güneş-rüzgâr, sadece rüzgâr ve sadece güneş enerjisi kullanımında ortaya çıkacak kapasite ve maliyetler incelenmiştir. En düşük maliyetli ve avantajlı enerji üretim sisteminin güneş-rüzgâr hibrit enerji sisteminin sağladığı tespit edilmiş ve bu sistemin amortisman süresinin yaklaşık 11,5 yıl olduğu hesaplanmıştır. Rüzgâr ve güneş enerjilerinin tek tek kullanıldığında maliyetlerin artacağı görülmüş ve rüzgâr türbinin tek kullanılması enerji maliyetinin %26,

depolama maliyetini %14, güneş enerjisinin tek kullanılması ile enerji maliyetinin %80, depolama maliyetinin %25 arttığı belirlenmiştir.

Avcı (Avcı, 2022), yüksek lisans tez çalışmasında Denizli ilinde kurulu 12 MW güç kapasiteli bir doğalgaz kojenerasyon santralının elektrik ve termal enerji ihtiyacını karşıladığı bir tesisin bölgedeki rüzgâr ve güneş enerjisi de dahil edilerek hibrit enerji sistemi için incelenmiş ve söz konusu sistemin şebekeye dahil olduğu ve olmadığı durumlarda ekonomik ve çevresel analizlerini yapmıştır.

Rüzgâr ve güneş enerjisinin şebekeye bağlı olduğu hibrit sistemde en iyi verimi ve maliyeti güneş radyasyonunun $7,8 \text{ kWh/m}^2$, rüzgâr hızının $4,56 \text{ m/s}$ olduğunda elde ettiği görülmüştür. Bu sistemin maliyetinin 30,3 milyon dolar ve amortisman süresinin 11,2 yıl olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca karbondioksit salınım değerinin $8.480.163 \text{ kg/yıl}$ olduğu hesaplanmıştır.

Hibrit enerji sisteminin şebekeden bağımsız simülasyonunda ise yine en iyi verimin güneş radyasyonunun $7,8 \text{ kWh/m}^2$, rüzgâr hızının $4,56 \text{ m/s}$ olduğunda elde edildiğinde görülmüştür. Sistem maliyeti 117 milyon dolar olduğunda amortisman süresi 8,13 yıl olarak hesaplanmıştır. Ancak amortisman süresinin 5,6 olduğu başka bir simülasyonda maliyet 135 milyon dolar olarak belirlenmiştir ve bu sistemde karbondioksit salınım değeri $7.240.802 \text{ kg/yıl}$ olarak bulunmuştur.

Doğalgaz ile işletilen kojenerasyon sistemine hibrit enerji sisteminin dahil edilmesinde elektrik yükünün şebekeden karşılanmasının daha ekonomik olacağı hesaplanmıştır. Bunun sebebinin elektrik şebekesinden alınan elektrik birim fiyatının doğalgaz birim fiyatından daha ucuz olduğu olarak ifade edilmiştir ve doğalgaz kojenerasyon sistemlerinin şebeke elektriğinin olmadığı bölgelerde uygulanabileceği önerilmiştir.

1.2. Tezin Amacı

Sarıcakaya ilçesi, bulunduğu coğrafi konum ve iklim koşullarından dolayı özellikle örtülü tarımı gelişen ve biyokütle atık potansiyeli olan bir ilçedir.

Seraların kurulu olduğu alanlara aynı zamanda güneş panelleri de kurulabilmektedir. Bunun nedeni ise seraların gölgelenme oranları düşük, güneş ışınlarını alma oranlarının yüksek olduğu açık arazilere kurulmalarıdır.

İlçe, yetiştirilen hayvanlardan ve tarımsal ürünlerden elde edilen biyokütle atık miktarına da sahiptir. Hayvansal atıklar ile biyogaz enerjisinin üretilmesi mümkündür.

Tezin amacı; Sarıcakaya ilçesinin sera alanlarına kurulacak güneş enerji potansiyelinin ve hayvansal atıklardan elde edilecek biyogaz enerji potansiyelinin belirlenmesi ve ilçe enerji ihtiyacını karşılamadaki değerlerinin belirlenmesidir.

Yapılan bu çalışma ile benzer özellikleri taşıyan bölgelere örnek bir modelleme ortaya konması amaçlanmıştır.



2. GÜNEŞ ENERJİSİ

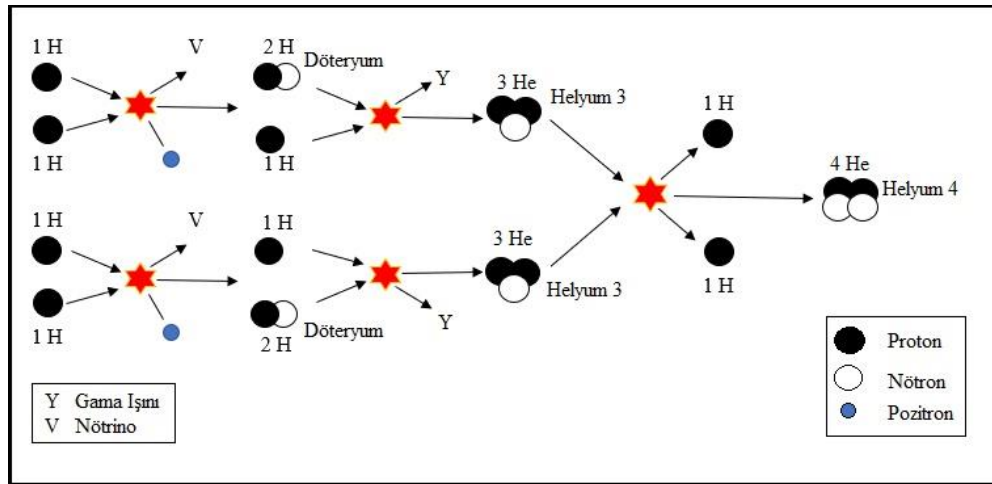
Dünyamızın yaşam kaynağı olan güneş, tamamen yoğun ve çok sıcak gazlardan meydana gelmiş ve küre şeklindedir. Güneşin görülen çapı $1,39 \cdot 10^6$ km ve dünyaya olan uzaklığı ise $1,5 \cdot 10^9$ km (yaklaşık 150 milyon km)'dir. Kendi etrafında hareketini yaklaşık 4 haftada tamamlar. Yüzey sıcaklığı yaklaşık 6000^0 C, merkez sıcaklığı $20.000.000^0$ C'dir (Keskin, 2018). Güneş kütlesinin %73'ünü hidrojen, %25'ini helyum, geri kalanını ise diğer elementler oluşturur. Güneşteki çekirdek tepkimeleri bir atomun başka bir atoma dönüşme sürecidir. Bu dönüşüm sürecinde hidrojen helyuma dönüşür ve bir miktar enerji üretilir (Tekin, 2013). Birkaç aşamadan oluşan tepkime dönüşümleri şöyledir;

İlk aşamada; iki hidrojen atomu birleşerek döteryum (bir proton bir nötrondan oluşan hidrojen atomu) oluşur. Hidrojen + Hidrojen $\rightarrow$ Döteryum + Nötrino, bu aşamada kütesiz Nötrino salınır (Tekin, 2013).

İkinci aşamada; bir hidrojen atomu bir döteryum atomu ile birleşerek kararsız bir Helyum 3 çekirdeği oluşur. Döteryum + Hidrojen $\rightarrow$ Helyum 3

Helyum 3 çekirdeğinde sadece bir proton olan bir helyum atomudur. Kararsız iki helyum 3 atomunun birleşmesiyle güneş enerjisi kaynağı olan çekirdek tepkimeleri tamamlanır . Şekil 2.1'de güneş enerjisi oluşum yapısı gösterilmektedir.

Helyum 3 + Helyum 3 $\rightarrow$ Helyum 4 + Hidrojen + Hidrojen (Tekin, 2013)



Şekil 2.1. Güneş enerjisi oluşumu (Tekin, 2013)

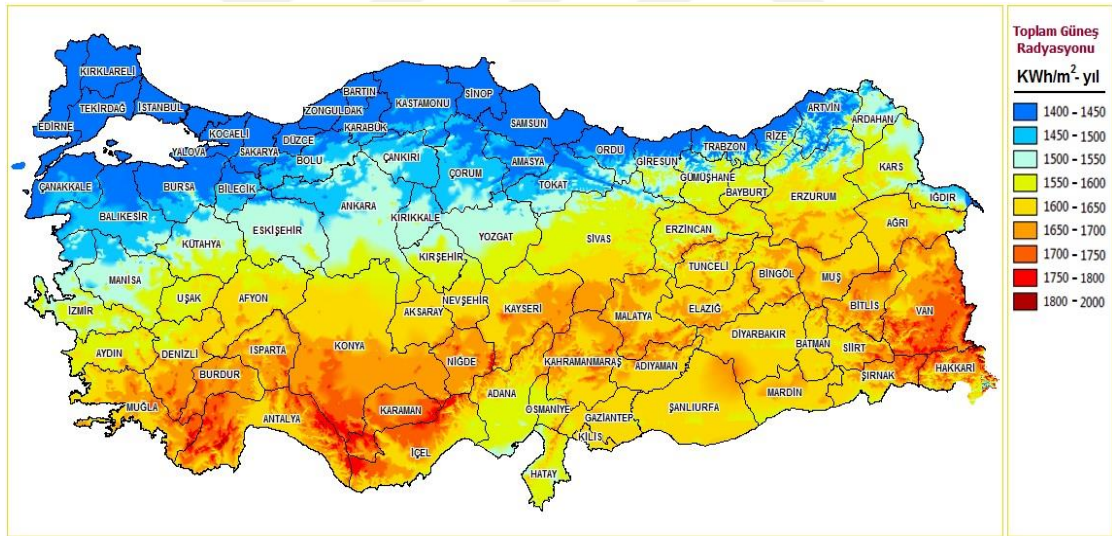
Bu süreç sonunda oluşan ürünlerin kütlesi, tepkimeye giren 4 hidrojen atomunun kütlesinden azdır. Kütledeki bu azalma $E = m \cdot c^2$ formülüne göre enerjiye döner.

4 hidrojen atomunun ağırlığı 4,032 birim ağırlıktadır. Ancak tepkime süreci sonundaki 1 helyum atomunun ağırlığı 4,003 birim ağırlıktır. Tepkime sonundaki 0,029

birim ağırlık farkı Einstein'ın madde-enerji bağıntısı ile enerji oluşumu gerçekleşmektedir. Bu tepkime sürecinin her saniyesinde 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve bu dönüşümde kaybolan 4 milyon ton kütleden $3,86 \cdot 10^{26}$ J enerji oluşumu gerçekleşmektedir. Güneşin toplam enerji potansiyeli $1,785 \cdot 10^{47}$ J'dür ve güneş var olduğu sürece dünyamızın enerji kaynağı olmaya devam edecektir (Varınca ve Gönüllü, 2006).

2.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye coğrafi konumundan dolayı güneş enerjisinden faydalanma olanağı oldukça yüksek bir ülkedir. Türkiye'nin güneşlenme süreleri yıl boyunca farklılık gösterse de ortalama yılda yaklaşık 2741 saattir. Yıllık ortalama ısınım değeri ise yaklaşık 1527 kWh/m^2 olarak hesaplanmıştır (ETKB, 2022). Şekil 2.2'de Türkiye güneş potansiyeli haritası gösterilmiştir.



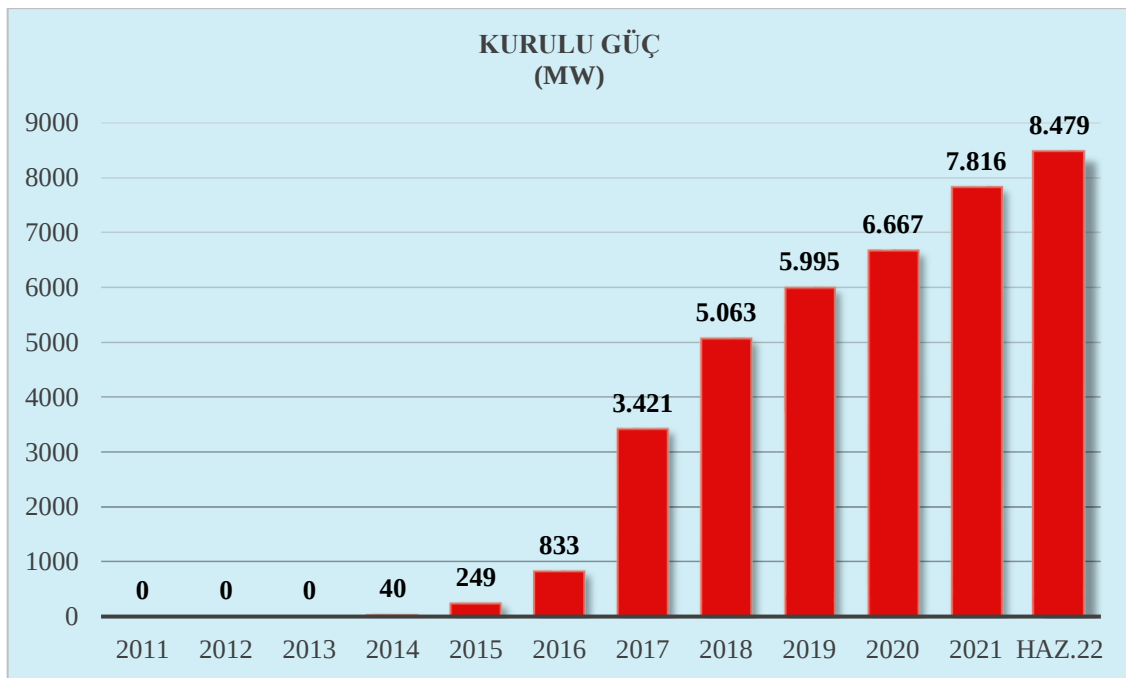
Şekil 2.2. Türkiye güneş potansiyeli haritası (ETKB, 2022)

Türkiye'nin coğrafi bölgelerinde güneş enerji potansiyeli farklılık göstermektedir. Bölgelerin güneşlenme süreleri; Güneydoğu Anadolu Bölgesi 2993 saat/yıl, Akdeniz Bölgesi 2956 saat/yıl, Ege bölgesi 2738 saat/yıl, Doğu Anadolu Bölgesi 2664 saat/yıl, İç Anadolu Bölgesi 2628 saat/yıl, Marmara Bölgesi 2409 saat/yıl ve Karadeniz Bölgesi 1971 saat/yıl olarak hesaplanmıştır (Oral, 2020). Türkiye'nin yıl içerisinde güneşlenme süresi

en yüksek coğrafi bölgeleri Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgeleridir. Güneşlenme süresi en az olan bölgesi ise Karadeniz bölgesidir.

Güneş enerjisinden farklı alanlarda ve değişik şekillerde yararlanılır. Türkiye’de daha çok sera ve binaların ısıtılması, sıcak su ihtiyacının karşılanması, tarım ürünlerinin kurutulması, park, bahçe ve otoparkların aydınlatılması ve elektrik enerjisinin üretilmesinde kullanılmaktadır (Yılmaz ve Öziç, 2018).

Şekil 2.3’de Türkiye’nin yıllara göre güneş enerjisi kurulu güç miktarları gösterilmiştir.



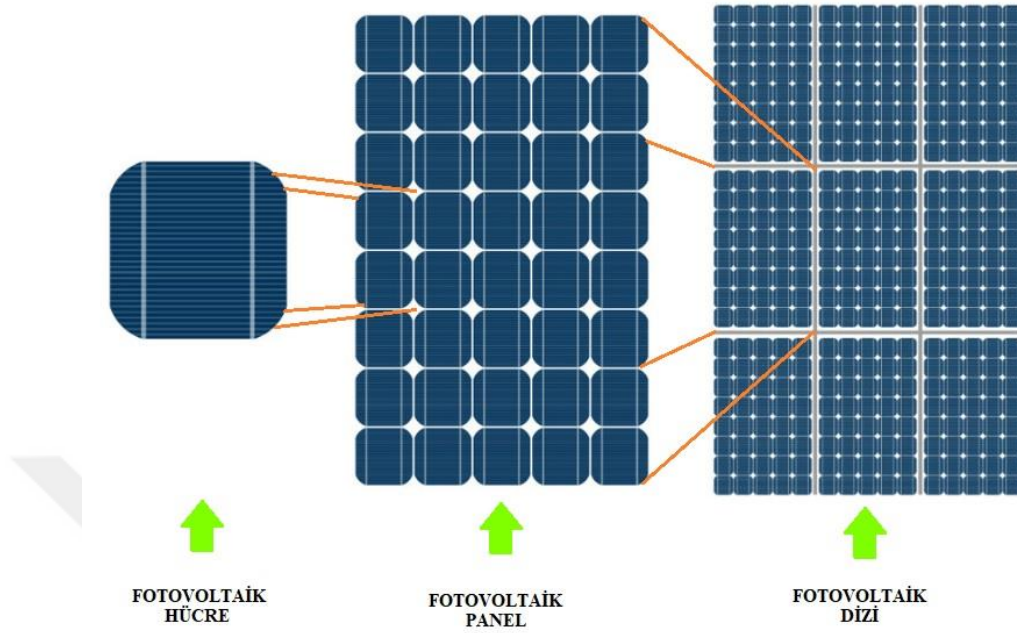
Şekil 2.3. Türkiye’nin yıllar arası güneş enerjisi kurulu güç miktarları (ETKB, 2022)

2.2. Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemleri

Fotovoltaik piller, güneş hücreleri ya da güneş pilleri olarak adlandırılan, yarı iletkenlerin fotovoltaik etkileşimi ile güneş ışınlarını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren yapılardır. Güneşten gelen ışınların fotovoltaik pil tarafından soğurulması ve pildeki iki madde birleşim alanında oluşan fark ile elektrik enerjisi üretilir (Doğan, 2019).

Fotovoltaik piller yapısal türlerine ve soğurdukları güneş ışını miktarlarına göre yüzde 5 ile yüzde 30 verimlilikte enerji üretimi sağlarlar. Fotovoltaik hücreler, yapısal olarak birleştirilerek panelleri oluşturur, paneller birleştirilerek dizinler oluşturulur ve birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak birleştirilen dizinler, miktarına bağlı olarak kW,

MW ve GW kapasitede elektrik enerjisi üretilmesini sağlarlar. Şekil 2.4’de fotovoltaiik pillerin boyutsal şekli gösterilmiştir (Doğan, 2019).



Şekil 2.4. Fotovoltaiik Pili Boyutsal Gösterimi (<http-1>)

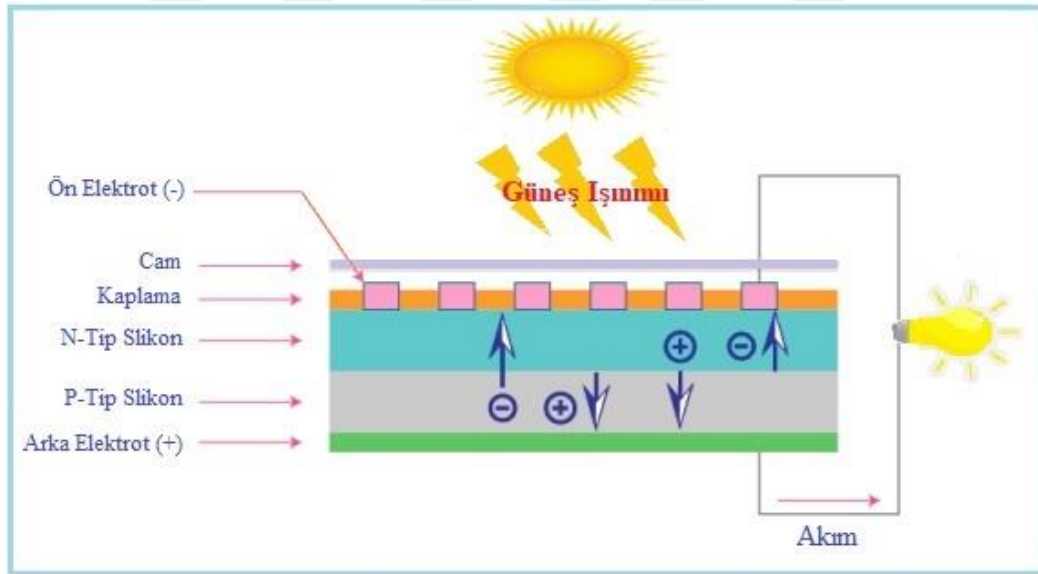
2.3. Fotovoltaiik Pil Yapısı ve Çalışma Prensibi

Fotovoltaiik pillerin yapımında yarı iletken maddeler kullanılmaktadır. Ancak bu maddelerin etkinliğinin artırılması için katkılanmaları gerekmektedir. Bunun sebebi ise elektrik öz niteliğinin pozitif ve negatif yüklerden meydana gelmesidir. İletken maddenin atom yapısındaki elektronlar ısı, ışık ve elektriksel tepkimeyle bağlı oldukları atomdan ayrılıp kolayca hareket edebilmektedirler. Yalıtkan madde atomunda ise serbest elektron bulunmaz ve mevcut elektronlar atom yörüngesinden ayrılmazlar (Doğan, 2019).

Fotovoltaiik pillerde kullanılan yarı iletken maddeler genellikle silisyum ve germanyumdur. Yarı iletken maddelerde serbest elektron bulunmadığından dolayı enerji yüklenilmesi ve taşınması mümkün değildir. Bu nedenle saf halde olan silisyum ve germanyum gibi yarı iletken maddelerin valans bandındaki boşlukları ve iletim bandındaki serbest elektron sayılarını artırmak için katkılama işlemi yapılmaktadır. Katkılama işlemi ile atomların yapısındaki elektron sayıları değiştirilerek serbest elektron ve boşluk oluşturulur. Örneklendirirsek; kullanılan saf ve kristal haldeki silisyumun atomunun yörüngesinde 4 elektronu bağlayacak ve serbest hareket edebilecek 1 elektronu verebilecek Fosfor (P) gibi periyodik cetvelim 5. grubundan element ile katkılanır.

Böylelikle N tipi yarı iletken elde edilerek bir elektron serbest hareket ederek ve diğer atomlara doğru hareketi ile iletkenlik sağlanır. P tipi yarı iletken ise silisyum atomunun valans bandındaki 4 elektron, 3 elektronlu Bor (B) gibi periyodik cetvelin 3. grubundan bir element ile katkılандığında silisyum kristalinde bir elektron eksik olur. Hol olarak da adlandırılan bu boşlukta elektronlar serbest hareket ederler (Doğan, 2019).

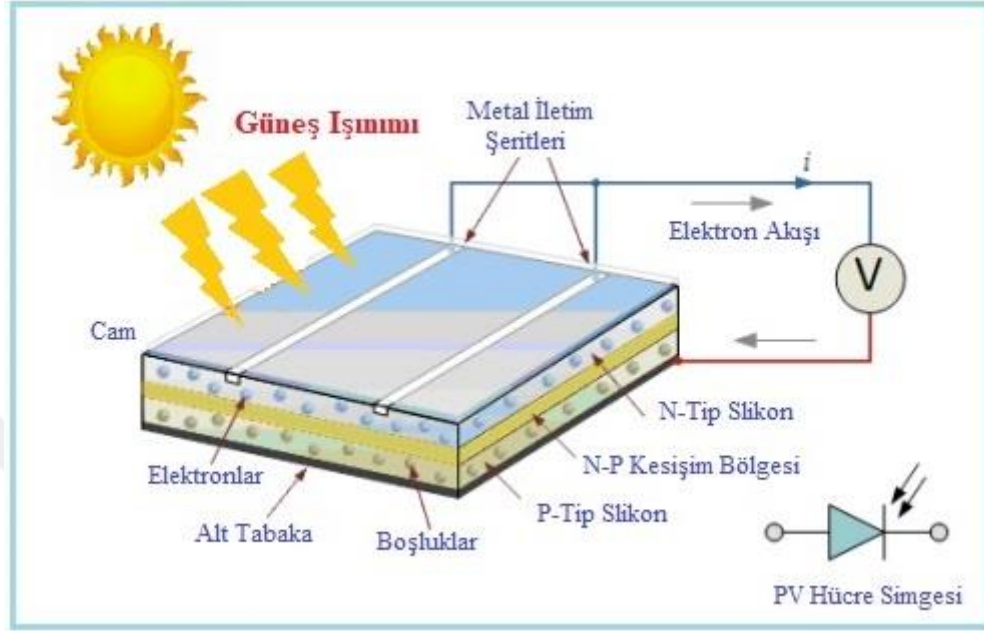
Fotovoltaik pillerin ana kısmını oluşturan yarı iletken maddeler yapının orta kısmında yer alır. Pilin üst kısmı güneş ışınlarını alacak şekilde malzeme korumasını sağlayan şeffaf cam ve plastik malzemeden oluşur. Bu malzemenin hemen altında güneş ışınlarının olabildiğince soğurulmasını sağlayan ve geri yansımayı önleyici kaplama malzemesi yer alır. Bu kaplama malzemesinin hemen altında ise P ve N tipi yarı iletkenlerde oluşan elektrik enerjisinin toplanarak kullanıma alınması için ön elektrot kontağı bulunur. En alt katmanda ise pil yapısını destekleyen ve elektron akış devresini tamamlayan arka elektron kontağı bulunur (Doğan, 2019). Şekil 2.5’de Fotovoltaik pil yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Fotovoltaik Pil Yapısı (Öztürk, 2022)

Güneş ışınlarının fotovoltaik pil tarafından soğurulması ile ışınlardaki enerji pil içerisindeki yarı iletken malzemeye geçer. Pilin ön elektrot kontağına yakın alanlarda elektriksel yük meydana gelir ve serbest elektronlar boşluklara doğru hareketlenir. Bu elektron hareketi akımı, pilin potansiyel alanı ise gerilimi oluşturur. Akım ve gerilimin

oluşması ile pilin elektrot kontakları arasından elektrik enerjisi elde edilir (Doğan, 2019). Şekil 2.6’de Fotovoltaik pilin çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Fotovoltaik Pillin Çalışma Prensibi (Öztürk, 2022)

2.4. Fotovoltaik Pil Çeşitleri

Fotovoltaik piller, panel ve dizin olarak birleştirilerek güneş enerji teknolojisi olarak kurulur ve enerji üretimine hazır hale getirilirler. Yarı iletken malzemeden imal edilen fotovoltaik piller, kullanılan maddenin çeşidine ve ticari tercih kullanımına göre kristal silikon, ince film ve nano teknoloji ile geliştirilmeye devam eden güneş pilleri olarak üç grupta incelenir. Ayrıca bu gruplar sırası ile 1. Nesil, 2. Nesil ve 3. Nesil güneş pilleri olarak da adlandırılmaktadır (Doğan, 2019, Cebeci, 2017).

2.4.1. Kristal silikon fotovoltaik güneş pilleri

Silisyum yarı iletken madde ile üretilen fotovoltaik pillere kristal silikon güneş pili teknolojisi denilmektedir. Doğada oksijenden sonra en çok bulunan element silisyumdur. Silisyum, yüksek ısı ile belirli işlemlerden geçmesiyle silikon dioksit bileşeninden ayrılır. Bu türdeki üretim süreçlerindeki farklılıklara göre de kristal silikon pilleri; monokristal silikon, polikristal silikon ve ribbon silikon pil olarak üç çeşitte imal edilirler. Kullanım

süreleri olarak uzun ömürlü ve yüksek verimlilikte olmalarından dolayı en çok tercih edilen fotovoltaik pillerdir (Cebeci, 2017).

Monokristal silikon pillerde hücrenin tamamı tek parça kristal silikondan imal edilir. Dayanıklı bir yapıya sahip olduğundan kullanım ömürleri uzundur. Monokristal silikon pillerin verimliliği laboratuvar şartlarında yüzde 25, ticari hücre verimliliği yüzde 16-22 ve modül verimliliği de yüzde 13-19 olarak ölçülmüştür. Monokristal silikon piller bu ölçümlere göre en verimli fotovoltaik pillerdir. Kullanım alanlarında ki dayanıklılığından ve yüksek verimlerinden dolayı ticari projelerde en çok tercih edilen fotovoltaik pil çeşididir. Bununla birlikte monokristal fotovoltaik pil yapımının yüksek enerji ihtiyacı ve çok fazla işleminden geçerek elde edilmesi bu pilin üretiminin zorlu ve maliyetli olmasına neden olmaktadır (Cebeci, 2017).

Monokristal silikon pil çeşidine nazaran daha az enerji ve işlem maliyeti ile üretilen polikarbon silikon piller, elektrik özellik bakımından monokristal silikon ile aynı özelliklere sahip olmasına karşın, üretim, enerji ve işlemler maliyetleri daha düşüktür. Ancak monokristal yapıya oranla daha düşük verime sahiptirler. Laboratuvar verimlilik ölçümleri 20.4, polikristal hücre verimliliği 14-18 ve modül verimliliği ise 11-15 arasında olduğu tespit edilmiştir (Cebeci, 2017).

Kristal silikon pillerinin geleneksel yöntem ile üretiminde ise ham silikonun yaklaşık yüzde 40'ı israf edilmektedir. Ribbon kristal silikon pillerin şekillendirilmiş şerit yöntemi kullanılarak kayıplar azaltılmıştır (Cebeci, 2017).

2.4.2. İnce film fotovoltaik güneş pilleri

İnce film güneş pillerinde kullanılan yarı iletken malzemeler genellikle çok kristalli maddelerdir. Çerçevesiz olarak ve 0,001 mm kalınlığında imal edilen pillerin üretim süreçleri daha az enerji, daha az ham madde ve işlem gerektir. Aynı zamanda diğer güneş panellerine göre güneş ışınlarını soğurma özelliği daha yüksektir. Ancak verimlilik düzeyleri silikon yapıli güneş pillerine oranla daha düşüktür. Enerji üretim miktarı düşük olduğu için de proje uygulamalarında çok tercih edilmemektedir (Cebeci, 2017, Öztürk, 2020).

2.4.3. Gelişmekte olan güneş pilleri

Üçüncü nesil olarak da adlandırılan gelişmekte olan fotovoltaik güneş pillerinin düşük maliyet ve yüksek verimlilikte imal edilebilme çalışmaları son yirmi yıldır devam etmektedir. Gelişmekte olan bu güneş pilleri, yoğunlaştırılmış fotovoltaik güneş pilleri (CVP), organik piller, inorganik ince film piller ve diğer yeni fotovoltaik güneş pilleri olarak sınıflandırılırlar (Doğan, 2019, Cebeci, 2017).

Yoğunlaştırılmış güneş pillerinde, güneş ışınlarının güneş pili üzerindeki yoğunluğunu artırmak için mercek ve aynalar kullanıldığından verimleri oldukça yükseltilir. Yoğunlaştırılmış güneş pillerinde sadece doğrudan gelen güneş ışınlarından faydalanılmaktadır. Bu nedenle bu teknoloji daha çok direkt güneş ışınım değerleri 2000 kWh/m²-yıl üzerinde olan bölgelerde kullanılmaktadır. Bu tür güneş pillerinde, güneş takip sistemi kullanılarak verimlilik daha da artırılır (Doğan, 2019, Cebeci, 2017).

Diğer gelişmekte olan güneş pilleri çeşitlerinden olan organik güneş pillerinde organik ya da polimer malzemeler kullanılır. Saflaştırma ve yüksel ısı işlemlere gerek duymayan ve güneş ışınım soğurma değerleri yüksek olan bu pillerin maliyetleri de düşüktür. Boya duyarlı güneş pillerinde daha çok boya olarak iyodür kullanılmakla birlikte, titanyum dioksit (TiO₂) nanomalzemeler de tercih edilmektedir. Yarı iletken malzeme ile birlikte iletim çözeltisi olan sıvı elektrolit de kullanılmaktadır (Doğan, 2019).

Yoğunlaştırılmış güneş pillerinin (CPV) haricindeki diğer gelişmekte olan güneş pillerinin, avantajları düşük maliyetli, esnek, hafif ve serbest şekilli oluşlarıdır. Ancak halen Ar-Ge çalışmaları devam ettiği için, ticari projelerde tercih edilme oranları çok düşüktür (Cebeci, 2017).

2.5. Güneş Enerjisi Kullanım Tasarımları

Güneş enerjisi, başta fotovoltaik piller olmak üzere sistem gereksinimini tamamlayan cihazlar ile her alanda elektrik ihtiyacını karşılayabilir. Şebeke elektriğinin bulunmadığı, bahçe, çiftlik, şehirler arası kara yollarında aydınlatma ve trafik işareti levhalarında, şebeke elektriğinin bulunduğu ancak güneş enerjisi ile ekonomiye ve çevreye katma değer sağlamak amacı ile yerleşim yerlerinde, teknolojik solar kara-deniz-hava araçlarında, saat ve hesap makinesi gibi elektronik cihazlarda ve uzay çalışmaları dahil olmak üzere geniş bir alanda güneş enerjisinden yararlanılmaktadır. Özellikle yerleşim bölgelerinin elektrik enerjisini üreten güneş enerjisi sistemlerinin, şehir şebekesi

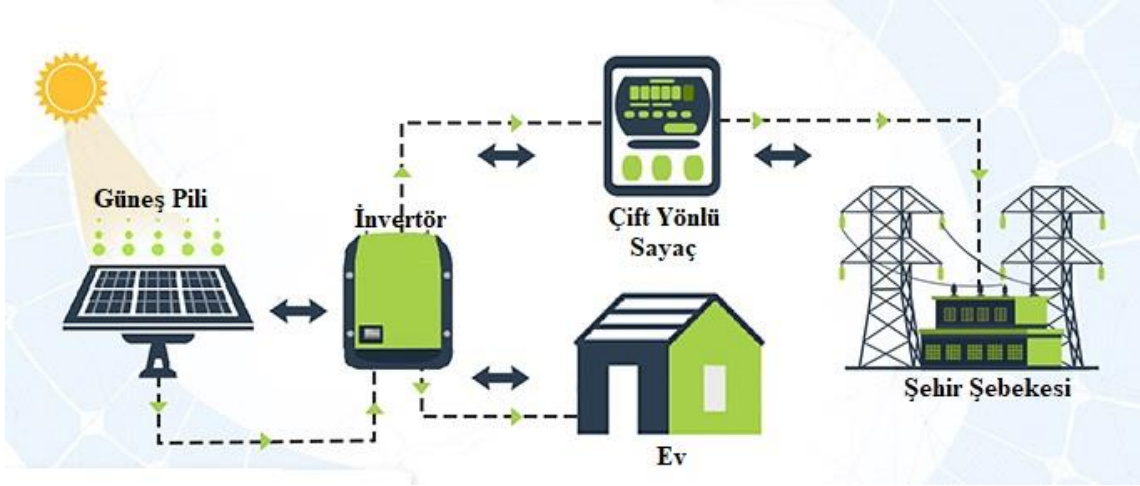
Bu tür kullanılan güneş enerjisi sistemleri, şehir şebekesine bağlı olmadıklarından şebekeden bağımsız (off-grid) sistemler olarak tanımlanır. Şebeke hatlarına yakın yerlerde kurulan sistemler şebekeye bağlı olarak da kullanılabilirler. Depolama sistemleri yerine güneş ışınlarından faydalanılamayan zamanlarda ihtiyaç duyulan enerji şebekeden karşılanabilir. Ancak şebekeye geri enerji belemesi olmadığından bu sistemler şebekeden bağımsız sistemler olarak sayılırlar. Tabi bu sistemlerin kullanımında yatırım maliyetinin geri kazanımı uzun zaman aldığı için daha çok şehir şebekesine uzak ve MW dan düşük elektrik ihtiyacının bulunduğu alanlarda tercih edilmesi daha mantıklıdır (Doğan, 2019).

2.5.2. Şebekeye bağlı (On-Grid) güneş enerjisi sistemleri

Bu tür sistemlerde güneş enerjisi ile üretilen elektrik enerjisi, şehir şebekesine verilir. Şehir şebekesi ile yapılan karşılıklı elektrik iletimine şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerjisi sistemleri olarak tanımlanır. Şebekeye bağlı güneş enerji sistemlerinde iki türlü enerji sistemleri vardır. Birincisinde, yüksek güçte kurulan güneş enerjisi santrallerinden elde edilen elektrik enerjisi şebeke hatlarına verilerek enerji katma değeri sağlanır. Bu enerji sisteminin amacı sadece güneş ışınlarından elde edilen elektrik enerjisini şehir şebeke hattına aktarmaktır. Üretilen enerjinin tümü şebekeye verilir (Doğan, 2019, Kocakuşak, 2018).

Bir diğer enerji sistemi ise konut, işletme ve tesis gibi yapılarda kurulan güneş enerjisi sistemlerinde üretilen enerjinin kullanımdan fazla olan kısmı şebekeye aktarılır. Bu sistemlerde güneş ışınlarından yararlanılamayan zamanlarda elektrik ihtiyacı şebekeden karşılanır. Bundan dolayı da akü olarak kullanılan maliyetli depolama sistemlerine ihtiyaç duyulmaz. Bu tesislerde üretilen enerji ve şebekeden kullanılan enerji çift yönlü elektrik sayaçları ile tespit edilir. Ay sonunda şebekeye verilen ve şebekeden çekilen elektrik enerjisi bu çift yönlü sayaçlar tarafından belirlenerek mahsuplaşılır (Doğan, 2019, Kocakuşak, 2018).

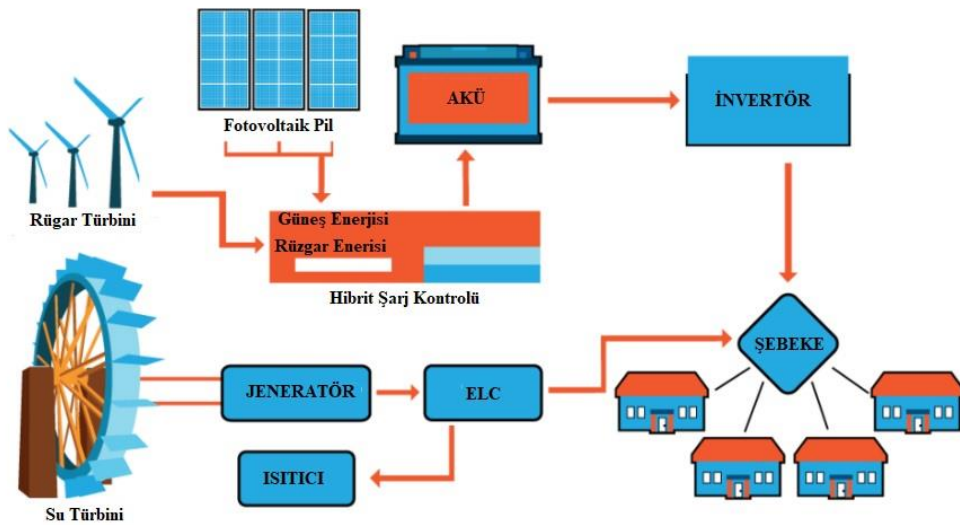
Şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemleri şebeke ile karşılıklı alış-veriş söz konusu olduğu için ekonomik kazanımları daha hızlı ve yüksektir. Bu nedenle sistemlerin kendini amorti etmesi daha kısa sürede gerçekleşir (Doğan, 2019, Kocakuşak, 2018). Şekil 2.8’da Off-Grid sisteme örnek şekli gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Şebekeye Bağlı (On-Grid) Güneş Enerji Sistem Şeması (http-3)

2.5.3. Karma bağlantılı (Hibrit) enerjisi sistemleri

Karma bağlantılı enerji sistemleri, birkaç tane enerji üretim sistemi ile elektrik üretilerek şebekeye bağlanmasıdır. Güneş, rüzgâr, biokütle, hidroelektrik gibi enerji üretim yöntemlerinin iki veya daha fazlası ile elektrik üretilerek, direkt şehir şebekesine verilmesi ya da bir tesiste kullanılması oldukça avantajlı, sürdürülebilir bir enerji üretim sistemidir. Bu sistemlerin kurulum maliyetleri günümüzde yüksek olsa da teknolojinin gelişmesi ve bu tür sistemlerin yaygın hale gelmesiyle maliyetlerin düşeceği öngörülmektedir (Doğan, 2019). Şekil 2.9’de karma bağlantılı (hibrit) enerji sisteme örnek şekli gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Karma Bağlantılı Enerji Sistemleri Şeması

2.6. Fotovoltaik Pil Tasarımlarında Kullanılan Bileşenler

Fotovoltaik piller elektrik enerjisini doğru akım (DC) olarak üretirler. Şehir şebekelerinde iletilen elektrik ise alternatif akımdır (AC). Bundan dolayı fotovoltaik piller ile üretilen enerji şebekeye verilirken ya da bina ve tesislerimizde kullanırken AC'a çevrilmesi gerekir. Bu DC-AC elektrik çevrimi, invertör olarak adlandırılan cihazlar ile yapılmaktadır. Bununla birlikte üretilen elektrik enerjisini iletmek için kablo, kablo tesisatını ve cihazları korumak için sigortalar, parafudurlar, üretilen enerji depolanmak isteniyorsa, akü, akü şarj cihazı ve üretilen enerji miktarının ölçülmesi için sayaç gibi belli başlı ekipman ve cihazlara ihtiyaç vardır. Bunlarda başlıcaları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

2.6.1. Fotovoltaik paneller

Güneş ışınlarını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik piller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak 12 V veya 24 V DC elektrik enerjisini çıkışı elde edilir (Maltaş, 2017).

Fotovoltaik pillerin verimleri panel yapılarına ve tiplerine göre değişiklik gösterir. Genel olarak yüzde15 ile yüzde 20 arasında verimlilik göstermektedirler. Güneş ışınlamalarının geliş açıları, hava sıcaklığı ve panel cam temizliği panel verimliliğini etkileyen önemli unsurlardır. Güneş panellerinin kurulduğu bölgenin güneşlenme miktarı ve süresi, panel üzerine düşen gölge, panellerin kurulum açısı ve yönü elektrik üretimini etkileyen faktörlerdir (Bayram, 15).

2.6.2. Invertör

Güneş enerjisi sistemlerinin ana bileşenlerinden biri olan invertör, DC gerilimi AC gerilime dönüştüren cihazlardır. Fotovoltaik pillerin ya da rüzgâr türbinlerinin üretmiş olduğu 12-24 VDC gerilimini şehir şebekesi olan 220 VAC gerilimine dönüştürler. Başta güneş ve rüzgâr santrallerinde olmak üzere yenilenebilir enerji üretiminde kullanılan invertörler, reaktif enerji gibi verimliliği azaltan etkenleri önleyerek verimliliğin artmasını da sağlarlar (Öztürk, 2021).

Güneş sistemlerinde kullanılacak invertör seçimi önemlidir. Seçilen invertör, panellerin ürettiği elektrik değerlerinin üzerinde ve enerji çevrimini uzun yıllar verimli bir şekilde yapabilecek kabiliyette olmalıdır (Maltaş, 2017).

İnvertörler, 2 ile 5 kW güç arasında ve tek faz 220 V küçük tesislerde, 30 ile 33 kW güç arasında ve üç faz 400 V daha büyük tesislerde kullanılmaktadır. İhtiyaca göre gerekli sayıda dizi olarak kullanılan invertörler, DC-AC gerilim koruma elemanlarının bulunduğu paket dizin olarak kullanımı da mevcuttur (Maltaş, 2017).

2.6.3. Akü

Üretilen elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek depolanmasını sağlayan ve elektrik devresine bağlı yüklerin elektrik ihtiyacını karşılamak içinde kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren bir elektrik kaynağıdır (MEGEP, 2008).

Aküler daha çok şebekeye bağlı olmayan (off-grid) tasarımlarımda kullanılır. Güneşli zamanlarda üretilen elektrik enerjisi aküler ile depolanır. Güneş ışınlarının yetersiz olduğu zamanlarda ve geceleri fotovoltaiik pillerin elektrik üretimi sağlayamadığında elektrik ihtiyacı bu depolama kaynakları ile sağlanır. Ayrıca aküler elektrik sistemlerinde voltaj dengeleyici olarak da görev yapar (MEGEP, 2008).

2.6.4. Şarj kontrol cihazı

Fotovoltaiik piller ile üretilen elektrik enerjisinin depolandığı akü kaynaklarının düzenli ve sabit bir gerilim ile şarj edilmesini sağlayan şarj kontrol cihazlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Akülerin verimli kullanılması ve kullanım ömürlerinin daha uzun olması için aşırı şarj edilmesinin ve tamamen boşalmasının önüne geçilmesi gerekir. Şarj kontrol cihazları, fotovoltaiik pillerin ürettiği enerjiyi düzenleyerek akülere iletirler ve aküler yeterli doluluğa ulaştığında şarj işlemini keserek aküyü aşırı şarjdan korumaktadır. Elektrik alıcıları, aküler tarafından beslenmeye başlandığında ve aküde depolanan enerji belirli bir seviyeye düştüğünde şarj kontrol cihazı akünün tamamen boşalmasını önlemek için enerji beslemesini kesmektedir. Sistemde kullanılan şarj kontrol cihazının maksimum güç noktası izleyici (MPPT: Maximum Power Point Tracking) özelliğe sahip olması bu işlemlerin daha verimli ve sağlıklı yapılabilmesine olanak sağlar (Akdeniz, 2019).

2.6.5. Çift yönlü sayaç

Elektrik sayaçları ile üretilen ya da tüketilen elektrik enerjisinin miktarı ölçülmektedir. Genellikle elektrik kullanıcıları kullandıkları elektrik miktarını ölçen tek yönlü sayaçlara sahiptir. Ancak güneş ve rüzgâr enerji ile elektrik üretilen sistemlerde çift

yönlü sayaçlar kullanılmaktadır. Şebekeye bağlı (on-grid) sistemlerde kullanılan bu sayaçlar, şebekeye verilen ve şebekeden çekilen elektrik enerjisinin miktarını kaydetmektedirler. Daha çok elektrik depolama sistemleri kullanılmayan sistemlerde kullanılmaktadır. Güneş ışınlarının olduğu zamanlarda üretilen elektrik fazlası şebekeye verilmektedir. Güneş ışınlarının yetersiz olduğunda ve geceleri elektrik üretilmediğinde elektrik ihtiyacı şebekeden karşılanmaktadır. Çift yönlü sayaçlar ile şebekeden kullanılan ve şebekeye verilen elektrik enerjisi ölçülerek alacak ya da borç miktarı belirlenmektedir.

2.7. Fotovoltaik Sistemlerin Kurulum Alanları

Günümüzde fotovoltaik sistemler daha çok uygun arazilere, çatılara, bina cephelerine, örtülü tarım alanlarına, su kanallarının üzerine, açık denizlere ve su kaynaklarının üzerine yüzer şekilde kurularak enerji üretimini sağlanmaktadır.

2.7.1. Arazi üzerine fotovoltaik sistem kurulumu

Güneş enerjisi üretimi için uygun olan araziler üzerine kurulan bu sistemler yaygın olarak kurulan sistemlerdir. Bu arazilerin konumu, yönü, eğimi ve zemin etüdü yapılarak beton ya da zemine çakılan sıcak daldırılmalı galvaniz konstrüksiyon üzerine montaj edilirler. Bu tip montaj yöntemleri ile uygulama arazisinin tesviye, kazma gibi işlemlerine ihtiyaç duyulmaması ve arazinin tesviye işlemlerinin zor olduğu alanlarda kolay kurulum sağlar. Görsel 2.1’de arazi üzerine kurulmuş fotovoltaik sistem görülmektedir (EMO, 2019, Şençiçek, 2017).



Görsel 2.1. Arazi üzerine kurulmuş fotovoltaik sistem görüntüsü (<http-4>)

Arazilerde uygulanan beton ve konstrüksiyon montaj tipi ile eğimli alanlarda montaj kolaylığı sağlanır. Görsel 2.2’de eğimli bir arazide kurulan fotovoltaiik sistem gösterilmiştir.



Görsel 2.2. Eğimli araziye kurulmuş fotovoltaiik sistem görüntüsü (Şençiçek, 2017)

2.7.2. Çatı üzerine fotovoltaiik sistem kurulumu

Konutlarda, fabrikalarda, tesislerde ve binalarda uygulanan bu fotovoltaiik sistemler oldukça yaygındır. Arazi koşullarına göre daha kolay ve az maliyet gerektiren bu tip uygulamaların kapasitesi, arazi uygulamalarına göre daha az güçtedir. Çatılarda kurulan bu sistemlerin montajı yine arazi uygulamalarında olduğu gibi çatı üzerine konstrüksiyon kaideler üzerine yapılır. Dikkat edilmesi gereken hususlar ise çatının konumu, yönü, eğimi ve fotovoltaiik sistemini taşıyabilecek güçte olmasıdır. Ayrıca paneller ile çatı arasında boşluk bırakılarak havalandırmaya olanak sağlanmalıdır (EMO, 2019). Görsel 2.3’de çatı üzerine kurulmuş bir fotovoltaiik sistem gösterilmektedir.



Görsel 2.3. Fotovoltaik sisteminin çatı kurulumu görüntüsü (Enerjiportali, 2018)

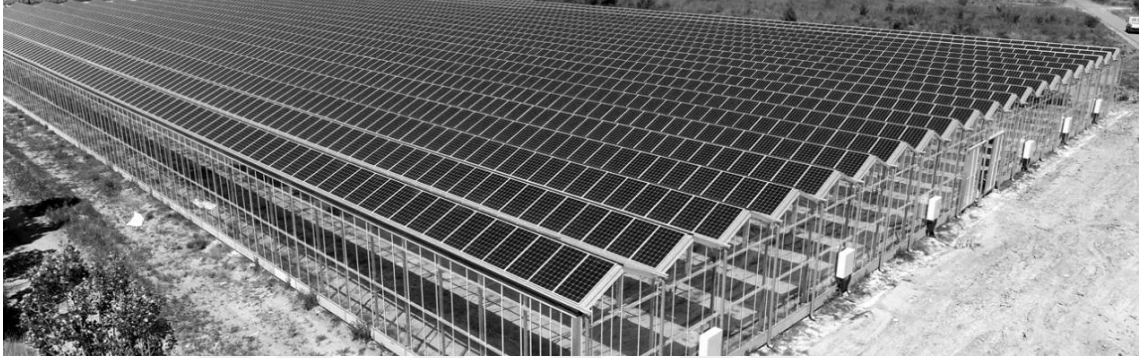
Fabrikalar, tesisler, kamu kurum ve kuruluşlar bina çatılarına fotovoltaik sistemler kurarak ihtiyaçları olan elektrik enerjisinin tamamını ya da bir kısmını üretebilmektedir. Görsel 2.4’de Anadolu Isuzu tesis bina çatısına kurulan fotovoltaik sistem gösterilmektedir.



Görsel 2.4. Anadolu Isuzu tesislerinin çatı fotovoltaik sistem görüntüsü (Taşıyanlar, 2022)

2.7.3. Seralar üzerine fotovoltaik sistem kurulumu

Örtülü tarımın yapıldığı seralar, sıcaklık, nem ve diğer çevresel etkileri ideal şartlarda tutarak tarım ürünlerinin uygun koşullarda yetişmesine olanak sağlayan tarımsal yapılardır. Seraların çatıları her zaman yeterli güneş ışınlarına maruz kalmalarından dolayı elektrik üretimi için ideal alanlardır (http-5). Şekil 2.5’de sera çatısına uygulanan fotovoltaik panel uygulaması gösterilmektedir.



Görsel 2.5. *Sera çatısına kurulmuş fotovoltaik panel görseli (http-5)*

Görsel 2.5’de görüldüğü gibi seralar dayanıklı malzemeden imal edilerek güçlü çatılarına fotovoltaik paneller kurulduğu gibi zayıf plastik örtülerden imal edilmiş seraların güneş ışınlarının geldiği yönde direkler dikilerek üzerlerine fotovoltaik panel uygulaması da yapılabilir. Görsel 2.6’da fotovoltaik panellerin sera yanına direk üzerine kurulumu gösterilmektedir.



Görsel 2.6. *Plastik örtü ile kurulmuş sera yanına kurulan fotovoltaik panel görüntüsü (Özdemir, 2022)*

2.7.4. Kanal üzerine fotovoltaik sistem kurulumu

Fotovoltaik panellerin arazi kurulumlarında geniş arazi alanına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu arazi ihtiyacı karşılanırken tarım gibi faydalı faaliyetlerin önlenmemesi gerekir. Güneş panellerinin kurulacağı arazi ihtiyacını karşılamak için alternatif alanlardan faydalanılabilir. Bu alanlardan biri de su kanallarının üzeri olabilmekte ve kanal üzeri uygun konstrüksiyon malzeme ile kapatılarak üzerine fotovoltaik paneller kurulur (Şençiçek, 2017). Görsel 2.7’de kanal üzerine kurulmuş fotovoltaik panel uygulaması görülmektedir.



Görsel 2.7. Kanal üzerine kurulmuş fotovoltaik panel görüntüsü (Şençiçek, 2017)

2.7.5. Açık deniz üzerine fotovoltaik sistem kurulumu

Dünyamızın büyük bölümünü kaplayan okyanuslar güneş enerjisinden yararlanmak için oldukça uygun alanlardır. Özellikle çok fazla kara toprağına sahip olmayan ülkelerin bu teknolojiye yararlanmaya başladıkları bilinmektedir. Singapur ülkesinde kurulan ve yılda 6 milyon kWh elektrik üretme kapasitesi olan dünyanın en büyük yüzer güneş enerji santrali kurulmuştur (Tunçer, 2021). Görsel 2.8’de deniz üzerine kurulmuş yüzer fotovoltaik panel kurulumu gösterilmektedir.



Görsel 2.8. Deniz üzerine kurulmuş fotovoltaik panel kurulum görüntüsü (Tunçer, 2021)

2.8. Güneş Enerjisi Potansiyelinin Hesaplanması

Birçok cihazın elektrik enerjisinin karşılandığı konut, tesis gibi yapıların günlük elektrik enerjisi ihtiyaçları farklılık gösterebilir. Bundan dolayı elektrik enerjisi ihtiyacını hesaplarken haftalık ya da aylık gibi dönemsel elektrik ihtiyacı belirlenerek günlük ortalama enerji ihtiyacı belirlenir (Alkan vd., 2014).

Fotovoltaik pil sistemlerinde üretilen elektrik enerjisinin tamamı sisteme aktarılamaz. Bu sistemlerde kullanılan cihazların verimlilik oranlarına bağlı olarak enerji kayıpları oluşmaktadır. Bu oluşan kayıplar, ihtiyaç olan enerji üretiminde dikkate alınmalıdır. Her cihazın verimliliği farklılık göstermektedir. Fotovoltaik pillerin verimliliği (η_{pv}) yüzde 80, akü verimliliği ($\eta_{akü}$) yüzde 80 ve invertör verimliliği (η_{inv}) yüzde 90 civarındadır. Bu oranlar dikkate alınarak sistem verimliliği (η_{sis}) denklemin 2.1 ile hesaplanır (Alkan vd., 2014).

$$\eta_{sis} = \eta_{pv} * \eta_{akü} * \eta_{inv} = 0,80 * 0,80 * 0,90 = 0,58 \quad (2.1)$$

Sistem verimliliği dikkate alınarak üretilmesi gereken elektrik enerjisi denklemin 2.2 ile hesaplanır. Denkleminde ÜGE üretilmesi gereken enerji, YE yükün enerjisini ifade etmektedir.

$$\text{ÜGE} = \text{YE} / \eta_{sis} \quad (2.2)$$

Panel sayısı, üretilmesi gereken enerji miktarı ve güneşlenme süresine göre denklemin 2.3 ile hesaplanır. Denkleminde PS panel sayısını ifade etmektedir.

$$PS = \frac{\dot{U}_{GE}}{\text{Bir Güneş Panelinin Gücü} * \text{Güneşlenme Süresi}} \quad (2.3)$$

Elektrik enerjisinin üretilmediği kapalı günlerde ise enerji ihtiyacı aküler ile karşılanabilir. Akü kapasitesini belirlemek için kapalı geçen gün sayısı ve bu günlerde ihtiyaç duyulacak enerji miktarı bilinmelidir. Bununla birlikte kullanılacak akülerin deşarj faktör de bilinmelidir. Akü kapasitesi hesabı denklem 2.4 ile hesaplanır. Denklemden KGS kapalı gün sayısını ifade etmektedir (Alkan vd., 2014).

$$\text{Akü Kapasitesi} = \frac{\dot{U}_{GE}}{\text{Deşarj Olma aktörü}} \times KGS \quad (2.4)$$

Kurulacak panellerin ihtiyaç duyduğu alanı hesaplamak için denklem 2.5'den faydalanılır. Denklemden A ihtiyaç duyulan alanı, P_{en} panelin enini, P_{boy} ise panelin boyunu ifade etmektedir (Gürgeç, 2016).

$$A = PS * P_{en} * P_{boy} \quad (2.5)$$

Güneş enerji sistemi için ihtiyaç duyulan arazi miktarını hesaplamak için hesaplanan panel alan hesabına istinaden sistemin konum, eğim, gölgelenme alanı, kablolama, diğer sistem elemanları ve çalışma alanlarını da hesaplamak gerekir.

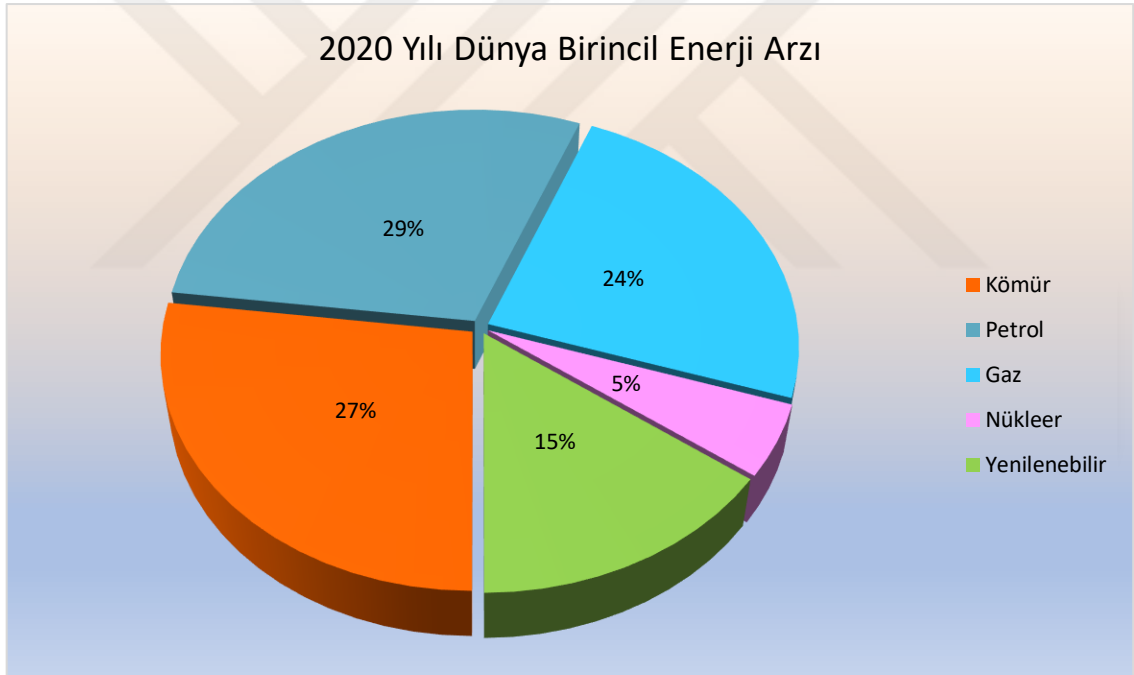
Günümüzde gelişen fotovoltaik piller 675 Wp değerine kadar ulaşmış olup ortalama yüzey alanları 2,1 m²'dir. Kullanılan fotovoltaik teknolojilerine ve kurulum şekillerine bağlı olarak 1 MWe elektrik enerjisi üretebilmek için 13 – 25 dönüm araziye ihtiyaç duyulmaktadır (ETKB, 2022).

3. BİYOĞAZ ENERJİSİ

Biokütle atıkları, modern tesislerde çeşitli aşamalardan geçirilerek biyogaz üretilmektedir. Üretilip depolanan biyogaz çeşitli şekillerde kullanılmaktadır.

3.1. DÜNYADA BİYOĞAZ KULLANIMI

Dünyada ihtiyaç duyulan enerjinin hala çok büyük kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. 2020 yılı verilerine göre dünya birinci enerji arzı; yüzde 27 kömür, yüzde 29 petrol ve yüzde 24 gaz kullanımı ile fosil yakıt kullanımı yüzde 80'dir. Nükleer enerji kullanımı ise yüzde 5'dir. Yenilenebilir enerjinin kullanımı ise geçen yıla oranla yüzde 0,9 oranında artışla yüzde 15 olmuştur (WBA, 2022). Grafik 3.1'de 2020 yılına ait birincil enerji arz oranları gösterilmiştir.

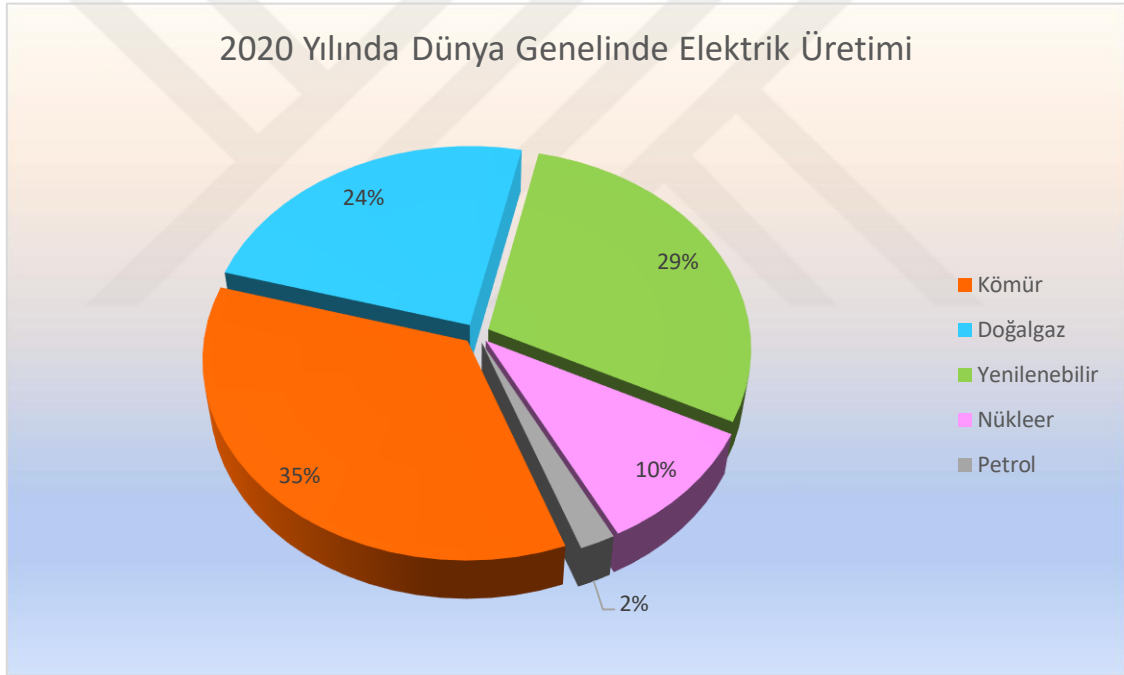


Grafik 3.1. 2020 yılına ait dünya birincil enerji arz oranları (WBA, 2022)

2019 yılında, kıtalar arası enerji arzı incelendiğinde tüm kaynakların toplam birincil enerji arzı en çok Asya kıtasına aittir. Bu kıtada da ise enerji kaynağı olarak büyük ölçüde kömür kullanılmaktadır. Amerika kıtasında ise ham petrol ve petrol ürünleri daha çok kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise hidroelektrik ve ısınma, pişirme için

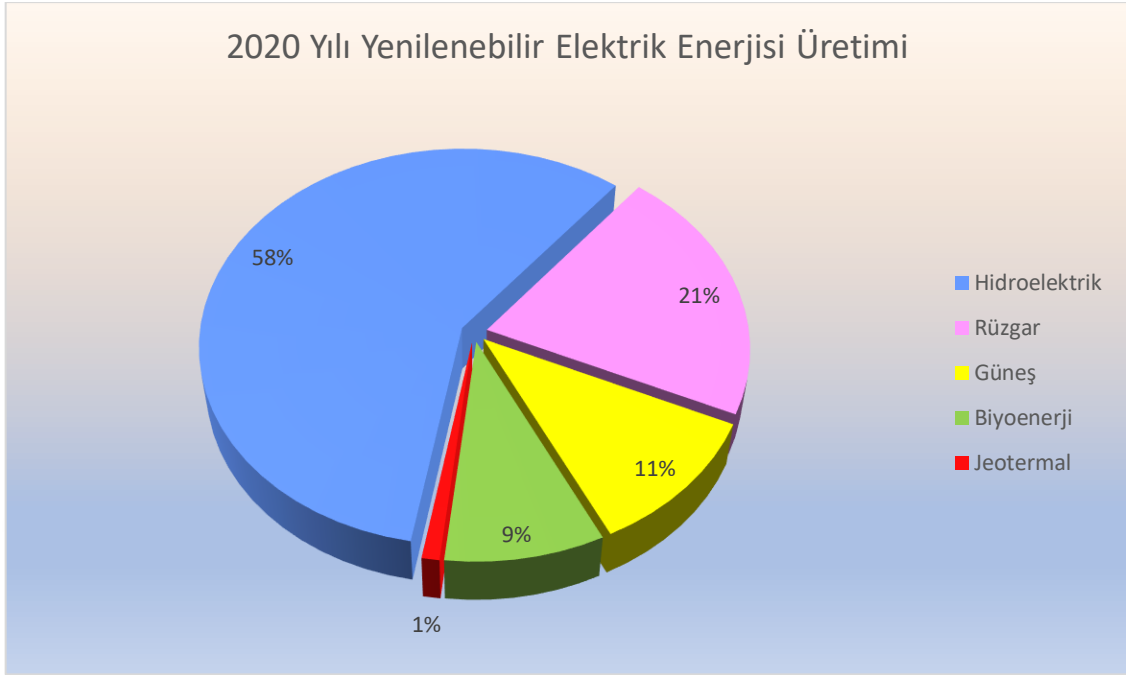
kullanılan biyokütle kullanımı ile yüzde 47'lik oranla Afrika kıtasında en yüksek kullanıma sahiptir (WBA, 2022).

Dünyada kullanılan elektrik enerjisinin üretiminde kullanılan en önemli kaynak kömürdür. 2020 yılında üretilen elektrik enerjisinin yüzde 35'i kömür ile üretilmiştir. Kömürden sonraki elektrik üretiminde kullanılan kaynak ise doğalgazdır. Elektrik üretiminde kullanılan doğalgaz kullanımını 2020'de yüzde 24'e yükselmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının, 2020 yılını dünyada üretilen 26.833 TWh elektrik enerjisinin üretimindeki payı ise yüzde 29 olmuştur. Nükleer enerjinin yüzde 10 ve petrolün yüzde 2 elektrik üretimine katkısı olmuştur (WBA, 2022). Grafik 3.2'de 2020 yılında üretilen elektrik enerjisi kaynak oranları gösterilmiştir.



Grafik 3.2. 2020 yılında dünya üretilen elektrik enerjisi kaynak oranları (WBA, 2022)

2020 yılında dünyada üretilen yenilenebilir elektrik enerjisi miktarı 7.669 TWh' ır. Yenilenebilir enerji ile üretilen elektriğin en büyük kaynağı yüzde 58 ile hidroelektrik enerjisine aittir. Rüzgâr enerjisinin payı ise yüzde 21, güneş enerjisinin yüzde 11 ve dördüncü en büyük yenilenebilir elektrik üretim kaynağı olan biyoenerjinin payı ise 685 TWh ile yüzde 9 olmuştur (WBA, 2022). Grafik 3.3'de 2020 yılında dünya genelinde yenilenebilir enerji ile üretilen elektrik enerjisi kaynak oranları gösterilmiştir.



Grafik 3.3. 2020 yılı dünya geneli yenilenebilir elektrik enerjisi kaynak oranları (WBA, 2022)

Dünyada yenilenebilir enerji ile üretilen elektriğin en büyük üreticisi Asya kıtasıdır. 2019 yılı verilerine göre; yenilenebilir elektriğin yüzde 43’ü Asya kıtasında, yüzde 30’u Amerika, yüzde 24’ü Avrupa’da üretilmiştir. Afrika kıtasının yenilenebilir elektrik üretimindeki payı ise yüzde 2,4’dür. Afrika kıtasında üretilen yenilenebilir elektrik enerjisinin yüzde 80’i hidroelektrik ile üretilmektedir (WBA, 2022).

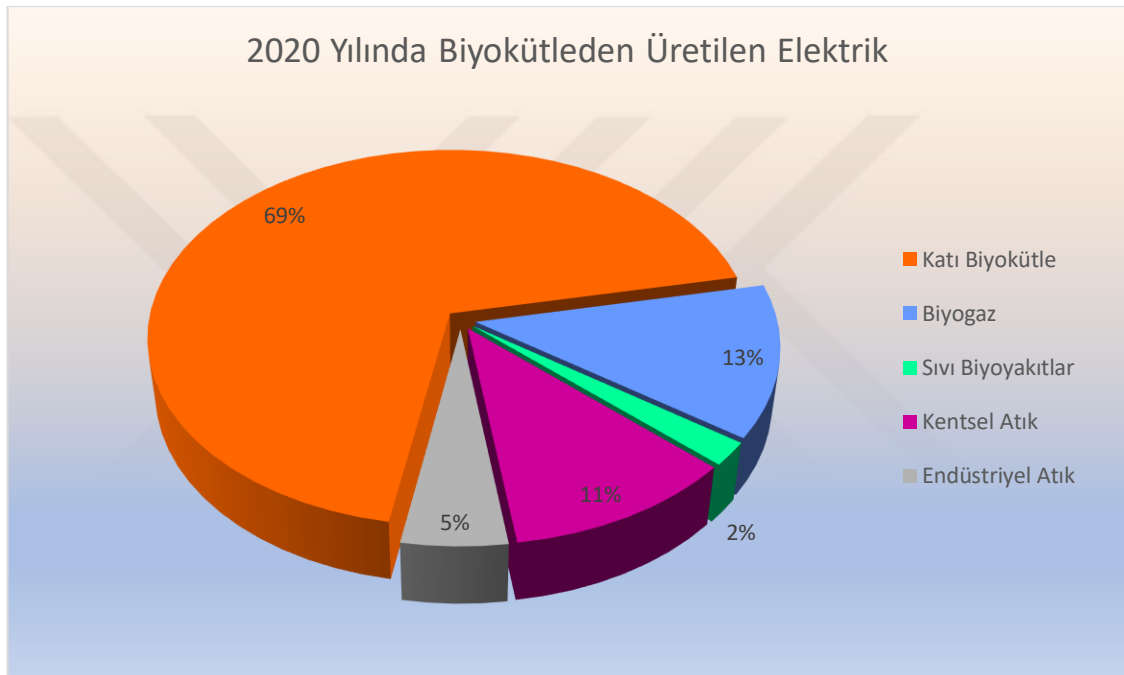
En büyük biyoenerji üreticisi tahmini olarak 304 TWh üretim ile Avrupa’dır ve dünya çapında üretilen bioelektrik üretiminin yüzde 40’ını oluşturmaktadır (WBA, 2022).

2020 yılında dünya çapında üretilen biyoenerjinin yüzde 86’sı odun yongaları, odun peletleri ve geleneksel biyokütle atıkları dahil olmak üzere katı biyokütle kaynaklarından elde edilmiştir. Elde edilen biyoenerjideki sıvı biyoyakıtların payı ise yüzde 7, kentsel ve endüstriyel atıkların payı ise yüzde 2-3, biyogazın payı ise yüzde 2 olmuştur (WBA, 2022).

2019 yılında dünya çapında üretilen biyokütle enerjisi, ormancılık sektöründen elde edilen katı biyokütle atıklarından üretilmiştir. Kentsel atıklardan elde edilen enerjinin en büyük üreticisi yüzde 64 ile Avrupa’dır. Aynı zamanda Avrupa dünya çapındaki biyogaz üretiminin yarısından fazlasını üreterek biyogaz üretim lideridir.

Dünya çapındaki sıvı biyoyakıt üretim lideri ise yüzde 70 ile özellikle Amerika ve Brezilya tarafından karşılanan Amerika kıtasıdır (WBA, 2022).

2020 yılında dünya genelinde biyokütleden üretilen elektrik enerjisi miktarı 685 TWh' ır. Biyokütleden üretilen enerjinin katı biyokütle payı yüzde 69, kentsel ve endüstriye atık payı yüzde 17, biyogazın payı ise yüzde 13'dür (WBA, 2022). Grafik 3.4'de 2020 yılında dünya genelinde biyokütle kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi oranları gösterilmiştir.

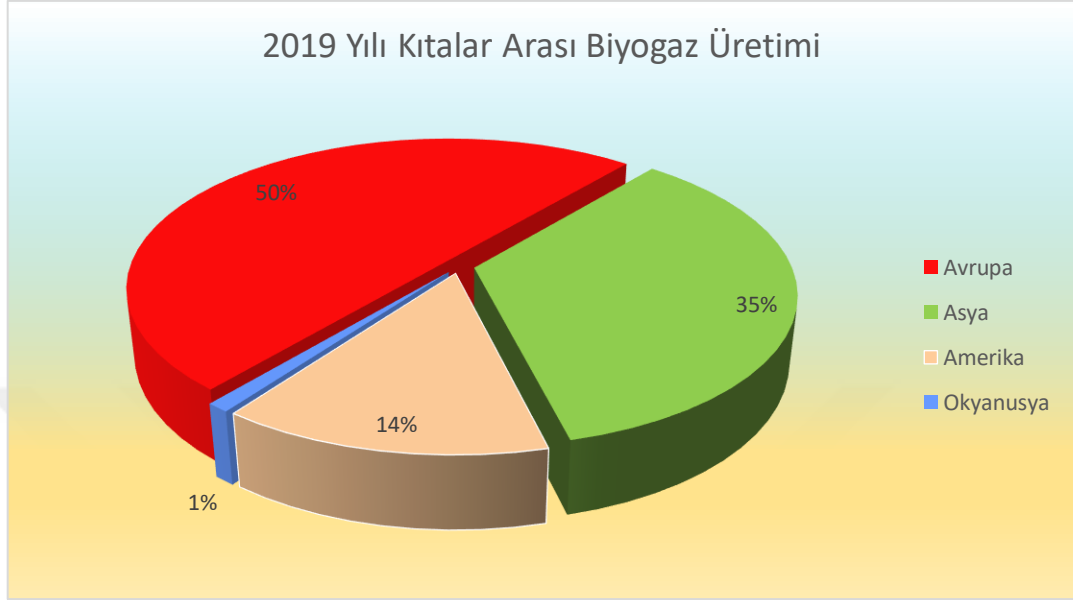


Grafik 3.4. 2020 yılı dünya geneli biyokütle kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi oranları (WBA, 2022)

2019 yılında dünya genelinde 255 TWh biyoenerji üretilmiştir. Üretilen enerjinin yüzde 39'u Asya'da, yüzde 35'i Avrupa'da üretilmiştir. Belediye atıklarından üretilen biyoenerjinin yüzde 64'ünü oluşturan Avrupa bu kategoride dünya lideridir. Asya ise endüstriyel atıklardan üretilen elektrik enerjisinin yüzde 71'lik kısmını oluşturmasıyla bu kategoride dünya lideridir. Avrupa aynı zamanda dünya genelinde üretilen biyogaz kaynaklı biyoenerjinin yüzde 72'lik kısmını oluşturmasıyla biyogaz kategorisinde de dünya lideridir (WBA, 2022).

Avrupa 2019 yılında 30,6 milyar m³ biyogaz üretmiştir. Avrupa'da üretilen biyogaz miktarı dünya genelinde üretilen biyogaz miktarının yarısından fazlasını oluşturmaktadır.

Avrupa'dan sona en çok biyogaz üretimi Asya'da gerçekleşmiştir (WBA, 2022). Grafik 3.5'de kıtalar arası biyogaz üretim oranları gösterilmiştir.



Grafik 3.5. 2019 yılı kıtalar arası biyogaz üretim oranları (WBA, 2022)

3.2. TÜRKİYE'DE BİYOGAZ KULLANIMI

Türkiye'nin 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) değerinde enerji üretebilecek biyokütle atığı potansiyeline sahip olduğu ve bu atık potansiyelinden üretilen biyogaz potansiyelinin ise 1,5-2 MTEP değerinde olduğu tahmin edilmektedir (STB, 2020).

“Türkiye’de Hayvansal Atıkların Biyogaz Yoluyla Kaynak Verimliliği Esasında ve İklim Dostu Kullanımı Projesi” dahilinde hazırlanan “Türkiye ‘de Biyogaz Yatırımları için Geçerli Koşulların ve Potansiyelin Değerlendirilmesi” çalışmasında, elde edilebilir teknik biyogaz potansiyelinin Türkiye’nin birincil enerji ihtiyacının yüzde 2,5 ile 4,8’lik kısmının karşılanabileceği bildirilmektedir. Türkiye’nin potansiyel biyogaz varlığının toplam yenilenebilir enerji potansiyelinin yüzde 35,9 ile 70,6’lık kısmına tekâmül ettiği ve bu üretilen biyogaz ile doğalgaz kullanımının yüzde 19,2 ile 37 oranında azaltılabileceği aynı çalışmada bildirilmektedir. Aynı zamanda üretilen biyogazın, yüzde 40 verim ile elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile Türkiye’nin elektrik enerjisinin yüzde 6 ile 12’lik kısmının karşılanabileceği, böylelikle toplam elektrik enerjisi üretimde

yenilenebilir enerji ile üretilen elektrik enerjisinin payının yüzde 22 ile 44 seviyelerine çıkabileceği bildirilmiştir (STB, 2020).

3.3. Türkiye’deki Biyogaz Santral Örnekleri

3.3.1. Tire Biyogaz Santrali (Tire Biyogaz Elektrik Üretim A.Ş.)

İzmir’in Tire İlçesinde Kurulu, Kurulu Gücü **4,8 MW**, Günlük 1000 ton/gün atık kabul etme, Yıllık 43.000 ton/yıl Doğal fermente gübre elde etme kapasitesine sahiptir (http-6). Görsel 3.1’de Tire Biyogaz Tesisine ait bir görsel paylaşılmıştır.



Görsel 3.1. Tire Biyogaz Tesisinden Bir Görüntü (http-6).

3.3.2. Afyon Biyogaz Enerji Santrali (Afyon Enerji ve Gübre A.Ş.)

Afyonkarahisar da kurulu olan santralin kurulu gücü 4 MW’dır. Yıllık 150.000 Ton/yıl organik atığın Anaerobik fermentasyonu ile üretilen biyogazdan yılda 32.000 MW/yıl elektrik, 33.500 MW/yıl ısı enerjisi üretilmektedir. Ayrıca fermentasyon sonucunda yıllık 20.000 Ton/yıl gübre üretim kapasitesi bulunmaktadır (http-7). Görsel 3.2’de Afyon Biyogaz Enerji Santraline ait bir görsel paylaşılmıştır.



Görsel 3.2. *Afyon Biyogaz Enerji Santralinden Bir Görüntü (<http-7>)*

3.3.3. Ödemiş Biyogaz Enerji Santrali (ARFBIO Yenilenebilir Enerji Üretim A.Ş.)

İzmir'in Ödemiş ilçesi Bozcayaka köyünde kurulan santralin kurulu gücü 4,8 MW'dır. Yıllık ortalama 36.000 MW/yıl elektrik enerjisi üretimi ile 10.000 konutun elektrik enerjisini karşılayabilme imkanına sahiptir (<http-8>). Görsel 3.3'de Ödemiş Biyogaz Enerji Santraline ait bir görsel paylaşılmıştır.



Görsel 3.3. *Ödemiş Biyogaz Enerji Santralinden Bir Görüntü (<http-8>)*

3.3.4. ENFAŞ (Enfaş Elektrik Üretim A.Ş.)

Enfaş Enerji Üretim Faaliyetleri A.Ş. 2011 yılında Süttaş tarafından kurulmuştur. Enfaş'ın Aksaray 6,4 MW, Bursa Karacabey 6,4 ve İzmir Tire 4,2 MW kurulu güçlerine sahip doğala enerji üretim tesisleri bulunmaktadır. Bu tesislerin yıllık toplam atık işleme kapasitesi 800.000 Ton/yıl, elektrik üretimi 140.000 MWh/yıl, ısı üretimi 150.000 MWh/yıl ve yüksek kaliteli gübre üretimleri ise 100.000 Ton/yıl'dır. Üretilen elektrik enerjisi Süttaş Entegre Tesislerinin elektrik tüketiminin %80'ini karşılamaktadır. Üretilen sıcak su ve buhar ise süt üretim fabrikalarında kullanılmaktadır (http-9). Görsel 3.4'de ENFAŞ Elektrik Üretim Santrallerine ait birer görsel paylaşılmıştır.



Görsel 3.4. Aksaray, Bursa Karacabey ve İzmir Tire Doğal Enerji Tesislerinden Birer Görüntü ((http-9).

3.4. Biyogaz Tanımı

Biyogaz; biokütle kaynaklarının havasız bir ortamda çeşitli bakteri grupları tarafından parçalanarak ortaya çıkartılan havadan hafif, renksiz, kokusuz büyük miktarda metan ve karbondioksit ihtiva eden yanıcı bir gazdır (Çanka Kılıç, 2011).

Biyogaz içeriğinde yüzde 70'e kadar metan, yüzde 40'a kadar karbondioksit ve çok az miktarlarda hidrojen, azot, hidrojen sülfür, karbon monoksit ve oksijen bulunmaktadır. Tablo 3.1.'de biyogazın içeriğinde bulunan gazların hacimsel değerleri verilmiştir.

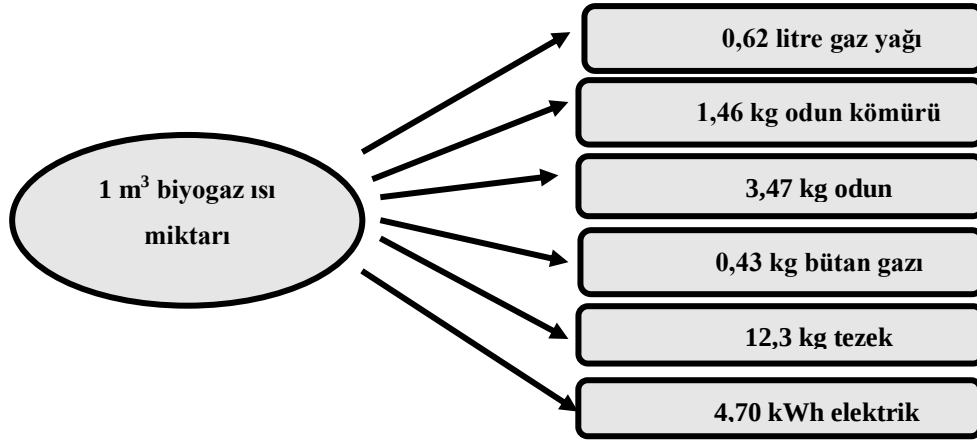
Tablo 3.1. *Biyogazın bileşimi (Çelikkaya, 2016)*

Madde	Sembol	Hacimsel %
Metan	CH ₄	60 -70
Karbondioksit	CO ₂	30 – 40
Hidrojen	H ₂	0 – 1
Azot	N ₂	0 – 2
Hidrojen Sülfür	H ₂ S	20 – 4000 ppm
Amonyak	NH ₃	0 – 0,5
Oksijen	O ₂	0 – 0,5

3.5. Biyogazın Özellikleri

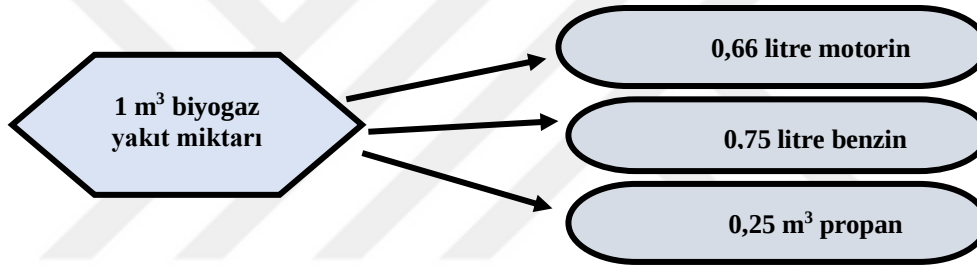
Biokütle atıkların, havasız bir ortamda çeşitli bakteriler ile uygun koşullarda anaerobik arıtımı sonucu açığa çıkan biyogaz; renksiz, kokusuz, havadan hafif, alev rengi mavi, oktan sayısı 110 olan, yoğunluğu 1,21 kg/m³, 700⁰ C yanma sıcaklığı, 870⁰ C alev sıcaklığı olan, çoğunluğu metan, karbondioksit ve eser miktarda hidrojen, azot, hidrojen sülfür, karbon monoksit ve oksijen karışımı olan yanıcı bir gazdır. Kolayca bozunmayan bir yapıya sahip olan biyogaz ancak – 164⁰ C’de sıvılaşabilmektedir (Türk vd., 2015).

Biyogaz üretim tesislerinde, hammadde atık özelliği, sıcaklık, hammadde su içeriği, reaktör yükleme hızı, sistem çalışma şartları ve reaktördeki bakteriyel oluşumu, üretilen biyogaz içeriğini ve elde edilecek enerji miktarını etkilemektedir. Metan gazı ısı değeri 8900 kcal/m³ iken biyogazın ısı değeri ise ortalama 4700 – 5700 kcal/m³ arasındadır. Biyogazın en önemli bileşeni olan metan gazının, biyogaz içeriğindeki miktarı, biyogazın kaliteli bir yakıt değerine sahip olması için oldukça önemlidir. Biyogazın verimli bir yanma özelliğine sahip olması için içeriğinde yüzde 50’den fazla metan gazı ihtiva etmesi gerekmektedir (Türk vd., 2015). 1 m³ biyogazdan elde edilen ısı miktarı 4700 – 5700 kcal/m³’dir. Şekil 3.1’de 1 m³ biyogazın diğer ısı kaynaklarının eşdeğeri gösterilmektedir.



Şekil 3.1. 1 m³ biyogazın diğer ısı kaynaklarının eş değer miktarları (Yılmaz, 2019)

Şekil 3.2’de 1 m³ biyogazın diğer yakıt kaynaklarının eşdeğeri gösterilmektedir.



Şekil 3.2. 1 m³ biyogaza eşdeğer yakıt miktarı (Yılmaz, 2019)

3.6. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atıklar

Biyogaz üretiminde hayvansal atıklar, bitkisel atıklar, şehir ve endüstrinin organik içerikli atıkları olmak üzere üç grupta incelenir.

3.6.1. Hayvansal atıklar

Büyükbaş, küçükbaş, kanatlı hayvan besihanelerindeki gübre atıkları, hayvan kesim ve hayvansal ürün işleme tesislerindeki atıklar hayvansal atıklar olarak sınıflandırılır (Gülşen vd., 2019).

Çiftliklerde üretilen bütün hayvanların atıkları biyogaz üretimi için kullanılabilir. Dünya genelinde ise en çok sığır, koyun, keçi, domuz ve kümes hayvanlarının dışkıları kullanılmaktadır. Bununla birlikte at ve diğer tek tırnaklı hayvanlarında dışkıları biyogaz üretimi için oldukça uygundur.

Çeşitli hayvanlardan toplanan gübreler birlikte karıştırılarak kullanılırlar. Ancak her tür hayvan gübresi bir birli ile uyumlu olmayabilir. Koyun ve keçi gübreleri, kimyasal özellikleri benzer olan kümes hayvanı gübresi ve domuz gübresiyle karıştırıldığında biyokimyasal süreç olumsuz olarak etkilenmekte ve çürüme süresi uzayarak biyogaz üretim miktarı düşmektedir. Ancak sığır gübresi ile karıştırıldığında biyogaz verimi daha fazla artmaktadır (Yağlı ve Koç, 2019).

Yapılan araştırmalarda biokütle atığı olarak hayvan gübresi kullanan tesislerin ürettikleri biyogaz kalitesi hayvan türü ve tesis kapasitesine göre değiştiği bildirilmiştir (Özbaşer ve Erdem, 2013).

Tablo 3.2.'de hayvan türlerine göre günlük gübre miktarı, katı madde oranı (KM), yaş gübredeki uçucu katı madde oranı (UKM), katı maddedeki uçucu katı madde oranı ve UKM'den üretilen metan oranı verilmiştir.

Tablo 3.2. Hayvan türüne göre biyogaz süreci için kabul edilen gübre miktarı ve özellikleri (Yağlı, Koç, 2019)

Hayvan Türü	Hayvan Başına Ortalama Günlük Gübre Üretimi	Katı Madde Oranı (KM)	Yaş Gübredeki Uçucu Katı Madde Oranı (UKM)	Katı Maddedeki (KM) Uçucu Katı Madde Oranı (UKM)	Metan Üretimi
	kg/gün-hayvan	%	%	%	m ³ CH ₄ /kg- UKM
Süt Sığırı	43,00	13,95	11,63	83,36	0,18
Et Sığırı	29,00	14,66	12,41	84,65	0,33
Buzağı (Genç yavru)	2,48	8,39	3,71	44,23	0,33
Koyun	2,40	27,50	23,00	83,63	0,30
Keçi	2,05	31,71	23,17	73,06	0,30
At	20,40	29,41	19,61	66,67	0,30
Et Tavuğu	0,19	25,88	20,00	77,278	0,35
Yumurta Tavuğu	0,13	25,00	18,75	75,00	0,35
Hindi	0,38	25,53	19,36	75,83	0,35
Ördek ve Kaz	0,33	28,18	17,27	61,28	0,35

Tablo 3.3'de hayvan türlerinin, günlük ve yıllık gübre üretimi ve günlük gübre üretiminin hayvan canlı ağırlığının yüzde kaçına tekabül ettiği ve elde edilen 1 ton

gübreden kaç m³ biyogaz üretildiği gösterilmiştir. Tablo 3.3'e göre en verimli gübre sırasıyla tavuk gübresi daha sonra koyun-keçi gübresi ve büyükbaş gübresidir.

Tablo 3.3. Hayvan türlerinin gübre verimleri ve 1 ton gübreden üretilen biyogaz miktarı (Özbaşer ve Erdem, 2013)

Hayvan Türü	Canlı Ağırlığın %	Ortalama kg/gün	Ortalama ton/yıl	1 Ton Gübreden Üretilen Biyogaz m ³ /yıl
Büyükbaş	5 – 6	10 – 20	3,6	33
Koyun – Keçi	4 – 5	2	0,7	58
Tavuk	3 – 4	0,08 – 0,1	0,022	78

Tavuk ve küçükbaş hayvan gübrelerinin biyogaz üretimi daha fazla olmasına rağmen dünyada en çok sığır gübresi kullanılmaktadır. Bunun sebebi ise sığırların günlük gübre üretiminin çok fazla olmasıdır. Ayrıca sığırlar genellikle büyük tesislerde üretilip, kapalı şekilde tutuldukları için üretilen gübrenin tamamı biyogaz üretimi için toplanabilmektedir. Büyükbaş hayvanlarda metan üretimi yüksek olan tür et sığıridir. Et sığırının gübresinde süt sığına göre daha fazla katı madde bulunmaktadır. Süt sığırlarının gübrelerinde su ve lif oranının fazla olması metan gazının üretimini azaltmaktadır. Bunun sebebi lifin biyokimyasal çürümeye dirençli olmasıdır (Yağlı ve Koç, 2019).

3.6.2. Bitkisel atıklar

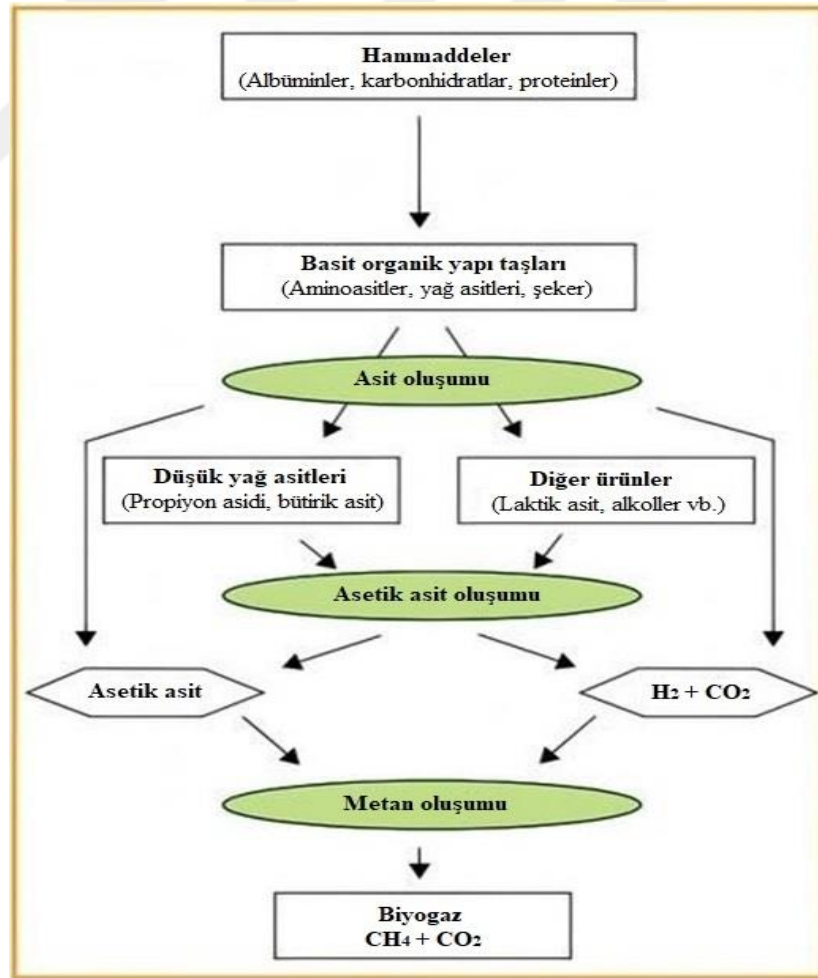
Biyoenerji için yetiştirilen tarım ürünleri (ayçiçeği, soya, pamuk, keten, kenevir vb.), tarım üretiminden kaynaklanan atıklar (tahıl, baklagil, sebze, bitki budama atıkları vb.), orman, park bahçe atıkları (ağaç budama, yaprak dökümü, çim, yabancı ot atıkları vb.), tarımsal ürün işleme tesislerindeki üretim atıkları (sebze, meyve, üzüm, turuncgil, çay, incir, mısır, şeker pancarı işleme atıkları vb.) bitkisel biokütle atıklarına örnek gösterilebilirler (Gülşen vd., 2019).

3.6.3. Organik içerikli şehir ve endüstriyel atıklar

Kanalizasyon ve dip çamurları, kâğıt-karton sanayi, gıda sanayi atıkları ve çözünmüş madde derişimi yüksek evsel ve endüstriyel atıklar kullanılmaktadır (Gülşen vd., 2019).

3.7. Biyogaz Üretim Aşamaları

Biyogaz, biokütle atıklarının havasız bir ortamda ayrı bakteri grupları tarafından biyolojik parçalanması (anaerobik fermentasyon) sonucu ortaya çıkan ağırlıklı olarak metan ve karbondioksit gazıdır. Anaerobik fermentasyon üç aşamada ve farklı bakteri gruplarıyla gerçekleşir. Bu sürecin tamamında herhangi bir olumsuzluk yaşanmadan ve aşamaların birbiri ile uyumlu olarak işlemesi çok önemlidir. Şekil 3. 3. 'de biyogaz üretim aşamaları yukarıdan aşağı şekiller ile gösterilmiştir (Çelikkaya, 2016). Görsel 3.5. 'de çiftçi kooperatifi tarafından kurulan biyogaz tesisi gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Biyogaz üretim aşamaları şeması (Çelikkaya, 2016)



Görsel 3.5. 60 çiftçilik bir kooperatifin kurmuş olduğu merkezi biyogaz tesisi (Yokuş, 2011)

3.7.1. Fermentasyon ve hidroliz

Organik atıkların karbonhidratları, proteinleri, yağları fermentatif ve hidrolitik bakteri gurupları tarafından biyolojik olarak parçalanarak büyük miktarı uçucu organik maddeler olmak üzere karbondioksit ve asetik aside dönüştürülürler. Bu ilk fermentasyon sürecinde meydana gelen dönüşümün büyük miktarı uçucu yağ asitleri olmasından dolayı bu ilk fermentasyon sürecine aynı zamanda uçucu yağ asitleri oluşum süreci olarak da adlandırılır (Gülen ve Arslan, 2005).

3.7.2. Asetik asidin oluşumu

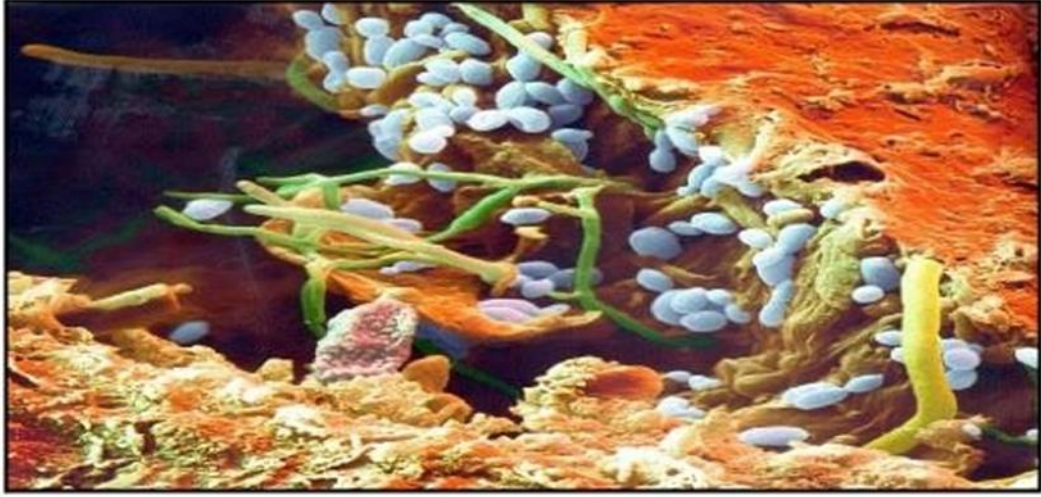
Bu aşamada asetogenik bakteri gurupları vardır, bir gurup asetogenik bakteri, ilk aşamadaki fermentasyon ve hidroliz sürecinde meydana çıkan uçucu yağ ve diğer bileşenleri asetik aside dönüştürürler. Bir başka asetogenik bakteri gurubu da uçucu yağları asetik asit ve hidrojene dönüştürürler (Gülen ve Arslan, 2005).

Başka bir asetogenik bakteri gurubu ise asetik asidin oluşumu için karbondioksit ve hidrojeni kullanırlar. Ancak bu bakterilerin ürettiği asetik asidin miktarı ilk asetogenik bakteri gurubunun ürettiği asetik asit miktarından daha azdır (Gülen ve Arslan, 2005).

3.7.3. Metan gazının oluşumu

Metan gazının oluşumundaki üçüncü fermentasyon aşamasında da bakteri gurupları vardır. Bir gurup bakteriler karbondioksit ve hidrojenden metan gazı ve su üretirken başka bir bakteri gurubu ise asetogenik bakteri guruplarının ürettiği asetik asitten metan gazı ve

karbondioksit üretirler (Gülen ve Arslan, 2005). Şekil 3.4’de biyokimyasal çürüme ile metan bakterilerinin ürettiği metan gazı ve üretim sonrası reaktör atığı olarak meydana çıkan inorganik maddelerin oluşumu gösterilmektedir (Yokuş, 2011).



Şekil 3.4. Metan bakterileri (Yokuş, 2011)

Biyolojik fermentasyon ile üretilen metan gazının çoğunluğu asetik asit kullanılarak üretilir. Karbondioksit ve hidrojen kullanılarak üretilen metan gazı miktarı daha azdır. Üretilen metan gazının yaklaşık yüzde 70’i asetik asit ile üretilir. Geri kalan yüzde 30’luk kısmı ise karbondioksit ve hidrojen kullanılarak üretilir (Gülen ve Arslan, 2005).

3.8. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler

Biyogaz üretimini etkileyen faktörler aslında mikrobiyolojik bakterilerin biyogaz üretimi sürecindeki yaşamsal kalitesini etkileyen koşullardır. Biyogaz üretimindeki organik besleme akımı, katı madde oranı, hidrolik bekleme süresi, organik yükleme hızı, karıştırma hızı, sıcaklık, pH değeri, karbon ve azot oranı, toksit etki ve köpük oluşumu gibi etkenlerin en ideal oranlarda gerçekleşmesi mikrobiyolojik bakterilerin en sağlıklı şekilde yaşayarak biyogaz üretiminin en üst seviyede oluşmasını sağlar (Çanka Kılıç, 2011).

3.8.1. Organik besleme akımı

Biyogaz üretiminin devamlılığını sağlamak ve sıcaklık seviyesinin kontrolü için reaktör sürekli olarak beslenmelidir. Ancak beslemenin reaktördeki organik maddenin, katı madde ve su oranını bozmayacak şekilde yapılmasına dikkat edilmelidir. İdeal oranlar bozulmadan yapılan reaktör beslemesinin sürekliliği, biyogaz üreten mikrobiyolojik bakterilerin tüketeceği organik maddelerin sürekliliğini azaltmadan sağlamış olur. Böylelikle biyogazın daha fazla miktarda üretilebilir olarak devamlılığı sağlanmış olur (Şenol vd., 2017).

3.8.2. Katı madde oranı

Biyogaz üretimi için reaktördeki organik atığın, katı madde ve su karışım oranı %7 ile %12 arasında olduğunda daha verimli biyogaz üretildiği ve bu değer aşıldığında ise verimin düştüğü görülmüştür. Reaktördeki organik atığın katı madde oranı fazla su miktarı az olduğunda mikrobiyolojik bakteri verimliliği azalmakta ve karıştırma işlemi zorlaştığından karıştırma işlemi için gerekli olan enerji miktarı artmaktadır. Aksi durum söz konusu olduğunda yani katı madde oranı az su miktarı fazla olduğunda ise havasız ortam koşulu bozulacağı için mikrobiyolojik bakterilerin yaşam kalitesi azalacaktır. Böylelikle biyogaz üretimi düşecektir (Türk vd., 2015, Şenol vd., 2017).

3.8.3. Hidrolik besleme süresi

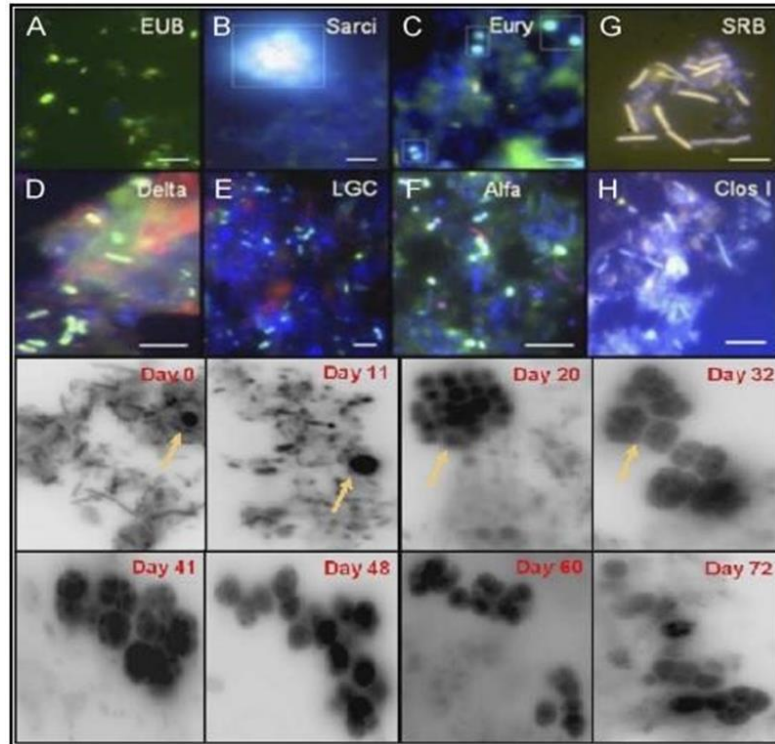
Biyogaz oluşunu için reaktördeki organik atığın mikrobiyolojik bakteriler tarafından çürütülmesi gerekmektedir. Biyokimyasal çürümenin tamamlanması için gerekli olan süreye Hidrolik Bekleme Süresi (HBS) denir (Öztürk, 2017).

HBS organik atığın türüne, reaktör sıcaklığına ve biyogaz tesisinin bulunduğu bölge iklimine göre değişiklik gösterir. Tablo 2.4.'de mezofilik şartlarda atık türlerine göre ortalama bekleme süreleri verilmiştir. Reaktör sıcaklığı ne kadar yüksekse bekleme süresi o kadar kısadır. Bu bağlamda termofilik sıcaklık daha kısa, mezofilik sıcaklık orta ve psikofilik sıcaklık daha uzun bekleme süreleri gerektirir. Coğrafi iklim bölgelerinde de aynı durum söz konusudur. Sıcak iklime sahip tropikal bölgelerde HBS 40-50 gün iken, Çin'in soğuk bölgelerinde HBS 100 günü bulabilmektedir (Özbaşer ve Erdem, 2013). Tablo 3. 4.'de hayvan atık türüne göre mezofilik şartlarda ortalama HBS'leri verilmiştir.

Tablo 3.4. Mezofilik Şartlarda Atık Ortalama HBS (Öztürk, 2017)

Atık Türü	HBS Gün
Sıvı Domuz Gübresi	10 – 25
Sıvı Sığır Gübresi	12 – 30
Saman Yataklı Sığır Gübresi	18 – 36
Sıvı Tavuk Gübresi	20 – 40
Bitki ile Karıştırılmış Sığır Gübresi	50 – 80

HBS'nin yetersizliği biyolojik çürümenin tam olarak gerçekleşmesini önler. Bu durum biyogaz üretimini olumsuz olarak etkiler. Sağlıklı bir biyolojik çürüme için HBS'nin çalışılacak sıcaklığa göre seçilmesi gerekmektedir (Öztürk, 2017). Reaktör sıcaklığının yüksek olması bekleme süresini kısaltacaktır. Bununla birlikte HBS ile bakterilerin yoğunlaşması arasında önemli bir etkileşim vardır. Şekil 3.5. 'de metan oluşumunun mikroskopik görünümü ile metan bakterilerinin oluşumu verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi belli bir süre çoğalan bakteri miktarı, 60 günlük bekleme sonrasında bakteri oluşumu azalmaya başlamıştır (Yokuş, 2011).



Şekil 3.5. Metan oluşumunun mikroskopik görünümü (Yokuş, 2011)

3.8.4. Organik yükleme hızı

Reaktörlerin birim üretim hacmine bağlı olarak günlük organik madde ile beslenme miktarına Organik Madde Hızı denilmektedir. Günlük yükleme oranı organik maddeye göre değişiklik göstermekle birlikte havasız biyolojik çürüme sırasında mümkün olduğunca sabit olmalıdır. Organik yükleme hızının düşük veya yüksek olması pH değerinin yükselmesi veya düşmesine sebebiyet verir. Bu durum gaz oluşumunu olumsuz etkiler ve hatta tamamen durdurabilir (Çanka Kılıç, 2011, Yılmaz, 2019).

3.8.5. Karıştırma hızı

Biyogaz üretim miktarının yüksek seviyede olabilmesi fermentasyon tankındaki organik atık ile mikrobiyolojik bakterilerin birbirleri ile yoğun şekilde teması ile gerçekleşir. Bu yoğun temas ise fermentasyon tankının ideal biçimde karıştırılması ile sağlanır. Karıştırılmayan fermentasyon tankında çökelme meydana gelerek farklı yoğunlukta katmanlar oluşur. Bu durumda biyolojik çürümeye uğrayacak organik atık üst katmana çıkarken mikrobiyolojik bakteriler ise yüksek yoğunluktaki alt katmanda birikir. Bakteriler ile organik atığın farklı katmanlarda toplanması temas yoğunluğunun en az seviyede olmasına neden olur. Bu durumda biyolojik çürümenin miktarının çok az olmasına neden olur. Ayrıca yüzen katı maddeler gaz çıkışını engelleyen bir bariyer oluşturur (ÇŞB, 2010).

Fermentasyon tankının aşırı karıştırılması ise özellikle metan gazının oluşumu için birlikte çalışan bakteri gruplarının ayrışarak tahrip olmasına neden olacak ve biyolojik çürümeyi olumsuz etkileyecektir (ÇŞB, 2010).

Fermentasyon tankında, yoğun temas ve düşük ayrıştırma sağlayan, sürekli fakat yavaş karıştırma ya da önceden belirlenmiş zaman aralıklarında karıştırma teknikleriyle ideal karıştırma gerçekleştirilir (ÇŞB, 2010).

3.8.6. Reaktör sıcaklığı

Metan oluşturuucu bakteriler ideal sıcaklıklarda verimli olurlar. Sıcaklık değişimlerine karşı da çok hassastırlar. Aşırı düşük veya aşırı yüksek sıcaklıklarda aktif olmazlar (Öztürk, 2017).

Biyokimyasal çürüme esnasında reaktör sıcaklığı, aşağıdaki sınıflandırılmış sıcaklık aralıklarında olmalıdır (Öztürk, 2017).

Psikofilik sıcaklık aralığı 12-20°C

Mezofilik sıcaklık aralığı 20-40°C

Termofilik sıcaklık aralığı 40-65°C

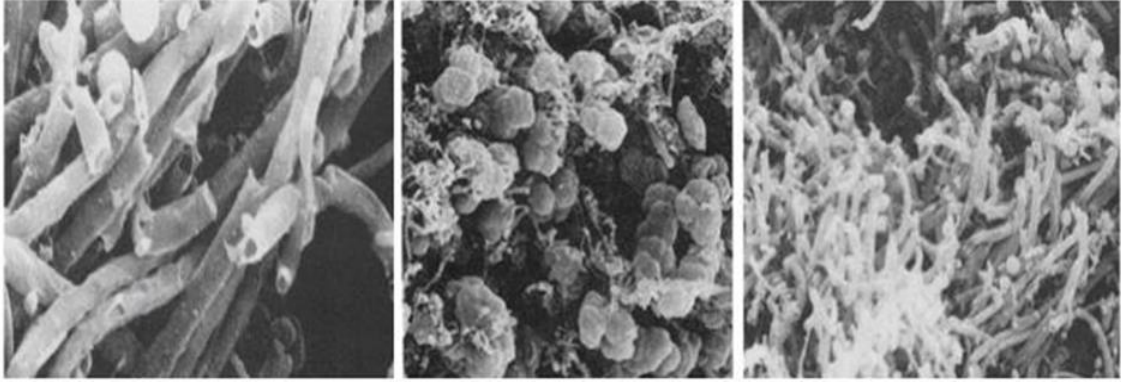
Sıcaklık artışı ile mikrobiyolojik bakteriler çoğalır, biyolojik çürüme ile birlikte metan oluşumu da hızlanır. Buna göre; Termofilik şartlar mezofilik şartlara göre iki kat hızlı metan oluşumu ve daha hızlı organik yükleme sağlarken daha az bekleme süresi gerektirir. Ancak termofilik şartların sağlanabilmesi için ilave ısı kaynağına ihtiyaç duyulur. Ayrıca yüksek sıcaklıkta çalışmanın serbest amonyak miktarının arttıracığı bilinmelidir. Çünkü bu durum fermentasyon sürecini olumsuz etkileyerek verimliliği düşürebilir (Öztürk, 2017).

Biyogaz üretiminden verim elde edilmesi 22°C'nin üzerinde başlar. Bu sıcaklığın altı düşük verim sağlayacağı için biyogaz tesisinin işletilmesi ekonomik olmayacaktır. Çevre sıcaklığının 10°C'nin altında olması ise gaz üretimini durduracaktır (Öztürk, 2017).

Reaktörlerin, çevresel sıcaklık değişimlerinden en az seviyede etkilenmesi ve sıcaklıkların daha kolay korunması için yalıtılması veya yeraltına yapılması çok yararlı olur (Öztürk, 2017).

3.8.7. pH değeri

Biyogaz üretiminin önemli etkilerinden biride pH değerleridir. Biyolojik çürümedeki bakteri gruplarının pH değerleri farklılık gösterir. Fermentasyon sürecindeki hidrolitik bakteriler için 5,2 ile 6,3 arasındaki pH değerleri uygundur. Asetik asit oluşumundaki asetogenik bakterileri ve metan oluşumundaki metanogenik bakteriler için 6,5 ile 8 arasındaki pH değerleri uygundur. Reaktör faaliyetini ortalama 7 pH değeri ile sürdürür. Reaktör sıcaklığı ve besleme değerlerinin değişmesi bu değer dalgalanmasına neden olur. Olumsuz etkilerin oluşumunu önlemek için pH değerinin sürekli ideal oranda olması sağlanmalıdır. Biyokimyasal çürüme sürecinde genel olarak asit üreten bakteriler metan üreten bakterilerden daha hızlı çoğalırlar. Bu durumda asit üretimi daha fazla olduğundan pH değeri düşer ve metan üreten bakterilerin aktiviteleri düşerek metan üretimi azalarak durur. Böyle bir durumda metan bakterilerinin oluşan fazla asidi tüketmeleri için reaktör beslemesine ara verilir ya da süreci dengelemek için alkali maddeler ilave edilir (Çelikkaya, 2016). Şekil 3.6. 'de farklı pH değerlerindeki metan bakterilerinin görünümü verilmiştir.



Şekil 3.6. Farklı pH Değerlerindeki Metan Bakterilerinin Görünümü (Yokuş, 2011)

3.8.8. Karbon/Azot (C/N) oranı

Tüm organik atıklar türleri bünyelerinde belli oranda karbon, azot ve oksijen barındırırlar. Mikrobiyolojik bakteriler enerjilerini organik maddelerdeki karbon ile karşılarlar. Bu bakteriler gelişim ve çoğalmalarını azot ile sağlarlar (Öztürk, 2017).

Yapılan çalışmalarda biyokimyasal çürüme sürecinde mikrobiyolojik bakterilerin karbonu, azottan 20-30 kat daha hızlı kullandıkları bildirilmiştir (Pramanik vd., 2018).

Biyogaz üretimi için reaktöre alınan organik atığın C/N oranı ideal değerlerde olmalıdır. C/N oranı 23/1 ile 10/1 değerleri arasında biyogaz üretimi verimli şekilde gerçekleşir (Çanka Kılıç, 2011). C/N oranı yüksek olduğunda protein oluşumu duracağı için mikrobiyolojik bakteriler beslenemedikleri için çoğalıp gelişemezler. C/N oranı az olduğunda ise reaktörde amonyum birikecek ve metan üretimi duracaktır (Dalkılıç, 2013).

Biyogaz üretimi için kullanılan hayvansal atıkların C/N oranı 15/1 ile 30/1 arasında olmakla birlikte genellikle taze hayvan atıkları bu oranı sağlar. Bu oran sağlandığı süreçte hayvansal atıkların ayrıca C/N oranlarını ayarlamaya ihtiyaç yoktur (Öztürk, 2017).

3.8.9. Toksik etki

Ağır metaller, deterjanlar ve mineral iyonlar reaktördeki mikrobiyolojik bakterilerin gelişmesini engelleyen bazı maddelerdir. Sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve sülfür gibi bazı mineral iyonları düşük miktarda bulunması bakterilerin gelişimini desteklerken yüksek miktarda bulunmaları toksik etkilere neden olur. Örnek ile açıklanırsa 50 ile 200 mg/l amonyum varlığı bakterilerin gelişmesini destekler, 1500 mg/l dan fazlası ise toksik etkiye neden olur. Aynı şekilde bakır, krom, kurşun, nikel, çinko gibi ağır metaller az miktardaki bakteri gelişimi için gereklidir. Fakat

yüksek miktarda bulunmaları toksit etkilere sebep olur. Sabun, organik çözücüler, antibiyotikler ve diğer deterjan türü maddeler metan üreten bakterilerin etkinliğini azaltırlar. Bu tür maddelerin reaktöre karışması önlenmelidir (Mahanta vd., 2005).

3.8.10. Reaktörde köpük oluşumu

Reaktörlerde köpük oluşumu meydana gelebilmektedir. Köpük oluşumunun birkaç sebebi vardır. Bunlar; aşırı biyogaz üretimi, ani organik yük artışları, HBS'nin kısılılığı, pH değerinin düşmesi gibi nedenlerdir. Köpük oluşumu HBS'nin uzatılması, sıcaklığın yükseltilmesi ve yağ asitleri giderimi ile azaltılabilir. Mekanik karıştırma ve su püskürme yöntemi ile de köpük tabakası tamamen dağıtılabilir (Şenol vd., 2017).

3.9. Biyogazın Saflaştırılması

Biyogaz üretildikten sonra direk kullanılması mümkün değildir. Bunun nedeni ise biyogazın bünyesinde yanma tepkimesine girmeyen H_2S , CO_2 , nem ve diğer yanma tepkimesine girmeyen gaz bileşenlerinin bulunmasıdır (Çağman, 1014). Biyogazın bünyesinde bulunan bu bileşenler, yanma kalitesini düşürmekle birlikte basınç altında depolanma güçlüğü, tesisat ve araçlarda korozyona sebebiyet vermekle birlikte ayrıca çevreye ve insana zarar verebilecek etkilere de neden olmaktadır İlkılıç, (Deviren, 2011).

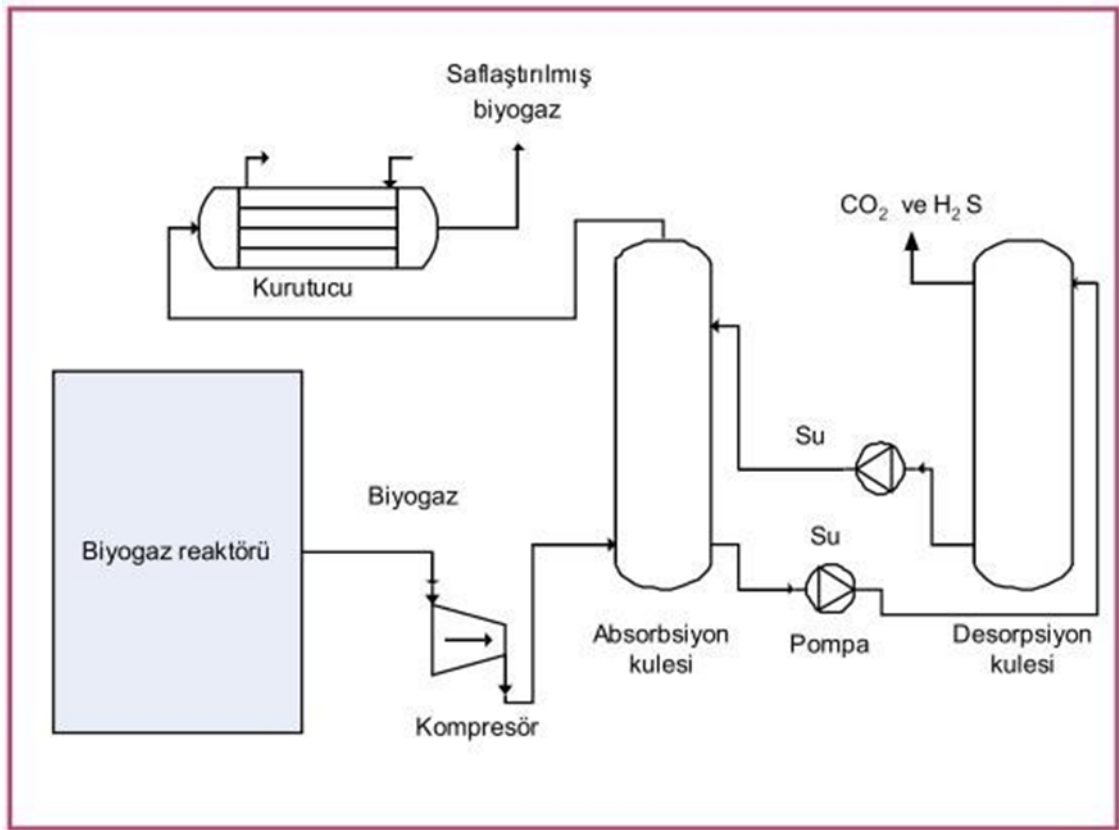
Biyogazın saflaştırılmasıyla, enerji değerinin yükseltilerek ekonomik veriminin artırılması sağlanır. Sistem ve tesislerdeki korozyon etkileri en aza indirilerek gaz içinde oluşabilecek buzlanmalar önlenir. Gaz kalitesinin yükselmesiyle içten yanmalı motorlarda, elektrik üretiminde ve ısı üretiminde kullanılır (Çağman, 1014).

3.9.1. Biyogazdaki CO_2 gazının ayrıştırılması

Biyogaz içeriğindeki CO_2 gazı miktarı, metan gazından sonraki en fazla miktara sahip bileşendir. Karbondioksit, biyogaz içerisinde bulunduğu sürece biyogazın enerji verimliliğini düşürecektir. Budan dolayı karbondioksite enerji seyreltici bileşende denilmektedir. Ayrıca CO_2 nem ile birlikte gaz borularında ve diğer sistemlerde korozyona sebebiyet vermektedir. Ayrıca kompresör ile sıkıştırılırken kuru buzlanmaya neden olur. Biyogazın enerji verimliliğini yükselterek taşıt yakıtı veya elektrik üretimi için kullanılabilmesi için karbondioksit miktarının belli bir oran altına düşürülmesi gerekiyor (Deviren, 2011).

Karbondioksitin ayrıştırılmasında birçok uygulama mevcuttur. Suda çözme, polietilen glikol ve membran ile ayrıştırma genel olarak uygulanan yöntemlerdir (Eyidoğan, 2018).

Karbondioksitin su ile ayrıştırılmasında; içi su dolu absorpsiyon tankının alt kısmından biyogaz yüksek basınç ile geçirilerek CO_2 ve H_2S 'ün su içinde çözünmesi sağlanır ve su ile birlikte tanktan dışarı çıkar. Metan ise suda çözünmediği için tankın üst kısmında birikir. Absorpsiyon tankının üst kısmında yeterli oranda metan birikince bir kurutucuya gönderilir ve içindeki nem alınır. Böylece biyogaz içindeki CO_2 ve H_2S su yöntemi ile ayrıştırılmış olur. Absorpsiyon tankından çıkan ve içeriğinde çözünmüş CO_2 ve H_2S olan su ise desorpsiyon tankından geçirilerek su içindeki CO_2 ve H_2S 'den ayrıştırılır ve su yeniden kullanıma hazır hale getirilir. Şekil 3.7'de biyogaz saflaştırma süreci şema ile açıklanmıştır (Eyidoğan, 2018).



Şekil 3.7. Biyogaz Saflaştırma Ünitesi Şeması (Eyidoğan, 2018)

Polietilen glikol ile ayrıştırma yöntemi de su gibi fiziksel bir sistemdir. Buradaki tek fark su yerine seleksol kullanılmasıdır. CO_2 ve H_2S suya oranla seleksol de daha iyi çözünür. Böylelikle biyogaz absorpsiyon tankına daha düşük bir basınçla gönderilir.

Seleksol de su gibi desorpsiyon tankında CO₂ ve H₂S'den ayrılarak tekrar kullanılabilir. Görsel 3.6' de polietilen glikol ile ayrıştırma sistemi görülmektedir (Eyidoğan, 2018).



Görsel 3.6. Polietilen Glikol İle Ayrıştırma Sistemi (Eyidoğan, 2018)

Membran yöntemi ile ayrıştırmada ise metan, CO₂ ve H₂S molekül büyüklüklerinin farklı oluşundan yararlanılarak sağlanır. Membranın bir tarafına biyogaz basınçlı bir şekilde gönderilince molekül yapısı daha küçük olan CO₂ ve H₂S membrandan geçer ve metan ise geçemeyerek diğer tarafta kalır. Böylelikle biyogaz CO₂ ve H₂S'den ayrıştırılmış olur (Eyidoğan, 2018).

3.9.2. Biyogazdaki H₂S gazının ayrıştırılması

Biyogazın bünyesindeki hidrojen sülfür, çevre ve başta insanlar olmak üzere tüm canlı hayata ve doğaya zarar vermektedir. Biyogaz yakılarak kullanıldığında bünyesinde barındırdığı hidrojen sülfür yanarken sülfür dioksiti (SO₂) oluşturur. Sülfür dioksit ise

atmosferde su ile birleşince asit yağmurlarına neden olarak toprak, akarsu, bitki örtüsü ve diğer yapılara zarar verir korozyon etkisi ile yapıların aşınıp tahrip olmasına sebep olur. Hidrojen sülfürün kötü kokulu olması ile birlikte oldukça zararlı bir gazdır. Teneffüs edilmesi solunum, baygınlık, felç ve hatta ölüme sebep olacak kadar kötü sonuçlara neden olur. Bu yüzden biyogaz hidrojen sülfürden ayrıştırıldıktan sonra kullanılmadır (Çağman, 1014). Ayrıştırma yöntemleri ise karbondioksit ile birlikte aynı şekildedir.

3.9.3. Biyogazdaki nemin giderilmesi

Biyokimyasal çürüme işlemi sırasında biyogaz içeriğinde nem yoğunlaşır. Üretilen biyogaz nem ile birlikte depolanır. Biyogaz içeriğindeki nem miktarı sıcaklık ve basınca göre değişiklik gösterir. Üretilen biyogazda genellikle 430 C’de %10 hacim, 320 C’de %5 hacim ve 4,50 C’de ise %1 hacim nem bulunur. Biyogazdan giderilmeyen nem karbondioksit ve hidrojen sülfür ile birleşerek korozyon etkisi oluşturur ve sisteme zarar verir. Ayrıca nemin sıcaklık ve basınç ile değişen hacmine bağlı olarak borularda ve sistemde tıkanmalara neden olabilir (Mamun ve Torii, 2017).

Biyogazda ki nem, pasif soğutma, soğutma ve basınçlandırma, emilim metotları ile giderilebilir.

Pasif soğutma; biyogaz boru hattı kısa süreliğine yer altında çalıştırılarak soğutma sağlanır. Böylelikle nem yoğunlaşarak biyogazdan ayrılır. Ayrışan su kanalizasyona ya da geri dönüşüme gider (The Eco Ambassador, 2020).

Soğutma ve basınçlandırmada; ısı eşanjörleri ile biyogaz soğutulur ve nem yoğunlaşır. Basınç artırılarak biyogazın daha fazla kuruması sağlanabilir (The Eco Ambassador, 2020).

Emilim ise; glikol, higroskopik tuzlar, silika jel ve alüminyum oksit gibi kimyasalların içerisinden biyogaz geçirilerek nem emdirilebilir. Kimyasallar neme doyunca değiştirilir ya da yüksek sıcaklık ve basınç ile kurutulup tekrar (The Eco Ambassador, 2020).

3.10. Biyogaz Miktarının Hesaplanması

Hayvansal atıkların biyokimyasal çürümesinden elde edilebilecek biyogaz miktarı, hayvansal atık türüne ve miktarına göre değişiklik göstermektedir. Hayvansal atık türüne ve miktarına göre biyogaz hesabında genellikle iki tür tablo verileri kullanılır. Bunlardan ilki büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı gibi daha genel hayvan türlerinin belirlendiği tablo

verileri kullanılarak hesaplamanın yapılmasıdır. İkincisi ise; yerli inek, et ineği, süt ineği, buzağı, koyun, keçi, tavuk, kaz ve hindi gibi her bir hayvan türünün hesaplama verileri kullanılarak yapılan daha detaylı hesaplama yöntemidir.

Hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarı hesabında, mevcut hayvan varlığının potansiyel atık miktarı dikkate alınmaz. Hayvansal atıkların toplanabilme imkanları hayvan yetiştirme usullerine ve iklim şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Büyük hayvan çiftliklerinde hayvan sayılarının çok yüksek olması sebebiyle besicilik tamamen çiftlik içerisinde yapılmaktadır. Kırsal kesimlerde ise küçük çiftlik sahipleri sahip oldukları hayvanları yayla ve mera gibi kırsal alanlarda otlatabilmektedir. Kırsalda otlatılmaya çıkarılan hayvanların gübreleri maalesef toplanamamaktadır ve gübre arazide kalmaktadır. Bununla birlikte yılın her ayı hayvan otlamaya müsait olmadığı için hayvanların ne kadar kapalı alanlarda beslendikleri önemli bir faktördür. Zira elde edilebilecek hayvansal atıklar hayvanların sürekli kaldıkları çiftliklerde ve kapalı alanlarda birikmektedir. Bundan dolayı potansiyel hayvansal atık miktarının sadece toplanabilme oranı dikkate alınarak elde edilebilecek hayvansal atık miktarı ile hesaplama yapılır (Ekinci vd., 2010).

Biyogaz miktarı; yaş gübre üretim miktarı, toplanabilir gübre oranı, gübredeki katı madde oranı, katı madde miktarı içerisindeki uçucu katı madde oranı ve uçucu katı madde içerisindeki gaz üretim miktar verileri kullanılarak hesaplanır.

Tablo 3.5’de hayvan türlerine göre elde edilebilecek gübre atıklarından, potansiyel biyogaz miktarının hesaplanmasında kabul edilen değerler gösterilmektedir.

Tablo 3.5. *Biyogaz Miktarının Hesaplanabilmesinde Kabul Edilen Değerler (Yağlı ve Koç, 2019)*

Hayvan Türü	Hayvan Başına Ortalama Günlük Gübre Üretimi (MYG)	Toplanabilir Faydalı Gübre Oranı (T)	Yaş Gübredeki Katı Madde Oranı (KM)	Katı Maddede İçerisindeki Uçucu Katı Madde Oranı (UKM)	Metan Üretimi (MO)
	kg/gün-hayvan	%	%	%	m ³ CH ₄ /kg-UKM
Kültür ve Melez Süt Sığırdı (Yetişkin)	43,00	100	17,27	83,36	0,18
Kültür ve Melez Et Sığırdı (Yetişkin)	29,00	100	12,41	84,65	0,33
Yerli Sığırdı	29,00	50	17,27	83,36	0,33
Buzağı (Genç yavru)	2,48	100	3,71	44,23	0,33
Koyun	2,40	13	23,00	83,63	0,30
Keçi	2,05	13	23,17	73,06	0,30
At, Katır, Eşek	20,40	29	19,61	66,67	0,30
Et Tavuğı	0,19	66	20,00	77,278	0,35
Yumurta Tavuğı	0,13	99	18,75	75,00	0,35
Hindi	0,38	68	19,36	75,83	0,35
Ördek ve Kaz	0,33	68	17,27	61,28	0,35

Üretilebilecek potansiyel biyogaz miktarı ve eşdeğer enerji karşılıkları aşağıdaki denklemler ile hesaplanabilir (Yağlı ve Koç, 2019).

Hayvanlardan elde edilebilecek potansiyel yaş gübre toplamını hesaplamak için;

$$M_{YYM} = M_{YG} * S * 365 \quad (3.1)$$

Denklemden; M_{YYM} hayvanların yılda üretebileceği gübre miktarının toplamını (kg/yıl), M_{YG} bir hayvanın günde üretebileceği gübre miktarı (kg/gün) ve S hayvan sayısını ifade etmektedir.

Yılda toplanabilir faydalı yaş gübre toplamını hesaplamak için;

$$M_{YFYG} = M_{YYM} * T \quad (3.2)$$

M_{YFYG} yıllık toplanabilir faydalı yaş gübre toplam miktarını (kg/yıl), T ise toplanabilir gübre miktar oranını (%) ifade etmektedir.

Toplanabilir faydalı yaş gübre miktarındaki katı madde miktarını hesaplamak için;

$$M_{KM} = M_{YFYG} * KM \quad (3.3)$$

M_{KM} hayvanlardan elde edilen toplam faydalı yaş gübre miktarı içerisindeki katı madde miktar toplamını (kg/yıl), KM ise yaş gübre içerisindeki katı madde miktar oranını (%) ifade eder.

Katı madde miktarındaki uçucu katı madde miktarını hesaplama için;

$$M_{UKM} = M_{KM} * UKM \quad (3.4)$$

M_{UKM} hayvanlardan elde edilen faydalı gübre miktarı içerisindeki toplam uçucu katı madde miktarını (kg/yıl), UKM ise gübredeki katı madde içerisindeki uçucu katı madde miktar oranını (%) ifade etmektedir.

Toplanabilir faydalı gübreden elde edilebilecek yıllık metan miktarını hesaplamak için;

$$M_{METAN} = M_{UKM} * MO \quad (3.5)$$

M_{METAN} toplanabilir faydalı gübreden elde edilebilecek yıllık toplam metan miktarını ($m^3 CH_4/yıl$), MO ise 1 kg uçucu katı maddeden elde edilebilecek metan miktarını ifade etmektedir. Burada uçucu katı madde miktarının tamamının metan gazına dönüştüğü varsayılmıştır.

Üretilen biyogaz miktarının %60 içeriği metan olması durumunda enerji değeri 22,7 M/Nm³'tür. Saf metan gazının enerji değeri ise 36 M/Nm³'tür. Bu değerler ile birlikte elde edilen biyogaz miktarının enerji miktar karşılığı hesaplanabilir.

Üretilen metan gazının enerji miktarını hesaplamak için;

$$Q = M_{METAN} * H_{METAN} \quad (3.6)$$

Q yılda eldede edilebilecek metan gazının enerji karşılığını (MJ/yıl), H_{METAN} ise metanın ısı değeri ve 36 MJ/m³ olarak alınmıştır.

Üretilen metan gazının kojenerasyon sistemlerinde kullanılarak üretilen elektrik miktarının hesaplanması için;

$$E = M_{METAN} * \eta_e * W \quad (3.7)$$

Denklemden; E kojenerasyon sisteminin ürettiği yıllık elektrik miktarını (MWh/yıl), η_e kojenerasyon sisteminin elektriksel verimini (%35 alınmıştır) göstermektedir. W ise metan gazının kWh cinsinde enerji karşılığı olup 10 kWh/m³ olarak alınmıştır.

4. HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİ

Hibrit enerji sistemi, iki veya daha çok enerji sisteminin elektrik enerjisi üretmek için birlikte işletildiği enerji sistemleri olarak tanımlanır. Literatürde hibrit kelimesi melez anlamını ifade etmektedir. Hibrit enerji sistemlerinde, uzak ya da yakın bir tesisin, kırsal evin, çiftliğin, konutun ve hatta yerleşim bölgesinin elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması için güneş paneli, rüzgâr türbini, hidroelektrik, biyokütle, jeotermal, termik santral ve jeneratör gibi elektrik enerjisi üretim sistemlerinin birkaçı ile birlikte ihtiyaç durumunda enerji depolama elemanları bir araya getirilir. Hibrit enerji sistemleri kurulum ve kullanım amaçlarına göre şehir şebekesinden bağımsız olacağı gibi şehir şebekesine bağımlıda olabilir (Özcan, 2009).

Hibrit enerji sistemlerinin kullanımı genellikle iki temel amaca dayanmaktadır. İlki, enerji üretimi kesikli olan yenilenebilir enerji kaynağının üretim yapmadığı zamanlarda alternatif bir yenilenebilir ya da geleneksel enerji üretim kaynağının devreye alınması ile enerji üretiminin devamlılığını sağlamaktır. İkincisi, geleneksel bir enerji kaynağı ile üretilen elektrik enerjisinin birim maliyetini düşürmek amacı ile yenilenebilir enerji kaynağının enerji üretim sistemine dahil edilmesidir. Bu sistemde yenilenebilir enerji kaynağı ile üretilen enerji ihtiyaç fazlası üretildiği zamanlarda şehir şebekesine satılır, yetersiz olduğu zamanlarda enerji eksikliği şehir şebekesinden alınır. Faturalandırma gününde alınan enerji ile satılan enerji miktarı mahsuplaşır (Özcan, 2009).

Hibrit enerji sisteminin kurulması planlanan bölgede, planlanan yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut potansiyelleri ve bölgenin ihtiyaç duyduğu minimum elektrik enerjisi miktarı en iyi şekilde araştırılıp hesaplanmalıdır (Özcan, 2009).

4.1. Dünyada Hibrit Enerji Sistemleri

Dünyada çeşitli ülkelerde birçok hibrit enerji santralleri kurulmaya başlanmıştır. Bunlar, rüzgâr ile güneş panellerinin, hidroelektrik enerjinin üretildiği barajlara güneş panellerinin de kurulmasıyla hidroelektrik ve güneş panellerinin, açık deniz üzerinde deniz yüzeyini değerlendirmek için rüzgâr ve güneş panellerinin birlikte işletilmesiyle enerji üretilen hibrit enerji santral örnekleri vardır.

4.1.1. Adani Green Energy (Rüzgâr-Güneş hibrit enerji)

Adani Green Energy tarafında Hindistan'da kurulan hibrit enerji santrali 700 MW ve rüzgâr-güneş hibrit enerji türünde dünyanın en büyük santralidir (Shetty, 2023).

Tesiste, güneş enerjisinden maksimum enerji üretmek için çift yüzölü fotovoltaiik modüller ve yatay tek eksenli izleyiciler gibi gelişmiş yenilenebilir teknolojiler kullanılmıştır. Tesis, Hindistan'daki sıradan yenilenebilir projelerden daha yüksek olan en az yüzde 50'lik kullanım kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır (Shetty, 2023). Görsel 4.1'de rüzgâr ve güneş enerjisi görseli paylaşılmıştır.



Görsel 4.1. *Adani Green Energy rüzgar ve güneş enerjisi tesis görseli (<http-10>)*

4.1.2. Kela güneş enerji santrali (Hidroelektrik-güneş hibrit enerji)

Çin'in güneybatısındaki Sichuan Eyaletinde, Yalong Nehri üzerinde kurulu olan Lianghekou hidroelektrik santralının yakınında kurulacak olan Kela güneş enerji santrali 4.600 metreye kadar yükseklikteki dağlara 1 milyon kW kapasiteli olarak kurulacaktır. 2023 yılında tamamlandığında yılda 1.735 saat enerji üretecek santralin yıllık ortalama 2 milyar kW güç kapasitesinde olması planlanmaktadır (Wei, 2022).

Kela Güneş Enerji santralının, 600.000 ton kömürün yakılması ile salınacak karbondioksit eşdeğeri olan 1,6 milyon tondan fazla karbondioksitin salınımını önleyecektir (Wei, 2022). Görsel 4.1'de Çin'in güneybatısındaki Sichuan Eyaleti, Garze

Tibet Özerk İli'ndeki Yalong Nehri üzerindeki Lianghekou Hidroelektrik santralinden bir görsel paylaşılmıştır.



Görsel 4.2. *Lianghekou Hidroelektrik santralinden bir görsel (Wei, 2022)*

Kela Güneş Santrali en verimli enerji üretimini sonbahar ve ilk bahar mevsimlerinde gerçekleştirir. Buna karşın Yalong Nehrinin su akışı kışın önemli ölçüde zorlandığı için üzerinde kurulu olan Lianghekou Hidroelektrik santrali en fazla gücü yazın üretir. İki santralin yıl boyunca ürettikleri güç belirgin şekilde değiştiği için Kela Güneş Santrali, hidroelektrik santrali için tamamlayıcı bir güç kaynağı olacaktır (Wei, 2022).

4.1.3 State Power Investment Corporation (Açık deniz rüzgâr-güneş hibrit enerji)

Çin devletinin bir kamu kurumu olan State Power Investment Corporation (SPIC), açık deniz rüzgâr türbini ile güneş enerji sisteminin birlikte çalıştığı dünyanın ilk açık deniz hibrit enerji sistemini kurdu (Baycan, 2022). Görsel 4.3'de SPIC'e ait açık deniz üzeri rüzgâr-güneş enerjisi tesisinden bir görsel paylaşılmıştır.



Görsel 4.3. SPIC'e ait açık deniz üzeri rüzgar-güneş enerjisi tesisinden bir görsel (Baycan, 2022)

Dünyanın en büyük fotovoltaik enerji üreticisi konumunda olan SPIC kuruluşunun ilk açık deniz hibrit enerji prototipi, Çin'in doğusundaki Haiyang sahilinde kurulmuş (Baycan, 2022).

İki yüzer fotovoltaik enerji sistemi toplamda 0,5 MW enerji üretiyor ve ürettikleri enerjiyi denizaltı kablosu ile rüzgâr türbinin şebekesine aktarıyor (Baycan, 2022).

Prototip projenin başarılı olması durumunda 2023 yılında 20 MW'lık açık deniz yüzer rüzgâr-güneş hibrit enerji santralinin kurulması planlanıyor (Baycan, 2022).

Rüzgâr-güneş hibrit enerji sisteminin enerji üretimindeki avantajı, güneşin tepede olduğu zamanlarda fotovoltaik panellerin yüksek miktarda enerji üretmesi, açık denizdeki rüzgâr türbinlerinin ise genelde öğleden sonra ve akşam saatlerinde yüksek miktarda enerji üretmesi ile güç dalgalanmalarını azaltarak birbirlerine yardımcı olmasıdır (Baycan, 2022).

4.2. Türkiye'de Hibrit Enerji Sistemleri

Türkiye'de yenilenebilir enerji santralleri her geçen gün gelişmektedir. Bununla birlikte mevcut yenilenebilir enerji santralleri başka bir yenilenebilir enerji kaynakları ile desteklenmeye başlanmıştır.

4.2.1. Aşağı Kaleköy Hibrit Enerji Santrali (Hidroelektrik-güneş hibrit enerji)

Bingöl’ün Genç ilçesinden geçen Murat nehri üzerine kurulan Aşağı Kaleköy Barajı ve Hidroelektrik Santral çevresine güneş enerji santrali eklenerek dünyanın ikinci büyük, Avrupa’nın en büyük ve Türkiye’nin ise ilk hibrit enerji santrali işletmeye alınmıştır (http-11).

Barajın yanında tarım faaliyetlerinin yapılamadığı verimsiz 1 milyon metrekarelik arazi üzerine ve 200 bin fotovoltaiik panel ile kullanılan güneş enerji santrali Hidroelektrik santral ile birlikte elektrik enerjisi üretecektir. Üretilecek enerji 580 MW gücünde olup 450 bin hanenin elektrik ihtiyacını karşılayacaktır (http-11). Görsel 4.4’de Aşağı Kaleköy Hibrit Enerji Santralinden bir görsel paylaşılmıştır



Görsel 4.4. Aşağı Kaleköy Hibrit Enerji Santralinden bir görsel (http-11)

Cengiz Enerji tarafından işletilen hidroelektrik-güneş enerjili santrale, rüzgâr enerji santrali de kurularak dünyanın üç kaynaklı ilk hibrit enerji santrali olması planlanmaktadır (Enerji günlüğü, 2021a).

4.2.2. Alaşehir Jeotermal Hibrit Enerji Santrali (Jeotermal-güneş hibrit enerji)

Manisa’nın Alaşehir ilçesinde kurulu olan Alaşehir Jeotermal Enerji Santrali’ne, güneş enerji santrali ekleyecek olan Zorlu Enerji, yenilenebilir enerji kaynaklarını daha verimli bir şekilde kullanmak istemektedir (http-12).

6,2 hektar alana 115 Wp gücünde 31200 adet thin (ince) film güneş paneli ile kurulan güneş enerji santrali Jeotermal enerji santraline yardımcı kaynak olarak enerji üretmektedir. 45 MWe gücündeki jeotermal santrali ile birlikte güneş santralinin devreye alınmasıyla yılda yaklaşık olarak 6 milyon kWh enerji üretimi sağlanacaktır (http-12).

Hibrit enerji santrali ile üretilecek elektrik enerji 17.000 konutun elektrik ihtiyacını karşıladığı gibi 3.600 ton karbondioksit salınımının önüne geçecektir (http-12). Görsel 4.5’de Alaşehir Jeotermal Enerji Santralinden bir görsel paylaşılmıştır.



Görsel 4.5. Alaşehir Jeotermal Enerji Santralinden bir görsel (http-12)

4.2.3. Murat Hidroelektrik Hibrit Enerji Santrali (Hidroelektrik-güneş hibrit enerji)

Adıyaman Göksu Çayı üzerinde kurulu olan Murat Hidroelektrik Santraline, güneş enerji santrali kurularak hibrit enerji santrali oluşturulması planlanmaktadır (Enerji günlüğü, 2021b).

Murat Hidroelektrik Santraline yardımcı kaynak olacak güneş enerji santrali 29.932 adet monokristal güneş paneli ile yılda 9.990 kWe elektrik enerjisi üretecektir. Güneş santralinin ürettiği elektrik enerjisi Murat I ve II Hidroelektrik santrallerinin mevcut hatlarına iletilecektir (Enerji günlüğü, 2021b).

5. SARICAKAYA İLÇESİNİN HİBRİT ENERJİ POTANSİYELİ

5.1. Sarıcakaya İlçesinin Tarihi

Sarıcakaya, tarihte birçok uygarlığa ev sahipliği yaptığı arkeolojik çalışmalarda görülse de yerleşik hayata ne zaman geçtiği hakkında kesin bir bilgi yoktur. M.Ö:676 yılından günümüze kadar Lidya, Pers, Helenler, Galetler, Romalılar, kısa süreliğine Araplar ve son olarak da Türklerin yerleşim alanı olan Eskişehir bölgesinde bu medeniyetlere ait izler arkeolojik çalışmalarda görülmüştür (Sarıcakaya Kaymakamlığı, 2022).

Arapların kısa süreli yerleşimine son veren Bizanslılar daha sonra Türk akınlarna uğramaya başlamış ve 1176 yılında yapılan Miryokefalon Savaşından sonra yapılan antlaşma ile Eskişehir Bizanslılar tarafından boşaltılmış ve 1196 yılında Türkler bölgeye tamamen hâkim olmuştur (Sarıcakaya Kaymakamlığı, 2022). Görsel 5.1’de Sarıcakaya ilçesinin günümüzden bir görseli gösterilmektedir.



Görsel 5.1. Sarıcakaya ilçesinin bir görüntüsü ([http-13](http://13))

5.2. Sarıcakaya İlçesinin Coğrafya ve İklimi

Eskişehir ilinin kuzeyinde yer alan Sarıcakaya yaklaşık 375 km² alanı ile Eskişehir’in 8. büyük ilçesi konumundadır (Bebka, 2012).

Sündiken Dağları ile Bolu Dağları arasında olan ilçenin rakımı bazı yerlerde 50 metreye kadar düşmektedir. Mikro klima iklim özelliğine sahip ilçenin doğal bitki örtüsünü; nemli ve kuru ormanlar, sürekli yeşil görünen ağaççık-çalılar ve bu maki özelliğe benzer çalılıklardan oluşur (Bebka, 2012).

Akdeniz Bölgesi ve Marmara Bölgesi iklim karışımı özelliği taşıyan ilçe Akdeniz bölgesi kadar olmasada yazları sıcak ve kurak, ilk bahar, son bahar ve kış ayları da ılık ve yağışlı hava hakimdir. Bu kendine has iklim özelliği, ilçenin bitki örtüsü ve ürün çeşitliliğine de yansımıştır (Bebka, 2012). Şekil 5.1’de Sarıcakaya ilçesinin işaretlendiği Eskişehir il haritası gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Sarıcakaya ilçesinin haritası

5.3. Sarıcakaya İlçesinde Tarım ve Hayvancılık

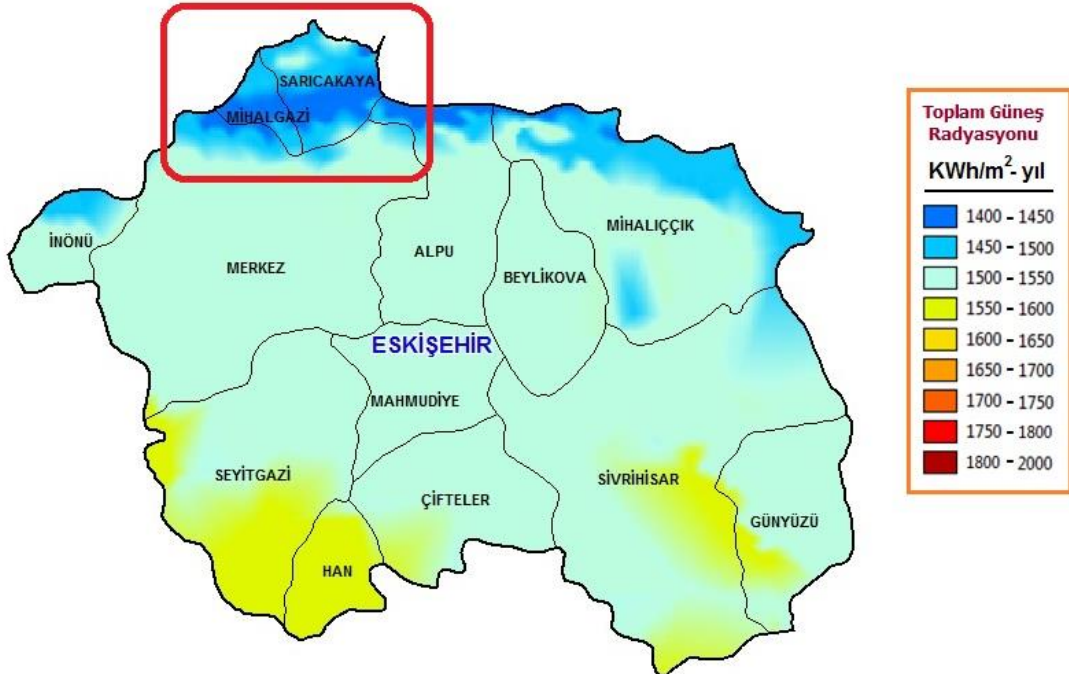
Akdeniz iklimini andıran mikro klima iklim özelliği taşıyan Sarıcakaya geçimini tarımdan sağlayan şirin bir ilçemizdir. Yöre halkı ekonomik kazancını sebze ve meyve üretiminden sağlamaktadır. Etrafı dağlarla çevrili ilçenin deniz seviyesine yakın rakımı ve mikro klima iklim özelliğinden dolayı sıcak iklim, kar ve don olaylarının çok nadir olması sebze ve meyve üretimi yağın, çeşitli ve yılda 3-4 kez ürün vermesini sağlar. Seracılığında çok yaygın olmasıyla üretilen sebze-meyve üretimi İstanbul ve Ankara'nın ihtiyacının büyük kısmını karşılamaktadır. Marul, roka, maydanoz, dereotu, soğan,

ıspanak, salatalık ve domates gibi her türlü sebze yetiştirilmektedir. Özellikle domatesi çevrede meşhur olup “Sakarya Domatesi” olarak anılmaktadır (Sarıcakaya Kaymakamlığı, 2022). Meyve türlerinde ise nar, çilek, kavun, kayısı, incir ve antepfıstığı üretimi yaygındır. Ayrıca bazı köylerinde halen ipek böceği üretimi de yapılmaktadır (Bebka, 2012).

Meraların ve çayırın azalması, yemlik bitkiler için toprak ayrılmaması gibi sebeplerden hayvancılık maalesef ilçede gelişmemiştir (Bebka, 2012). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2021 yılı verilerine göre ilçede buzağı dahil 2.555 büyük baş, 11.182 küçük baş ve 79.049 adet kanatlı hayvan mevcudu vardır (TÜİK, 2022).

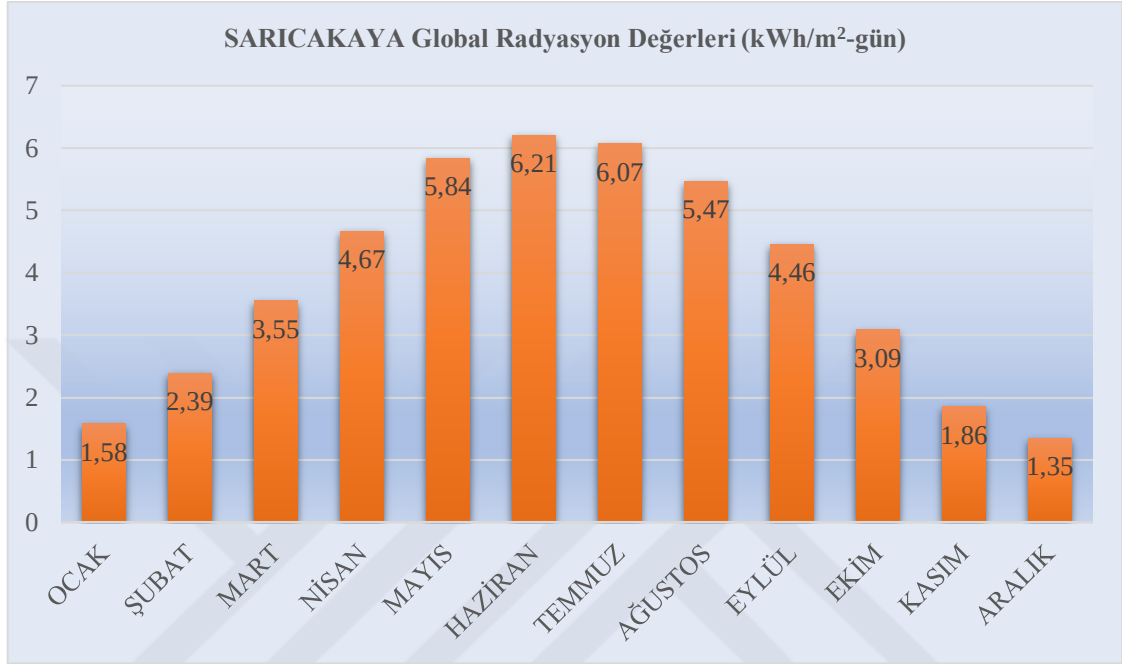
5.4. Sarıcakaya İlçesinin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verileri incelendiğinde Sarıcakaya ilçesinin güneş radyasyon değeri yıllık yaklaşık 1420 kWh/m²'dir. Şekil 5.2'de Eskişehir ilinin güneş potansiyeli haritası gösterilmektedir. Haritada Sarıcakaya'nın güneş potansiyeli işaretlenmiştir.



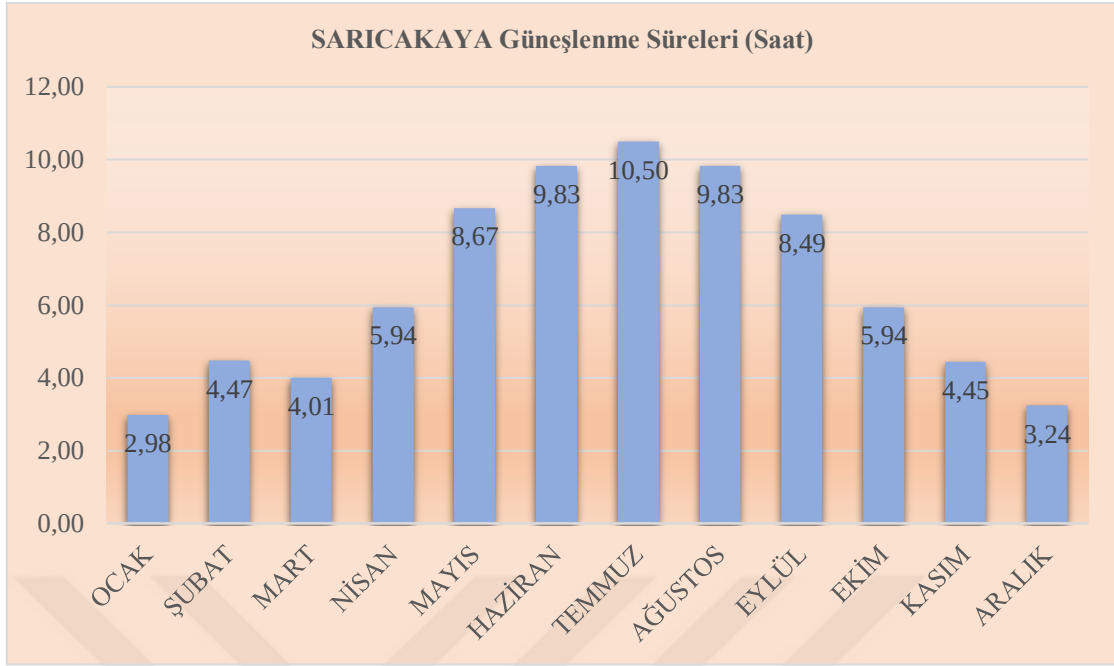
Şekil 5.2. Eskişehir güneş potansiyeli haritası (GEPA, 2022)

Sarıcakaya'nın güneş radyasyon değerleri Haziran, Temmuz aylarında en yüksek değerde iken Kasım, Aralık ve Ocak aylarında en düşük değerlerdedir. Şekil 5.3'de Sarıcakaya aylık güneş radyasyon değerleri gösterilmiştir.



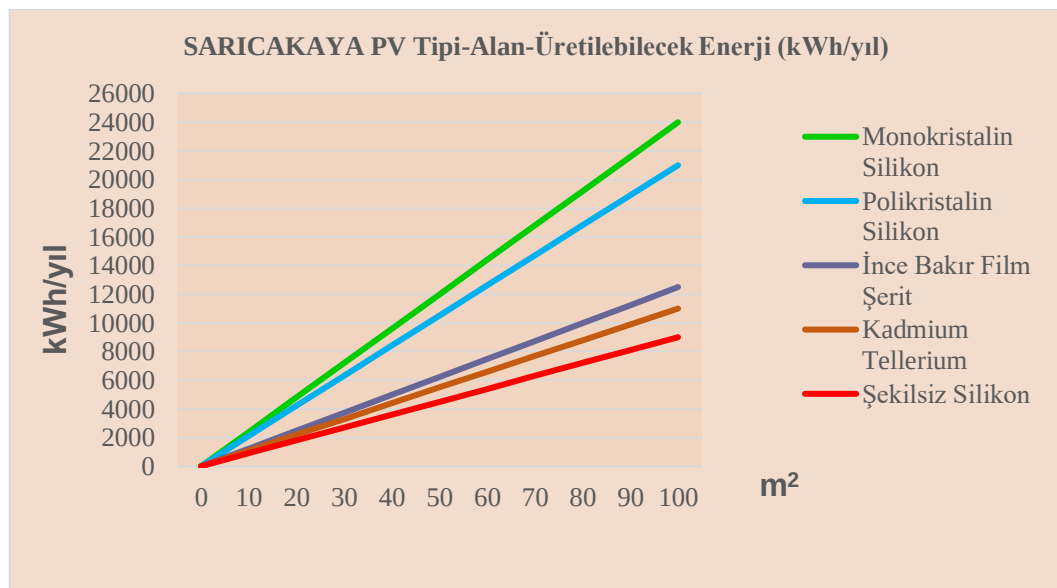
Şekil 5.3. Sarıcakaya aylık güneş radyasyon değerleri (GEPA, 2022)

Sarıcakaya ilçesinin günlük en uzun güneşlenme süresi 10,5 saat ile Temmuz ayı iken günlük en az güneşlenme süresi yaklaşık 3 saat ile Ocak ayında gerçekleşmektedir. Yıllık güneşlenme günlük ortalama süresi ise yaklaşık 6,5 saattir. Şekil 5.4'de Sarıcakaya'nın aylık güneşlenme süreleri gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Sarıcakaya güneşlenme süreleri (GEPA, 2022)

Sarıcakaya ilçesinde monokristalin silikon tipi fotovoltaik pil türü ile 100 m² alanda yılda yaklaşık 24000 kWh/yıl ile en verimli elektrik üretimi yapılabilir iken şekilsiz silikon tipi fotovoltaik pil ile 100 m² alanda yaklaşık 9000 kWh/yıl elektrik üretimi yapılabilir. Şekil 5.5’de Sarıcakaya fotovoltaik pil tipine göre üretilebilecek enerji miktarları gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Sarıcakaya fotovoltaik pil türü ile üretilebilecek enerji miktarı (GEPA, 2022)

Osmangazi Elektrik Dağıtım AŞ'den alınan bilgiye göre Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılı toplam elektrik tüketimi yaklaşık 8.500.000 kWh/yıl'dır. Buna göre günlük ortalama elektrik ihtiyacı 23.288 kWh'dir.

Güneş enerji sisteminde üretilen enerji miktarı, panel açısı, tozlanma, sıcaklık gibi faktörlerden etkilenir. Sistemdeki invertör, kablolama gibi diğer ekipmanlarda da verim kaybı oluşmaktadır (Doğan, 2019).

Güneş enerjisi sisteminde depolama sistemi kullanılmayacağını düşünersek ve fotovoltaik pil verimini yüzde 80, invertör verimini de yüzde 90 olarak alırsak denklem 2.1'den akü verimi hariç;

$$\eta_{sis} = \eta_{pv} * \eta_{inv} = 0,80 * 0,90 = 0,72 \text{ yani sistem verimini \%72 olarak buluruz.}$$

Üretilmesi gereken enerjiyi denklem 2.2'den;

$$\dot{U}GE = YE / \eta_{sis} = 23.288 / 0,72 = 32.345 \text{ kWh olarak bulunur.}$$

Güneş enerjisi sistemi Sarıcakaya ilçesinin günlük elektrik enerjisini karşılayabilmesi için 32.345 kWh/gün elektrik enerjisi üretebilecek kapasitede olmalıdır. Güneş enerjisi paneli piyasasından temin edilebilecek 385 Wp gücünde panellerin kullanılacağını varsayar ve en az güneşlenme süresini dikkate alırsak ihtiyaç duyulan panel sayısını denklem 2.3'den;

$$PS = \frac{\dot{U}GE}{\text{Bir Güneş Panelinin Gücü} * \text{Güneşlenme Süresi}}$$
$$PS = \frac{32.345 \text{ kWh/gün}}{385 \text{ Wp} * 2,98 \text{ saat}} = 28.199,65$$

Yılın en az güneşlenme günlerinde ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin üretilebilmesi için 28.200 adet güneş paneline ihtiyaç vardır.

Piyasada kullanılan 385 Wp gücündeki monokristal panellerin ortalama ölçüsü yaklaşık 1000 mm * 2000 mm'dir. Denklemde hesaplama yapılırken bu ölçüler metreye çevrilmiştir. Panel kurulumu için ihtiyaç duyulan alan denklem 2.5'den;

$$A = PS * P_{en} * P_{boy} = 28.200 * 1 * 2 = 56.400 \text{ m}^2$$

Sarıcakaya ilçesinde 28.200 adet 385 Wp gücündeki monokristal güneş panelini kurması için 56,4 dönüm yaklaşık 57 dönüm araziye ihtiyacı vardır. Ancak arazinin eğimi, konumu, gölgelenme mesafesi, diğer ekipmanlar ve çalışma alanı gibi duyulan arazi ihtiyacından dolayı daha fazla alana ihtiyaç vardır. 1 MW enerji üretimi için panel

teknolojisi ve kurulum tasarımına göre 13 ile 25 dönüm araziye gerek duyulduğuna göre en az 312 dönüm, en fazla 600 dönüm, ortalama olarak ise 456 dönüm araziye ihtiyaç vardır.

Orta Sakarya Vadisinde bulunan Sarıcakaya ilçesi mikroklima özelliği ile örtülü tarımın yaygın ve her geçen gün gelişmektedir. Örtülü tarımın yapıldığı sera yapıları gölgelenmenin az oluşu ve güneş ışınlarını direk alışından dolayı güneş enerji sistemi bakımından uygun alanlardır. TÜİK 2021 yılı verilerine göre Sarıcakaya ilçesinin örtülü tarım alanı 1912 da (dönüm)'dür. Sahip olduğu bu örtülü tarım arazisi ile ihtiyaç duyulan güneş enerjisi alanın en az 3 katına sahip olmaktadır.

Sarıcakaya ilçesinin yılın en az güneşlenme saatine göre hesaplanan güneş enerjisi sisteminin yıllık ortalama ve yılın en fazla güneşlenme sürelerine göre üretebileceği potansiyel enerji miktarı hesaplanmış ve Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Kurulan fotovoltaik panel sisteminin yıllık en az, ortalama ve en fazla günlük enerji üretim değerleri

385 Wp gücünde 28.200 adet güneş paneli	Yılın en az güneşlenme süresi (2,98 saat) MW/gün	Yıllık ortalama güneşlenme süresi (6,5 saat) MW/gün	Yılın en fazla güneşlenme süresi (10,50 saat) MW/gün
Üretilen enerji	32,3	70,5	114
Kullanılabilir enerji (%72 verim ile)	23,3	50,1	82

Sarıcakaya ilçesinin yılın en az güneşlenme saatinde ihtiyacı olan elektrik enerjisini üretebilmesi için kurulması gereken fotovoltaik sistem yılın uzayan günlerinde daha fazla enerji üretebilecektir. İlçenin yıllık güneşlenme süresi yaklaşık 2.386 saattir. 385 Wp gücündeki 28.200 fotovoltaik panel ile yıllık güneşlenme süresine göre üretebilecek elektrik enerji potansiyeli yaklaşık 25.905 MW/yıl'dır. Kurulan fotovoltaik sistem verimliliği yaklaşık %72 olursa kullanılabilecek yıllık elektrik enerjisi üretimi 18.650 MW/yıl olarak hesaplanır. Sarıcakaya'nın 2021 yılı toplam elektrik tüketimi 8.500 MW/yıl olduğuna göre kurulan fotovoltaik güneş enerjisi sistemi ihtiyaç duyulan yıllık elektrik tüketimin 2 katından fazlasını üretmiş olacaktır.

5.5. Sarıcakaya İlçesinin Biyogaz Potansiyeli

Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılına ait hayvan miktarı TÜİK'ten alınmıştır. Bu verilere göre 2021 yılında saf kültür, kültür melezi süt sığır sayıları 1.444 baş, kültür melezi et sığır 625 baş, yerli sığır 19 baş, buzağı 467 baş, koyun 7.334 baş, keçi 3.848 baş, eşek 20 baş, et tavuğu 76.500 adet, yumurta tavuğu 1.743 adet, hindi 480 adet, ördek ve Beç tavuğu 145 adet ve kaz 181 adettir. Tablo 5.2'de hayvanlardan elde edilen toplanabilir faydalı gübre, gübre içerisindeki katı madde miktarı, hayvan türüne bağlı gübrenin katı madde oranı, katı madde içerisindeki uçucu katı madde miktarı ve hayvan türüne bağlı gübrenin uçucu katı madde oranı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar da Tablo 3.5'deki değerler kullanılmıştır.

Tablo 5.2. Sarıcakaya ilçesi 2021 yılı hayvan türüne göre toplanabilir gübre, km miktarı ve ukm miktarı

Hayvan Türü	2021 Yılı Hayvan Sayısı	Toplanabilir Faydalı Gübre Miktarı	Katı Madde Miktarı (KM)	Gübre İçerisindeki KM Oranı	Uçucu Katı Madde Miktarı (UKM)	"Gübre İçerisindeki UKM Oranı"
	adet	ton/yıl	ton/yıl	%	ton/yıl	%
Kültür ve Melez Süt Sığır (Yetişkin)	1.444	22.664	3.914	66,1	3.263	67,5
Kültür ve Melez Et Sığır (Yetişkin)	625	6.616	821	13,9	695	14,4
Yerli Sığır	19	101	17	0,3	14	0,3
Buzağı (Genç yavru)	467	423	157	2,6	69	1,4
Koyun	7.334	835	192	3,2	161	3,3
Keçi	3.848	374	87	1,5	63	1,3
At, Katır, Eşek	20	43	8	0,1	6	0,1
Et Tavuğu	76.500	3.501	700	11,8	541	11,2
Yumurta Tavuğu	1.743	82	15	0,3	12	0,2
Hindi	480	45	9	0,1	7	0,1
Ördek ve Kaz	326	27	5	0,1	3	0,1
TOPLAM	92.806	34.711	5.926	100,0	4.833	100,0

Tablo 5.2’de, Sarıcakaya ilçesinin yıllık hayvanlardan elde edebileceği toplanabilir faydalı gübre miktarı 34.711 ton/yıl’dır. Elde edilen gübrenin büyük çoğunluğu büyük baş hayvanlardan karşılanmaktadır. kültür ve melez ırkı süt sığırlarının günlük ürettikleri ve toplanabilir faydalı gübre miktarları fazla oldukları için gübre içerisindeki toplam katı madde miktarına olan faydası %66,1’dir. Kültür ve melez ırkı et sığırlarının %13,9’dur. Et tavuğunun ise %11,8’dir. Sonuç olarak biyogaz üretiminde en çok katkı sağlayan hayvan türü büyük baş hayvanlardır. Büyük başların biyogaz üretme potansiyeli kanatlı hayvan ve küçük baş hayvan türlerine göre daha az olmasına karşın ürettikleri gübre miktarından dolayı biyogaz üretiminin yaklaşık %80’inden fazlasını karşılamaktadır. Kanatlı hayvan türünden et tavuğu da %12’ye yakın oranla ikinci fayda sağlayan hayvan türüdür.

Tablo 5.3’de hayvansal atıklardan elde edilen metan gazı miktarı hesaplanarak elde edilen metanın diğer enerjilere dönüşüm miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 5.3. 2021 Yılı Sarıcakaya Hayvansal Atık Varlığı İle Üretebileceği Metan, Enerji, TEP ve Elektrik Miktarı

Hayvan Türü	2021 Yılı Hayvan Sayısı	Metan Üretimi	Enerji Değeri	TEP Enerji Karşılığı	Elektrik Enerjisi Karşılığı
	baş	M ³ -CH ₄ /yıl	GJ/yıl	TEP/yıl	MWhe/yıl
Kültür ve Melez Süt Sığırı (Yetişkin)	1.444	587.287,91	21.142,36	504,98	2.055,51
Kültür ve Melez Et Sığırı (Yetişkin)	625	229.341,98	8.256,31	197,20	802,70
Yerli Sığır	19	4.777,26	171,98	4,11	16,72
Buzağı (Genç yavru)	467	22.891,08	824,08	19,68	80,12
Koyun	7.334	48.194,73	1.735,01	41,44	168,68
Keçi	3.848	19.008,69	684,31	16,34	66,53
At, Katır, Eşek	20	1.693,87	60,98	1,46	5,93
Et Tavuğu	76.500	189.411,24	6.818,80	162,86	662,94
Yumurta Tavuğu	1.743	4.029,95	145,08	3,47	14,10
Hindi	480	2.326,17	83,74	2,00	8,14
Ördek ve Kaz	326	989,04	35,61	0,85	3,46
Toplam	92.806	1.109.951,91	39.958,27	954,39	3.884,83

Tablo 5.3’de, üretilen biyogaz miktarı metan cinsinden hesaplanmıştır. Hayvan türlerinden elde edilen uçucu katı madde miktarı ile tablo 3.5’deki MO (1 kg UKM’den elde edilen metan gazı) değerleri çarpılarak hesaplanmıştır. Üretilen metan gazının joule cinsinden enerji miktarı hesaplanırken metan gazının metreküp enerji karşılığı 36

MJ/Nm³ olarak alınmıştır. Hesaplanan enerji değeri Ton Eşdeğer Petrole (TEP) çevrilirken 1 TEP değeri 41,868 GJ enerji olarak alınmıştır. Üretilen metan gazının kWh cinsinden elektrik enerjisi karşılığı hesaplanırken metan metreküp değeri 10 kWh, elektriksel verim %35 alınarak hesaplanmıştır.

Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılı hayvansal atık miktarından üretebileceği potansiyel metan cinsinden biyogaz miktarı 1.109.951 m³/CH₄-yıl olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan metan gazının joule enerji karşılığı 39.958 GJ/yıl, TEP enerji karşılığı 957 TEP/yıl ve elektrik enerjisi karşılığı ise 3.884 MWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Biyogaz tesisleri her türlü tarımsal atığı kullanmamaktadırlar. Sadece biyogaz üretimi bakımından verimli (buğday, arpa, çavdar, yulaf, şeker pancarı, silaj mısır gibi) olanları kullanmaktadır (STB, 2020). Sarıcakaya’da bu tür tarımsal atıklar hesaplamaya değer miktarda oluşmamaktadır. Bu nedenle Sarıcakaya’nın tarımsal atıkları, biyogaz miktarı hesaplamasına dahil edilmemiştir.

5.6. Sarıcakaya İlçesinde Üretilen Hibrit Enerjinin Elektrik Tüketimine Oranı

Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılına ait elektrik tüketimi Zorlu Enerji Osmangazi Elektrik Dağıtım AŞ’den alınan bilgilere göre toplamda yaklaşık 8.500 MWh/yıl’dır. Tablo 5.4’de Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılı abone gruplarına göre tüketim değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılı elektrik tüketim miktarları

Abone Grupları	Sanayi	Ticarethane	Mesken	Tarımsal Sulama	Aydınlatma	Genel Toplam
Tüketim Miktarı (kWh/yıl)	595.545	2.173.469	3.040.933	1.961.015	728.711	8.499.672

Güneş enerji sistemi ile üretililecek elektrik enerjisinin ilçenin yıllık elektrik tüketimine oranı Tablo 5.5’de gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Güneş Enerjisi ile Üretilebilecek Elektrik Enerjisinin Tüketime Katkısı

Abone Grupları	OEDAŞ Tüketim MWh/yıl	Güneş Paneli ile Üretilen MWh/yıl	Oran %
Sanayi	595,5	18.650	3131,8
Ticarethane	2.173,4		858,1
Mesken	3.041		613,2
Tarımsal Sulama	1.961		951
Aydınlatma	728,7		2559,3
TOPLAM	8.500	18.650	219,4

Tablo 5.5’deki değerler incelendiğinde güneş panelleri ile üretilebilecek elektrik enerjisi, ilçenin sanayi tüketiminin 31 katından fazlasını, ticarethane tüketiminin 8 katından fazlasını, mesken tüketiminin 6 katından fazlasını, tarımsal sulama tüketiminin 9 katından fazlasını ve aydınlatma tüketiminin 25 katından fazlasını karşılamaktadır. İlçenin toplam yıllık elektrik tüketiminin ise 2 katından fazlasını karşılamaktadır.

Biyogaz ile üretilebilecek elektrik enerjisinin ilçenin yıllık elektrik tüketimine oranı Tablo 5.6’da gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Biyogaz ile Üretilebilecek Elektrik Enerjisinin Tüketime Katkısı

Abone Grupları	OEDAŞ Tüketim MWh/yıl	Biyogaz ile Üretilen MWh/yıl	Oran %
Sanayi	595,5	3.885	652,3
Ticarethane	2.173,4		178,7
Mesken	3.041		127,7
Tarımsal Sulama	1.961		198,1
Aydınlatma	728,7		533,1
TOPLAM	8.500	3.885	45,7

Tablo 5.6’deki değerler incelendiğinde biyogaz ile üretilebilecek elektrik enerjisi, ilçenin sanayi tüketiminin 6 katından fazlasını, ticarethane tüketiminin yüzde 178’ini, mesken tüketiminin yüzde 127’sini, tarımsal sulama tüketiminin yaklaşık 2 katını ve aydınlatma tüketiminin 5 katından fazlasını karşılamaktadır. İlçenin toplam yıllık elektrik tüketiminin ise yaklaşık yüzde 45’ini karşılamaktadır.

Biyogaz ve güneş paneli ile üretilebilecek elektrik enerjisinin ilçenin yıllık elektrik tüketimine oranı Tablo 5.7’de gösterilmiştir.

Tablo 5.7. Hibrit enerji ile üretilebilecek elektrik enerjisinin tüketime katkısı

Abone Grupları	OEDAŞ Tüketim MWh/yıl	Hibrit Enerji ile Üretilen MWh/yıl	Oran %
Sanayi	595,5	22.535	3784,2
Ticarethane	2.173,4		1036,8
Mesken	3.041		741
Tarımsal Sulama	1.961		1149,1
Aydınlatma	728,7		3092,4
TOPLAM	8.500	22.535	265,1

Tablo 5.7’deki değerler incelendiğinde hibrit enerji ile üretilebilecek elektrik enerjisi, ilçenin sanayi tüketiminin 37 katından fazlasını, ticarethane tüketiminin 10 katından fazlasını, mesken tüketiminin 7 katından fazlasını, tarımsal sulama tüketiminin 11 katından fazlasını ve aydınlatma tüketiminin 30 katından fazlasını karşılamaktadır. İlçenin toplam yıllık elektrik tüketiminin ise 2,5 katından fazlasını karşılamaktadır.

5.7. Sarıcakaya İlçesinde Üretilen Hibrit Enerjinin Sera Gazı Salınımına Etkisi

Dünya ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisini fosil yakıt kaynaklı ve yenilenebilir enerji kaynaklı birçok yöntem ile üretmektedir. Elektrik üretimi hangi kaynakla olursa olsun az ya da çok atmosfere sera gazı salınımına neden olur. Tablo 5.8’de elektrik enerjisi üretim kaynaklarına göre sera gazı salınım miktarları gösterilmiştir.

Tablo 5.8. Elektrik Üretim Kaynaklarına Göre Sera Gazı Salınım Miktarları (Enerji Atlası, 2021)

Kaynak Türü	Min.-Max. Sera Gazı Emisyonu (ton-CO ₂ /GWh)	Ortalama Sera Gazı Emisyonu (ton-CO ₂ /GWh)
Linyit	790-1.372	1.054
İthal Kömür	756-1.310	888
Taş Kömür	756-1.310	888
Fuel-oil	547-935	733
Doğalgaz	362-981	499
Nükleer	2-130	66
Jeotermal		38
Biokütle	10-101	26
Hidroelektrik	2-237	26
Güneş	13-731	23
Rüzgâr	6-124	10

Tablo 5.8’deki değerlere göre elektrik enerjisi üretiminde sera gazı salınımının en az olduğu ikinci enerji kaynağı güneş enerjisi, üçüncü en az salım kaynağı ise hidroelektrik ve biyokütle enerji kaynaklarıdır.

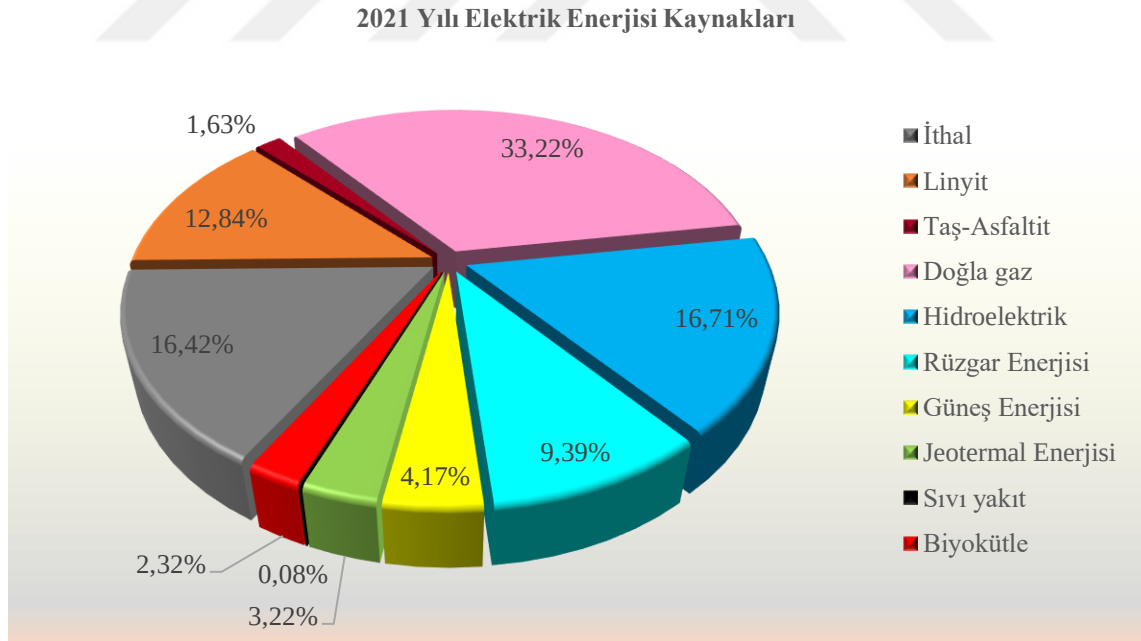
Tablo 5.9. Üretilen elektrik miktarının kaynaklara göre Sera Gazı Salınım Miktarları

Kaynak Türü	Ortalama Sera Gazı Emisyonu (ton-CO ₂ /GWh)	Güneş Enerjisi ile Üretilen 18.650 MWh/yıl (ton-CO ₂ /GWh)	Biyogaz Enerjisi ile Üretilen 3.885 MWh/yıl (ton-CO ₂ /GWh)	Hibrit Enerji ile Üretilen 22.535 MWh/yıl (ton-CO ₂ /GWh)
Linyit	1.054	19.657	4.095	23.752
İthal Kömür	888	16.561	3.450	20.011
Taş Kömür	888	16.561	3.450	20.011
Fuel-oil	733	13.670	2.848	16.518
Doğalgaz	499	9.306	1.939	11.245
Nükleer	66	1.231	256	1.487
Jeotermal	38	709	148	856
Biokütle	26	485	101	530
Hidroelektrik	26	485	101	586
Güneş	23	429	89	530
Rüzgâr	10	187	39	225

Tablo 5.9’da Sarıcakaya ilçesinde hibrit enerji ile üretilebilecek elektrik enerjisinin diğer kaynaklar ile üretilmesiyle oluşacak sera gazı salınımının ortalama değerleri

hesaplanmıştır. Güneş panelleri ile üretilebilecek 18.650 MWh/yıl elektrik enerjisinin yıllık CO₂ salınımı 429 ton/CO₂, biyogaz ile üretilebilecek 3.885 MWh/yıl elektrik enerjisinin yıllık CO₂ salınımı 101 ton/CO₂ ve her iki enerji kaynağı ile üretilebilecek toplam 22.535 MWh/yıl elektrik enerjisinin toplam ortalama CO₂ salınımı 530 ton/CO₂ olacaktır. Buna göre linyit kaynağına göre 23.222 ton/CO₂, ithal ve taş kömürü kaynağına göre 19.481 ton/CO₂, fuel-oil kaynağına göre 15.988 ton/CO₂, doğalgaz kaynağına göre 10.715 ton/CO₂, nükleer kaynağına göre 957 ton/CO₂ ve jeotermal kaynağına göre 326 ton/CO₂ salınımı önlenmiş olacaktır.

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) verilerine göre 2021 yılında elektrik üretiminin, yüzde 30,89'unu kömürden (yüzde 16,42 ithal kömür, yüzde 12,84 linyit kömür, yüzde 1,63 taş kömür), yüzde 33,22'sini doğal gazdan, yüzde 16,71'ini hidroelektrik enerjiden, yüzde 9,39'unu rüzgâr enerjisinden, yüzde 4,17'sini güneş enerjisinden, yüzde 3,22'sini jeotermal enerjiden, yüzde 2,32'sini biyokütle ve yüzde 0,08'ini sıvı yakıt kaynaklardan üretmiştir (TEİAŞ, 2021). Grafik 5.1'de Türkiye'nin 2021 yılında elektrik üretim kaynak oranları gösterilmiştir.



Grafik 5.1. Türkiye'nin 2021 yılı elektrik üretim kaynak oranları (TEİAŞ, 2021)

2021 yılı Türkiye kaynaklara göre elektrik üretim verileri dikkate alındığında Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılında tüketmiş olduğu yaklaşık 8.500 MW/yıl elektrik için

karbondioksit salınımı toplam 3.995 ton/CO₂ olarak gerçekleşmiştir. Tablo 5.10'da Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılı tüketimi için üretilen 8.500 MW/yıl elektriğin kaynaklara göre karbondioksit salınım miktarları gösterilmiştir.

Tablo 5.10. Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılı kaynaklara göre karbondioksit salınım miktarları

Kaynak Türü	Ortalama Sera Gazı Emisyonu (ton-CO ₂ /GWh)	Kaynaklara Göre Enerji Üretim Oranı (%)	Kaynaklara Göre Enerji Üretim Miktarı (MWhe/yıl)	Kaynaklara Göre Üretilen CO ₂ Salınımı (ton-CO ₂ /GWh)
İthal Kömür	888	16,42	1395,70	1.239
Linyit	1.054	12,84	1091,40	1.150
Taş Kömür	888	1,63	138,55	123
Doğalgaz	499	33,22	2823,70	1.409
Jeotermal	38	3,22	273,70	10
Hidroelektrik	26	16,71	1420,35	37
Güneş	23	4,17	354,45	8
Rüzgâr	10	9,39	798,15	8
Biokütle	26	2,32	197,20	5
Fuel-oil	733	0,08	6,80	5
Toplam		100	8.500	3.995

2021 yılında Sarıcakaya ilçesinin tükettiği 8500 MW/yıl elektrik enerji güneş enerjisi ile üretilmiş olsaydı karbondioksit salınımı 195,5 ton/CO₂ olarak gerçekleşirdi. İlçenin biyogaz potansiyeli değerlendirilip elektrik ihtiyacının yüzde 45,7'si biyogaz ile karşılanmış olsaydı karbondioksit salınımı 101 ton/CO₂ olarak gerçekleşirdi. Şehir şebekesinden sağlanan diğer yüzde 54,3'lük elektrik enerjisinin toplam karbondioksit salınımı 2.270 ton/CO₂ olarak gerçekleşirdi. Güneş enerjisi ile üretilen elektrik enerjisi 3.799,5 ton/CO₂ salınımı ve biyogaz ile üretilen elektrik enerjisi ise 1.725 ton/CO₂ salınımı önlemiş olacaktı.

6. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Gelişen ve yaygınlaşan teknoloji ile birlikte ihtiyaç duyulan enerji miktarı sürekli artmaktadır. Günümüzde enerjinin büyük kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların her ülkede bulunamaması ve bu enerji kaynaklarına sahip ülkelerden enerji tedarikinde siyasi, politik, lojistik zorluklarla karşılaşılması ve bununla birlikte fosil yakıtların yakın gelecekte tükenerek olması ülkelerin enerji arz güvenliğini zayıflatmaktadır. Aynı zamanda fosil yakıtların tüketilmesi dünya çevre sağlığını ve iklim rejimini tehdit etmektedir. Bunlardan dolayı ülkeler enerji arz güvenliklerini garanti altına almak, çevre kirliliği ve iklim değişikliği ile mücadele etmek için yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanabilme kabiliyetlerini artırmaya çalışmaktadırlar.

Eskişehir iline bağlı Sarıcakaya ilçesinin güneş enerjisi ve biyogaz enerji potansiyeli incelenmiş ve elde edilebilecek enerji miktarları ile karbondioksit salınım miktarları hesaplanmıştır.

Sarıcakaya ilçesi coğrafi konum olarak orta Sakarya vadisinde yer almaktadır. Mikroklima iklim özelliğinden dolayı örtü altı tarım yaygınlaşmıştır. 2021 yılında örtülü tarım alan miktarı 1912 dekadır. Gölgeleme oranları çok az, güneş ışınlarını yüksek oranda alan sera yapıları güneş enerjisi alanı olarak da değerlendirilebilmektedir.

Sarıcakaya'nın yıllık güneşlenme radyasyon değeri yaklaşık 1420 kWh/m², en yüksek güneş radyasyon değerleri haziran, temmuz aylarında en az ise kasım, aralık ve ocak aylarında gerçekleşmektedir. En az güneşlenme süresi ocak ayında günlük ortalama yaklaşık 3 saattir. En fazla güneşlenme süresi ise temmuz ayında günlük ortalama 10,5 saattir. Yıllık ortalama güneşlenme süresi de günlük yaklaşık 6,5 saattir.

İlçenin 2021 yılı toplam elektrik tüketimi 8.500 MWh/yıl'dır. Günlük ortalama tüketimi ise 23.288 kWh/gün'dür.

Sarıcakaya ilçesinin yılın en az güneşlenme saatinde günlük elektrik ihtiyacının karşılanması için ortalama 456 dönüm arazi ve bu araziye kurulacak 385 Wp gücünde 28.200 adet güneş paneline ihtiyacı vardır. Söz konusu güneş panelleri ile yılın en az güneşlenme zamanında günlük enerji ihtiyacını karşılayabilmekle birlikte yılın daha fazla güneşlenme saatlerinde ihtiyacı olan elektrik miktarının üzerinde enerji üretme imkanına sahip olmaktadır. Bu imkanla kurulması öngörülen güneş enerji sistemi yıllık yaklaşık olarak 25.905 MWh/yıl elektrik üretebilmekte ve üretilen elektrik sistem kayıplarından

dolayı şebekeye yaklaşık %72 verimle 18.650 MWh/yıl elektrik enerjisi sağlama potansiyeline sahip olduğu hesaplanmıştır. Bu elektrik enerjisi potansiyeli Sarıcakaya ilçesinin yıllık toplam elektrik ihtiyacının 2 katından fazlasını karşılayabilmektedir.

İlçe 2021 yılında, 467 baş buzağı, 2.088 baş yetişkin olmak üzere toplam 2.555 baş büyükbaş hayvan, 7.334 başı koyun, 3.848 başı keçi olmak üzere toplam 11.182 baş küçükbaş hayvana sahip olmuştur. Et tavuğu adedi 76.500, yumurta tavuğu adedi 1.743, hindi adedi 480, ördek ve kaz adedi 326 olmak üzere toplam kanatlı hayvan varlığı ise 79.049 adet olmuştur.

İlçenin, sahip olduğu hayvan varlığından elde edebileceği toplanabilir faydalı gübre miktarı 34.711 ton/yıl'dır. Bu miktarın 29.802 ton/yıl ile %80'inden fazlasını büyük baş hayvan gübresi oluşturmaktadır. Biyogaz üretimindeki en önemli hayvansal atık üretim miktarı yüksekliğinden dolayı büyük baş hayvansal atıktır.

Toplam 34.711 ton/yıl toplanabilir faydalı hayvan gübresinden 1.109.952 m³-CH₄/yıl metan gazının üretilebileceği, üretilen metan gazının enerji karşılığı 39.958 GJ/yıl, bu enerji karşılığının 954 TEP olduğu hesaplanmıştır. Üretilebilecek metan gazından elde edilebilecek yıllık elektrik enerjisi miktarı (yüzde 35 verimle) yaklaşık 3.885 MWhe/yıl olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektrik miktarı Sarıcakaya ilçesinin yıllık toplam elektrik ihtiyacının yaklaşık %45'inin karşılayabilmektedir.

Güneş enerjisinden üretilebilecek 18.650 MWh/yıl elektrik enerjisinin CO₂ salınımı 429 ton/ CO₂, metan gazında üretilebilecek 3.885 MWhe/yıl elektrik enerjisinin CO₂ salınımı 101 ton/ CO₂, her iki kaynaktan üretilebilecek toplam 22.535 MWh/yıl elektrik enerjisinin CO₂ salınımı toplam 530 ton/CO₂ olarak hesaplanmıştır. Üretilen toplam elektrik enerjisinin güneş ve biyogaz kaynakları ile üretilmesiyle diğer enerji kaynaklarına göre 326 ton/CO₂ ile 23.222 ton/CO₂ karbondioksit salınımının önlenebileceği hesaplanmıştır.

6.2. Tartışma

Sarıcakaya ilçesinin güneş enerji potansiyeli ve hayvansal atıktan elde edilebilecek biyogaz enerji potansiyelini değerlendirdiğimizde ilçemizin enerji ekonomisi başta olmak üzere ülke enerji ekonomisine ciddi katkı sağlayacağı görülmüştür. Bununla birlikte çevre kirliliği ve küresel ısınma sorunu ile ilgili mücadelede dünya atmosferine salınan karbondioksit salınım miktarının azaltılmasında da büyük fayda sağlayacağı hesaplanmıştır.

Sarıcakaya'nın geçmiş yıllardaki örtülü alan miktarları incelendiğinde (TÜİK verilerine göre) her yıl alan miktarının arttığı görülmektedir. Bununla birlikte sahip olunan hayvan miktarı da her yıl artış göstermiştir. Örtülü tarım olan seracılık ve hayvan yetiştiriciliği geçmiş yıllardaki gibi geliştirilmeye devam edilirse bundan sonraki yıllarda da artış göstereceği ön görülmektedir. Böylelikle güneş paneli kurulması düşünülen sera yapı alanlarının gelişmesiyle güneş paneli kurulum alanları artmaya devam edecektir. Hayvan sayısının artmasıyla biyokütle atık ile biyogaz üretim imkanının artması bu enerji kaynaklarının ilçede sürdürülebilir olduğunu göstermektedir.

Güneş paneli uygulama alanları her geçen gün gelişmekte ve sera yapılarında da uygulanmaktadır. Böylelikle başta tarımda ihtiyaç olan enerji karşılanmakta, fazlası ise şehir şebekesine aktararak ülke enerjisine katkı sağlamaktadır.

Sarıcakaya'nın güneş enerji potansiyeli değerlendirilirken ilçenin ihtiyaç duyduğu elektrik ihtiyacının ne kadarını üretebilir olduğu öğrenilmek istenmiştir. Bundan dolayı yılın en az güneşlenme zamanına göre panel hesabı yapılmıştır. Yılın en az güneşlenme zamanında üretilen elektriğin ilçede kullanılması ile birlikte fazlası şehir şebekesine verilecek, güneş ışınlarından enerji üretilmeyen saatlerde ise ihtiyaç duyulan enerji şehir şebekesinden karşılanabilecektir. Ancak ihtiyaç olan elektrik güneşlenme zamanlarında üretilip şebekeye verildiği için ilçe zaten güneşten üretilip şebekeye vermiş olduğu enerjiyi geri çekmiş olacaktır. Kısacası, ilçe enerji depolama sistemi yerine şehir şebekesi imkanlarını kullanarak kendi enerjisinin güneşten karşılamış olacaktır. Yılın en az güneşlenme zamanına göre hesaplanan sistem doğal olarak güneşlenme zamanı yıl içinde arttıkça enerji üretimi de günlük ihtiyaçtan fazlasını üretmiş olacaktır. Böylelikle güneş enerji sistemi ilçenin enerji ihtiyacını karşılamakla birlikte ülke enerji ihtiyacına ciddi miktarda katkı sağlayacaktır.

İlçenin örtülü tarım alanının tamamı dikkate alındığında güneş enerji potansiyelinin hesaplanan miktardan çok daha fazla olduğu görülmektedir. İlçe elektrik ihtiyacı dikkate alınarak yapılan hesaplamada ihtiyaç duyulan ortalama alan miktarı 456 dönüm olarak hesaplanmıştır. İlçenin 2021 yılı örtülü tarım alanı miktarı ise 1912 dönümdür. Buna bağlı olarak ilçenin, hesaplanan potansiyelden 4 kattan daha fazla enerji üretilme potansiyeli olduğunu göstermektedir.

Hayvan atıklarından üretilen biyogazın, enerji potansiyeli hesaplanırken içten yanmalı bir jeneratörün yüzde 35 verimle elektrik enerjisine çevirmesi dikkate alınmıştır. Biyogazın, bir gaz türbinli jeneratörde kullanılarak elektrik enerjisinin üretilmesi,

biyogazdan %35-%40 verimle yararlanılmasını sağlar. Biyogazın sadece gaz türbinli bir jeneratörde kullanılarak faydasının sonlandırılması enerji verimliliği açısından kesinlikle uygun değildir. Biyogaz gibi yakıtlar kojenerasyon, trijenerasyon gibi kombine çevrim santrallerinde kullanıldığında elektrik enerjisi ile birlikte ısı ve soğutma enerjisi de üretilir. Gaz türbinli jeneratörden çıkan atık ısı buharı, buhar türbinli bir jeneratöre yönlendirilerek ikinci bir kez elektrik enerjisi üretilebilir. Buhar türbinin atık ısısı ise ısıtmada kullanılabilir. Hatta bu sistemlerden 7-12 °C'de elde edilen su ile soğutma yapılabilir. Böylelikle üretilen biyogaz, %90 verimle kullanılabilir.

Üretilen biyogazın, kombine çevrim santrallerinde kullanılması dikkate alındığında biyogaz enerji potansiyelinin hesaplanan miktardan daha fazla olduğu görülmektedir. Buhar türbinli jeneratörde ikinci kez elektrik üretilmesi, bu türbinden çıkan atık ısının ısıtmada ve soğuk suyun soğutmada kullanılmasıyla biyogaz enerji potansiyeli, hesaplanan biyogaz enerji potansiyelinden 2 kattan daha fazla olduğu görülmektedir.

Sarıcakaya ilçesinde sera yapılarına güneş panellerinin kurulması ilçe ve ülke elektrik ihtiyacının karşılanması yanında örtülü tarım alanlarının aynı zamanda enerji üretim alanları olması sağlanır. Güneş enerjisinin ülke enerji ekonomisine katkı sağlamasının yanında sektör iş hacminin gelişmesine, konu ile alakalı istihdam yapılarak iş imkânı oluşmasına ve güneş enerjisi kullanımında tecrübenin artarak sektör teknoloji gelişimine katkı sağlanmış olur.

Seracılık ile tarım ürünleri yetiştiren çiftçiler, tarım gelirinin yanında enerji geliri de kazanabilirler. Bununla birlikte iklimlendirmenin önemli olduğu seracılık sektöründe enerjiye ulaşma imkânı kolaylaşarak seracılığın ihtiyaç duyacağı ısıtma ve soğutma imkanlarına direk ulaşması sağlanabilir. Seracılık faaliyetlerinde otomasyon sistemlerinin kurulmasına ve gelişmesine kolaylık sağlar. Çiftçinin çalışma ve ürün yetiştirme konforunu yükselterek ürün veriminin artmasına katkı sağlar.

Güneş enerji sistemlerinin ve biyogaz tesislerinin kurulması iş imkanlarının oluşmasını sağlayarak sosyo-ekonomik açıdan da katkı sağlar. Güneş panel ve ekipmanlarının kurulması, işletilmesi ve periyodik bakımlarının yapılması aynı şekilde biyogaz tesislerinin kurulması, işletilmesi direk istihdama katkı sağlayacağı gibi çiftliklerden temin edilecek atıklar için nakliye hizmetleri dolaylı işçi istihdamına katkı sağlayarak alternatif iş ve kazanç imkanları oluşturacaktır.

Biyogaz tesislerinin tarım için bir diğer önemi ise hayvansal atıkların, üretim sonrası tesislerden kötü kokusu arınmış, yüksek kaliteli organik gübre olarak çıkmasıdır.

Biyogaz tesislerinden çıkan yüksek kaliteli gübrenin tarımsal üretimde kullanılması daha sağlıklı ve verimli ürün elde edilmesini sağlar. Ayrıca kimyasal gübre kullanımının azaltılmasını sağlayarak ekonomik giderlerin düşmesini de sağlar.

İlçede kurulmuş bir biyogaz tesisi ayrıca çevre sağlığına ve temizliğine katkı sağlar. Tesislerde, kurumlarda, konutlarda ve diğer işletmelerde oluşacak çeşitli organik atıkların biyogaz tesisinde kullanılması sağlanarak atık yönetimine fayda sağlanır. Bu atıkların miktarların biyogaz üretimi için değeri olmasada çevre sağlığı ve kirliliğinin önlenmesindeki rolü ile sosyal sorumluluk yerine getirilmiş olur.

6.3. Öneriler

Sarıcakaya ilçesine güneş enerji potansiyelinin değerlendirilmesi için fotovoltaik panel kurulumu faydalı olacaktır. Ancak fizibilite çalışmasının çok iyi yapılması gerekir. Önce sadece birkaç dönüm seraya kurulacak güneş enerji sisteminin gerçek verileri izlenerek potansiyel değer ile kurulu tesis verileri karşılaştırılarak kontrol edilmelidir. Ortalama 25 yıl ömrü olan fotovoltaik panel sistemi uygulanacağı sera yapılar ile uyumlu olmalıdır. Güçlü çatı sistemi olan sağlam yapılı seralara mı yoksa plastik örtü ile kaplanmış seraların önüne direk kaidelerin üzerine mi kurulacağı iyi araştırılarak kurulacak sistemin fayda maliyet analizinin iyi yapılması gerekir. Birkaç dönüme farklı model sistemler kurularak uygulanabilirlik kabiliyeti gözlemlenebilir.

Sarıcakaya ilçesinin hayvansal atık potansiyelinin değerlendirilmesi için biyogaz tesisinin kurulması faydalı olacaktır. Ancak biyogaz tesisinden azami fayda sağlamak için kurulacağı bölge iyi seçilip fizibilite çalışmasının iyi hazırlanması gerekir. Tesis Sarıcakaya ilçesinin merkezine ya da hangi köyüne kurulursa kombine çevrim santralinden elde edilecek ısı ve soğutma enerjisinden daha verimli faydalanılabilir, hayvansal atık ve elde edilecek yüksek kaliteli gübre lojistiği daha iyi yapılabilir gibi hususlar iyi araştırılmalıdır.

Söz konusu enerji yatırımlarının yapılması için devlet ilgili tüm kurumları ile destek, teşvik ve danışmalık hizmeti vermelidir. Söz konusu enerji yatırımlarının getirisi çiftçilere en açık şekilde anlatılmalı ve yatırımlara iştirak ettirilmeleri sağlanmalıdır.

KAYNAKÇA

- Akdeniz, H., Y. (2019). *Arduino Tabanlı MPPT Solar Şarj Kontrolörü Tasarımı ve Uygulaması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisan Tezi. Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği-Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı.
- Alkan, S., Öztürk, A., Zavrak, S., Tosun, S. ve Avcı, E. (2014). Bir Evin Elektrik Enerjisi İhtiyacını Karşılacak Fotovoltaik Sistemin Kurulumu. *Eleco 2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa: Düzce Üniversitesi.
- Avcı, A. (2022). *Doğalgaz, Güneş ve Rüzgâr Hibrit Enerji Üretiminin Teknoekonomik ve Çevresel Açından Değerlendirilmesi: Ege Bölgesi için Örnek Uygulama*. Yayınlanmamış Yüksek Lisan Tezi. Ankara: Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı.
- Baycan, G. (2022). Dünya’da bir ilk! Deniz üstü hibrit enerji sistemi. Shift Delete.net. <https://shiftdelete.net/dunyada-bir-ilk-deniz-ustu-hibrit-enerji-sistemi> (Erişim: 15.05.2023).
- Bayram, S. (2015). *Güneş Enerjisi Uygulaması: Gebze Yöresinde Bir Fabrika Fizibilitesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisan Tezi. İstanbul: İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- BEBKA, (2012). [Bebka.org.tr](https://www.bebka.org.tr/admin/datas/sayfas/198/saricakaya-ilce-raporu_1568787830.pdf) Sarıcakaya. https://www.bebka.org.tr/admin/datas/sayfas/198/saricakaya-ilce-raporu_1568787830.pdf (Erişim: 27.05.2022)
- Cebeci, S. (2017). *Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi*. Uzmanlık Tezi. T.C. Kalkınma Bakanlığı, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Yayın No: 2977, ISBN: 978-605-2270-04-2.
- Çağman, S. (2014). *Anaerobik Fermantasyonla Elde Edilen Biyogazda Nem ve Hidrojen Sülfürün Gideriminin İncelenmesi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çanka Kılıç, F. (2011). Biyogaz, Önemi, Genel Durumu ve Türkiye’deki Yeri. *Mühendis ve Makina*, 52 (617), 94-106.
- Çelikkaya, H. (2016). Biyogaz. Fırat Kalkınma Ajansı, Araştırma Raporu, 6-36.
- Dalkılıç, K. (2013). *İki Aşamalı Termofilik Anaerobik Sistemde Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretimi: Zeolit Etkisinin Araştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Doğan, M. (2011). Enerji Kullanımının Coğrafi Çevre Üzerindeki Etkileri. Marmara Coğrafya Dergisi, Sayı:23, Sayfa:36-52.
- Doğan, M. (2019). *Güneş Enerji Santrallerinin İncelenmesi ve Verimlilik Analizi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ekinci, K., Kulcu, R., Kaya, D., Yaldiz, O., Ertekin, C. ve Öztürk, H.H. (2010). The prospective of potential biogas plants that can utilize animal mamure in Turkey. *Energy Exploration & Exploitation*, Volume 28, Number 3, pp.187-206.
- EMO (2019). GES Kitapçığı, Lisanssız Elektrik Üretim Süreci. Elektrik Mühendisleri Odası Mersin Şubesi. https://www.emo.org.tr/ekler/52ab316370e7a90_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=16 (Erişim: 9.12.2022)
- Enerji Atlası (2021). *Elektrik Üretiminde Karbon Salınımı*. <https://www.enerjiatlası.com/haber/elektrik-uretiminde-karbon-salinimi> (Erişim: 08.01.2021)
- EnerjiGünlüğü, (2021a). Dünyanın üç kaynaklı ilk hibrit santralini Cengiz Enerji kuracak, enerjigunlugu.net <https://www.enerjigunlugu.net/dunyanin-uc-kaynakli-ilk-hibrit-santralini-cengiz-enerji-kuracak-45545h.htm> (Erişim: 15.05.2023).
- EnerjiGünlüğü, (2021b). Murat HES güneş destekli hibrit santrale dönüşecek. Enerjigunlugu.net <https://www.enerjigunlugu.net/murat-hes-gunes-destekli-hibrit-santrale-donusecek-44954h.htm> (Erişim: 15.05.2023).
- Enerjiportali (2018). Çatılarda Kurulan Güneş Enerji Santrallerinden Üretilen Elektrik için Akıllı Satış Platformu, Enerjiportali.com. <https://www.enerjiportali.com/catilar-kurulan-gunes-enerji-santrallerinden-uretilen-elektrik-icin-akilli-satis-platformu/> (Erişim: 9.12.2022)
- Eyidoğan, M. (2008). Biyogazın Saflaştırılması ve Motorlu Taşıt Yakıtı Olarak Kullanımı. *Mühendis ve Makine*, Cilt 49, Sayı: 584, 18-24.
- GEPA (2022). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/26.aspx> (Erişim: 27.11.2022)
- Gülen, J. ve Arslan, H. (2005). Biyogaz. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sigma 2005/4, 121-129.
- Gülşen, H.E. vd. (2019). Çeşitli Atıklardan Biyogaz Üretiminin Sürdürülebilir Çevre Yönetimine Etkisi. *Tmmob Çevre Mühendisleri Odası, Teknik Dergi*, ISSN: 1302-5627, Cilt: 3, Sayı: 2, 1-15.
- Gürgen, K. Ç. (2016). *Aydın'daki Bir Yapının Elektrik Enerjisi Gereksiniminin Fotovoltaik Sistemler ile Karşılanma Olanakları*. Yayınlanmamış Yüksek Lisan Tezi. Aydın: Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı.

- İlkılıç, C. ve Deviren, H. (2011). Biyogazın Üretimi ve Üretimi Etkileyen Faktörler. 6th *International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 Mayıs, Elâzığ, 144-149.
- İster, N. (2020). *Bozcaada'da Rüzgâr ve Güneş Enerji Kaynakları ile Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Homer ile İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, Enerji Yüksek Lisans Programı.
- Karagöl, E., T. (2017). Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji. *SETA-Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı, Analiz*, Nisan 2017, Sayı:197. <https://setav.org/assets/uploads/2017/04/YenilenebilirEnerji.pdf> (Erişim: 11.09.2022)
- Keskin, Ş. (2018). Güneşin Yapısı ve Özellikleri, Mühendis Beyinler. <https://www.muhendisbeyinler.net/gunesin-yapisi-ve-ozellikleri/> (Erişim: 28.04.2021)
- Kocakuşak, R. (2018). *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisinin, Türkiye'deki Önemi ve GES Kurulum Araştırması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisan Tezi. İstanbul: Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, İşletme Programı.
- Korkmaz, E., E. (2016). *İnönü Üniversitesinin Elektrik İhtiyacının Hibrid Sistemle Modellemesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Malatya: İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Küçükgoze, O., M. (2016). *Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisan Tezi. Erzincan: Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Mahanta, P., Saha, U.K., Dewan, A., Kalita, P. ve Buragohain, B. (2005). Biogas Digester: A Discussion on Factors Affecting Biogas Production and Field Investigation of a Novel Duplex Digester, *SESI Journal*, 15(2), 1-12.
- Maltaş, M. (2017). Manisa İli için 1 MW Güneş Enerjisi Santral Fizibilitesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisan Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Mamun M. R. A. ve Torii S. (2017). Enhancement of Methane Concentration by Removing Contaminants from Biogas Mixtures Using Combined Method of Absorption and Adsorption. *Hindawi International Journal of Chemical Engineering*, ID 7906859, 1-9.
- MEGEP (2008). Denizcilik, Aküler. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Aküler.pdf (Erişim:30.10.2022)

- Oral, M. (2020). Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve PV² Uygulamalarının Yerel Ölçekte Değerlendirilmesi: Karabük İli Örneği. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 42, 482-503.
- Özbaşer, F. T. ve Erdem, E. (2013) Biyogaz Üretimi ve Kullanımı. *Lalahan Hay. Araşt. Enst. Derg.*, 2013, 53 (2) 115-124.
- Özcan, H. (2009). *Bir Hibrid Sisteminin Modellenmesi ve Analizi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özdemir, D. (2022). Transparent solar panels on greenhouses can help farmers reduce their carbon footprint, interestingengineering.com, <https://interestingengineering.com.translate.goog/innovation/transparent-solar-panels-on-greenhouses? x tr sl=en& x tr tl=tr& x tr hl=tr& x tr pto=sc> (Erişim: 9.12.2022)
- Öztürk, C. (2020). *Güneş Enerji Sistemlerinde Verim Analizi ve Enerji Kayıplarının Tespiti*. Yayınlanmamış Yüksek Lisan Tezi. İstanbul: Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Çevre Bilimleri ve Enerji Yönetimi.
- Öztürk, H. (2021). *Bir Güneş Enerji Santralinin Üretim ile Simülasyon Değerinin Karşılaştırılması ve Kayıp Analizi: Beştepe Enerji Örneği*. Yayınlanmamış Yüksek Lisan Tezi. Gaziantep: Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Enerji Yönetimi.
- Öztürk, H., H. (2022). Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimli ve Etkili Etmenler. emo.org.tr, https://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf (Erişim: 11.09.2022)
- Öztürk, M. (2017). Hayvan Gübresinden Biogaz Üretimi. *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*. 3-69.
- Pramanik, S. K., Suja, F.B., Pramanik, K.B. ve Zain, S.B.M. (2018). Opportunity of Biogas Production from Solid Organic Wastes through Anaerobic Digestion, *E3S Web of Conferences* 65, 05025, s. 1-10.
- Shetty, S. (2023). Adani Green Energy Operationalises World's Largest 700-MW Wind-Solar Hybrid Power Plant in India. Solarquarter.com. <https://solarquarter.com/2023/03/03/adani-green-energy-operationalises-worlds-largest-700-mw-wind-solar-hybrid-power-plant-in-india/#:~:text=The%20project%2C%20located%20in%20Jaisalmer,3.24%2Fkwh%20for%2025%20years>. (Erişim: 15.05.2023).
- Şençiçek, H. (2017). *Yüzer ve Arazi Kurulumu Fotovoltaik Sistemlerin Teknik ve Ekonomik Açidan İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisan Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, Enerji Bilim ve Teknoloji Programı.

- Şenol, H., Elibol, E. A., Açikel, Ü. Ve Şenol, M. (2017). 2016'da Türkiye'de Kanatlı Hayvanlardan Üretilebilecek Biyogaz ve Elektrik Enerji Potansiyeli. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 1-11.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetim Genel Müdürlüğü. (2010). Biyogaz Kılavuzu, Üretimden Kullanıma. 9-243.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2022). Yenilenebilir Enerji, Güneş. Enerji.gov.tr <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> (Erişim: 9.12.2022)
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2020). Eskişehir İli Tarım ve Hayvancılık Faaliyetlerinden Kaynaklanan Atıklardan Enerji Üretimi. <https://www.investineskisehir.gov.tr/wp-content/uploads/2021/04/eskisehir-ili-tarim-ve-hayvancilik-faaliyetlerinden-kaynaklanan-atiklardan-enerji-uretimi-projesi-on-fizibilite-raporu2020.pdf> (Erişim: 11.05.2023)
- T.C. Sarıcakaya Kaymakamlığı (2022). Tarihçe. <http://www.saricakaya.gov.tr/tarihce> (Erişim: 27.05.2022)
- Taşıyanlar (2022). Isuzu Çatı Enerjisine Geçti. Taşıyanlar Ticari Taşıtlar Dergisi. <https://tasiyanlar.com/en-yeniler/isuzu-cati-enerjisine-gecti.html> (Erişim: 9.12.2022)
- Tekin, B. (2013). Güneş'in Yanması, Bilim ve Teknik, metu.edu.tr, [Erişim: 28.04.2021, http://www.physics.metu.edu.tr/~btekin/gunesin_yanmasi.pdf]
- The Eco Ambassador (2020). Biogas Purification! <https://www.theecoambassador.com/biogaspurification.html> (Erişim: 24.12.2020)
- Torunoğlu Gedik, Ö., (2015). *Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkileri*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Bilimler ve Mühendisliği Programı.
- Tunçer, C. (2021). Dünyanın en büyük deniz üstü güneş enerjisi çiftliklerinden birisi kuruldu. Log.com.tr, <https://www.log.com.tr/dunyanin-en-buyuk-deniz-ustu-gunes-enerjisi-ciftliklerinden-birisi-kuruldu/> (Erişim: 9.12.2022)
- Türk, H., Nacar Koçer, N. ve Kaya Hanay, Ö. (2015). Elâzığ İli'nde Faaliyet Gösteren Tavuk Çiftliklerinde Atıklardan Elde Edilebilecek Enerji Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27 (1), 1-7.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (2021). Elektrik İstatistikleri, Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri. <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> (Erişim: 02.05.2023)
- Türkiye İstatistik Kurumu (2022). Gösterge Uygulaması. <https://biruni.tuik.gov.tr/ilgosterge/?locale=tr> (Erişim: 27.05.2022)

- Varınca, K., B., Gönüllü, M., T. (2006). Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yönetimi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma. *UGHEK’2006: I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir: ESOGÜ, 21-23 Haziran,
- Wei, L. (2022). China set open world’s largest hybrid Energy plant in 2023. CGTN <https://news-cgtn-com.translate.goog/news/2022-10-01/China-set-to-open-world-s-largest-hybrid-energy-plant-in-2023-1dLLxnhKDbW/index.html? x tr sl=en& x tr tl=tr& x tr hl=tr& x tr pto=sc> (Erişim: 15.05.2023).
- World Bioenergy Association (2022). Global Bioenergy Statistics 2022. <https://www.worldbioenergy.org/uploads/221223%20WBA%20GBS%202022.pdf> (Erişim: 11.05.2023)
- Yağlı, H. ve Koç, Y. (2019). Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Adana İli Örnek Hesaplama. *Çukurova Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 34(3), 35-48.
- Yılmaz, A. (2012). *Türkiye’de Sektörel Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler ve Alternatif Enerji Politikaları*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Aydın: Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı.
- Yılmaz, A. (2019). Türkiye’de Biyogaz Üretimi ve Kurulu Santrallerin Ürettiği Elektrik Enerjisi. *Ecological Life Sciences*, ISSN:1308 7258 (NWSAELS), 14(1),12-28.
- Yılmaz, E., A., Öziç, H., C. (2018). Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Gelecek Hedefleri, *Ordu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 8(3), ISSN:1309-9302, S. 525-535.
- Yokuş, İ. (2011). *Sivas İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyeli*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- http-1:** <https://solaravm.com/solar-gunes-paneli> (Erişim:11.09.2022)
- http-2:** <https://www.sunergi.co.id/en/off-grid-system/> (Erişim:11.10.2022)
- http-3:**<https://premierenergy.com.pk/how-on-grid-solar-system-works-in-pakistan/> (Erişim:11.10.2022)
- http-4:**<https://www.solarsanalmarket.com/blog/icerik/solar-proje-nedir> (Erişim: 9.12.2022)
- http-5:**<https://avenston-com.translate.goog/en/services/commercial-pv/applications/greenhouse/? x tr sl=en& x tr tl=tr& x tr hl=tr& x tr pto=sc> (Erişim: 9.12.2022)
- http-6:** <http://www.tirebiyogaz.com/index.html> (Erişim: 11.05.2023)
- http-7:** <https://afyonenerji.com.tr/#galeri> (Erişim: 11.05.2023)

http-8: <https://www.arfbio.com/tr/bio-enerji.php> (Erişim: 11.05.2023)

http-9: [Enfaş \(enfas.com.tr\)](https://www.enfas.com.tr) (Erişim: 11.05.2023)

http-10: <https://www.mercomindia.com/adani-develop-wind-solar-hybrid-renegotiated-tariff> (Erişim: 15.05.2023)

http-11: <https://www.trthaber.com/haber/ekonomi/turkiyenin-ilk-avrupanin-en-buyuk-hibrit-enerji-santrali-627144.html> (Erişim: 15.05.2023).

http-12: <https://www.dunya.com/sektorler/enerji/zorlu-enerji-kurdugu-hibrit-enerji-santraliyle-yilda-6-milyon-kwh-enerji-uretimi-saglayacak-haberi-691208> (Erişim: 15.05.2023).

http-13: Gezicini.com (2022). Sarıcakaya Gezilecek Yerler. <https://gezicini.com/saricakaya/> (Erişim: 22.11.2022)

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0001-5496-4815

Ad Soyad : Harun KAYNARCA

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2021, Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitü, Enerji Yönetimi Anabilim Dalı, (Tezsiz/Yüksek Lisans)
- 2014, Memur, Hava Kuvvetleri Komutanlığı, İstikam Taburu

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Kaynarca, H., Kılıç, T., Açıkkalp, E., Yerel Kandemir, S. (2021). Eskişehir'in Biyogaz Potansiyelinin Değerlendirilmesi. Coğrafya Dergisi, Sayı:42, 271-282.