

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ŞANLIURFA İLİNDE BİR BİYOGAZ SANTRALİNİN ÜRETİM KAYIPLARINI
TELAFİ ETMEK İÇİN FOTOVOLTAİK TABANLI YARDIMCI KAYNAK VE
SİSTEMLERİN KULLANIMI**

Merve CİNİVİZ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

**ŞANLIURFA
2024**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Yenilenebilir Enerjide İstatiksel Veriler	3
1.2. Biyokütle Enerjisi	5
1.3. Türkiye’de Biyokütle Enerjisi	6
1.4. Güneş Enerjisi	10
1.5. Türkiye’de Güneş Enerjisi	11
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	13
3. MATERYAL ve YÖNTEM	19
3.2. Materyal	19
3.2.1. Şanlıurfa’da mevcut biyokütle ve güneş enerjisi potansiyeli	19
3.2.2. Biyogaz santrali	22
3.2.2.1. Biyogaz	22
3.2.2.2. Çöp gazı	24
3.2.2.3. Biyogaz jeneratör seti	25
3.2.3. Fotovoltaik sistemler	28
3.2.3.1. Güneş panelleri	28
3.2.3.2. Bataryalar ve şarj kontrol cihazları	29
3.2.3.3. Inverterler	30
3.3. Yöntem	31
3.3.1. HOMER yazılımı	31
3.3.2. Hibrit sistem tasarımı	32
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	37
4.1. Hibrit Enerji Sisteminin Benzetimi	37
4.2. Hibrit Enerji Sisteminin Optimizasyonu	37
4.3. Hibrit Enerji Sisteminin Hassasiyet Analizi	38
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	41
5.1. Sonuçlar	41
5.2. Öneriler	42
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	48

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ŞANLIURFA İLİNDE BİR BİYOGAZ SANTRALİNİN ÜRETİM KAYIPLARINI TELAFİ ETMEK İÇİN FOTOVOLTAİK TABANLI YARDIMCI KAYNAK VE SİSTEMLERİN KULLANIMI

Merve CİNİVİZ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Hasari KARCI
Yıl: 2024, Sayfa: 48

Biyogaz santrallerinde kullanılan biyogaz jeneratörleri elektrik dağıtım şebekesi ile senkronize bir şekilde çalışır. Şebekede yaşanan arızalar sonucunda oluşan gerilim dalgalanmaları biyogaz jeneratörlerinde ani duruşlara neden olur. Ani duruşlar biyogaz jeneratörünün zarar görmesine ve elektrik üretiminin kesintiye uğramasına neden olur. Bu tezde Şanlıurfa ilindeki bir biyogaz santralinin enerji ihtiyacını kesintisiz olarak karşılamak için biyogaz santrali ve fotovoltaik sistemden oluşan hibrit bir sistemin tasarım ve analizi yapılmıştır. Hibrit sistem ile biyogaz santrali enerji ihtiyacını FV sistemden karşılar ve şebeke kesintilerinde çalışmaya devam eder. Hibrit sistemin simülasyon, optimizasyon ve hassasiyet analizleri HOMER yazılımı ile yapılmıştır. Optimizasyon ile hibrit sistem bileşenlerinin optimum şekilde kullanılarak minimum maliyet elde edilmesi hedeflenmiştir. Hassasiyet analizi ile hibrit sistemde kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları olan solar radyasyon ve biyokütle miktarındaki değişimin sistem üzerindeki etkisi incelenmiştir. Hibrit sistemin 25 yıl sonundaki net maliyeti \$509,047 yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı ise %97,3 olarak bulunmuştur. Yapılan tasarım ve analizler sonucunda hibrit sistemin uygulanabilir olduğu ve yenilenebilir enerji kaynaklarını etkin bir şekilde kullandığı sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Biyogaz, FV sistemler, yenilenebilir enerji, HOMER yazılımı, hibrit sistemler, biyogaz jeneratörü

ABSTRACT

MSc Thesis

USE OF PHOTOVOLTAIC BASED AUXILIARY RESOURCES AND SYSTEMS TO COMPENSATE PRODUCTION LOSSES OF A BIOGAS PLANTS IN ŞANLIURFA PROVINCE

Merve CİNİVİZ

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering**

**Supervisor: Dr. Hasari KARCI
Year: 2024, Page: 48**

Biogas generators used in the biogas power plant works synchronously with the electricity distribution grid. Voltage fluctuations resulting from faults in the grid cause sudden stop of the generator. Sudden stops cause damage to the biogas generator and interruption of electricity production. In this thesis, a hybrid system, consisting of a biogas power plant and a photovoltaic system, was designed and analyzed for a biogas plant to meet energy needs without interruption in Şanlıurfa. With hybrid system, the biogas power plant meets its electricity needs from the PV system and continues to work during grid interrupt. Simulation, optimization and sensitivity analysis of the hybrid system made with HOMER software. Optimization aims to achieve minimum cost by using hybrid system components optimally. With the sensitivity analysis, the effect of the change in the amount of solar radiation and biomass, which are renewable energy sources used in the hybrid system, on the system was examined. The net cost of the hybrid system at the end of 25 years is \$509,047 the usage rate of renewable energy resources was found to be 97.3%. As a result of the design and analysis, it was concluded that the hybrid system is applicable and uses renewable energy resources effectively.

KEY WORDS: Biogas, PV systems, renewable energy, HOMER software, hybrid systems, biogas generator

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans ders sürecimde ve tez çalışmamın konusunu seçmemde ve başlamamda bana yardımcı olan, bu süreçte benden desteklerini esirgemeyen ilk danışman hocam sayın Prof. Dr. M. Tahir Güllüoğlu'na danışmanlığı için çok teşekkür ediyorum Tez çalışmamın uygulama, araştırma ve geliştirme sürecinin her aşamasında değerli bilgilerini ve zamanını benden esirgemeyerek destek veren, vermiş olduğu değerli bilgiler ve uzman görüşleri ile gelişimime katkıda bulunarak desteklerini esirgemeyen danışman hocam sayın Dr. Öğretim. Üyesi Hasari Karci'ya danışmanlığı için çok teşekkür ediyorum. Değerli vakitlerini ayırarak tez savunmama katılan ve yapıcı eleştirileri ile tezimi son şekline getirmemi sağlayan değerli hocalarım sayın Doç. Dr. Taner İnce ve sayın Dr. Öğretim. Üyesi Nurettin Beşli 'ye teşekkür ederim. Yüksek lisans süreci boyunca her zaman yanımda olarak motive olmamı sağlayan benden desteklerini esirgemeyen Ali Kubat'a ve Aileme çok teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Biyokütlenin enerjiye çevrim yöntemleri (ETKB, 2022).....	6
Şekil 1.2. Biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu gücün yıllara göre değişimi (ETKB, 2022).....	7
Şekil 1.3. Biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu gücün, toplam kurulu güç içindeki oranları (ETKB, 2022).....	7
Şekil 1.4. Biyokütle kaynaklı lisanssız elektrik üretimi yapan santrallerin illere göre dağılımı (BEPA, 2022).....	9
Şekil 1.5. Biyokütle kaynaklı lisanslı elektrik üretimi yapan santrallerin illere göre dağılımı (BEPA, 2022).....	9
Şekil 1.6. Biyokütle kaynaklı lisanssız elektrik üretimi yapan santrallerin ilçelere göre dağılımı (BEPA, 2022).....	9
Şekil 1.7. Biyokütle kaynaklı lisanslı elektrik üretimi yapan santrallerin ilçelere göre dağılımı (BEPA, 2022).....	10
Şekil 1.8. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli haritası (GEPA, 2022).	11
Şekil 1.9. Türkiye Global Radyasyon Değerleri (GEPA, 2022).	12
Şekil 1.10. Türkiye 'de güneşlenme sürelerinin aylara göre dağılımı (GEPA, 2022).	12
Şekil 3.1. Şanlıurfa Güneş Enerjisi Potansiyeli haritası (GEPA, 2022).	20
Şekil 3.2. Şanlıurfa ilinin Merkezine ait global radyasyon değerlerinin aylara göre dağılımı (GEPA, 2022).....	21
Şekil 3.3. Şanlıurfa ilinin Merkezine ait güneşlenme sürelerinin aylara göre dağılımı (GEPA, 2022).....	22
Şekil 3.4. Biyogazın oluşum sürecini özetleyen blok diyagram	23
Şekil 3.5. Biyogaz Santrallerinde çöp gazının oluşumundan, üretilen elektriğin şebekeye verilmesine kadar geçen süreç	26
Şekil 3.6. MWM marka TCG2020 V16 model gaz motorunun temel bileşenleri (MWM üretici kataloğu).	26
Şekil 3.7. MWM marka TCG2020 V16 model gaz motorunun sol tarafında bulunan sensör, ünite ve ekipmanlar (MWM üretici kataloğu).	27
Şekil 3.8. MWM marka TCG2020 V16 model gaz motorunun sağ tarafında bulunan sensör, ünite ve ekipmanlar (MWM üretici kataloğu).	27
Şekil 3.9. FV hücre, modül ve dizi tasarımları (Alici, 2022).....	29
Şekil 3.10. Simülasyon, hassasiyet analizi ve optimizasyon işleminin tanımını içeren blok diyagram	32
Şekil 3.11. Hibrit enerji sisteminin genel modeli.....	34
Şekil 3.12. Şanlıurfa solar radyasyon ve açıklık endeksi verileri grafiği.....	35
Şekil 3.13. Şanlıurfa için biyokütle miktarının aylara göre dağılımı	35
Şekil 3.14. Biyogaz santralının güç tüketiminin aylara göre dağılımı.....	36
Şekil 3.15. Fabrikanın güç tüketiminin aylara göre dağılımı.....	36
Şekil 4.1. Hibrit enerji sistem modeli.....	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. 2022 Yılı Ağustos Ayı Sonu İtibariyle Lisanslı Elektrik Kurulu Gücünün Kaynak Bazında Dağılımı Ve 2021 Yılı Ağustos Ayı Değeriyle Karşılaştırılması (MW-%).....	4
Çizelge 1.2. TEİAŞ tarafından yayınlanan 2022 yılı Ekim ayı lisanslı & lisanssız üretim yapan santrallerin adedi ve kurulu gücü	5
Çizelge 1.3. Türkiye’de Biyokütle kaynaklarının miktarı ve teorik/ekonomik.....	8
Çizelge 3.1. Biyometanizasyona uygun atıkların miktarı ve bu atıkların enerji eşdeğeri (BEPA, 2022).	20
Çizelge 3.2. MWM marka TCG2020 V16 model gaz motorunun etiket bilgileri.....	27
Çizelge 3.3. Hibrit sistem bileşenleri	34
Çizelge 4.1. Optimizasyon Sonuçları.....	38
Çizelge 4.2. Hassasiyet analizi sonuçları	39

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternating Current (Alternatif Akım)
AH	Ampere Hour (Amper Saat)
BEPA	Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası
°C	Santigrat derece
CH ₄	Metan
CH ₃ COOH	Asetat
CH	Hidrokarbon
CO ₂	Karbondiyoksit
CO	Karbon monoksit
DC	Direct Current (Doğru Akım)
EPİAŞ	Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi
ETKB	Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FV	Fotovoltaik
GENSET	Generator Set (Jeneratör Seti)
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
H ₂	Hidrojen
HOMER	Hybrid Optimization Model for Electric Renewable
HRES	Hybrid Renewable Energy Systems
H ₂ S	Hidrojen sülfür
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
LCOE	Levelized Cost of Energy (Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti)
LFG	Landfillgas (Çöp Gazı)
m ²	Metrekare
MSW	Municipal Solid Waste (Belediye Katı Atık)
MW	Megawatt
MWh	Megawatt saat
NH ₄	Amonyum
NM	Net Maliyet
NO ₃	Nitrat
NO _x	Azot oksit
NPC	Net Present Cost (Net Şimdiki Maliyet)
N	Azot
O ₃	Ozon
SEM	Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti
SM	Sermaye Maliyeti
SO ₂	Kükürt dioksit
SO ₄ ²⁻	Sülfat
T.C.	Türkiye Cumhuriyeti
TCG	Turbocharger (Turboşarj)
TEP	Teorik Enerji Potansiyeli
V	Volt
W	Watt
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Destekleme Mekanizması
YEKO	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanım Oranı

1. GİRİŞ

Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile beraber enerjiye duyulan ihtiyaç artmıştır. Artan enerji ihtiyacıyla beraber enerji üretimi için kullanılan yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları önem kazanmıştır. Yenilenemez enerji kaynaklarından olan kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtların enerji üretiminde kullanımı yaygındır ancak bunun bazı olumsuz sonuçları vardır. Fosil yakıtların yanması sonucunda oluşan karbon dioksit (CO₂), azot oksit (NO_x), kükürt dioksit (SO₂), karbon monoksit (CO), Ozon (O₃), sülfat (SO₄²⁻), nitrat (NO₃⁻) gibi bileşenler atmosfere karışarak küresel ısınma, ozon tabakası delinmesi, asit yağmurları gibi çevre sorunlarına neden olurlar (Kavoosi, 2021). Çevresel sorunlara ek olarak fosil yakıtların tükenmekte oluşu enerji üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi arttırmıştır (Üney ve Çetinkaya, 2014). Fosil yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması, fosil yakıtların sebep olduğu çevresel sorunları azaltabilir. Yenilenebilir enerjinin başlıca kaynakları; güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerjisi, dalga enerjisi ve jeotermal enerjidir. Yenilenebilir enerji kaynakları temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarıdır.

İnsan faaliyetlerinin ve doğal yaşamın artık ürünü olarak oluşan biyokütle yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir yer tutar. Biyokütle enerjisi; biyokütle kaynaklarının fiziksel ve kimyasal süreçlere uğraması sonucunda elde edilen enerjidir. Başlıca biyokütle kaynakları; belediye atıkları, biyolojik kökenli endüstri atıkları, bitkisel yağ atıkları, tarımsal atıklar, orman ve ormancılık endüstrisi atıkları ve hayvansal atıklardır (Aslantaş, 2018). Biyogaz biyokütle kaynaklarının biyometanizasyon olarak adlandırılan kimyasal bir sürece uğraması sonucunda elde edilir. Biyogazın içinde bulunan metan (CH₄) gazı karbondioksit göre 80 kat daha fazla sera gazı etkisi oluşturması sebebi ile biyogazın biyogaz santrallerinde enerji kaynağı olarak kullanılması ile karbon emisyonları ciddi ölçüde azalır (Gu, 2021).

Türkiye’de bulunan biyokütle santrallerinin toplam kurulu gücü Eylül-2023 için 2.049,15 MW’tır (EPDK, 2023). Biyogaz santralleri elektrik şebekesi ile senkronize bir şekilde çalışırlar ve elektrik tüketimlerini çoğunlukla elektrik şebekesinden karşılarlar. Bu biyogaz santrallerinde yaşanan önemli problemlerden biri elektrik şebekesinde meydana gelen kesinti ve gerilim dalgalanmaları nedeniyle üretimin kesintiye uğraması ve bu kesintilerin sonucu olarak biyogaz santrallerinde bulunan biyogaz jeneratörlerinin ani duruşları ile biyogaz jeneratörleri ve jeneratörlere ait yardımcı sistemlerin zarar görmesidir. Bu problemi çözmek için uygulanması gereken yöntemlerden biri biyogaz jeneratörü enerji beslemesinin kesintisiz olacak şekilde tasarlanmasıdır. Bu amaçla Hybrid Renewable Energy Systems (HRES) olarak adlandırılan birden fazla yenilenebilir enerji kaynağının kullanıldığı sistemler geliştirilmiştir (Ghasemi ve ark. (2013); Pradhan ve ark., 2013; Salehin ve ark., 2014; Tanim ve ark., 2014; Ramli ve ark., 2015; Adaramola ve ark., 2014; Sigarchian ve ark., 2015; Ghenai ve Janajreh, 2016; Bahramara ve ark., 2016; Shahzad ve ark., 2017; Rajbongshi ve ark., 2017; Rummeny ve Waffenschmidt., 2018; Tazvinga ve Dzobo, 2019; Allouhi ve ark., 2021; Badruhisam ve ark., 2021; Tabak, 2021; Kaur ve ark., 2022; Güven ve Hatipoğlu, 2022; Güven ve Mete, 2022). Biyogaz santrali HRES ile elektrik tüketimini farklı bir yenilenebilir enerji kaynağından karşılar ve şebekede meydana gelen kesintilerde biyogaz santrali çalışmaya devam eder. Şebeke kesintisi durumunda biyogaz jeneratöründe enerji üretiminin devam edebilmesi için sisteme harici tüketici veya tüketicilerin eklenmesi gereklidir. Biyogaz santralının bağlı olduğu elektrik şebekesinin güç kesicisinin açılması durumunda biyogaz jeneratörü çalışmaya sistemdeki tüketiciler de biyogaz jeneratöründen beslenmeye devam eder.

Bu tezde biyogaz santrallerinde yaşanan ani duruşlardan dolayı oluşan zararları ve üretim kayıplarını azaltmak için elektrik tüketim ihtiyacını fotovoltaik (FV) güneş enerjisi sisteminden karşılayarak çalışan biyogaz santralinden oluşan hibrit bir sistemin tasarım ve analizi yapılmıştır. Tasarlanan hibrit sistemin temel bileşenleri; biyogaz jeneratörü, güneş panelleri, solar batarya ve hibrit inverterdir. Hibrit sistemin tasarım ve analizi hibrit sistemler için geliştirilmiş Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER) yazılımı ile yapılmıştır (Pradhan ve ark., 2013;

Salehin ve ark., 2014; Tanim ve ark., 2014; Ramli ve ark., 2015; Adaramola ve ark., 2014; Sigarchian ve ark., 2015; Ghenai ve Janajreh, 2016; Bahramara ve ark., 2016; Shahzad ve ark., 2017; Rajbongshi ve ark., 2017; Tazvinga ve Dzobo, 2019; Allouhi ve ark., 2021; Tabak, 2021; Kaur ve ark., 2022; Güven ve Hatipoğlu, 2022; Güven ve Mete, 2022; HOMER, 2022).

1.1. Yenilenebilir Enerjide İstatiksel Veriler

Fosil yakıtların giderek tükenmesi ve oluşturdukları sera etkisi nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları destekleme mekanizması (YEKDEM) kapsamında yatırımcılara verdiği destek ile yenilenebilir enerji kullanımını daha fazla arttırmayı hedeflemiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak elektrik üretimi yapan lisans sahibi tesislerde belirlenen ve her sene güncellenen fiyat tarifeleri üzerinden üretilen elektrik için YEKDEM kapsamında alım garantisi verilir (Güler ve Yumurtacı, 2021).

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları ve fosil yakıtlardan üretilen enerji oranları ve bu kaynaklardan üretilen toplam kurulu güç EPDK tarafından düzenli olarak yayınlanır. EPDK tarafından yayınlanan Elektrik Piyasası Aylık Sektör Raporu Listesinde bulunan 2022 yılı ağustos ayına ait lisanslı elektrik kurulu gücünün kaynak bazında dağılımı ve 2021 ağustos ayı ile karşılaştırılması Çizelge 1.1. de verilmiştir (EPDK, 2022).

Çizelge 1.1. 2022 Yılı Ağustos Ayı Sonu İtibariyle Lisanslı Elektrik Kurulu Gücünün Kaynak Bazında Dağılımı Ve 2021 Yılı Ağustos Ayı Değeriyle Karşılaştırılması (MW-%)

Kaynak Türü	2021 Ağustos		2022 Ağustos		Değişim
	Kurulu Güç (MW)	Oran (%)	Kurulu Güç (MW)	Oran (%)	
Doğalgaz	25.495,44	27,95	25.207,9	26,85	-1,13
Barajlı Hidrolik	23.272,92	25,52	23.275,23	24,79	0,01
Rüzgâr	9.943,24	10,90	11.055,50	11,77	11,19
Linyit	10.119,92	11,10	10.136,52	10,80	0,16
İthal Kömür	8.995,35	9,86	9.713,80	10,35	7,99
Akarsu	8.157,03	8,94	8.276,55	1,81	1,47
Biyokütle	1.343,75	1,47	1.726,04	1,84	28,45
Jeotermal	1.650,17	1,81	1.686,34	1,80	2,19
Güneş	753,11	0,83	1.310,64	1,40	74,03
Taş Kömürü	810,77	0,89	840,77	0,90	3,70
Asfaltit	405,00	0,44	405,00	0,43	0,00
Fuel Oil	251,93	0,28	251,93	0,27	0,00
Nafta	4,74	0,01	4,74	0,01	0,00
LNG	1,95	0,00	1,95	0,00	0,00
Motorin	1,04	0,00	1,04	0,00	0,00
Toplam	91.206,34	100,00	98.893,94	100	2,95

Çizelge 1.1. de görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen kurulu güç fosil yakıtlardan elde edilen kurulu güce göre daha fazla artış göstermiştir. 1 senede kurulu gücü en fazla artış gösteren enerji kaynağı, güneş enerjisinden (%74,03) sonra biyokütle enerjisi (%28,45) olmuştur. Fosil yakıtları ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak elektrik üretimi yapan lisanslı ve lisansız santrallerin adedi ve kurulu gücü ise Çizelge 1.2. de verilmiştir (TEİAŞ, 2022).

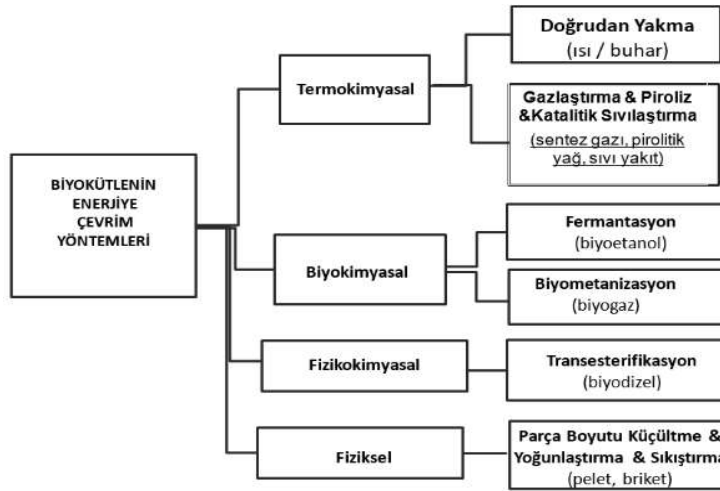
Çizelge 1.2. TEİAŞ tarafından yayınlanan 2022 yılı Ekim ayı lisanslı & lisanssız üretim yapan santrallerin adedi ve kurulu gücü

BİRİNCİL KAYNAKLARA GÖRE SANTRAL ADETLERİ VE KURULU GÜÇ		
Birincil Kaynak	Santral Adedi	Kurulu Güç (MW)
Akarsu	609	8.293,0
Asfaltit Kömür	1	405,0
Atık Isı	95	391,8
Barajlı	141	23.275,2
Biyokütle	383	1.827,2
Doğalgaz	344	25.304,3
Fuel Oil	9	251,9
Güneş	9.203	9.120,4
İthal Kömür	16	10.373,8
Jeotermal	63	1.686,3
Linyit	47	10.191,5
LNG	1	2,0
Motorin	1	1,0
Nafta	1	4,7
Rüzgar	358	11.306,8
Taş Kömür	4	840,8
91.206,34	11.276	103.275,8

Çizelge 1.2. de Türkiye’de bulunan güneş enerjisi santralleri 9.203 adet, bu santrallerin toplam kurulu gücü 9.120,4 MW; biyokütle santralleri 383 adet, bu santrallerin toplam kurulu gücü ise 1.827,2 MW olarak verilmiştir.

1.2. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi; biyokütle kaynaklarının fiziksel ve kimyasal süreçlere uğraması sonucu elde edilen enerjidir. Yenilenebilir ve farklı formlarda ki enerjinin kaynağı olan biyokütlenin hammadde kaynakları; belediye atıkları, biyolojik kökenli endüstri atıkları, bitkisel yağ atıkları, tarımsal atıklar, orman ve ormancılık endüstrisi atıkları ve hayvansal atıklardır (Ayan, 2022). Biyokütle kaynaklarının kimyasal ve fiziksel süreçleri ve sonrasında elde edilen yan ürünler detaylı olarak Şekil 1.1. de verilmiştir (ETKB, 2022).



Şekil 1.1. Biyokütlenin enerjiye çevrim yöntemleri (ETKB, 2022).

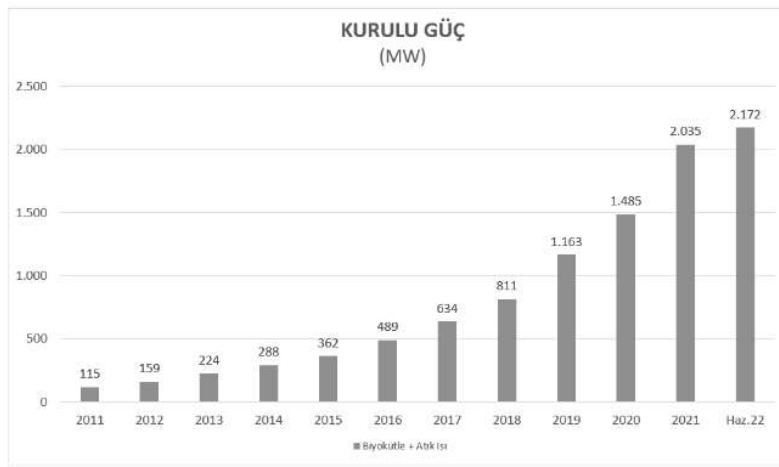
Biyokütlenin biyokimyasal bir süreç olan biyometanizasyona uğraması sonucunda elde edilen biyogazın içinde bulunan metan(CH_4) gazının biyogaz santrallerinde kullanılması ile karbon emisyonları ciddi ölçüde azalmış olur. Ayrıca biyokütle kaynaklarının biyogaz santrallerinde düzenli depolama yapılarak bertaraf edilmesi ile doğayı düzensiz bir şekilde istila eden atıklardan çürüme ile oluşan azot, hidrojen sülfür, amonyak gibi bileşenlerin yer altı sularına karışarak insan sağlığı üzerinde oluşturacağı olumsuz etkiler ve bu bileşenlerin çevrede oluşturacağı kötü kokular önlenmiş olur (Sanz-Bobi et al., 2012). Buna karşılık düzenli bir şekilde depolanan atıkların biyogaz santrallerinde fermente edilerek biyogaz üretilmesi işleminden sonra geriye kalan fermente edilmiş gübre çiftçiler tarafından kullanılabilir değerli bir gübredir (Akkuş, 2018). Bu nedenlerden dolayı biyokütle atıklarının bertaraf edilmesi önemli bir konudur ve doğa, insanlık var olduğu sürece atıklar hep olacağından biyokütle enerjisi sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır.

1.3. Türkiye’de Biyokütle Enerjisi

Türkiye fosil yakıt kaynaklı enerji üretiminde yeterli kaynağa sahip olmaması nedeniyle fosil yakıt konusunda dışa bağımlı bir ülkedir. Buna karşılık Türkiye bulunduğu coğrafi konumu nedeniyle yenilenebilir enerji kaynağı potansiyeli yüksektir ve 4 mevsim belirgin olarak yaşandığından biyo çeşitlilik açısından zengin bir ülkedir (Atik ve ark., 2010). Türkiye’de mevcut ve artan nüfusa bağlı olarak artan

endüstriyel ve kentsel atıkların miktarı ülkeyi biyokütle kaynakları açısından da zengin bir konuma getirir.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yayınlanan biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç **Haziran 2022** sonu itibarıyla 2.172 MW olarak belirtilmiştir. Biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu gücün yıllara göre değişimi ve toplam kurulu güç içindeki oranları Şekil 1.2. ve Şekil 1.3. te verilmiştir (ETKB, 2022).



Şekil 1.2. Biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu gücün yıllara göre değişimi (ETKB, 2022).



Şekil 1.3. Biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu gücün, toplam kurulu güç içindeki oranları (ETKB, 2022).

Şekil 1.2. ve Şekil 1.3. teki oranlardan görüldüğü gibi biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç ve bu gücün toplam kurulu güç içerisinde ki oranları giderek artmaktadır.

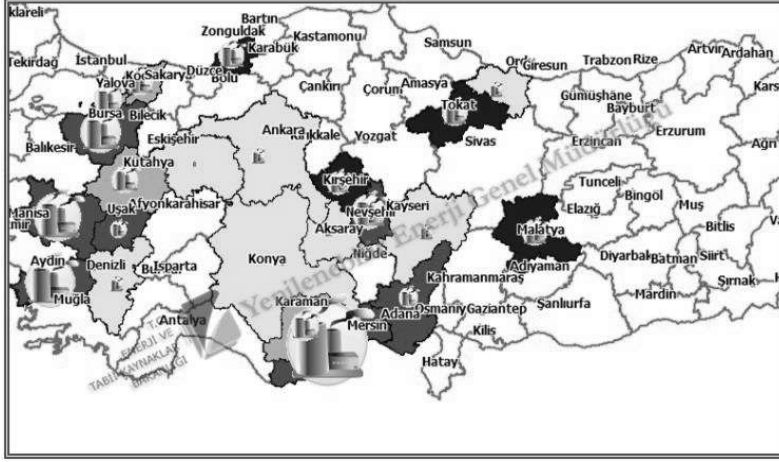
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA) verilerine göre 2022 yılı için Türkiye’de bulunan biyokütle kaynaklarının miktarı ve teorik/ekonomik enerji eşdeğerleri Çizelge 1.3. te verilmiştir. Değerler ETKB tarafından hazırlanan Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası resmi sayfasından alınmıştır. (BEPA, 2022)

Çizelge 1.3. Türkiye’de Biyokütle kaynaklarının miktarı ve teorik/ekonomik enerji eşdeğerleri (BEPA, 2022).

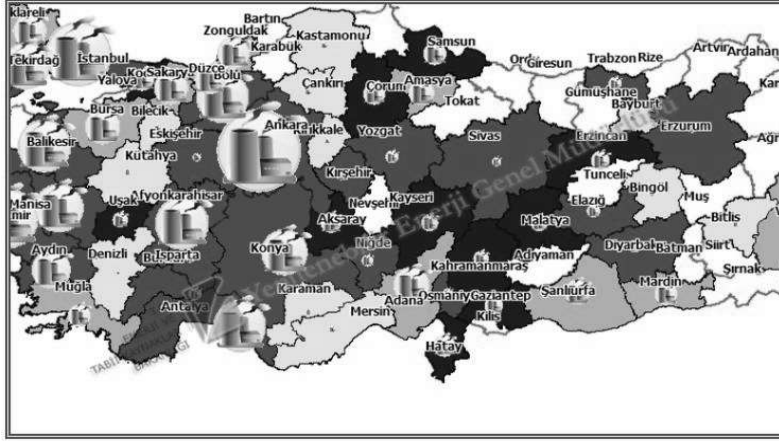
Hayvansal Atık Miktarı(ton/yıl)	193.879.079
Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri(TEP/yıl)	4.385.371
Hayvansal Atıkların Ekonomik Eşdeğeri(TEP/yıl)	1.084.506
Bitkisel Atık Miktarı(ton/yıl)	62.206.754
Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri(TEP/yıl)	25.384.268
Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri(TEP/yıl)	1.462.159
Belediye Atık Miktarı(ton/yıl)	32.170.975
Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri(TEP/yıl)	3.373.011
Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri(TEP/yıl)	485.858

Çizelge 1.3. te görüldüğü gibi hayvansal, bitkisel ve belediye atıklarının yıllık bazda atık miktarları yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu atıkların değerlendirilerek enerji üretiminde kullanılması hem ekonomik hem de çevresel kirlilik sorunlarını önleme açısından önemlidir.

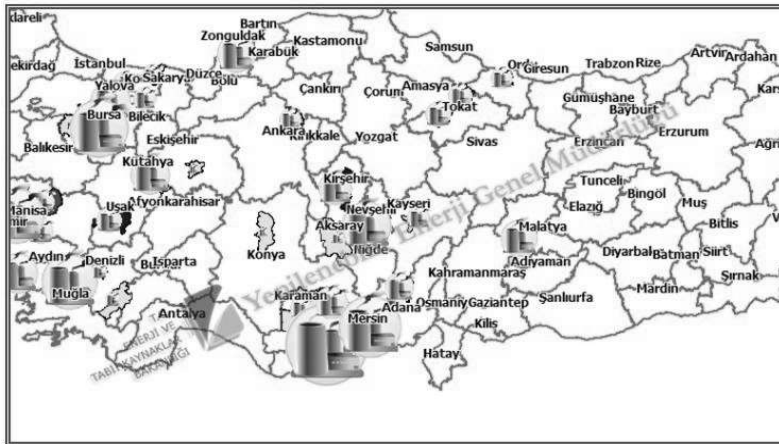
BEPA tarafından yayınlanan Türkiye’de Biyokütle kaynaklı lisanslı ve lisanssız elektrik üretimi yapan santrallerin il ve ilçelere göre dağılımının gösterildiği haritalar Şekil 1.4., 1.5., 1.6. ve 1.7. de gösterilmiştir.



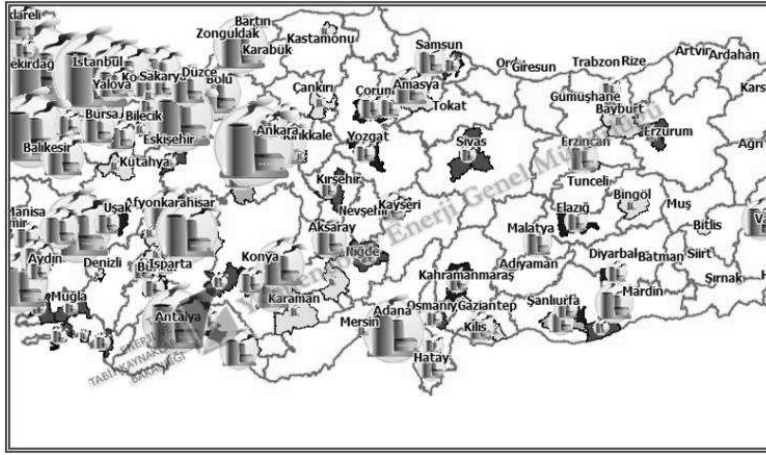
Şekil 1.4. Biyokütle kaynaklı lisanssız elektrik üretimi yapan santrallerin illere göre dağılımı (BEPA, 2022).



Şekil 1.5. Biyokütle kaynaklı lisanslı elektrik üretimi yapan santrallerin illere göre dağılımı (BEPA, 2022).



Şekil 1.6. Biyokütle kaynaklı lisanssız elektrik üretimi yapan santrallerin ilçelere göre dağılımı (BEPA, 2022).



Şekil 1.7. Biyokütle kaynaklı lisanslı elektrik üretimi yapan santrallerin illelere göre dağılımı (BEPA, 2022).

Şekillerden görüldüğü gibi Türkiye’de yaygın bir şekilde biyokütle kaynaklı elektrik üretimi yapılmaktadır.

1.4. Güneş Enerjisi

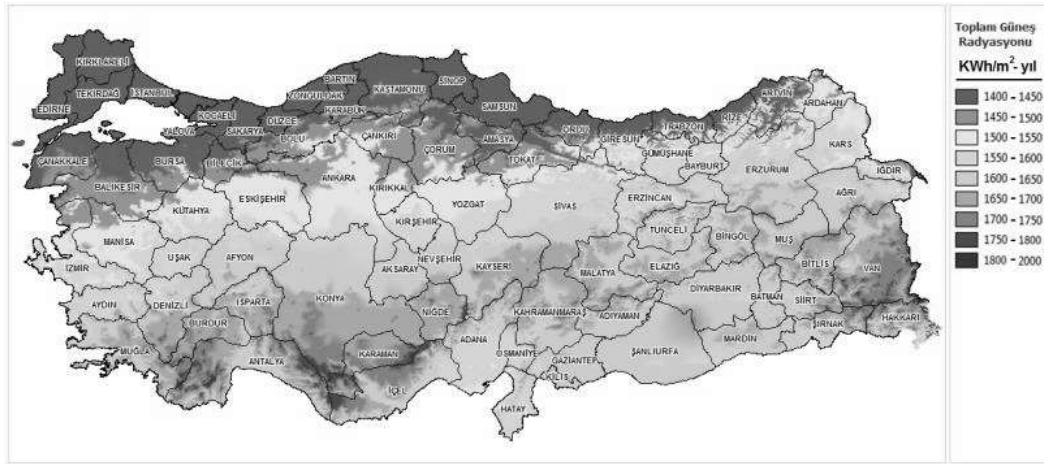
Güneşin çekirdeğinde ki füzyon süreci ile hidrojen gazının helyum gazına dönüşmesi ile ortaya çıkan enerji güneş enerjisi olarak adlandırılır. Güneşten yayılan ışınımın enerjisi yaklaşık $3,9 \times 10^{26} \text{ W}$ ’dır. Güneşten yayılan ışınım enerjisinin dünyamıza gelen miktarının bir kısmı atmosferde emilir geri kalan kısmı ise atmosferden yansır. Atmosferde yansıyan bu ışınımın enerjisi 1.367 W/m^2 , yeryüzüne düşen enerji ise 1.100 W/m^2 ’dir (Kılıç, 2015).

Güneş enerjisinden gelen bu yüksek enerji potansiyelinin değerlendirilmesi temiz, sürdürülebilir enerjinin kazanımı için önemlidir. Güneş enerjisi potansiyeli sıcak su elde etmek, ısıtma, uzay teknolojileri, tarımsal teknolojiler ve elektrik üretimi için sıklıkla kullanılmaktadır (Varınca ve Gönüllü, 2006). Güneş enerjisinden elektrik üretebilmek için güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren güneş panelleri kullanılır. Güneş panelleri üst katmanda yansıma önleyici ve kırılmaz malzemeden; alt katmanda ise fotovoltaiik hücrelerden oluşur. Güneşten gelen foton paketleri üst katman tarafından absorbe edilerek fotovoltaiik hücrelere gelir, fotovoltaiik hücreler fotonların enerjisini kullanarak elektrik enerjisine dönüştürür

(Baytar, 2023). Güneş enerjisi güneş var olduğu sürece kullanılabileceğinden sürdürülebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır.

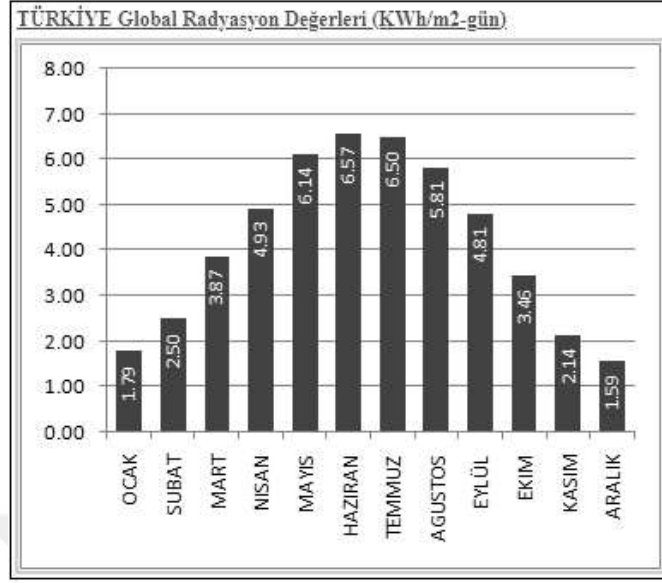
1.5. Türkiye’de Güneş Enerjisi

Türkiye coğrafi konumu itibarıyla yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip bir ülkedir. Türkiye’de yenilenebilir ve çevre dostu enerji üretimlerinin desteklenmesi, artan enerji ihtiyacı, fosil yakıtların giderek tükenmesi ve fosil yakıtlarda dışa bağımlılık, devlet teşvikleri ve güneş enerjisinin kullanım kolaylığı güneş enerjisi potansiyelinin kullanımını giderek arttırmaktadır. Türkiye’deki güneş enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi ve verimli bir şekilde kullanılması için Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından “Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)” hazırlanmıştır. GEPA’ya göre Türkiye’nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat, yıllık toplam ışıınım değeri ise $1.527,46 \text{ kWh/m}^2$ olarak hesaplanmıştır (GEPA, 2022). Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli haritası Şekil 1.8. de, Türkiye Global Radyasyon Değerleri Şekil 1.9. da, Türkiye’de güneşlenme sürelerinin aylara göre dağılımı ise Şekil 1.10. da verilmiştir (GEPA, 2022).

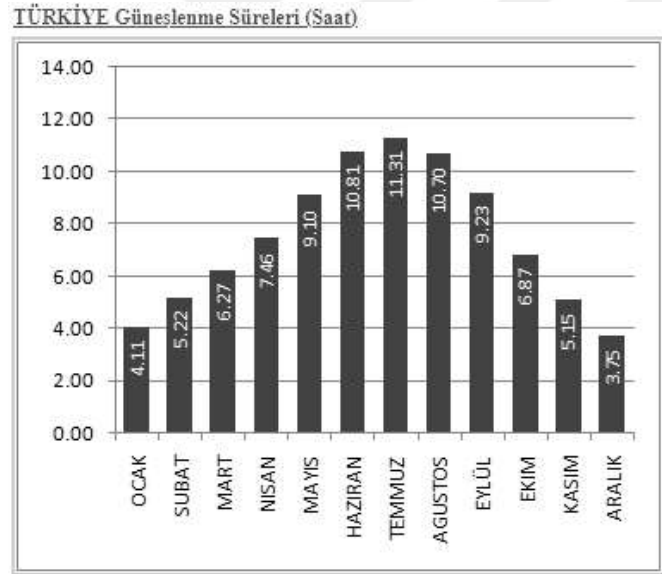


Şekil 1.8. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli haritası (GEPA, 2022).

Şekil 1.8. de Türkiye’de ki illerin güneş radyasyonu miktarı renklerle belirtilmiştir ve her renge karşılık gelen yıllık radyasyon miktarı verilmiştir. Haritaya göre Türkiye’nin büyük bir bölümü yüksek güneşlenme potansiyeline sahiptir.



Şekil 1.9. Türkiye Global Radyasyon Değerleri (GEPA,2022).



Şekil 1.10. Türkiye 'de güneşlenme sürelerinin aylara göre dağılımı (GEPA, 2022).

Şekil 1.9. ve 1.10. da görüldüğü gibi Türkiye’de global radyasyon ve güneşlenme süreleri kış aylarında düşük seyredip yaz aylarında yükselmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu tezde biyogaz santrali ve fotovoltaik sistemden oluşan hibrit yenilenebilir enerji sistemi tasarlanmış ve HOMER yazılımı ile simülasyon ve analizleri yapılmıştır. Tezin çalışma konusu olan hibrit yenilenebilir enerji sistemleri ve HOMER yazılımı ile alakalı yapılan diğer çalışmaların özeti aşağıdaki gibidir.

Pradhan ve ark. (2013), köy gibi şehirden uzak bölgelerde şebekeden bağımsız çalışan FV-Biyokütle hibrit sisteminin elektrik tüketimini karşılamak için verimli olacağını belirtmişlerdir. Makalede uzak bölgelerde elektrik tüketimi için FV-Biyokütle hibrit sistemi modellenmiş ve analizi yapılmıştır. Optimum FV-Biyokütle hibrit sisteminin tasarımı için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Simülasyonları HOMER yazılımında gerçekleştirilen modelin geliştirilmesi için makalede bulunan sonuç ve analizlerin kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Salehin ve ark. (2014), Bangladesh'te 860 kişilik bir nüfusa sahip ve küçük bir ada olan Adorsho Char adası için FV-Biyogaz-Dizel hibrit sistemi sunmuşlardır. Çalışmanın amacı şebeke elektrigiinden yoksun olan bu ada için şebekeden bağımsız enerji sağlamaktır. Adadan toplanan nüfus, elektrik talebi, biyokütle ve güneş enerjisi potansiyeli verileri HOMER yazılımında kullanılarak sistemin modellemesi ve optimizasyonunu yapmışlardır. Toplanan veriler sonrasında talep yükün karşılanması için en uygun sistem bileşenlerini belirlemişlerdir.

Tanim ve ark. (2014), Bangladesh'in uzak bölgelerine enerji tedariki için hem solar hem de biyogaz enerjisini kullanan hibrit bir sistem tasarlamışlardır. Çalışma sahasının mevcut solar ve biyo enerji potansiyelleri araştırılarak yazılım aracılığıyla analiz edilmiştir. Elektrik yükü kırsal alanlarda kullanılan aydınlatma, televizyon ve buzdolabı gibi temel ihtiyaçlar dikkate alınarak hesaplanmıştır. Tasarım ve simülasyonlar HOMER yazılımı ile gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda bu sistemin mevcut güç krizinde uygulanabilecek uygun maliyetli, temiz ve güvenilir bir çözüm olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Adaramola ve ark. (2014), Güney Gana'da bulunan uzak bir bölge için FV-Dizel-Rüzgâr türbini hibrit sisteminin analizini yapmışlardır. Sistem kurulumu için bölgenin güneş enerjisi potansiyeli, rüzgâr hızı gibi bilgiler toplanarak HOMER yazılımında sistemin fizibilitesi ve maliyet analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda bu uygulamanın Güney Gana'da bulunan diğer tüm bölgelere veya bu bölge ile güneş enerjisi potansiyeli ve rüzgâr hızı benzer olan farklı bölgelerde uygulanabilir olduğunu göstermişlerdir.

Kumar ve ark. (2015), Dhanbad'da bulunan bir kampüste her gün 3-4 saat yaşanan elektrik kesintileri için kullanılan dizel jeneratörün çalışma süresini kısaltmak için tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan şebeke bağlantılı hibrit bir sistem önermişlerdir. Hibrit sistemde kampüste günlük olarak oluşan yüksek miktar yemek atıklarını ve bölgede ki yüksek güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek için biyogaz jeneratörü ve fotovoltaik sistem kullanılmıştır. Hibrit sistemin optimum tasarımı için HOMER yazılımı ile analizler yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda önerilen sistemin dizel jeneratörün çalışma süresini kısalttığı; daha tasarruflu ve güvenli olduğunu belirtmişlerdir.

D'Rozario ve ark. (2015), Bangladeş'te elektrik kesintilerini çözerek kesintisiz enerji sağlamak için %100 yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan biyogaz-güneş enerjisi tabanlı hibrit enerji üretim sistemi tasarlamışlardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının değişken doğasından dolayı sürekli yük taleplerini karşılayabilmek için 2 farklı yenilenebilir enerji kaynağı kullanmışlardır. Yapılan tasarım ve analizler sonucunda biyogaz teknolojisi ve güneş enerjisi teknolojisinin birleşiminin birbirini tamamlamak ve kendine yetebilen bir sistem olması açısından olumlu olabileceğini belirtmişlerdir.

Ramli ve ark. (2015), şebekeden bağımsız FV sistemin bileşenlerini en verimli şekilde optimize etmek için gerekli analizleri yapmışlardır. Suudi Arabistan'da bulunan Mekke için optimum FV-İnverter sistemi tasarlanmıştır. Optimum sistemi tasarlamak için belirlenmesi gereken kriterleri tespit etmişlerdir. Tespit edilen

kriterler HOMER yazılımında analiz edilmiştir. Sistemin maliyetini azaltmak için inverter boyutunu daha küçük kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Sigarchian ve ark. (2015), Kenya’da bulunan bir köyün elektrik ihtiyacını karşılamak için FV-Rüzgâr Türbini-Biyogaz motoru birleşiminden oluşan hibrit bir sistem sundular. Bu sistemde rüzgâr gücü ve güneş enerjisinin değişken doğasından ötürü enerji sürekliliği için biyogaz motorunu yedek motor olarak kullanmışlardır. HOMER yazılımını kullanarak dizel motora kıyasla biyogaz motorunun kullanımının tekno-ekonomik analizini yaparak karşılaştırmasını yapmışlardır. Analiz ve karşılaştırmalar sonucunda yedek motor olarak biyogaz motor kullanımının daha iyi bir çözüm olduğu ortaya çıkmıştır. Biyogaz motoru kullanımı sonucunda dizel motora kıyasla CO2 emisyonlarında yılda 17 tonluk bir azalma olacağı belirlenmiştir.

Ghenai ve Janajreh (2016), Sharjah şehrinin elektrik ihtiyacı için FV-biyokütle temelli hibrit sistem tasarlamışlardır. Sharjah şehrindeki yenilenebilir enerji kaynaklarını belirleyerek şehrin elektrik yükünü karşılamak için en uygun konfigürasyonu araştırmışlardır. En uygun sistemi tasarlamak için solar hücreler, biyogaz jeneratörü, batarya, converter, elektrik yükü, solar kaynak, biyokütle kaynağı gibi hibrit sistemi oluşturan bileşenlerin hesaplamaları ve analizini yapmışlardır. Sonuçlar hibrit sistemin şehrin yıllık enerji talebinin %14’lük kısmını karşılayacağı, başlangıç maliyetinin yüksek ancak bakım maliyetlerinin düşük olduğunu göstermiştir.

Bahramara ve ark. (2016), hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin simülasyon ve optimizasyonu için ve birçok araştırmacı tarafından kullanılan bir yazılım olan HOMER yazılımını incelemiş ve bu yazılım için yapılan son araştırmaları sunmuşlardır. Yapılan incelemeler sonucunda Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin kırsal bölgelerde ki ve otel, üniversite, hastane gibi özel şehir bölgelerinde yükü karşılamak için uygun bir çözüm olduğunu sunmuşlardır.

Shahzad ve ark. (2017), kırsal alanlardaki enerji ihtiyacını güvenilir bir şekilde karşılamak için FV-Biyokütle temelli hibrit bir sistemin modelleme ve analizini

yapmışlardır. Pakistan'ın Pencap eyaletinde bulunan Layyah köyündeki elektrik tüketimi ve köydeki biyokütle ve güneş enerjisi potansiyeli verileri alınmıştır. HOMER programında bu veriler doğrultusunda analiz yapılmıştır. Analizler sonucunda tasarlanan hibrit sistemin mali açıdan geleneksel sistemlere göre daha verimli olduğu ve bu uygulamanın tekno-ekonomik açıdan uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin daha verimli ve güvenilir olup hem Pakistan'da devam eden enerji krizinin çözümünde önemli bir rol oynayacağını hem de kırsal alanlarda şebekeden bağımsız enerji tedarikinde etkili olacağını belirtmişlerdir.

Rajbongshi ve ark. (2017), FV-biyogaz-dizel temelli bir hibrit sistem tasarlamış ve bu sistemi farklı yük profilleri için HOMER yazılımı ile optimize etmiştir. Aynı yük profili için off-grid ve on-grid sistemin maliyet karşılaştırmasını yaparak on-grid sistemin maliyetinin daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Rummeny ve Waffenschmidt (2018), çalışmalarında şebeke kesintileri durumunda üretimin devam etmesi için biyogaz jeneratörlerinin devamlılığını sağlamak amacıyla bir fotovoltaik sistem tedariki üzerinde durmuşlardır. Bu sistemin şebekeye ihtiyaç duymadan çalışacağı süreyi araştırmışlar ve 3-20 saat arasında olacağı sonucuna varmışlardır.

Tazvinga ve Dzobo (2019), kırsal alanda bulunan bir kuruma kesintisiz enerji sağlamak için Biyogaz jeneratörü-FV-Batarya sisteminden oluşan hibrit bir sistem önermişlerdir. Hibrit sistemin tasarım ve analizlerini HOMER yazılımı ile yapmışlardır ve önerilen hibrit sistemin kesintisiz enerji sağlayabilecek %100 yenilenebilir enerji sistemi olduğunu belirtmişlerdir. Önerilen sistem ile kırsal ve uzak bölgelerde ki kuruluşlara kesintisiz enerji sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Allouhi ve ark. (2021), Fas'ta kırsal konutlar için şebekeden bağımsız FV-biyogaz temelli hibrit sistem tasarımı yaparak, bu tasarımı enerji verimliliği ve maliyet açısından değerlendirmişlerdir. Tasarlanan sistemin maliyeti %25 karbon emisyonlarını ise %47,13 oranında azaltabileceği sonucuna varmışlardır. Ayrıca

biyokütle kaynaklarının maliyeti doğrudan etkileyebileceğini göstermişlerdir. Biyokütle miktarının günlük 2,5 tondan 8,5 tona çıkarılması enerji maliyetinde %46,6 oranda bir düşüşe neden olacağını belirtmişlerdir.

Badruhisham ve ark. (2021), uzak bölgelerde kullanılacak Güneş-Biyokütle-Rüzgar Türbini hibrit sisteminin güvenilir ve kararlı çalışma açısından uygun bir şekilde tasarlanmasının önemli bir konu olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, Güneş-Biyokütle-Rüzgâr hibrit sisteminin entegrasyonunun stabilitesini ve güvenilirliğini incelemek MATLAB/Simulink kullanarak uygun bir model önermiş ve bu modeli simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçlarında Biyokütle enerjisinin dizel jeneratöre kıyasla yükü karşılama potansiyelinin yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Yapılan çalışma sonrasında önerilen üretim sisteminin gerilim dalgalanmalarından etkilendiğini ve gelecek çalışmalarda bu dalgalanmaları önleyecek, sistem kararlılığını ve güvenilirliğini arttıracak uygun bir kontrolör tasarlanması gerektiğini belirtmişlerdir.

Tabak (2021), tarafından yapılan çalışmada Konya ilindeki bir fabrikanın enerji ihtiyacını karşılamak için, şebeke bağlantılı FV sistemi, akü ve dizel jeneratörden oluşan bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistemin HOMER yazılımı ile modellenmiş ve analiz edilmiştir. Analiz esnasında Konya iline ve fabrikaya ait; meteorolojik veriler, yük profili, elektrik kesintileri gibi gerekli veriler kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda önerilen hibrit sistemin fabrikaya güvenilir ve kesintisiz enerji sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Kaur ve ark. (2022), Pencap'ın Ludhiana bölgesi için FV-Biyokütle hibrit sistemi tasarlamışlardır. Hindistan'da mevcut enerji durumunu ve enerji talebini karşılayan kaynakların dağılımını göstermişlerdir. Bölgenin biyokütle ve güneş enerjisi potansiyeli araştırılmıştır. Bu potansiyel karşılığında üretilen enerji hesaplanmıştır. Bu çalışma ile Hindistan gibi gelişmiş ülkelerde var olan yenilenebilir enerji potansiyeline yeni bir bakış sunmuşlardır. Ayrıca yaptıkları çalışmanın yararlarının kırsal bölge elektrifikasyonu, maliyet verimliliği, atık

değerlendirilmesi, yerel halka istihdam ve mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarından daha iyi yararlanma olarak tanımlanmıştır.

Güven ve Hatipoğlu (2022), Muğla ili Köyceğiz ilçesine bağlı olan Zaferler köyü için şebekeden bağımsız HRES 3 farklı senaryo oluşturularak HOMER programı ile modellenmiş ve analizi yapılmıştır. Senaryoların hepsinde güneş paneli, rüzgâr türbini ve batarya bileşenleri sabit olmak üzere her bir senaryoya farklı olarak biyogaz jeneratörü, dizel jeneratörü ve biyogaz jeneratörü-yakıt hücresi eklenmiştir. Analizler sonucunda en uygun hibrit sistemin biyogaz jeneratörü-yakıt hücresinin bulunduğu senaryo olduğu sonucuna varılmıştır.

Güven ve Mete (2022), Balıkesir'in Erdek ilçesinin elektrik tüketimini karşılamak için şebekeye bağlı hibrit bir sistem tasarlanmıştır. En uygun sistemi tasarlamak için güneş paneli, rüzgâr türbini, dizel ve biyogaz jeneratörleri, yakıt pili, elektrolizör, hidrojen tankı, batarya ve dönüştürücü gibi bileşenleri içeren farklı senaryolar altında farklı sistemler HOMER yazılımında modellenmiş, daha sonra analizi ve karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak Güneş Paneli/Rüzgâr Türbini/Biyogaz Jeneratörü/Batarya hibrit enerji bileşenlerini içeren senaryonun hem maliyet hem de çevreci yaklaşım açısından en uygun sistem olduğunu belirlemişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.2. Materyal

Biyogaz santralleri elektrik tüketimini şebekeden karşılaması durumunda şebekede meydana gelen elektrik kesintileri ve gerilim dalgalanmaları esnasında ani duruşlar yaşar ve bu duruşlar biyogaz jeneratörleri ve jeneratörlere ait mekanik ve elektriksel kısımlara zarar vererek biyogaz santrallerinde üretim kayıplarına neden olur. Bu çalışmada Şanlıurfa ilinde bir biyogaz santralinde yaşanan şebeke kaynaklı kesinti problemini çözmek için %100 yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan hibrit bir enerji sisteminin tasarımı hedeflenmiştir. Hibrit sistem ile biyogaz jeneratörünün enerji ihtiyacı fotovoltaik sistemden karşılanacak ve şebekede meydana gelen elektrik kesintisi veya gerilim dalgalanmalarında biyogaz jeneratörü çalışmaya devam edecektir. Hibrit sistemde kullanılacak başlıca materyaller; Şanlıurfa ili biyogaz enerjisi potansiyeli, Şanlıurfa ili güneş enerjisi potansiyeli, biyogaz santrali, fotovoltaik sistemler ve sistem bileşenlerinin yük profilidir.

3.2.1. Şanlıurfa’da mevcut biyokütle ve güneş enerjisi potansiyeli

Şanlıurfa tarımsal üretim ve hayvancılık faaliyetleri açısından Türkiye’de önemli bir konuma sahiptir. Tarımsal üretim ve hayvancılık faaliyetlerinin fazla oluşu beraberinde tarımsal ve hayvansal kaynaklı atık potansiyelini getirmektedir. Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası (BEPA)’ndan alınan verilere göre Şanlıurfa ilinde ki hayvansal atıkların toplam miktarı 4.680.711,1 ton bu atıkların enerji eşdeğeri ise 29.325,1 TEP/yıl; tarımsal atıkların miktarı 3.014.999,3 ton, bu atıkların enerji eşdeğeri ise 1.263.210,5 TEP/yıl olarak hesaplanmıştır. Şanlıurfa tarım ve hayvansal kaynaklı atıkların yanı sıra belediye katı atıkları olarak bilinen evsel atık miktarı açısından da zengindir. Şanlıurfa ilinde biyometanizasyona uygun belediye atıklarının miktarı ve bu atıkların enerji eşdeğeri Çizelge 3.1. de verilmiştir (BEPA, 2022).

Çizelge 3.1. Biyometanizasyona uygun atıkların miktarı ve bu atıkların enerji eşdeğeri (BEPA, 2022).

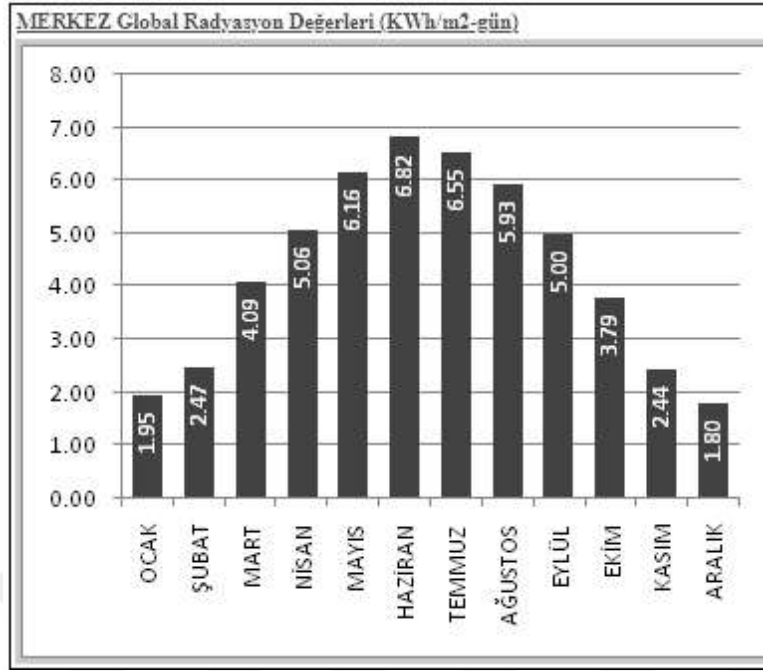
İl Adı	İlçe Adı	Biyometanizasyona Uygun Belediye Atıkları Miktarı (ton/yıl)	Yakmaya Uygun Belediye Atıkları Miktarı (ton/yıl)	Biyometanizasyona Uygun Belediye Atıkları Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	Yakmaya Uygun Belediye Atıkları Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)
Şanlıurfa	Akçakale	14.873,7	18.179,0	479,7	3.091,0
Şanlıurfa	Ceylanpınar	11.521,7	14.082,1	371,6	2.394,4
Şanlıurfa	Birecik	12.502,6	15.280,9	403,2	2.598,2
Şanlıurfa	Bozova	7.695,4	9.405,5	248,2	1.599,2
Şanlıurfa	Halfeti	5.406,1	6.607,4	174,3	1.123,5
Şanlıurfa	Hilvan	5.627,7	6.878,3	181,5	1.169,5
Şanlıurfa	Suruç	13.705,3	16.750,9	442,0	2.848,2
Şanlıurfa	Viranşehir	25.742,6	31.463,1	830,2	5.349,7
Şanlıurfa	Harran	11.542,6	14.107,6	372,2	2.398,7
Şanlıurfa	Siverek	33.936,0	41.477,4	1.094,4	7.052,4
Şanlıurfa	Eyyübiye	49.816,8	60.887,2	1.606,6	10.352,7
Şanlıurfa	Haliliye	49.439,4	60.425,9	1.594,4	10.274,3
Şanlıurfa	Karaköprü	25.695,5	31.405,7	828,7	5.339,9

Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunan Şanlıurfa ili bulunduğu enlem nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli yüksek bir bölgedir. GEPA tarafından hazırlanan Şanlıurfa Güneş Enerjisi Potansiyeli haritası Şekil 3.1. de verilmiştir. Şekil 3.1. de görüldüğü gibi Şanlıurfa ilinde yıllık ortalama güneş radyasyon değeri 1.500-1.700 kWh/m²-yıl arasında değişir (GEPA, 2022).



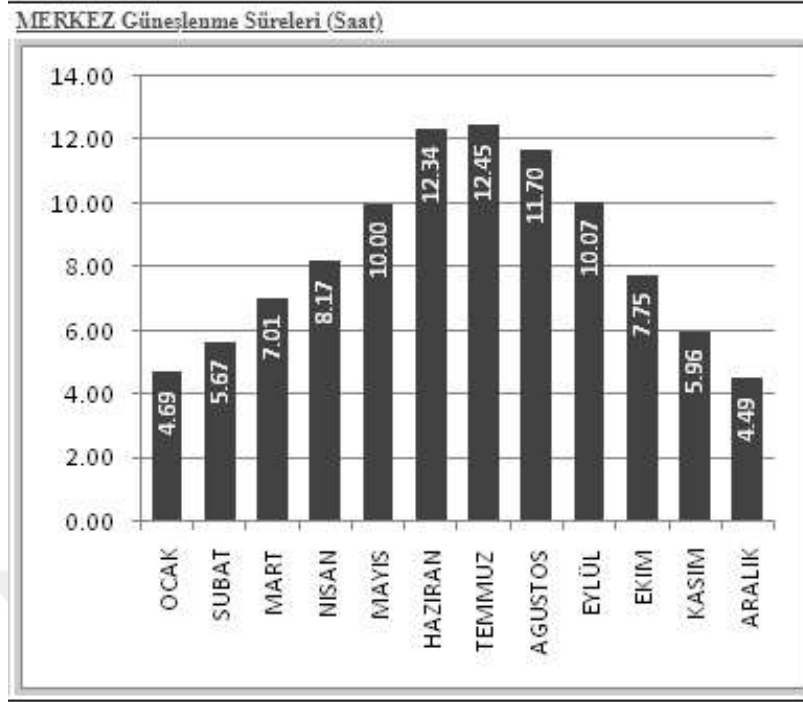
Şekil 3.1. Şanlıurfa Güneş Enerjisi Potansiyeli haritası (GEPA, 2022).

Yine GEPA tarafından hazırlanan Şanlıurfa ilinin Merkezine ait global radyasyon değerlerinin aylara göre dağılımı ve güneşlenme sürelerinin aylara göre dağılımı sırasıyla Şekil 3.2. ve Şekil 3.3. te verilmiştir.



Şekil 3.2. Şanlıurfa ilinin Merkezine ait global radyasyon değerlerinin aylara göre dağılımı (GEPA, 2022).

Şekil 3.2. de görüldüğü gibi güneş radyasyon değerleri de aylara göre değişiklik gösterir. Haziran ayında $6,82 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ ile en yüksek radyasyon değerine ulaştığı görülürken temmuz ayından sonra bu değer düşüşe geçer ve aralık ayında $1,80 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ ile en düşük radyasyon değerine ulaştıktan sonra aralık ayından sonra tekrardan yükselişe geçer.



Şekil 3.3. Şanlıurfa ilinin Merkezine ait güneşlenme sürelerinin aylara göre dağılımı (GEPA, 2022).

Türkiye’de ortalama güneşlenme saati 7,5 saat/gün, Şanlıurfa’da ise bu değer 8,31 saat/gündür. Şekil 3.3. te görüldüğü gibi güneşlenme süreleri aylara bağlı olarak değişir. Temmuz ayında 12,45 saat/gün ile en yüksek güneşlenme süresi görülürken Temmuz ayından sonra bu süre düşüşe geçer ve Aralık ayında 4,49 saat/gün ile en düşük güneşlenme süresine ulaşıldıktan sonra aralık ayından sonra tekrardan yükselişe geçer (GEPA,2022). Şekillerden görüldüğü üzere yıllık global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri, Şanlıurfa ilinin güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğunu ve bu bölgede fotovoltaik sistemin kurulumunun elektrik üretimi açısından verimli olacağını gösterir.

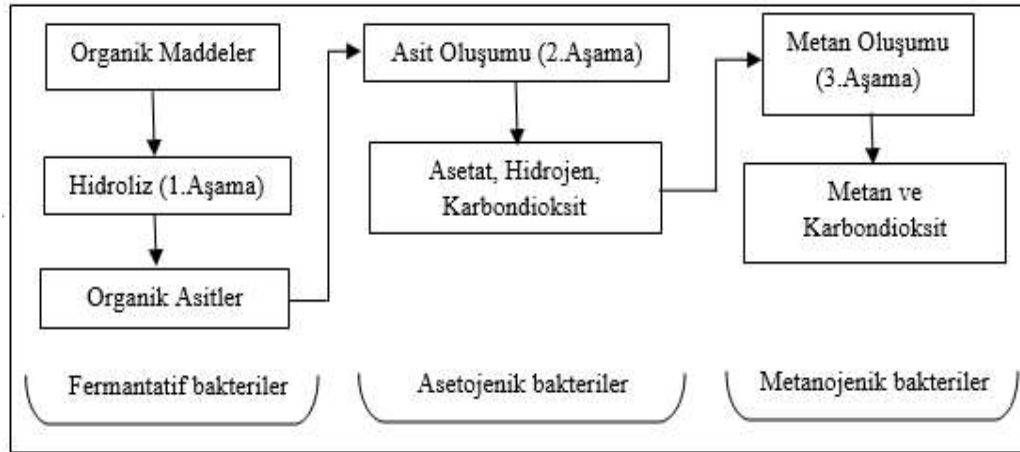
3.2.2. Biyogaz santrali

3.2.2.1. Biyogaz

Biyogaz organik maddelerin oksijensiz ortamda fermantasyona uğraması sonucunda açığa çıkan; metan gazı (CH_4 -%55-70), karbondioksit (CO_2 -%30-45),

azot (N), hidrojen sülfür (H₂S), amonyum (NH₄) ve hidrokarbon (CH) gazlarından oluşan yanıcı bir gaz türüdür (Moya ve ark., 2022).

Biyogaz oluşumu 3 aşamada gerçekleşir. İlk aşama olan hidroliz aşamasında uzun zincirli organik maddeler bakteriler tarafından salgılanan enzimlerle parçalanarak suda çözünür özellikte olan organik asitlere dönüştürülür. İkinci aşama olan asetik asit oluşumu aşamasında suda çözünen organik asitler asetat (CH₃COOH), hidrojen (H₂) ve karbon dioksit (CO₂) gibi küçük yapılı maddelere dönüştürülür. Son aşama ise metan oluşumu aşamasıdır. Bu aşama iki farklı bakteri grubu tarafından gerçekleştirilir. İlk bakteri grubu CO₂ ve H₂O kullanarak metan gazı üretimini sağlar; ikinci bakteri grubu ise asetik asidi kullanarak metan(CH₄) ve CO₂ oluşumunu sağlar (Voskanyan ve Makarov, 2021). Biyogaz oluşum sürecinde ortamın oksijen ile iletişimi kesilmesi gereklidir ve sürecin verimli ilerlemesi için ortamda sıcaklık, ph, organik madde miktarı ve yükleme hızı optimum seviyede olmalıdır. Biyogazın oluşum sürecini özetleyen blok diyagram Şekil 3.4. te verilmiştir (Özbaşer, 2013 ve Yılmaz, 2019).



Şekil 3.4. Biyogazın oluşum sürecini özetleyen blok diyagram

Bu çalışmada biyogaz santralinde kullanılan biyogaz belediye katı atıklarından elde edilir ve çöp gazı (LandfillGas) olarak adlandırılır. Biyogaz jeneratörlerinde asıl yakıt olarak kullanılan gaz ise biyogaz bileşenlerinden olan metan gazıdır.

3.2.2.2. Çöp gazı

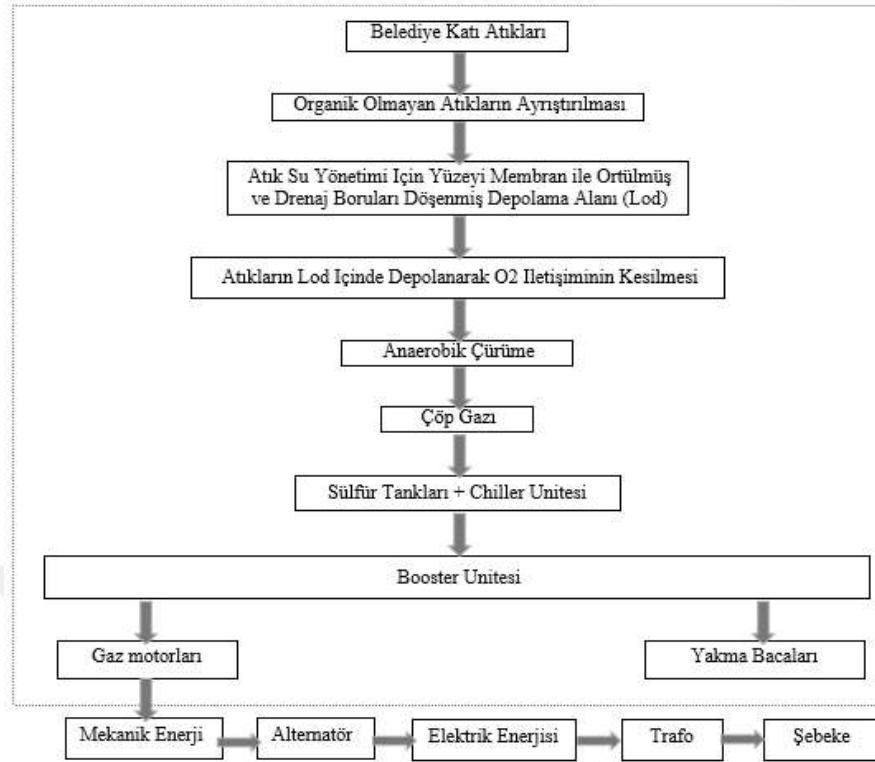
Çöp gazının üretim süreci belirli aşamalardan oluşur. Municipal solid waste (MSW) olarak bilinen belediye katı atıkları biyogaz tesis alanında toplanır ve gaz üretimi için sadece organik atıklara ihtiyaç olduğundan organik olmayan atıklardan ayrıştırılarak depolamaya hazır hale getirilir. Ayrıştırma yapılmasının bir diğer nedeni ise depolama sahasında korozif etki, oksitlenme patlama ve yanma gibi tehlike arz eden durumların önüne geçmektir. Ayrıştırılan atıkların depolanması için Lod adı verilen havuzlar inşa edilir. Lod inşası için belirli bir derinliğe kadar kazılan alanın yüzeyi membran adı verilen bir örtü ile kaplanır. Böylece depo edilecek çöp suyunun toprağa sızarak yer altı sularını kirletmesi engellenmiş olur. Lod içine döşenen drenaj boruları ile sızıntı su arıtılmak üzere tesiste kurulan betonarme havuza nakliye edilir. Sızıntı sularının pompa kullanılmadan yerçekimi ile depo sahasından uzaklaştırılabilmesi için depo alanları çukur araziler yerine eğimli arazilerden seçilmelidir. Lod MSW ile doldurulduktan sonra keçe ile kaplanarak üzeri toprak ile örtülür. O₂ ile iletişimi kesilen MSW anaerobik çürüme sonucunda Landfillgas (LFG) olarak bilinen çöp gazını oluşturur (Kankılıç, 2015; Avcı, 2016; Fayetörbay, 2022; Işık, 2014).

Oluşan LFG Lod içine döşenen delikli borulardan debi ayar vanaları ve kompresör grubu aracılığıyla santrale gelir. Bu şekilde sahadan çekilen gaz içinde bulunan sülfürden ayrıştırılmak üzere sülfür tanklarına gelir. Sülfürden ayrıştırılan gaz chiller ünitelerinden geçirilir ve chiller ünitelerinde nemi alınarak ve soğutularak motorlara iletilir (Gürel, 2015). Bu sayede yanma esnasında nemin korozyona yol açması ve gaz sıcaklığının yanma verimini etkilemesi önlenmiş olur. Sahadan çekilen gazın PLC kontrollü bir otomasyon ünitesi olan booster ünitesinde sıcaklık, debi ve basınç ölçümleri yapılır. Analiz edilen gaz optimum seviyede gaz motorlarına iletilir (Fayetörbay, 2022). Motorlara gelen gaz yakılarak elde edilen mekanik enerji alternatöre aktarılır. Alternatörde üretilen elektriğin gerilimi trafo aracılığı ile şebeke gerilimine eşitlenir. Şebeke ile senkronizasyon şartları sağlandığında üretilen enerji şebekeye dahil edilir. Depolama sahasından kesintisiz olarak santrale gelen gaz üretim için gereken miktarın üzerinde olması veya motorların bakım/arıza halinde

kullanılamaması durumunda içerdiği çevre kirletici ve patlama riski olan bileşenlerinden ötürü güvenli bir şekilde tahliye edilmesi gerekir. Tahliye için yanma bacaları kullanılır ve metan gazı bacalarda yakılarak atmosfere salınmasının önüne geçilir (Işık, 2014).

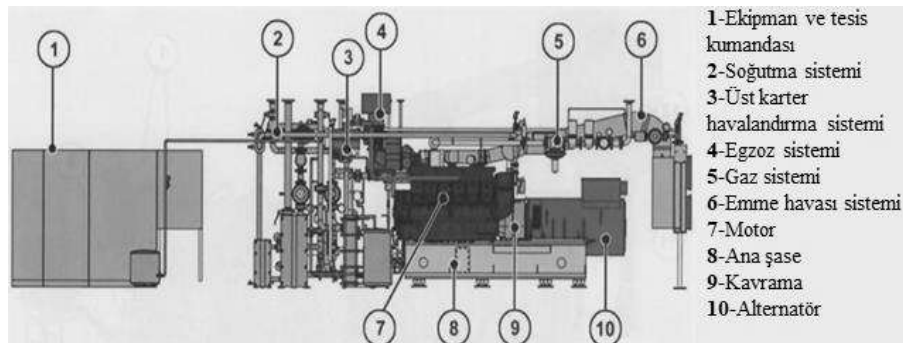
3.2.2.3. Biyogaz jeneratör seti

Biyogaz jeneratör setleri gaz motoru, jeneratör bölümü ve otomasyon panoları olmak üzere 3 ana bölümden oluşur ve GENSET olarak adlandırılır. Gaz motorlarının çalışma prensibi içten yanmalı motorlar ile aynıdır. Gaz motorları emme, sıkıştırma, yanma ve egzoz olmak üzere 4 zamanlı olarak çalışır. Gaz motoruna yakıt girişi ile gaz motoruna ait karbüratörde yakıt hava karışımı ayarlanır. Bu karışım ayarlandıktan sonra emme zamanı gerçekleşir. Emme zamanında motor silindir kapaklarında bulunan giriş valfleri açılır ve pistonlar silindirlerin yakıt-hava karışımı ile dolması için aşağı doğru hareket eder. Sıkıştırma zamanında yakıt-hava karışımı yanmanın daha güçlü olması için pistonun yukarı doğru hareketi ile sıkıştırılır. Sıkıştırma en yüksek seviyeye ulaştığında bujiler tarafından ateşleme yapılır. Daha sonra piston tekrar aşağıya doğru hareket eder ve çıkış valfleri açılarak egzoz zamanı gerçekleşir. Motora ait pistonlarda oluşan bu doğrusal hareket motorun krank mili ile dairesel harekete dönüştürülerek alternatöre iletilir. Alternatör dönme hareketini kullanarak enerji üretimi gerçekleştirir. Kısaca gaz motorunda oluşan mekanik enerji alternatör tarafından elektrik enerjisine dönüştürülür (Akkuş, 2018; Sömek, 2023). Biyogaz santrallerinde çöp gazının oluşumundan, üretilen elektriğin şebekeye verilmesine kadar geçen süreç Şekil 3.5. te blok diyagram ile verilmiştir.

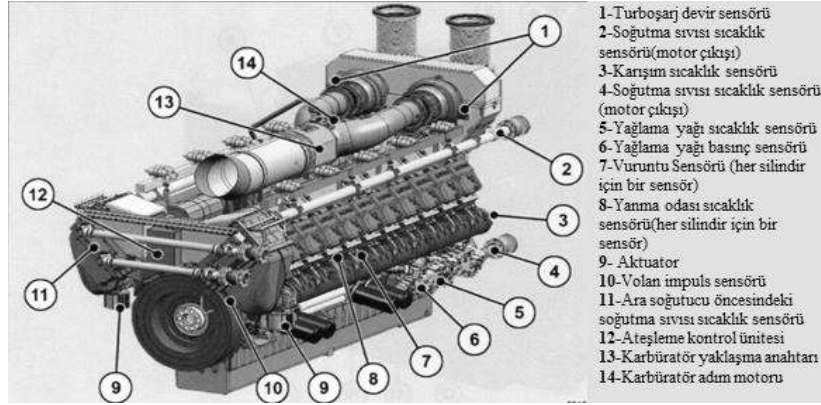


Şekil 3.5. Biyogaz Santrallerinde çöp gazının oluşumundan, üretilen elektriğin şebekeye verilmesine kadar geçen süreç

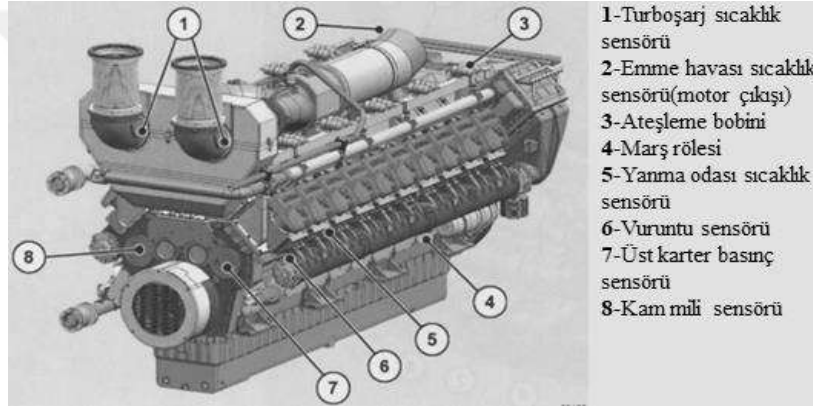
Tasarlanan hibrit sistemde metan gazını yakıt olarak kullanan MWM marka TCG2020 V16 model gaz motoru kullanılacaktır. Kullanılan biyogaz jeneratör setinin gücü 1560 kW'tır. MWM üretici kataloğundan alınan biyogaz jeneratör setinin temel bileşenleri ve jeneratör setine ait sensör, ünite ve ekipmanlar sırasıyla Şekil 3.6., Şekil 3.7. ve Şekil 3.8. de verilmiştir.



Şekil 3.6. MWM marka TCG2020 V16 model gaz motorunun temel bileşenleri (MWM üretici kataloğu).



Şekil 3.7. MWM marka TCG2020 V16 model gaz motorunun sol tarafında bulunan sensör, ünite ve ekipmanlar (MWM üretici kataloğu).



Şekil 3.8. MWM marka TCG2020 V16 model gaz motorunun sağ tarafında bulunan sensör, ünite ve ekipmanlar (MWM üretici kataloğu).

Çizelge 3.2. de ise yine MWM üretici kataloğundan alınan MWM marka TCG2020 V16 model gaz motoruna ait etiket bilgileri verilmiştir.

Çizelge 3.2. MWM marka TCG2020 V16 model gaz motorunun etiket bilgileri

MWM TCG 2020 V16		
Mekanik Gücü	1605 kW	
Elektrik Gücü	1560 kW	
Generatör Gerilimi	400 Volt	
Yakıt Tüketimi	3663 kW	(±%5)
Egoz Isısı (120 °C'ye)	658 kW	(±%8)
Egzoz Çıkış Sıcaklığı	434 °C	
Ceket Suyu Isı Gücü	844 kW	(±%8)
İntercooler Isı Gücü	120 kW	(±%8)
Elektrik Verimi	42,59 %	
Termik Verimi	44,28 %	
Toplam Verim	86,87 %	
Ana Bakım Zamanı	64.000	saat

3.2.3. Fotovoltaik sistemler

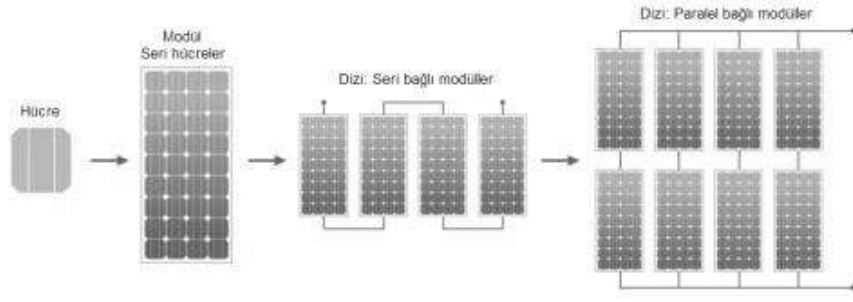
Fotovoltaik sistemler güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Temel olarak güneş panelleri, bataryalar, eviriciler ve şarj denetim birimlerinden oluşurlar. Fotovoltaik sistemlerin verimli bir şekilde çalışması için kullanılacak güneş paneli, inverter, batarya ve şarj kontrol cihazları, bölgenin güneş enerjisi potansiyeli, meteorolojik veriler, beslenecek yük tipi ve tüketilen elektrik değerleri belirlenerek sistem bileşenlerinin optimum şekilde seçilmesi gereklidir.

3.2.3.1. Güneş panelleri

Güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren güneş panellerinin güneş ışığını elektriğe dönüştürme performansı ne kadar yüksek ise o kadar verimli sayılır. Fotovoltaik hücrelerin yapısal özellikleri güneş panellerinin verimliliğini büyük ölçüde etkiler. FV hücreler kullanılan malzeme ve bir araya getirilme tekniğine bağlı olarak ince film FV hücreler, çok eklemlili FV hücreler, kristal silisyum FV hücreler ve nanoteknoloji FV hücreler olarak adlandırılan farklı tiplerde olabilir. Kristal Silisyum üstün teknoloji, yüksek verimliliği ve ekonomik avantajları nedeniyle FV hücrelerin yapımında sıklıkla tercih edilen malzemedir (Baytar, 2023; Mohsin, 2023).

Güneş panellerinden maksimum verimi alabilmek için panellerin güneş ışınlarını dik alacak şekilde uygun bir eğimle yerleştirilmesi gerekir. Türkiye kuzey yarı kürede olması nedeniyle paneller güneye bakacak şekilde konumlandırılırlar (Atılım, 2019).

Güneş panelleri FV hücrelerin seri veya paralel bağlantı ile bir araya gelmesi sonucu oluşur. FV panellerin seri veya paralel bağlantı ile bir araya gelmesi ile ise FV diziler oluşur (Baytar, 2023; Mohsin, 2023). Şekil 3.9. da FV hücre, modül ve dizi tasarımları verilmiştir.



Şekil 3.9. FV hücre, modül ve dizi tasarımları (Alici, 2022).

3.2.3.2. Bataryalar ve şarj kontrol cihazları

Güneş enerjisinin değişken doğası nedeniyle batarya kullanımı fotovoltaik sistemlerde zorunludur. Güneş ışığına bağımlı olarak üretim yapan fotovoltaik sistemlerde güneş ışığı olmadığı durumlarda yükün beslenmesi için bataryalar kullanılır. Ayrıca FV panellerden üretilen ve yükler tarafından kullanılmayan elektrik bataryalarda depolanır.

FV sistemlerde çoğunlukla düşük maliyetli jel/kuru aküler ve kurşun-asit lityum iyon bataryalar kullanılır (Küçük, 2019). Jel/kuru aküler veya kurşun-asit bataryalar düşük maliyeti ile daha çok tercih edilmesine karşılık; yüksek maliyetine rağmen yüksek performansa sahip olması nedeniyle lityum iyon bataryalarda sıklıkla tercih edilir. Lityum iyon bataryaların kendiliğinden deşarj oranı düşük, şarj olma hızı yüksek ve ömürleri uzundur (Efe ve Güngör, 2021). Bir bataryanın deşarj esnasında verdiği elektrik enerjisi ile şarj esnasında verilen elektrik enerjisinin oranlanması sonucu şarj verimliliği elde edilebilir. Bu değer ne kadar yüksek ise batarya o kadar tercih edilir.

Bataryaların ömrünü etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörlerden en önemlisi şarj kontrolüdür. Batarya %100 şarja ulaştıktan sonra enerji akışının kesilmemesi bataryanın gereksiz yüklenmesine ve ömrünün kışalmasına neden olur. Ayrıca kullanılan bataryanın deşarjı ne kadar derin ise o kadar verimli sayılır ve ömrü daha uzun olur. Şarj kontrol cihazları bataryaya giden voltaj ve akım değerlerini düzenler. Batarya tamamen şarj olduğunda akışı keserek koruma sağlar.

Şarj kontrol cihazları ile bataryanın deşarj derinliği, şarj ve deşarj hızı, şarj yüzdesi, sıcaklık ve kapasite gibi parametrelerinin takibi yapılabilir. Bu parametrelerin takibi batarya performans takibi açısından oldukça önemlidir. Şarj kontrol cihazları sayesinde bu parametreler optimum değerlerde tutulur ve bataryanın ömrünün uzaması ve enerjinin güvenli bir şekilde depolanması sağlanır (Doğanay, 2021).

3.2.3.3. Inverterler

Fotovoltaik sistemlerde güneş panellerinde üretilen DC akım inverterlerin yapısında bulunan transistör, IGBT, MOSFET gibi yarı iletken malzemeler olan anahtarlama elemanları ile AC akıma dönüştürülür (Çeker, 2010). Elektrikli cihazların birçoğu alternatif akımla çalışır bu nedenle güneş panellerinde üretilen akımın inverterler aracılığı ile elektrik cihazlarında kullanılabilir akıma dönüştürülmesi zorunludur.

Inverterler temel olarak şebeke bağlantılı (on-grid) ve şebekeden ayrık (off-grid) olarak ikiye ayrılır. Şebeke bağlantılı inverterler şebeke ile senkron bir şekilde çalışır ve güneş panellerinde üretilen elektriği şebekeye aktarır. Şebeke ile senkronizasyonun sağlanması için üretilen elektriğin voltaj ve frekans seviyesini şebeke ile eşitler. Şebeke bağlantılı inverterler kendi içlerinde dizi ve merkezi inverter olarak sınıflandırılabilirler. Dizi inverterlerin amacı kullandıkları santrali parçalara ayırarak bağımsız enerji üretimini sağlamasıdır. Merkezi inverterler ise yüksek güç kapasitelerine sahiptir ve güneş panellerinde üretilen enerjiyi tek bir noktadan kontrol eder ve şebekeye aktarır. Şebekeden ayrık inverterler depolamalı sistemlerde ve şebekeden bağımsız çalıştırılmak istenen ev, çiftlik ve kırsal bölgelerde tercih edilir. Şebekeden ayrık inverterler kendi içlerinde tam sinüs ve modifiye sinüs inverterler olarak sınıflandırılabilir. Tam sinüs inverterler sinüs dalgası üretirken modifiye sinüs inverterler kare dalga üretirler. Buzdolabı, çamaşır makinesi ve televizyon gibi tam sinüs ile çalışan cihazlarda modifiye sinüs inverterin kullanılması cihazlara zarar vereceği için tam sinüs inverterlerin kullanımı tercih edilir (Mochi, 2018; Doğanay, 2021). Bu inverter çeşitlerine ek olarak şebeke bağlantılı ve şebekeden ayrık olarak çalışabilen hibrit inverterler mevcuttur. Hibrit

inverterler ile güneş panellerinde üretilen elektriğin solar bataryalarda güvenli bir şekilde depolanması sağlanır ve ihtiyaç halinde yüke aktarılması kontrol edilir.

Fotovoltaik sistemde kullanılacak uygun inverterin seçilmesi için farklı parametrelerin dikkate alınması gerekir. Sistemin verimli bir şekilde çalışabilmesi ve enerji kayıplarının önüne geçilebilmesi için inverter seçimi yapılırken fotovoltaik sistemin kurulu gücü, güneş panellerinin akım ve gerilim değeri, sistemin kurulacağı zemin durumu ve sistemin kurulduğu bölgenin analizinin iyi bir şekilde yapılması ve bu kriterlere uygun inverter seçilmesi gereklidir. Seçilen inverter FV panel dizileri ile uyumlu olmalı, inverter parametrelerinin takibi için bir gösterge ekranı, bataryalar için şarj kontrol ünitesi ve DC/AC aşırı akım koruması bulunmalıdır.

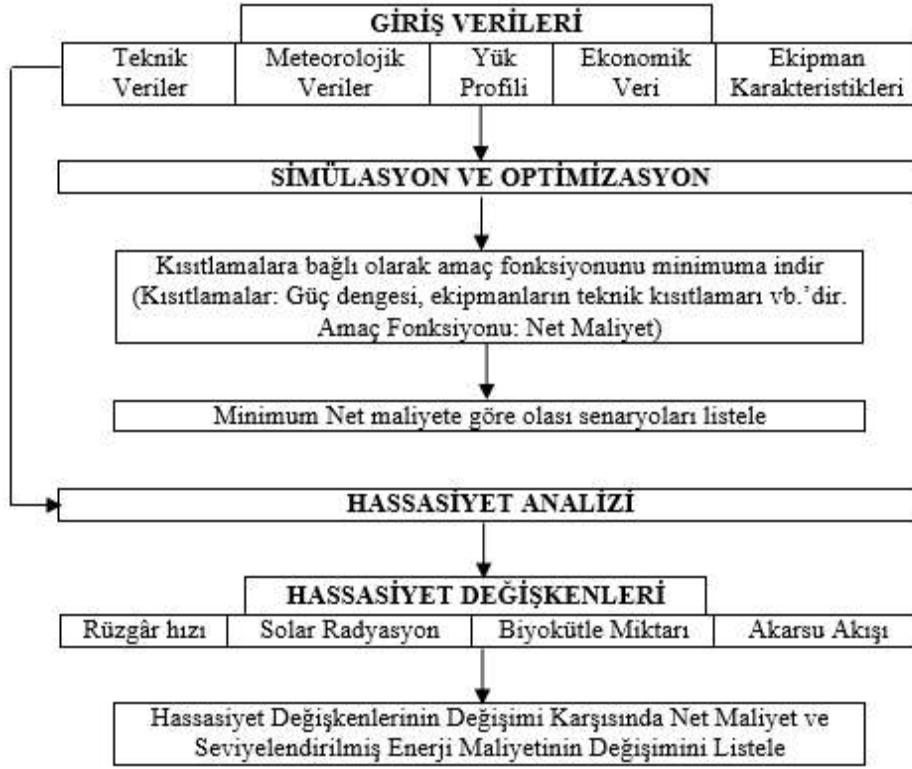
3.3. Yöntem

3.3.1. HOMER yazılımı

HOMER yazılımı National Renewable Energy Laboratuvarı tarafından geliştirilen hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin simülasyonu, hassasiyet analizi ve optimizasyonu için kullanılan bir yazılımdır. Simülasyon ile tasarlanacak hibrit sistemin modellemesi yapılabilir. Optimizasyon ile mevcut enerji kaynaklarını en iyi şekilde kullanarak tasarlanan hibrit sistemden en yüksek verimi elde etme hedeflenir. HOMER yazılımı üzerinden optimizasyon için yenilenebilir enerji kaynaklarının miktarı, ekipman karakteristikleri, sistem bileşenlerinin yük profili, ekonomik ve teknik veriler girilerek hibrit sistemin güç çıkışları ve maliyeti hesaplanabilir. Hassasiyet analizi ile solar radyasyon, sıcaklık, rüzgâr hızı, biyokütle miktarı ve akarsu akışı gibi belirsiz parametrelerin hibrit sistem üzerindeki etkisi belirlenir.

Hibrit enerji sisteminde kullanılacak her ekipmanın bakım, işletme ve yenileme maliyetleri belirlenerek HOMER yazılımına girilir. Bu veriler simülasyon hassasiyet analizi ve optimizasyon adımı net maliyeti (Net Present Cost (NPC)), sistem tarafından üretilen faydalı elektrik enerjisinin kWh başına ortalama faydalı maliyeti olan seviyelendirilmiş enerji maliyeti (levelized cost of energy (LCOE)) ve sermaye

maliyeti (CAPEX) değerlerini belirlemek için kullanılır. Simülasyon, hassasiyet analizi ve optimizasyon işleminin tanımını içeren blok diyagram Şekil 3.10. da verilmiştir.



Şekil 3.10. Simülasyon, hassasiyet analizi ve optimizasyon işleminin tanımını içeren blok diyagram

Şekil 3.10. da görüldüğü gibi optimizasyon adımında tasarlanan sistem için kısıtlamalar göz önünde bulundurularak farklı senaryolar listelenir. Bu senaryolar arasında minimum net maliyete sahip olan en iyi senaryo olarak kabul edilir. Hassasiyet analizi adımında ise sistemde bulunan hassasiyet değişkenlerinin değişimi karşısında net maliyet ve seviyelendirilmiş enerjinin maliyetinin değişimi listelenir.

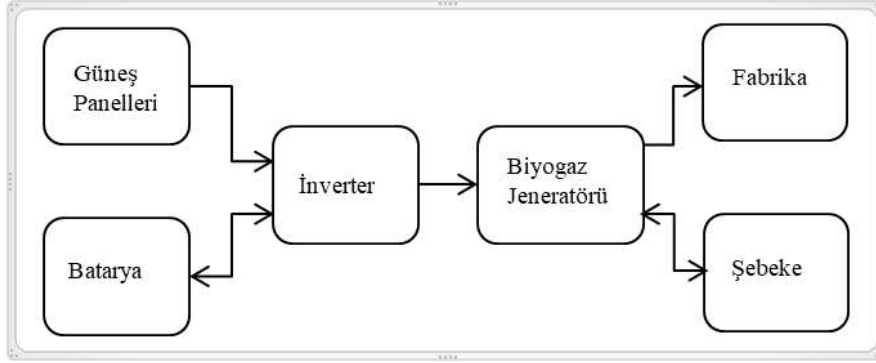
3.3.2. Hibrit sistem tasarımı

Şanlıurfa ilinde bir biyogaz santralinin şebeke kaynaklı duruşlar sonucunda yaşadığı üretim kayıpları ve bu duruşların ekipmanlara vermiş olduğu zararları azaltmak için bir yenilenebilir hibrit enerji sistemi tasarlanmıştır. Hibrit sistemde

hedef biyogaz jeneratörünün enerji tüketimini fotovoltaik sistemin ürettiği enerjiden karşılayarak şebekede meydana gelen elektrik kesintileri veya gerilim dalgalanmalarında jeneratörün çalışmasına devam etmesini sağlamaktır. Saatlik maksimum enerji tüketimi 25 kWh, üretim kapasitesi ise 1560 kWh olan biyogaz santralinin %90 kapasite ile çalıştığı ve arıza bakım nedeniyle çalışmadığı durumlarda göz önünde bulundurulduğunda yıllık enerji üretimi ortalama 11.592 MWh, günlük maksimum enerji tüketimi 600 kWh, yıllık güç tüketimi ise ortalama 207.000 kWh/yıl'dır. Biyogaz santralinin çalışmadığı gün sayısı 20 olarak öngörülmüştür. Fotovoltaik sistemin günlük enerji tüketimini karşılayabilmesi için 600 kWh üretim yapması gerekmektedir. DC kayıplar dikkate alındığında fotovoltaik sistemin günlük üreteceği toplam enerji 780 kWh olur. Güneşlenme süresi 6,5 saat alınırsa fotovoltaik sistemin kurulu gücü 120 kW olmalıdır. Bu durumda fotovoltaik sistemin öngörülen yıllık elektrik üretimi 257.400 kWh/yıl'dır. Yoğun bulutlu kış günlerinde fotovoltaik sistemin üretim kaybı göz önünde bulundurularak yıllık enerji üretimi hesaplanırken fotovoltaik sistemin üretim yapmadığı ortalama gün sayısı 35 olarak öngörülmüştür. Fotovoltaik sistem tasarımında kullanılan DC kayıp katsayısı değeri tasarlanacak sistemin coğrafi konumu, yük profili, ekipman karakteristiklerine göre değişir. Bu çalışmada DC kayıp katsayısı 1,3 alınmıştır. Fotovoltaik sistemde güneş panellerinden üretilen enerjinin tamamı 780 kWh depolama kapasitesine sahip batarya grubunda depolanacak ve biyogaz jeneratörü batarya grubunda depolanan enerjiden beslenecektir. Bataryaların şarj kontrolünün sağlanması için fotovoltaik sistemde hibrit inverter tercih edilmiştir. Hibrit inverter batarya grubuna giden voltaj ve akım değerlerini düzenler. Batarya grubu tamamen şarj olduğunda enerji akışını keserek koruma sağlar. Hibrit inverter bataryanın deşarj derinliği, şarj ve deşarj hızı, şarj yüzdesi, sıcaklık ve kapasite gibi parametrelerini optimum değerde tutarak batarya performansını kontrol eder ve enerjinin güvenli bir şekilde depolanmasını sağlar.

Tasarlanan hibrit sistemde metan gazını yakıt olarak kullanan biyogaz jeneratörü elektrik şebekesine bağlı olarak çalışır. Elektrik şebekesinde kesinti olması durumunda biyogaz jeneratörünün üretime devam edebilmesi için harici

tüketici olarak kurulu gücü 1200 kW olan fabrika belirlenmiştir. Hibrit enerji sisteminin genel modeli Şekil 3.11. de verilmiştir.



Şekil 3.11. Hibrit enerji sisteminin genel modeli.

Hibrit sistem tasarımı için hibrit sistemde kullanılacak jeneratör, fotovoltaik sistem, batarya ve invertere ait veriler HOMER yazılımına girilir. HOMER yazılımına girilen hibrit sistem bileşenlerinin verileri Çizelge 3.3. te özetlenmiştir.

Çizelge 3.3. Hibrit sistem bileşenleri

Hibrit Sistem Bileşenleri	
Fotovoltaik Sistem	Kurulu güç = 120 kW, sermaye maliyeti= \$877,5/kW, işletme ve bakım maliyeti = \$1200, çalışma ömrü = 25 yıl.
Biyogaz Jeneratörü	Güç = 1560 kW, tüketim = 25 kWh, sermaye maliyeti= \$192,3/kW, işletme ve bakım maliyeti = \$50.000/yıl, çalışma ömrü = 12 yıl.
Batarya	Toplam kapasite = 780 kWh, Lityum Batarya, nominal gerilim = 51.2 V, nominal akım = 100 AH, adet = 153, sermaye maliyeti= \$1.236,07/batarya, yenileme maliyeti = \$1.236,07/batarya, çalışma ömrü = 15 yıl.
İnverter	Güç = 120 kW, sermaye maliyeti= \$4.500, yenileme maliyeti = \$4.500, çalışma ömrü = 20 yıl.

Hibrit sistem bileşenlerine ait veriler HOMER yazılımına girildikten sonra solar radyasyon değerleri ve biyokütle miktarı girilir. Günlük ortalama radyasyon (Daily Radiation) ve açıklık endekslerinin (Clearness Index) aylara göre dağılımı Şekil 3.12. de verilmiştir. Şanlıurfa için biyokütle miktarının aylara göre dağılımı ise Şekil 3.13. te verilmiştir.

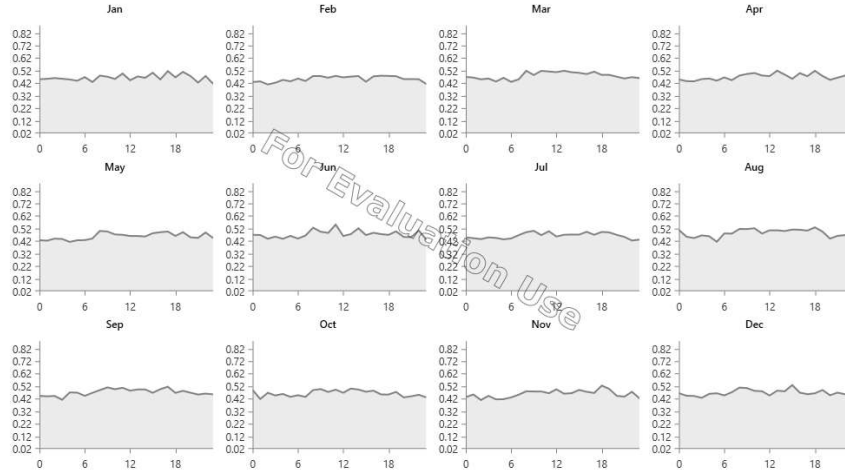


Şekil 3.12. Şanlıurfa solar radyasyon ve açıklık endeksi verileri grafiği



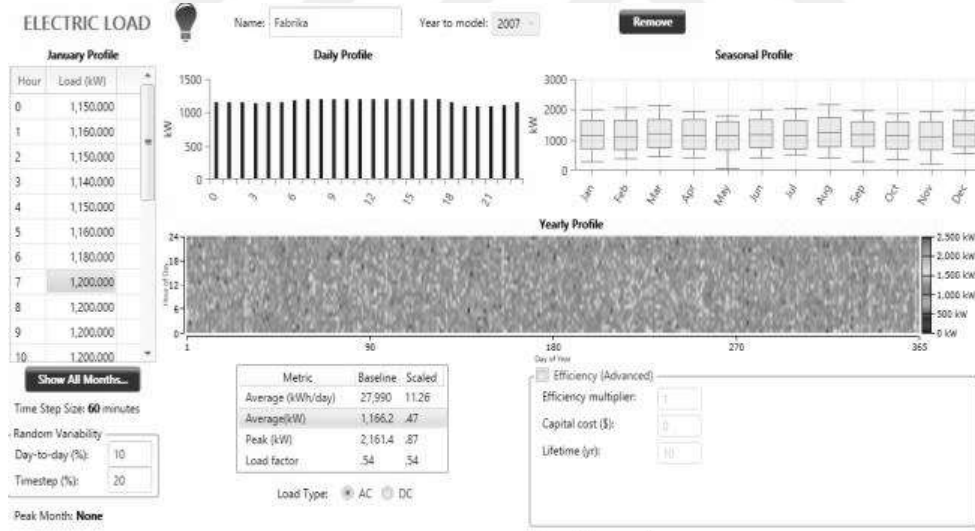
Şekil 3.13. Şanlıurfa için biyokütle miktarının aylara göre dağılımı

Ekipman verileri ve meteorolojik veriler girildikten sonra hibrit sistemin yük profili HOMER yazılımına girilmiştir. Biyogaz santralının güç tüketiminin aylara göre dağılım grafikleri ve fabrikanın güç tüketimin aylara göre dağılımı sırasıyla Şekil 3.14. ve Şekil 3.15. te verilmiştir.



Şekil 3.14. Biyogaz santralinin güç tüketiminin aylara göre dağılımı

Biyogaz santralinin maksimum enerji tüketimi saatlik maksimum 25 kWh olmak üzere aylara göre ciddi bir değişim göstermemektedir. Düşüş yaşanan saatler ise GENSET’de bakım veya arıza nedeniyle oluşan duruşlar olarak açıklanabilir.



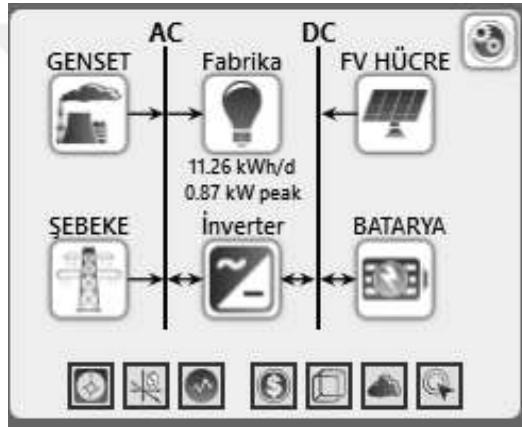
Şekil 3.15. Fabrikanın güç tüketiminin aylara göre dağılımı

Fabrikanın enerji tüketimi maksimum 1200 kWh olmak üzere saatlik ve aylık yük profili Şekil 3.15. te verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Hibrit Enerji Sisteminin Benzetimi

HOMER yazılımı ile hibrit sistemin modellenmesi Şekil 4.1. de gösterilmiştir. Bu sistemde fotovoltaiik sistemde üretilen DC elektrik inverter aracılığıyla AC elektriğe dönüştürülerek GENSET'in elektrik tüketimini karşılayacaktır. GENSET ile üretilen elektrik ise şebekeye dahil edilecektir. Bu sistem ile şebekede elektrik kesintisi durumunda GENSET çalışmaya ve fabrikayı beslemeye devam edecektir.



Şekil 4.1. Hibrit enerji sistem modeli

Simülasyonda kullanılan fotovoltaiik sisteme ait bileşenlerinin boyutlandırılması biyogaz jeneratörünün elektrik tüketimini karşılayacak şekilde yapılmıştır.

4.2. Hibrit Enerji Sisteminin Optimizasyonu

Tasarlanan hibrit sistemin verimli bir şekilde çalışması için yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelini maksimum şekilde kullanırken minimum maliyet ile hedef üretime ulaşması gerekmektedir. Tasarlanan hibrit sistemin optimizasyon sonuçları Çizelge 4.1. de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Optimizasyon Sonuçları

Hibrit Sistem Bileşenleri				Maliyet			Sistem
FV HÜCRE (kW)	GENSET (kW)	BATARYA (kWh)	HİBRİT INVERTER (kW)	NM (\$)	SEM (\$/kWh)	SM (\$)	YEKO (%)
							
120	1560	783,360	120	\$509.047	\$0.539	\$598.920	97,3
120	1560	619,52	120	\$467.696	\$0.495	\$557.569	97,3

Çizelge 4.1. de 2 durum listelenmiştir. Birinci durum hibrit sistem bileşenlerinin tamamının tam kapasite ile kullanıldığı durumdur. Bu durumda 120 kW FV sistem, 1560 kW GENSET, 783,360 kWh lityum batarya, 6 adet 120 kW inverter bulunmaktadır. Burada kullanım ömrü 25 yıl olarak belirlenen sistemin 25 yıl sonundaki net maliyeti (NM) \$509.047, seviyelendirilmiş enerji maliyeti (SEM) \$0,539, sermaye maliyeti (SM) \$598.920 olup yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı %97,3'tür. İkinci durumda ise batarya kapasitesinin daha düşük seçilerek maliyetin düşürülebileceği önerilmiştir. Bu durum hibrit sistemde biyogaz jeneratörünün güneşlenme süresi boyunca elektrik tüketimini doğrudan güneş panellerinden karşılayıp yalnızca güneşlenme süreleri dışında batarya grubundan elektrik tüketimini karşılamasına istinaden önerilmiştir. Biyogaz jeneratörünün elektrik tüketimini tamamıyla batarya grubundan karşıladığı durumda 153 adet batarya kullanılmaktaydı. Maksimum enerji tüketimi 25 kWh olan biyogaz jeneratörü güneşlenme süresi boyunca tüketimini doğrudan güneş panellerinden alması durumunda güneş panellerinin 6,5 saat'te üretmiş olduğu 162,5 kWh enerjiyi kullanmış olacaktır. Geriye kalan 617,5 kWh enerjinin depolanabilmesi için 5.12 kWh depolama kapasitesine sahip 121 adet batarya kullanılması yeterli olacaktır. Bu durumda birim fiyatı \$1.292,2 olan 32 adet bataryanın eksilmesi ile net maliyet \$41.350,4 azalmış olacaktır. Tasarlanan sistem için önerilen ikinci durum maliyeti azaltmak için tercih edilebilir.

4.3. Hibrit Enerji Sisteminin Hassasiyet Analizi

Hassasiyet analizi ile tasarlanan hibrit sistemde öngörülemeyen durumlar olan güneşlenme potansiyeli ve biyokütle miktarının değişiminin sistem üzerinde ki etkisi belirlenir. Güneşlenme potansiyelinin düşmesi durumunda fotovoltaiik sistem günlük

üretim hedefine ulaşamaz, biyokütle miktarının düşmesi durumunda ise GENSET'e yeterli yakıt sağlanamayacağından GENSET tam kapasite çalışamaz, dolayısıyla bu değişimler hibrit sistemin tam verimle çalışmasına engel olur.

Solar radyasyonun ve biyokütle miktarının ortalama, en düşük ve en yüksek değerleri hassasiyet değişkenleri olarak girilmiştir. Bu değerler karşısında hibrit sistemde net maliyet (NM), seviyelendirilmiş enerji maliyeti (SEM), sermaye maliyeti (SM) ve yenilenebilir enerji kullanım oranı (YEKO) değerlerinin değişimi Çizelge 4.2. de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Hassasiyet analizi sonuçları

Hassasiyet Değişkenleri		Hibrit Sistem Bileşenleri				Maliyet			Sistem
Ortalama Solar Radyasyon (kWh/m ² /gün)	Ortalama Biyokütle Miktarı (ton/gün)	FV HÜCRE (kW)	GENSET (kW)	BATARYA (kWh)	HİBRİT INVERTER (kW)	NM (\$)	SEM (\$/kWh)	SM (\$)	YEKO (%)
1,80	1,10	120	1560	783,360	120	\$509.047	\$0,539	\$598.920	97,3
4,35	1,10	120	1560	783,360	120	\$454.989	\$0,225	\$598.920	98,7
6,83	1,10	120	1560	783,360	120	\$428.495	\$0,168	\$598.920	99,0
1,8	1,52	120	1560	783,360	120	\$509.047	\$0,539	\$598.920	97,3
4,35	1,52	120	1560	783,360	120	\$454.989	\$0,225	\$598.920	98,7
6,83	1,52	120	1560	783,360	120	\$428.495	\$0,168	\$598.920	99,0
1,8	1,350	120	1560	783,360	120	\$509.047	\$0,539	\$598.920	97,3
4,35	1,350	120	1560	783,360	120	\$454.989	\$0,225	\$598.920	98,7
6,83	1,350	120	1560	783,360	120	\$428.495	\$0,168	\$598.920	99,0

Çizelge 4.2. de Hassasiyet Değişkenleri başlığı altında bulunan Ortalama Solar Radyasyon (kWh/m²/gün) sütununda solar radyasyonun gün içerisinde en düşük değeri, en yüksek değeri ve ortalama değeri hassasiyet değişkenleri olarak girilmiştir. Ortalama Biyokütle Miktarı (ton/gün) sütununda biyokütle miktarının en düşük değeri, en yüksek değeri ve ortalama değeri hassasiyet değişkenleri olarak girilmiştir. HOMER yazılımı her bir değer karşılığında hibrit sistemin NM, SEM ve SM değerlerini hesaplamıştır. Solar radyasyon miktarının en düşük olduğu durumlarda NM ve SEM en yüksek değere ulaşmakta, solar radyasyon miktarının en yüksek olduğu durumlarda ise NM ve SEM düşmektedir. Çizelge 4.2. de Sistem başlığı altında bulunan YEKO sütunu sistemin yenilenebilir enerji kullanım oranını göstermektedir. Burada solar radyasyon miktarı en düşük değerinde iken

yenilenebilir enerji kullanım oranı düşmektedir; solar radyasyon miktarı en yüksek değerinde iken ise yenilenebilir enerji kullanım oranı yükselmektedir.

Solar radyasyon ve biyokütle miktarı maliyetin yanı sıra elektrik üretimini de etkiler. Yıl içinde solar radyasyonun beklenenden düşük seyretmesi durumunda fotovoltaik sistem yıllık öngörülen hedef elektrik üretim değerine ulaşamaz. Hibrit sistem tasarımı yapılırken bulutlu gün sayısı 30 gün olarak öngörülmüştü ve bu durumda yıllık üretim değeri (257.400 kWh/yıl) biyogaz santralinin yıllık enerji tüketimini (219.000 kWh/yıl) karşılamaktaydı. Solar radyasyonun düşük seyrettiği gün sayısının artması durumunda yıllık hedef üretimin tüketimin altına düşmesi durumunda biyogaz santrali şebekeden beslenecektir. Fotovoltaik sistemin öngörülemeyen değişkenlerden dolayı yetersiz kalıp tüketimin şebekeden karşılanması istenmeyen bir durumdur. Ancak bu öngörülemeyen durumun gerçekleşme ihtimalinde bile yılın sadece belirli günlerinde şebekeden elektrik tüketimini karşılayıp yılın geri kalan çoğunluğunda fotovoltaik sistemden elektrik tüketimini karşılayan biyogaz santrali %100 şebekeye bağımlı çalışan biyogaz santralinden daha avantajlıdır. Yıl içinde biyokütle miktarının beklenenden düşük seyretmesi durumunda ise biyogaz santralinde üretilen elektrik miktarı düşer ve biyogaz santrali yıllık hedef üretime ulaşamaz. Yıllık hedef üretimin düşmesi biyogaz santralinin yıllık gelirini de düşürecektir. Hassasiyet değişkenleri hibrit sistem tasarımı yapılırken tespit edilmelidir ve sistem üzerinde ki etkisi incelenerek tasarım optimize edilmelidir. Bu çalışmada solar radyasyonun beklenenden daha düşük seyretmesi durumuna karşılık fotovoltaik sistemin kayıp katsayısı yüksek alınmıştır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında Şanlıurfa ilindeki bir biyogaz santrali için biyogaz santrali ve fotovoltaik sistemden oluşan hibrit enerji sistemi tasarlanmıştır. HOMER yazılımı ile tasarlanan hibrit sistem ile biyogaz santralinde elektrik kesintilerinden dolayı meydana gelen duruşların oluşturduğu zararların ve üretim kayıplarının azaltılması amaçlanmıştır. Bu hibrit enerji sistemi ile biyogaz santrali elektrik tüketim ihtiyacını fotovoltaik sistemden karşılar ve şebekede yaşanan elektrik kesintilerinden ve gerilim dalgalanmalarından etkilenmez.

HOMER yazılımı ile yapılan optimizasyon sonucunda 2 farklı durum listelenmiştir. İlk durumda batarya kapasitesi güneş panellerinden üretilen enerjinin tamamını depolayacak şekilde hibrit sisteme dahil edilmiştir. İkinci durumda ise batarya kapasitesi biyogaz jeneratörünün sadece güneşlenme süreleri dışında kullanacağı enerjiyi karşılayacak şekilde hibrit sisteme dahil edilmiştir. İlk durumda hibrit sistemin 25 yıl sonundaki net maliyeti \$509,047 iken, ikinci durumda sistemde kullanılan batarya sayısı azaldığından net maliyet \$467,696'a düşmüştür. Her iki durumda da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı %97,3 olarak bulunmuştur. Hassasiyet analizi ile hibrit sistemde solar radyasyon ve biyokütle miktarının maliyet ve yenilenebilir enerji kullanım oranı üzerinde ki etkisi incelenmiştir. Solar radyasyon miktarının en düşük olduğu durumlarda maliyetin arttığı, yenilenebilir enerji kullanım oranının düştüğü; solar radyasyon miktarının en yüksek olduğu durumlarda ise maliyetin düştüğü, yenilenebilir enerji kullanım oranının yükseldiği görülmüştür. Hibrit sistemde fotovoltaik sistemin yıllık hedef elektrik üretimi 257.400 kWh/yıl, biyogaz santralinin ise yıllık hedef elektrik üretimi 11.592 MWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Solar radyasyon miktarının ve biyokütle miktarının yıl içinde beklenenden düşük seyretmesi durumunda fotovoltaik sistemde ve biyogaz santralinde yıllık üretilmesi hedeflenen elektrik miktarının düştüğü belirtilmiştir. Yapılan tasarım, analiz ve incelemeler sonucunda tasarımı yapılan

hibrit sistemin yenilenebilir enerji kaynaklarını yüksek oranda etkin bir şekilde kullandığı ve uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Hibrit enerji sisteminin uygulanması Şanlıurfa bölgesindeki yüksek biyokütle ve güneşlenme potansiyeli açısından verimli olacaktır.

5.2. Öneriler

Bu çalışma HOMER yazılımı üzerinden simülasyonlarla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada fotovoltaiik sistem sadece GENSET'i beslemek için kullanılmıştır. Farklı bir çalışma ile fotovoltaiik sistemde üretilen enerji GENSET'i beslemenin yanı sıra şebekeye de dahil edilebilir. Bu şekilde GENSET'de herhangi bir arıza nedeniyle duruş yaşanması halinde fotovoltaiik sistemden üretilen enerji şebekeye dahil edilebilir ve sistemden elde edilecek verim en üst seviyeye çıkarılabilir.

KAYNAKLAR

- ADARAMOLA, M. S., CHAAB, M.A. ve PAUL, S.S., 2014. Analysis of hybrid energy systems for application in southern Ghana. *Energy Conversion and Management*, 88: 284-295.
- AKKUŞ, F., 2018. Biyogaz enerjisi ve gaz motorlu kojenerasyon tesisi tasarımı. Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray, 151s.
- ALLOUHI, A., REHMAN, S. and KRARTI, M., 2021. Role of energy efficiency measures and hybrid PV/Biomass power generation in designing 100% electric rural houses: A case study in Morocco. *Energy and Buildings*, 236: 1-12.
- ALİCİ, A., 2022, Fotovoltaik sistemlerin şebeke güç sistemlerine entegrasyonu ve karşılaşılan problemler. Batman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Batman, 1-90s.
- ASLANTAŞ, A., 2018. Dünya’da ve Türkiye’de biyokütle enerjisinin kullanımı ve potansiyeli. KTO Karatay Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 114s.
- ATİK, A. D., ÖZTEKİN, M., ve ERKOÇ, F. 2010. Biyoçeşitlilik ve Türkiye'deki Endemik Bitkilere Örnekler. Gazi University, Journal of Gazi Educational Faculty (GUJGEF), 30(1): 1-15.
- ATLİM, F., 2019. Balıkesir ilindeki PV sistemlerin analizi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir, 11s.
- ATMACA, M., YUSUFOĞLU, G., and KURTULUŞ, A., 2015. Güneş enerjili sulamanın tarım sektöründe uygulaması. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2): 142-153.
- AVCI, F., 2016. Belediye katı atıklarının termal yöntemlerle bertarafı teknolojik ve ekonomik incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, Enerji Bilim ve Teknoloji Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 99s.
- AYAN, A., 2022. Biyokütle enerjisinin Türkiye’deki kullanım olanaklarının değerlendirilmesi. Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Teknolojileri ve Yönetimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı, İstanbul, 155s.
- BADRUHISHAM, S. H., HANIFAH, M. S. A., YUSOFF, S. H., HASBULLAH, N. F. And YAACOB, M., 2021. Integration of Hybrid Biomass-Solar Photovoltaic Wind turbine in Microgrid Application. 8th International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE), 22-23 June, Kuala Lumpur, Malaysia, 87-92.
- BAHRAMARA, S., MOGHADDAM, M.P. and HAGHIFAM, M., 2016. Optimal planning of hybrid renewable energy systems using HOMER: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 144(62): 609–620.

- BAYTAR, B. C., 2023. Fotovoltaik sistemler ve akıllı şebeke entegrasyonunun incelenmesi. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 118s.
- Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası (BEPA), 2022. [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://bepa.enerji.gov.tr/>.
- D'ROZARIO, J, SHAMS, S., RAHMAN, S., SHARİF, A., and BASHER, E., 2015. Cost effective solar-biogas hybrid power generation system. 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 17-19 March, Seville, Spain, 2756-2760s.
- DOĞANAY, M. M. 2021. Mardin bölgesi güneş (fotovoltaik) enerjisi potansiyel analizi. Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi, 3(1): 86-117.
- EFE, Ş., ve GÜNGÖR, Z. A., 2021. Geçmişten Günümüze Batarya Teknolojisi. Uluslararası Araştırma-Geliştirme ve Tasarım Konferansı, 15-18 Aralık, Erzurum, 32: 947-955.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), 2022. Elektrik Aylık Sektör Raporu Listesi [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/>.
- FAYETÖRBAY, M., T., 2022. Katı atık düzenli depolama sahalarında depo gazı ve Erzurum ili metan gazından elektrik üretimi tesisinin incelenmesi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 80s.
- GHASEMI, A., ASRARI, A., ZARIF, M. and ABDELWAHED, S., 2013. Technoeconomic analysis of stand-alone hybrid photovoltaic-diesel-battery systems for rural electrification in eastern part of Iran-A step toward sustainable rural development. Renew. Sustainable Energy Rev., 28: 456-462.
- GHENAI, C., and JANAJREH, I., 2016. Design of Solar-Biomass Hybrid Microgrid System in Sharjah. Energy Procedia, 103: 357-362.
- GU, R., 2021. Methane Gas Emission Detection using Deep Learning and Hyperspectral Imagery. 2021 IEEE 3rd Int. Conf. on Frontiers Technology of Information and Computer (ICFTIC), 12-14 November Greenville, SC, USA, 36-44.
- GÜLER, N. Ü. ve YUMURTACI, Z., 2021. YEKDEM Politikası ve Yenilenebilir Enerji Gelişimi. 6. İzmir Rüzgâr Sempozyumu, 23-24 Eylül, İzmir, 1-10.
- Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA), 2022. [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/63.aspx>.
- GÜRELİ, F., 2015. Tam ölçekli bir katı atık depo sahasında (Odayeri) çöp gazından h₂s gideriminin araştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 123s.
- GÜVEN, A. F., ve METE, K. B., 2022. Balıkesir'in Erdek İlçesi için Şebeke Bağlantılı Hibrit Enerji Sistemi Fizibilite Çalışması ve Ekonomik Analizi. Mühendis ve Makina, Balıkesir, 63(706): 138-158.

- GÜVEN, A. ve HATİPOĞLU C., 2022. Şebekeden Bağımsız Güneş/Rüzgâr/ Biyogaz/Yakıt Hücresi/Batarya Tabanlı Hibrit Enerji Sisteminin Tekno-Ekonomik Analizi: Muğla Zaferler Köyü Vaka Çalışması. EMO Bilimsel Dergi, 12(23): 53-65.
- Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER), 2022. [Online]. Available: <http://www.homerenergy.com/>.
- IŞIK, A., 2014. Katı atık bertaraf tesislerinde organik atıklardan açığa çıkan depo gazı ile enerji elde edilmesi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 76s.
- KANKILIÇ, T., & TOPAL, H. 2015. Belediye atıklarından düzenli depolama sahalarında biyogaz ve enerji üretimi. Mühendis Ve Makina, 56(669): 58-69.
- KAUR, H., GUPTA, S. and DHINGRA, A., 2022. Analysis of hybrid solar biomass power plant for generation of electric power. Materials Today: Proceedings, 48(5): 1134-1140.
- KAVOOSI, A., 2021. Environmental Pollution Caused by the use of Fossil Fuels in Architecture and the Need for Renewable Energy. Science and Tech. of the Day, 2(4): 314-319.
- KILIÇ, F. C., 2015, Güneş enerjisi, Türkiye'deki son durumu ve üretim teknolojileri. Mühendis ve Makina, 56(671): 28-40.
- KUMAR, R., PAL, N. and KUMAR, R., 2015. Techno-economic analysis of grid connected PV-biomass based hybrid system with feed-in tariffs for ISM, Dhanbad. 2015 International Conference on Energy Economics and Environment (ICEEE), 27-28 March, Greater Noida, India, 1-6.
- KÜÇÜK, S., 2019. Off grid güneş sistemleri için yeni bir projelendirme aracı tasarımı. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya, 56s.
- MOCHI. P., 2018. Primary Review on MPPT Method and Size of Grid Connected Solar Photovoltaic Inverter. 8th IEEE India International Conference on Power Electronics (IICPE), 13-15 December, Jaipur, India, 1-6.
- MOHSIN, F. R., 2023. A modified hybrid alo-pso-based maximum power point tracking for photovoltaic system. İstanbul Gelişim University institute of graduate studies. Department of Electrical-Electronic Engineering, Master Thesis, İstanbul, 106s.
- MOYA, C. SANTIAGO R., HOSPITAL-BENITO, D., LEMUS, J. and PALOMAR, J., 2022. Design of biogas upgrading processes based on ionic liquids. Chemical Engineering Journal, 428.

- ÖZBAŞER, F. T., 2013. Biyogaz üretimi ve kullanımı. Lalahan Hay. Araştırma Enstitüsü Dergisi, 53(2), 115-124.
- PRADHAN, S. R., BHUYAN, P. P. and SAHOO, S. K., 2013. Design of Stand alone Hybrid Biomass&PV System of an Off Grid House in a Remote Area. Int. Journal of Engineering Research and Application, 3(6): 433-437.
- RAJBONGSHI, R., BORGOHAIN D. and MAHAPATRA S., 2017. Optimization of PV-biomass-diesel and grid base hybrid energy systems for rural electrification by using HOMER. Energy, 126: 461-474.
- RAMLI, M. A.M., HIENDRO, A., SEDRAOUI, K. And TWAHA, S., 2015. Optimal sizing of grid-connected photovoltaic energy system in Saudi Arabia. Renewable Energy, Saudi Arabia, 75: 489-495.
- RUMMENY, S. and WAFFENSCHMIDT, 2018. E., Options for an autarkic operation of a communal power grid using a battery and renewable energies. 12th International Renewable Energy Storage Conference (IRES), 155: 329-335.
- SALEHIN, S., ISLAM, A. K. M. S., HOQUE, R., RAHMAN, M., HOQUE, A. and MANNA, E., 2014. Optimized Model of a Solar PV-Biogas-Diesel Hybrid Energy System for Adorsho Char Island, Bangladesh. 2014 3rd Int. Conf. on the Developments in Renew. Energy Tech. (ICDRET), 29-31 May, Dhaka, Bangladesh, 1-6.
- SANZ-BOBI, M. A., CUADRA F., and BATLLE, C., 2012. A review of keypoints of an industrial biogas plant. A European perspective. 2012 Int. Conf. on Renew. Energy Research and Applications (ICRERA), 11-14 November, Nagasaki, Japan, pp. 1-6.
- ÇEKER, S., 2010. Üç fazlı inverterler ile şebekeye enerji aktarımının incelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Makineleri ve Güç Elektronik Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 79s.
- SHAHZAD, M.K., ZAHID, A., RASHID, T., REHAN, M. A., ALI, M. and AHMAD, M., 2017. Techno-economic feasibility analysis of a solar-biomass off grid system for the electrification of remote rural areas in Pakistan using HOMER software. Renew. Energy, 106: 264-273.
- SIGARCHIAN, S. G., PALETA, R., MALMQUIST, A. and PINA, A., 2015. Feasibility study of using a biogas engine as backup in a decentralized hybrid (PV/wind/battery) power generation system-Case study Kenya. Energy, Kenya, 90: 1830-1841.
- SÖMEK, Ö. Ö., 2023. Depo gazından enerji üretiminde kullanılan gaz motorlarının yanma odasında oluşan depozitlerin karakterizasyonu ve oluşum mekanizmasının belirlenmesi. Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Gebze, 161s.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022. Biyokütle. [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle>

- TABAK, A., 2021. Konya İlinde Bir Fabrikanın Enerji Talebinin Karşılanması için Hibrit Enerji Üretim Sisteminin Analiz ve Tasarımı. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, Konya, 13(1), 220-230.
- TANIM, M. M., CHOWDHURY, N. A., RAHMAN, M. M. and FERDOUS, J., 2014. Design of a photovoltaic-biogas hybrid power generation system for bangladesh remote area using HOMER software. 2014 3rd Int. Conf.on the Developments in Renewable Energy Tech. (ICDRET), 29-31 May, Dhaka, Bangladesh, 1-5.
- TAZVINGA, H., and DZOBO, O., 2019. Feasibility Study of a Solar-Biogas System for Off-Grid Applications. 2019 9th Int. Conf. on Power and Energy Systems (ICPES), 10-12 December, Perth, WA, Australia, 1-5.
- TEİAŞ, 2022, Kurulu Güç Raporları. [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari>
- ÜNEY, M. Ş., and ÇETİNKAYA, N., 2014. Comparison of CO2 emissions fosil fuel based energy generation plants and plants with Renewable Energy Source. Proceedings of the 2014 6th Int. Conf. on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 23-25 October, Bucharest, Romania, 29-34.
- VARINCA, K. B., & GÖNÜLLÜ, M. T. 2006. Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. Ulusal güneş ve hidrojen enerjisi kongresi, 21-23 Haziran, 1-6s.
- YILMAZ, A., 2019. Türkiye’de biyogaz üretimi ve kurulu santrallerin ürettiği elektrik enerjisi. Ecological Life Sciences, 14(1): 12-28s.