

T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
DİSİPLİNLERARASI NÜKLEER ENERJİ VE ENERJİ
SİSTEMLERİ ANABİLİM



SİNOP İLİ KABALI KÖYÜ ÖRNEĞİ İÇİN, İÇME SUYU
ÇIKARMA İŞLEMİNDE FOTOVOLTAİK SİSTEM KULLANIM
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

ÜNAL ZENGİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
PROF. DR. ZARİFE SİBEL ŞAHİN

2025

TEZ KABUL

Ünal ZENGİN tarafından hazırlanan “ SİNOP İLİ KABALI KÖYÜ ÖRNEĞİ İÇİN, İÇME SUYU ÇIKARMA İŞLEMİNDE FOTOVOLTAİK SİSTEM KULLANIM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu çalışma, 17.07.2025 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından **YÜKSEK LİSANS tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan	Prof. Dr. Yelda BİNGÖL ALPASLAN Giresun Üniversitesi /Fen Edebiyat Fakültesi	İmza
Üye (Danışman)	Prof. Dr. Zarife Sibel ŞAHİN Sinop Üniversitesi / Mühendislik Mimarlık Fakültesi	İmza
Üye	Doç. Dr. Mehmet Onur KARAAĞAÇ Sinop Üniversitesi / Mühendislik Mimarlık Fakültesi	İmza

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Hüseyin Turan ARAT

ETİK BEYANI

Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ünal ZENGİN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİNOP İLİ KABALI KÖYÜ ÖRNEĞİ İÇİN, İÇME SUYU ÇIKARMA İŞLEMİNDE FOTOVOLTAİK SİSTEM KULLANIM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

ÜNAL ZENGİN

SİNOP ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
DİSİPLİNLERARASI NÜKLEER ENERJİ VE ENERJİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. ZARİFE SİBEL ŞAHİN

Çalışmanın temel amacı, güneş enerjisi ile çalışan bir su pompalama sisteminin enerji ihtiyacını karşılamak için gerekli olan bileşenlerin doğru seçilmesi, sistemin tasarımının yapılması ve ekonomik açıdan sistemin geri dönüş süresinin hesaplanmasıdır. Çalışmada Sinop ili Kabalı Köyü referans alınarak planlanan içme suyu tesisinin enerji ihtiyacının güneş enerjisinden faydalanılarak karşılanması durumunda fayda maliyet analizi yapılmıştır. Sistemde kullanılacak moto-pomp, debisi 8 m³/h olan ve 3.4 kW gücünde bir güneş enerjili derin kuyu su pompası olarak seçilmiştir. Güneş enerjisi, sistemin günlük enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılacak ve toplamda 15 adet 640 Wp gücünde monokristal fotovoltaik panel ile sağlanacaktır. Enerji depolaması için LiFePO₄ (Lityum Demir Fosfat) aküler tercih edilmiş, 12 adet 12V 200Ah kapasitesinde akü ile sistemin enerji depolama kapasitesi sağlanmıştır. Güneş panellerinin verimli çalışması için 3 adet 50A'lık MPPT şarj regülatörü kullanılmıştır. Sistem tasarımında, güneşlenme süreleri, seçilen bölgenin günlük su ihtiyacı ve enerji verimliliği göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda, sistemin ekonomik olarak 9 yıl içinde maliyetini karşılayarak kara geçmesi beklenmektedir. Bu çalışma, özellikle şebekeden bağımsız bölgelerde enerji ihtiyacını karşılamak için fotovoltaik sistemlerin kullanımının çevre dostu ve ekonomik bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Güneş enerjisi; Fotovoltaik sistem, Moto-pump; Maliyet analizi.

Temmuz 2025, 55 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

DETERMINING THE POTENTIAL OF USING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN DRINKING WATER EXTRACTION IN KABALA VILLAGE, SINOP PROVINCE

ÜNAL ZENGİN

**SINOP UNIVERSITY INSTITUTE OF GRADUATE PROGRAMS
DEPARTMENT OF INTERDISCIPLINARY NUCLEAR ENERGY AND
ENERGY SYSTEMS**

SUPERVISOR: PROF. DR. ZARİFE SİBEL ŞAHİN

The main objective of this study is to accurately select the necessary components to meet the energy demand of a solar-powered water pumping system, design the system, and calculate the system's payback period from an economic perspective. In this study, a benefit-cost analysis was conducted to assess the energy needs of the planned drinking water facility in Kabala Village, Sinop Province, when powered by solar energy. The pump to be used in the system is a solar-powered deep well water pump with a flow rate of 8 m³/h and a power of 3.4 kW. Solar energy will be utilized to meet the system's daily energy needs, and a total of 15 monocrystalline photovoltaic panels, each with a power of 640 Wp, will be used. For energy storage, LiFePO₄ (Lithium Iron Phosphate) batteries were chosen, and the system's energy storage capacity is provided by 12 batteries, each with a 12V 200Ah capacity. Three 50A MPPT charge controllers are used to ensure the efficient operation of the solar panels. In the system design, factors such as sunlight duration, daily water demand, and energy efficiency have been considered. Based on the calculations, the system is expected to pay itself off economically in 9 years. This study demonstrates that photovoltaic systems provide an environmentally friendly and economic solution for meeting energy needs, especially in off-grid areas.

KEYWORDS: Solar energy; Photovoltaic system; Motor pump; Cost analysis.

July 2025, 55 Page

TEŐEKKÖR

Yaptığım çalışmalarda bana desteklerini esirgemeyen bilgi birikim ve tecrübesiyle bana yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Zarife Sibel ŞAHİN'e, içtenlikle teşekkür ederim.

Bana uygun çalışma ortamı hazırlayan değerli eşim Emine Büşra ZENGİN'e ve sevgili kızım Elif Duru ZENGİN'e teşekkür ederim.



Ünal ZENGİN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ KABUL	ii
ETİK BEYANI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Enerji Kaynakları.....	3
2.1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	4
2.1.1.1. Rüzgâr Enerjisi	4
2.1.1.2. Jeotermal Enerji	6
2.1.1.3. Hidrolik Enerji	6
2.1.1.4. Biyokütle Enerjisi	9
2.1.1.5. Güneş Enerjisi.....	11
2.1.2. Yenilenemez Enerji Kaynakları.....	12
3. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ	14
3.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	14
3.2. Fotovoltaik Sistemler.....	18
3.2.1. Off-Grid Fotovoltaik sistemler (şebekeden bağımsız sistemler)	18
3.2.2 On-grid fotovoltaik Sistemler (Şebeke Bağlantılı Sistemler).....	19
3.3. Güneş Panelleri ve Çeşitleri.....	20
3.3.1. Monokristal ve Polikristal Güneş Panelleri	20
3.3.2 İnce Film Güneş Panelleri.....	21
3.4. Güneş Enerjisi Sistemlerinin Diğer Parçaları	22
3.4.1. Şarj Kontrol Cihazları	23
3.4.2. Bataryalar.....	23

3.4.3. İverterterler.....	24
3.5. Güneş Enerjisi Uygulamaları.....	25
3.5.1. Fotovoltaik Sistem Çatı ve Cephe Uygulamaları	25
3.5.2. Fotovoltaik Sistem Arazi Uygulamaları	26
4. LİTERATÜR TARAMASI.....	28
5.MATERYAL VE YÖNTEMLER	30
5.1. Sinop İli Güneş Enerjisi Potansiyeli	30
5.2. Güneş Paneli Eğim Açısının Hesaplanması.....	32
5.3. İçme Suyu ve Sulama Sistemi	34
5.4. Güneş Enerjisi Kullanılarak Sondaj ile Su Çıkarılması.....	34
5.5. Kabalı Köyü İçme Suyu Tesisi ve GES Santrali	36
5.6. Sistemin Kurulacağı Alanın Arazi Yapısı	36
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	38
6.1 Sistem İçin Panel Gücünün ve Pompa Gücünün Belirlenmesi.....	38
6.1.1. Su Pompası Hidrolik Gücü	38
6.1.2. Motor Gücünün Hesabı.....	39
6.1.3 Panellerin Bağlanması	42
6.2. Mppt Gücünün Belirlenmesi.....	43
6.3. Akü Kapasitesinin Belirlenmesi	43
6.3.1 Jel Akü Kullanılması Durumunda Akü Kapasitesinin Belirlenmesi	44
6.3.2. LiFePO ₄ Akü Kullanımı Durumunda Akü Kapasitesinin Belirlenmesi	45
6.4. Paneller Arası Mesafenin Belirlenmesi	46
6.5. Güneş Enerjili Su Pompalama Sisteminin Ekonomik Analizi.....	47
7. SONUÇ	50
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	54

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 6.1 Seçilen Panelin Teknik Özellikleri	40
Tablo 6.2 17.04.2025 tarihli Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası Kur Verileri	48
Tablo 6.3 Maliyet Analizi	48



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Türkiye'nin Son 10 Yılda Kurulu Gücündeki Değişim Grafiği.....	2
Şekil 2.2 2023 Yılı Kasım Ayı itibariyle Türkiye'de Elektrik Üretimi	3
Şekil 2.3 Rüzgarların Oluşumu.....	4
Şekil 2.4 Rüzgâr Enerjisinin Yıllar İçindeki Kurulu Gücü.....	5
Şekil 2.5 Jeotermal Enerji Kaynağı Kurulu Gücü	6
Şekil 2.6 Yeryüzündeki Su Döngüsü.....	7
Şekil 2.7 Bir hidroelektrik Santralin Çalışma Prensibi.....	8
Şekil 2.8 Hidrolik Enerji Kurulu Gücü.....	8
Şekil 2.9 Hidrolik Enerjinin Toplam Kurulu Güç İçindeki Oranı	9
Şekil 2.10 Biyokütle Enerji Döngüsü	10
Şekil 2.11 Biyokütle Enerjisi Kurulu Gücün Yıllara Göre Değişimi	11
Şekil 2.12 Biyokütle Enerjisinin Kurulu Güç İçindeki Değişimi	11
Şekil 3.1 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası	15
Şekil 3.2 Türkiye'nin Aylık Ortalama Radyasyon Değerleri	15
Şekil 3.3 Güneş Enerjisinin Türkiye'nin Kurulu Gücü İçerisindeki Yeri	16
Şekil 3.4 Güneş Enerjisi Yapılabilecek Alanlar	17
Şekil 3.5 Off-Grid PV Şeması	18
Şekil 3.6 On-Grid Fotovoltaik Sistem Şeması.....	19
Şekil 3.7 Monokristal ve Polikristal Güneş Panelleri	21
Şekil 3.8 İnce Film Güneş Paneli.....	22
Şekil 3.9 Güneş Enerji Sistemlerinde Kullanılan Cihazlar.....	23
Şekil 3.10 Güneş Enerjisi Çatı Uygulamaları.....	26
Şekil 3.11 Güneş Enerjisi Arazi Uygulamaları.....	27
Şekil 5.1 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası.....	30
Şekil 5.2 Sinop Radyasyon Haritası	31
Şekil 5.3 Sinop Global Radyasyon Değerleri	31
Şekil 5.4 Sinop Güneşlenme Süreleri	32
Şekil 5.5 Güneş paneli Eğim Açısı	33
Şekil 5.6 Kabalı Merkez Köyü İçme Suyu Tesisi Ges Kurulması Planlanan Arazi.....	35
Şekil 6.1 Güneş Enerjisi Sistemi Kullanılarak Su Çıkarılması	38
Şekil 6.2 Seçilen Su Pompası Özellikleri	40

Şekil 6.3 Panellerin Bağlantı Şekilleri	43
Şekil 6.4 Jel Akü Seçimi Yapılarak Tasarlanan Akü Bağlantı Şeması	45
Şekil 6.5 LiFePO ₄ Akü Seçimi Yapılarak Tasarlanan Akü Bağlantı Şeması	46
Şekil 6.6 Güneş Panellerinde Gölgeleme	47



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°	: Derece
'	: Dakika
P_H	: Hidrolik güç
P_E	: Elektriksel güç
H	: Yükseklik
Q	: Debi
H	: Yükseklik
g	: Yerçekimi ivmesi
ρ	: Yoğunluk
η	: Verim
°C	: Santigrat derece
V_{mp}	: Maksimum güç verimi
I_{mp}	: Maksimum güç akımı
V_{oc}	: Açık devre gerilimi
$LiFePO_4$: Lityum demir fosfat
h	: Saat
s	: Saniye
W	: Watt
MW	: Mega Watt
DC	: Doğru Akım
AC	: Alternatif Akım
PV	: Photo Voltaic
FV	: Fotovoltaik
$GEPA$: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
Kg	: Kilogram
Km	: Kilometre
mm	: Milimetre
kWh	: Kilowatt saat
kWp	: Kilowattpeak
TL	: Türk Lirası
m	: Metre
m^2	: Metrekare
A	: Amper
V	: Volt
$TÜİK$: Türkiye İstatistik Kurumu
$MPPT$: Maximum Power Point Tracking (maksimum güç noktası izleme)

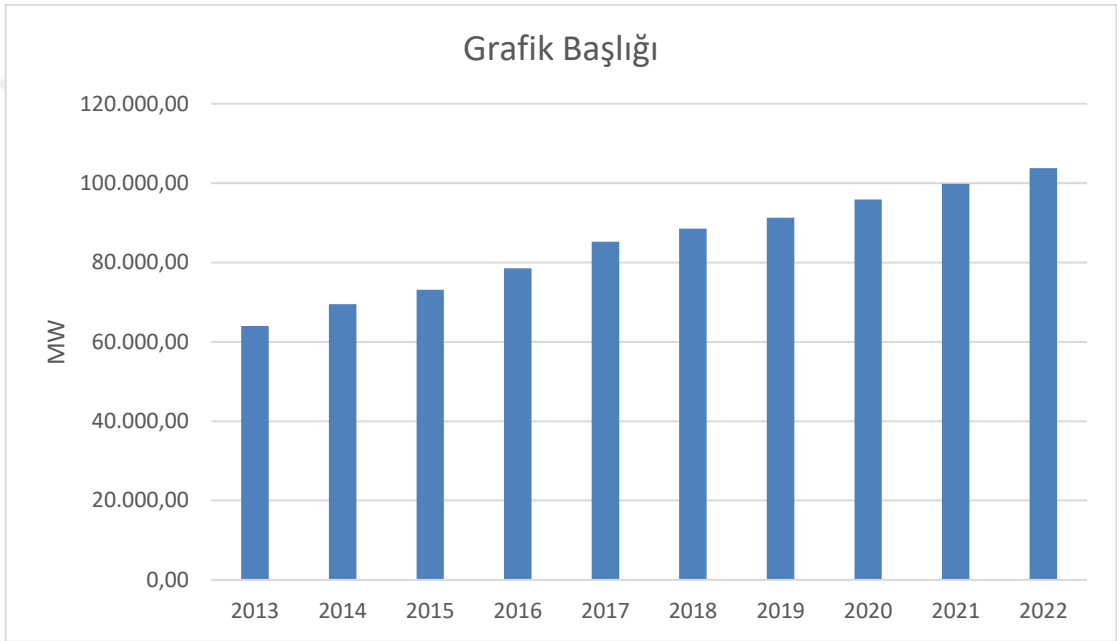
1. GİRİŞ

İçme suyu sistemleri yer altında bulunan kaynak sularının etkin bir şekilde içme suyu olarak kullanılmasını ve bunun yanında artan suyun ise tarımsal sulama sisteminde kullanılmasını amaçlayan temel unsurlardan biri olarak nitelendirilir. Su ihtiyacı bulunan köylerde ve mahallerde sondaj ile su kuyusu açarak insanların su ihtiyacının karşılanması hedeflenmektedir. Özellikle su ihtiyacının çok olduğu ve kaynak suyunun bulunmadığı Sinop ilinin yüksek köylerinde kabuğunun yaklaşık 80 metre altından özel sondaj makinaları ile içme suyu çıkarılmaktadır. Çıkarılan bu su moto-pomp sistemi makinelerle köyün daha yüksek yerine yapılan depolara pompalanmaktadır. Bu depolardan ise suyun kendi eğimiyle evlere dağılması sağlanmaktadır. İçme suyu sistemine güneş enerjisi entegre edildiğinde, enerji maliyetlerinde ciddi bir düşüş sağlanmakta ve çevresel etkileri önemli ölçüde azalmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu güneş enerjisi sistemi ile entegre olarak uygulanmaktadır.

Bu tez çalışmasında Kabalı Köyünün su ihtiyacının karşılanması amacıyla açılmış olan su sondaj kuyusunun elektrik ihtiyacının güneş enerjisi sistemi ile karşılanması için projelendirme aşamaları, fayda maliyet analizinin yapılması gibi konularda inceleme yapılmıştır. Bu kapsamda güneş enerjisinden elde edilebilecek enerjinin en büyük avantajının ücretsiz ve sınırsız olmasıdır. Bu sistemle enerji bağımlılığı azaltılıp, karbon ayak izi azaltarak fosil yakıtlara olan bağımlılığımız azaltılabilmektedir. Sürdürülebilir bir tarım sistemi ve içme suyu sağlanması açısından güneş enerjisi ile entegreli sistemler çok önemlidir. Sinop ilinde elektrik alt yapısının bulunmadığı ve elektrik tüketim maliyetlerinin yüksek olduğu yerlerde güneş enerjili entegre sistemlere dönüşüm yapılmaktadır. Sürdürülebilir bir tarım sistemi ve içme suyu sağlanması açısından güneş enerjisi entegreli sistemler çok önemlidir.

2. GENEL BİLGİLER

Enerjiye olan ihtiyacımız; ekonomik gelişmelere, nüfus artışına, sanayinin gelişmesine ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak artmaktadır. Yenilenebilir olmayan kaynaklardan elde edilen enerjinin üretim safhalarında doğaya verdiği zararlardan dolayı bütün dünyada yenilenebilir enerjiye yönelim artmaktadır. Yenilebilir enerji üretiminde ilk sırayı rüzgârın ve güneşin aldığı görülmektedir. Diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de enerji ihtiyacının karşılanması için büyük oranda fosil kaynaklı yakıtlardan faydalanılmaktadır



Şekil 2.1 Türkiye'nin Son 10 Yılda Kurulu Gücündeki Değişim Grafiği (URL-1, 2023).

Türkiye'nin elektrik kurulu gücü sürekli olarak artmaktadır. Şekil 2.1'de verilen grafik incelendiğinde 2013 yılında elektrik kurulu güç 64.007,5 MW iken 2022 yılında elektrik kurulu güç 103.809,3 MW'a çıkarak %61,65 oranında artış meydana gelmiştir.

2.1. Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları pek çok farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Ancak bu enerji kaynaklarının hepsi ya yenilenebilir ya da yenilenemez kaynaklarıdır. Yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları, birincil enerji kaynağı olarak ısı gibi faydalı enerji üretmek için kullanılabilir. Elektrik ve hidrojen gibi ikincil enerji kaynaklarını üretmek için de kullanılabilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi olarak ülkemizde kullanılmaktadır. Yenilenemez enerji kaynakları ise kömür, petrol, doğalgaz ve nükleer enerjidir. Şekil 2.2.'de görüldüğü üzere Türkiye'nin enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğunun ithal kaynaklardan elde edilen enerjiden sağlandığı görülmektedir. Kasım ayı itibariyle güneşlenme süresinin az olmasından dolayı güneşten elde edilen enerji minimum seviye olduğu görülmektedir.



Şekil 2.2 2023 Yılı Kasım Ayı itibariyle Türkiye’de Elektrik Üretimi (URL-2, 2023).

Şekil 2.1 incelendiğinde Türkiye'nin enerji ihtiyacının yaklaşık %50'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlandığı görülmektedir. Mevsim şartlarına bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim miktarında değişimler meydana gelmektedir. Ülkemizde elektrik enerjisi üretim santral sayısının lisansız santraller dahil 2023 yılı itibariyle 13.035 adede çıkmıştır (URL-3, 2023). Bu santrallerin 755 tanesinin hidroelektrik santrali, 68 tanesinin kömür santrali, 363 tanesinin rüzgâr enerji santrali, 63 tanesinin jeotermal santral, 344 tanesinin doğalgaz çevrim santrali, 10.950 tanesinin

güneş enerji santrali, 492 tanesinin ise diğer enerji kaynaklarından üretilen santraller olduğu görülmektedir (URL-3, 2023).

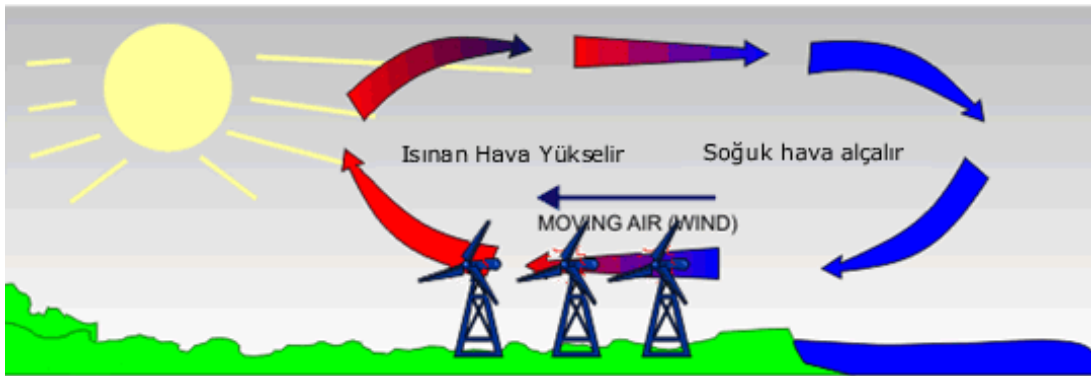
2.1.1. Yenilenebilir enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji; doğada sürekli olarak bulunan, kendini devamlı yenileyebilen ve enerji kaynağı olarak sonsuz olarak değerlendirilen enerji kaynağına denir. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, gelgit, jeotermal, biyokütle ve hidrolik enerji olarak sıralanabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları dünya enerji üretim ihtiyacının %26'sını karşılamaktadır (URL-4, 2023).

Fosil kaynaklar bakımından ülkemiz çok zengin olmadığı için enerjiye olan ihtiyacımızı büyük çoğunluğu dış kaynaklardan karşılamaktayız. Bu sebeple enerji kaynakları hammaddesi ve enerji ithalatına milyonlarca dolar ödenmektedir. Türkiye yenilenebilir enerji potansiyeli bakımından oldukça zengin ve geniş bir kaynağa sahiptir. Şekil 2.1'de görüldüğü üzere yenilenebilir kaynaklarından üretim miktarının toplam miktara oranı %51 seviyesinde olduğu görülmektedir (URL-5, 2023). Pek çok ülke, karbondioksit emisyonlarını azaltmaya ve önlemeye yardımcı olmanın bir yolu olarak yenilenebilir enerji kullanımını arttırmaya çalışıyor.

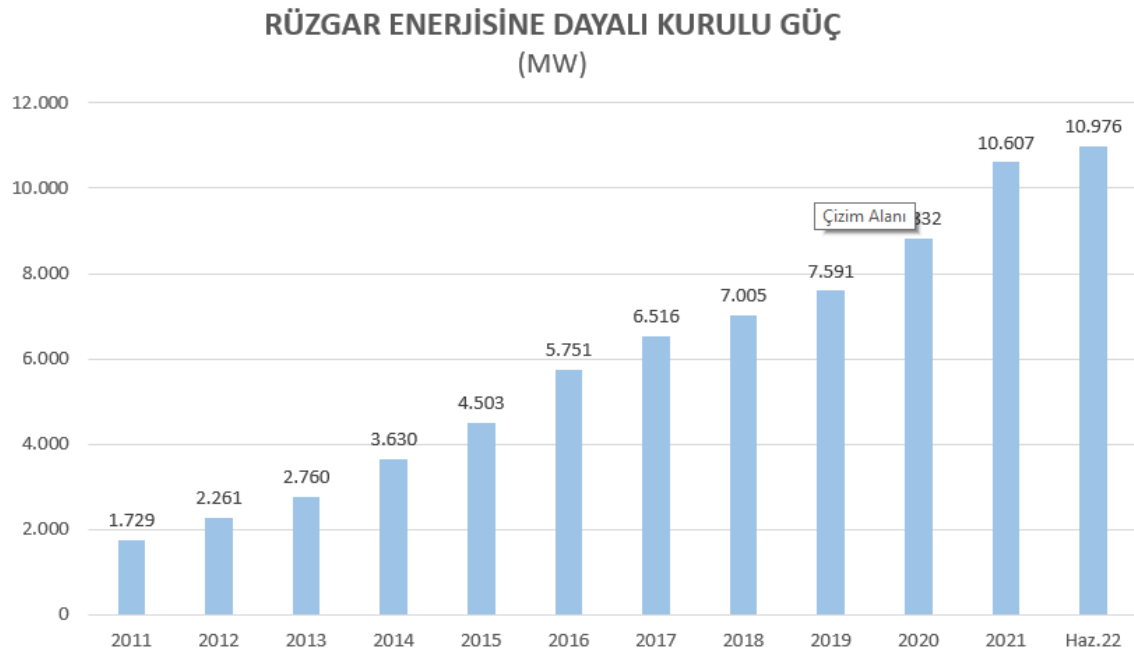
2.1.1.1. Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr, Güneş'in yeryüzünü homojen olmayan şekilde ısıtması sonucu oluşan hava hareketleridir. Dünyanın yüzeyi farklı türde kara ve sulardan oluştuğundan, güneşten gelen ısı da farklı oranda emilir. Bu dengesiz ısınmanın bir örneği rüzgâr döngüsüdür (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3 Rüzgarların oluşumu Fenusbilim, 8. Sınıf 1. Ünite İklim ve Hava Olayları, https://www.fenusbilim.com/2022/09/04/8-sinif-1-unite-iklim-ve-hava-olaylari/#google_vignette

Geçmişten beri su pompalayan yel değirmenlerinde rüzgâr enerjisi kullanılmaktayken günümüzde rüzgâr enerjisi esas olarak elektrik üretmek amacıyla kullanılmaktadır. 2006 yılında geliştirilen orta ölçekli sayısal hava tahmin modeli ile mikro ölçekteki rüzgar akış modeline dayalı olarak 200 metre yatay çözünürlükte oluşturulan Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA-V1) verileri doğrultusunda, yer seviyesinden 50 metre yüksekte ve ortalama hızı 7.5 m/s'nin üzerinde olan uygun alanlarda, kilometrekare başına 5 MW kapasiteli rüzgar santralleri kurulabileceği varsayılmış ve bu şekilde Türkiye'nin rüzgar enerji potansiyeli 47.849,44 MW olarak belirlenmiştir (URL-3, 2023). Yapılan bu tespit incelediğinde araştırmanın yapıldığı yıl rüzgâr enerji üretim potansiyeli olarak kendine yeter olduğu görülmektedir. Günümüzde ise Şekil 2.2 verileri incelediğinde Türkiye'nin kurulu gücünün 2022 yılı itibariyle 103.809,3 MW olduğu ve Türkiye'nin rüzgâr potansiyeli olarak ancak bu gücün yarısını karşılayabildiği görülmektedir. 2022 yılı Haziran ayı sonunda, rüzgâr enerjisinden elektrik üretimine yönelik kurulu kapasitemiz 10.976 MW olduğu görülmektedir.



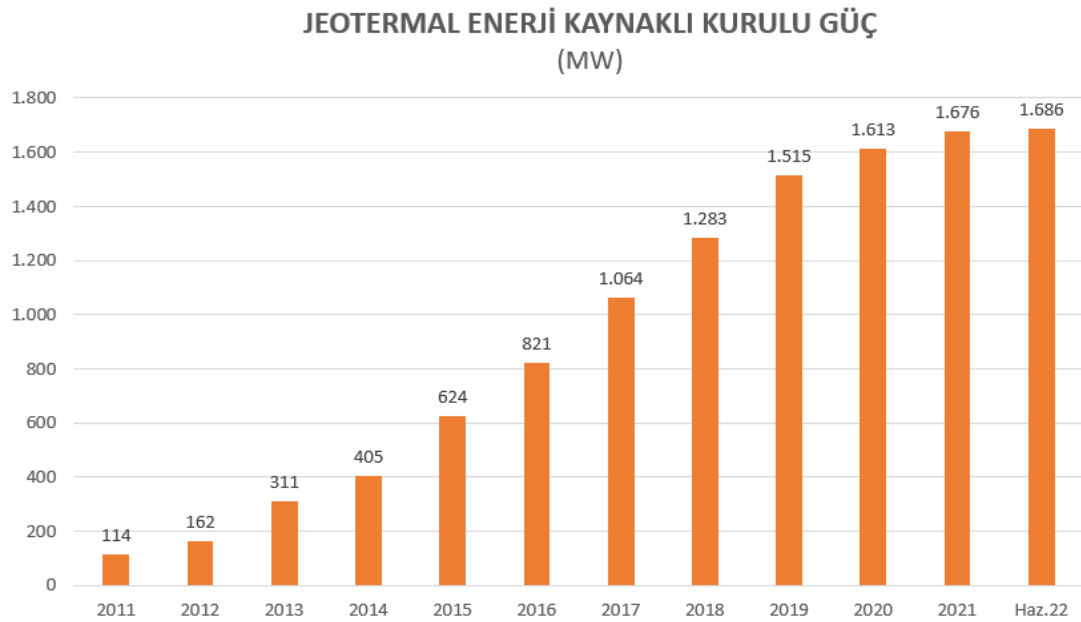
Şekil 2.4.Rüzgâr Enerjisinin Yıllar İçindeki Kurulu Gücü (URL-3, 2023)

2.1.1.2. Jeotermal enerji

Jeotermal enerjinin kaynağı; yer kabuğunun içindeki ısıdır. Jeotermal kelimesi Yunanca “geo” (toprak) ve “therme” (ısı) kelimelerinden gelir. Jeotermal enerji, yerin içinde sürekli olarak ısı üretildiği için, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Dünyanın çekirdeğindeki radyoaktif parçacıkların yavaş yavaş bozunması jeotermal enerjiyi üretir. Kayalar ve sular, yerin derinliklerindeki magmadan ısıyı emer.

Jeotermal enerji yenilenebilir, temiz, ucuz ve çevreci bir yer altı enerji kaynağıdır. Ülkemizin coğrafi konumundan dolayı, aktif olan tektonik bir hat üzerinde bulunmasından dolayı dünya ülkeleri arasında zengin bir jeotermal enerji kaynağına sahiptir. Türkiye jeotermal potansiyel bakımından Avrupa'nın 1. ülkesi ve elektrik kurulu gücü olarak Dünyanın 4. ülkesi durumundadır (URL-3, 2023).

Türkiye'deki elektrik kurulu gücü olarak Şekil 2.5'te görülüşü üzere Haziran 2022 sonu itibarıyla 1686 MW olduğı görölmektedir.



Şekil 2.5 Jeotermal Enerji Kaynağı Kurulu Gücü (URL-3, 2023)

2.1.1.3. Hidrolik enerji

Hidrolik enerji, hareketli sudaki enerjidir. İnsanlar, tarih boyunca akan suyun hareketinden yararlanarak mekanik güç elde etmişlerdir. Elektrik üretiminde kullanılan

en eski yöntemlerden biri de hidroelektrik enerjidir. Hidroelektrik santraller; çevreye uyumlu, temiz, yenilenebilir, yüksek verimli, yakıt gideri olmayan, uzun ömürlü, işletme gideri çok düşük dışa bağımlı olmayan yerli bir enerji kaynağı olup en çok tercih edilen enerji kaynakları arasındadır.

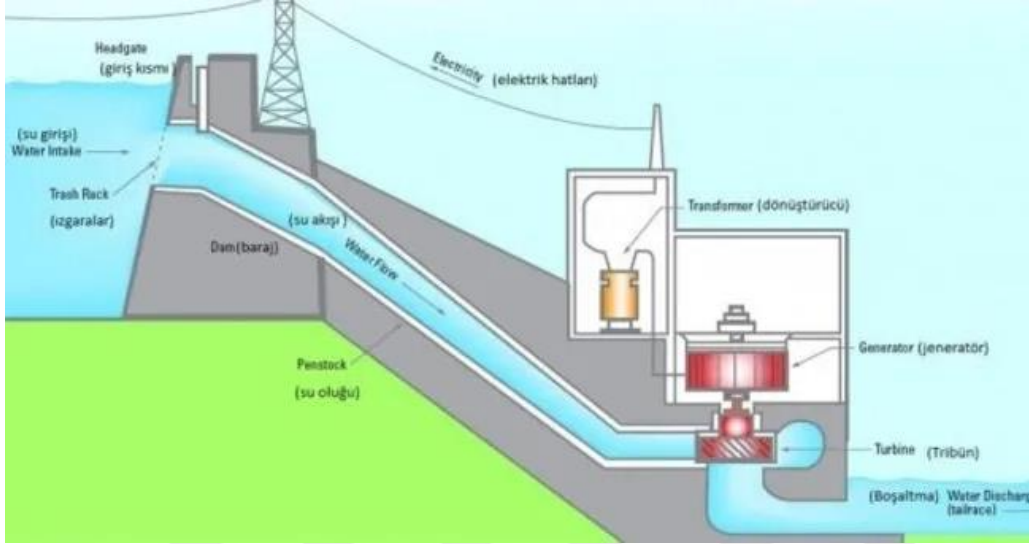
Hidro-enerjiyi anlamak için doğadaki su döngüsünü bilmekte fayda vardır. Su döngüsünün üç aşaması vardır (Şekil 2.6). Nehir, göl ve denizlerde bulunan su güneş enerjisi tarafından ısıtılarak buharlaşır. Daha sonra bulutlarda yoğunlaşan su buharı yağış (yağmur ve kar) olarak yeryüzüne düşer ve tekrar deniz, akarsu...vb. gibi su kaynaklarında toplanır, tekrar buharlaşır ve döngüyü yeniden başlatır. Bir bölgedeki nehir ve akarsulara ulaşan yağmur miktarı, hidroelektrik enerji üretimi için kullanılacak suyun seviyesini belirler. Mevsimsel yağış farklılıkları ve uzun süreli kuraklık gibi iklimsel değişiklikler, hidroelektrik üretim kapasitesini ciddi şekilde etkileyebilir.



Şekil 2.6 Yeryüzündeki su döngüsü Su Verimliliği Seferberliği, <https://www.suverimliliği.gov.tr/su-dongusu/>

Hidroelektrik enerjinin kaynağı su olduğundan hidroelektrik santraller genellikle su kaynağının üzerinde veya yakınında kurulur. Su akışının hacmi ve bir noktadan diğerine yükseklik veya düşüşteki (genellikle yükseklik olarak anılır) değişim, hareket eden

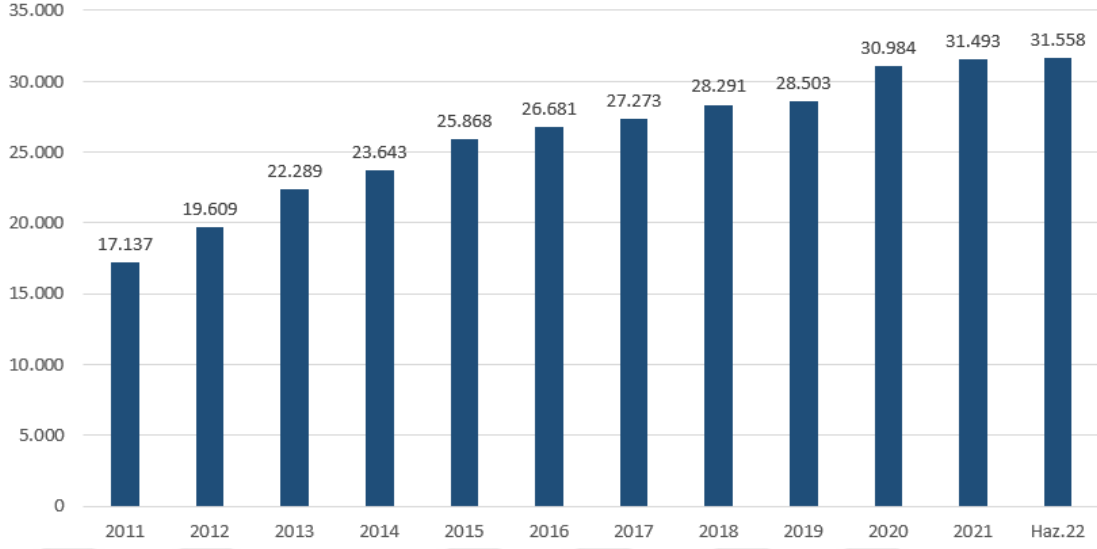
sudaki mevcut enerji miktarını belirler. Genel olarak su akışı ne kadar fazla ve düşüşü ne kadar yüksek olursa, bir hidroelektrik santrali o kadar çok elektrik üretebilir. Hidroelektrik santrallerde su bir borudan akar, daha sonra elektrik üretmek üzere bir jeneratöre güç sağlamak üzere dönen bir türbindeki kanatları iter ve döndürür (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Bir hidroelektrik santralin çalışma prensibi, Mühendis Beyinler, Hidroelektrik Enerji Nasıl Üretilir, <https://www.muhendisbeyinler.net/hidroelektrik-enerji-nasil-uretilir/>

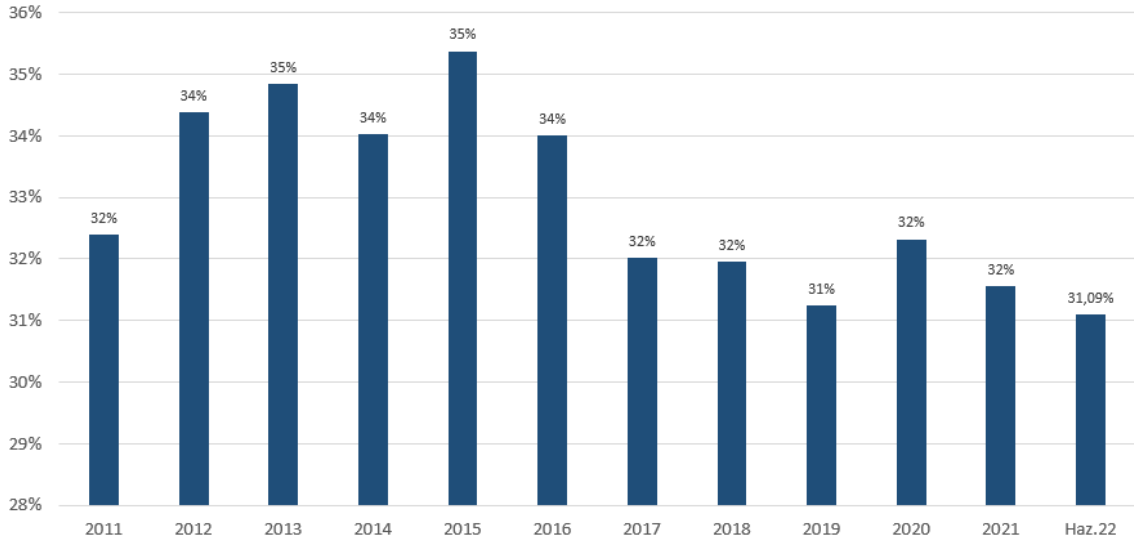
Şekil 2.8’de Haziran 2022 sonu itibariyle hidrolik enerjisine dayalı elektrik kurulu gücümüz 31.558 MW, Şekil 2.9’de görüldüğü üzere ise toplam kurulu güç içerisindeki oranının %31 olduğu görülmektedir. Mevsim şartlarına ve kurulu güç içindeki üretim miktarına bağlı olarak kurulu güç miktarı değişmektedir.

HİDROELEKTRİK ENERJİSİNE DAYALI KURULU GÜÇ (MW)



Şekil 2.8 Hidrolik Enerji Kurulu Gücü (URL-3, 2023)

TOPLAM KURULU GÜÇ İÇERİSİNDEKİ ORANI



Şekil 2.9 Hidrolik Enerjinin Toplam Kurulu Güç İçindeki Oranı (URL-3,2023)

2.1.1.4. Biyokütle enerjisi

Biyokütle, bitkilerden ve hayvanlardan elde edilen yenilenebilir organik bir malzemedir. Biyokütle, bitki ve hayvanlardan elde edilen, yenilenebilir nitelikte organik bir kaynaktır. Bitkiler fotosentez yoluyla güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek biyokütlede depolar. Bu enerji kaynağı, doğrudan yakılarak ısı elde etmek amacıyla kullanılabilir ya da farklı yöntemlerle sıvı ve gaz yakıtlara dönüştürülebilir. Enerji

üretiminde değerlendirilen biyokütle kaynakları arasında; yakacak odun, pelet, talaş, kereste ve mobilya üretiminden kalan atıklar, kâğıt fabrikası artıkları, mısır, soya, şeker kamışı gibi tarım ürünleri ve artıklar, gıda işleme kalıntıları, belediyelerin organik atıkları, hayvansal gübre ve kanalizasyon yoluyla elde edilen biyogaz gibi çeşitler yer almaktadır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Biyokütle enerji döngüsü, Biyokütle: Geleğin Enerji Kaynağı, <https://www.peyzax.com/biyokutle-gelecegin-enerji-kaynagi/>

Biyokütle, çeşitli yöntemlerle enerjiye dönüştürülebilir. Bu başlıca dönüşüm yöntemleri şunlardır:

Doğrudan Yakma: Biyokütlenin en temel kullanım şeklidir. Bitkisel atıklar veya odun doğrudan yakılarak ısı enerjisi elde edilir. Bu yöntem genellikle ısıtma ve buhar üretiminde kullanılır.

Termokimyasal Dönüşüm: Yüksek sıcaklık altında biyokütlenin kimyasal yapısı değiştirilerek katı (biochar), sıvı (biyoyakıtlar) veya gaz (sentez gazı gibi) yakıtlar üretilir. Bu yöntemler arasında piroliz, gazlaştırma ve torrefaksiyon yer alır.

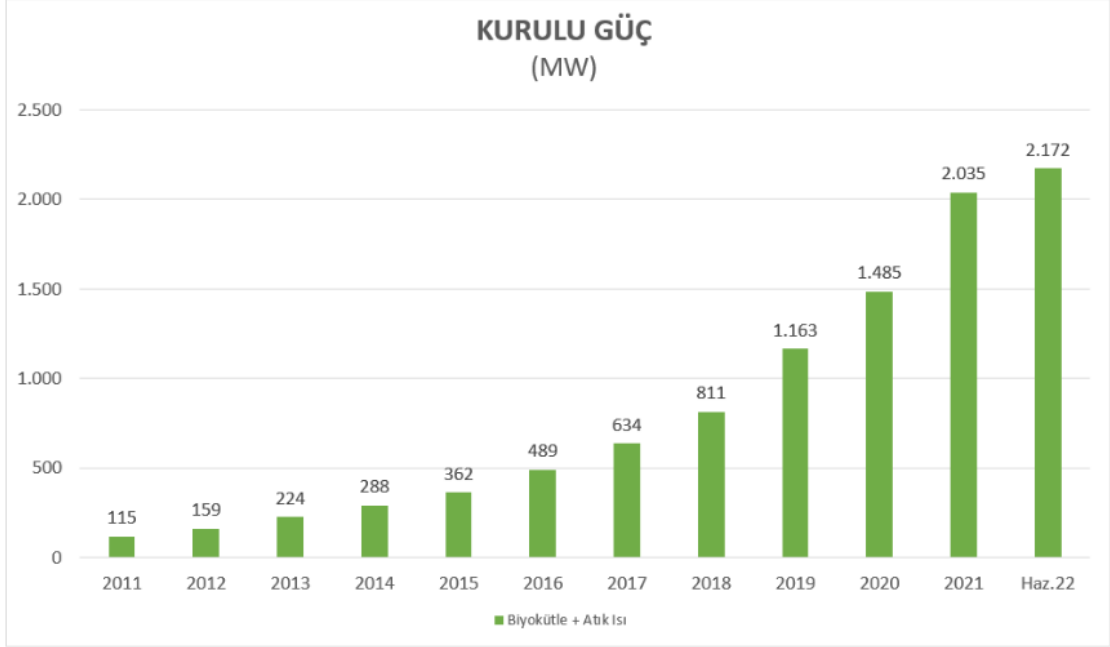
Kimyasal Dönüşüm: Bitkisel yağlar gibi biyokütle kaynakları kimyasal reaksiyonlarla işlenerek biyodizel gibi sıvı yakıtlara dönüştürülür. Transesterifikasyon adı verilen bir işlem bu yöntemin temelini oluşturur.

Biyolojik Dönüşüm: Mikroorganizmalar kullanılarak biyokütlenin sıvı ya da gaz yakıtıya dönüştürülmesini kapsar. Örneğin, anaerobik sindirim yoluyla biyogaz üretimi veya fermantasyon yoluyla etanol elde edilmesi bu kapsamdadır.

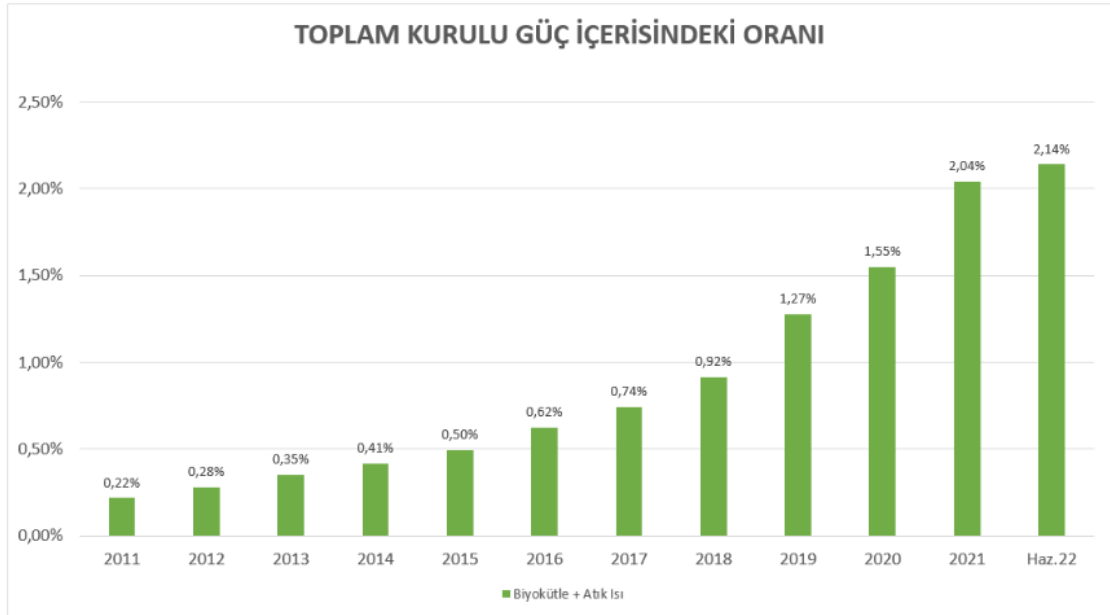
Tekrar Doğrudan Yakma: Bazı kaynaklar, kullanım döngüsünün farklı aşamalarında

yeniden yakılarak ısı üretimi amacıyla değerlendirilebilir.

Ülkemizde biyokütle enerjisinden faydalanılmaktadır. Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de görüldüğü üzere Haziran 2022 verilerine göre Türkiye’de bulunan Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı ve Piroolitik Yağ Enerji Santrallerinin toplam kurulu gücü 2.172 MW’dır.



Şekil 2.11 Biyokütle Enerjisi Kurulu Gücün Yıllara Göre Değişimi (URL-3, 2023)



Şekil 2.12 Biyokütle Enerjisinin Kurulu Güç İçindeki Değişimi (URL-3, 2023)

2.1.1.5. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi ile ilgili ayrıntılı bilgi ilerleyen bölümlerde verileceğinden bu bölümde güneş enerjisinden kısaca bahsedilecektir.

Güneş, milyarlarca yıldır enerji üretmektedir ve kullandığımız tüm enerji kaynaklarının ve yakıtların nihai kaynağıdır. İnsanlar binlerce yıldır güneş ışınlarını ısınmak ve et, meyve ve tahılları kurutmak için kullandılar. Zamanla ısınmak için güneş enerjisini toplayıp elektriğe dönüştürecek teknolojiler geliştirdiler. İnsanlar artık güneş ışınımını toplamak ve çeşitli amaçlar için faydalı ısı enerjisine dönüştürmek için birçok farklı teknoloji kullanıyor.

Güneş enerjisinden; evler, binalar ve yüzme havuzları için su ısıtılması, evlerin, seraların ve diğer binaların içindeki havanın ısıtılması, güneş termik santrallerindeki akışkanların ısıtılması ve fotovoltaik (PV) cihazlarla elektrik üretilmesi gibi pek çok alanda faydalanılmaktadır.

Küçük PV hücreleri; hesap makinelerine, saatlere ve diğer küçük elektronik cihazlara güç sağlamaktayken daha büyük güneş pilleri PV paneller halinde gruplandırılır ve PV paneller tüm ev için elektrik üretebilecek diziler halinde bağlanır. Bazı PV enerji santralleri, binlerce eve elektrik üretmek için dönümlerce alanı kapsayan dizilere sahiptir.

Güneş enerjisi sistemleri, havayı kirletici madde veya karbondioksit üretmez ve çevreye etkisi minimum düzeydedir. Ancak dezavantajı ise; dünya yüzeyine ulaşan güneş ışınının miktarı, günün saatine, konuma, mevsime ve hava koşullarına bağlı olarak değişir. Bu nedenle de yeterli enerjiyi absorbe etmek için geniş bir yüzey alanı gereklidir.

2.1.2. Yenilenemez enerji kaynakları

Türkiye ve diğer pek çok ülkede kullanılan enerji kaynaklarının çoğunluğunu petrol, kömür doğal gaz ve nükleer enerji gibi yenilenemez enerji kaynakları oluşturmaktadır. Bu enerji kaynaklarına yenilenemez enerji denmesinin nedeni ise, bu kaynakların rezervlerinin sınırlı olması ve tekrar yenilenememesidir. Kömür, doğal gaz ve petrol; milyonlarca yıl önce yaşamış antik deniz bitkilerinin ve hayvanların toprak altında kalan kalıntılarından binlerce yıl içinde oluşmuştur ve bu nedenle de bu kaynaklara fosil yakıtlar da denmektedir.

Nükleer enerji ise nükleer fisyon adı verilen nükleer bir reaksiyon sonucunda yenilenemeyen bir enerji kaynağı olan uranyum gibi atomların bölünerek ısı ve elektrik elde edilmesidir. Bilim insanları uranyumun milyarlarca yıl önce yıldızların oluşmasıyla oluştuğunu düşünüyor. Uranyum yer kabuğunun her yerinde bulunur, ancak çoğunun çıkarılması ve nükleer enerji santrallerinde yakıt olarak işlenmesi zor ve pahalıdır (URL-6, 2024).



3. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ

Güneş, küresel bir yapıya sahip olup, sahip olduğu ısı ve ışık enerjisini uzaya tüm yönlere eşit biçimde yayar. Yaklaşık 1.99×10^{30} kilogramlık kütlesiyle devasa bir sıcak gaz kütlesi olan Güneş'in yüzey sıcaklığı 6000 Kelvin civarındadır. İç yapısına doğru gidildikçe sıcaklık artar ve çekirdek bölgesinde bu değer 8 ila 40 milyon Kelvin arasında değişir. Bu ekstrem koşullarda Güneş, her saniye yaklaşık 4×10^{23} kW'lık bir enerji yaymaktadır. Güneş'in çapı yaklaşık 1.392 milyon kilometredir ve Dünya'ya olan uzaklığı ortalama 149.6 milyon kilometredir. Güneş'ten çıkan enerji Dünya'ya 8 dakikada ulaşır ve yeryüzü yalnızca 40 dakika içinde, insanlığın bir yıllık enerji tüketimine eşdeğer miktarda güneş enerjisi alır.

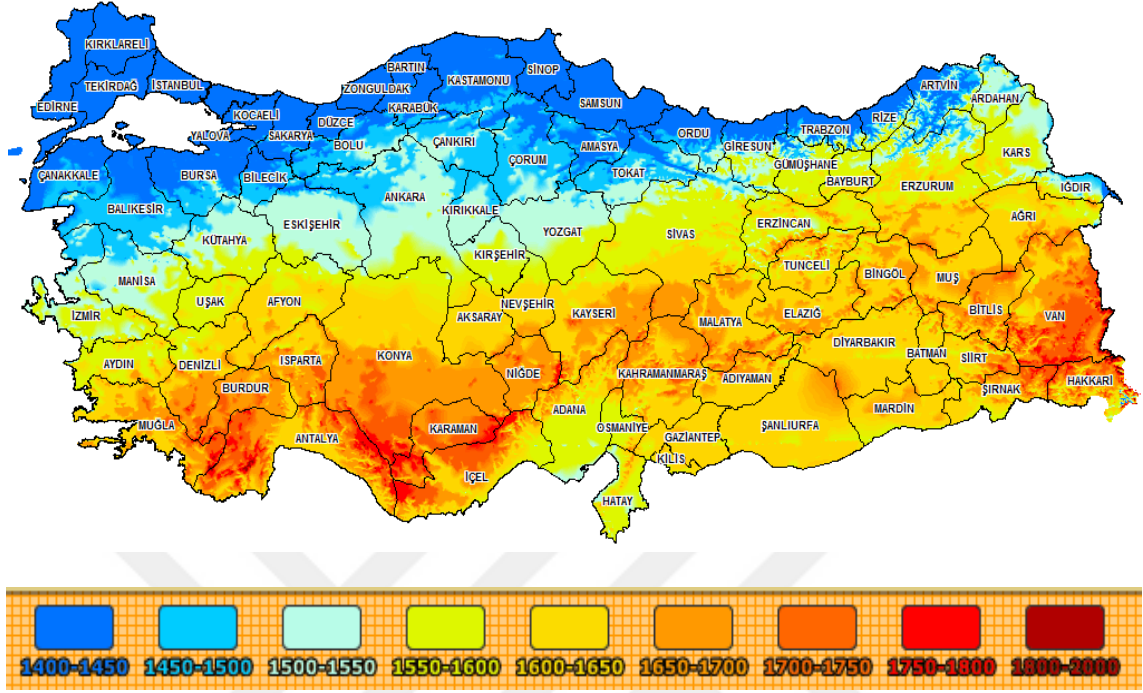
Güneş enerjisi, çevreye zararlı emisyonlar üretmemesi, atık oluşturmaması ve kurulumu ile işletiminin nispeten basit olması gibi avantajlarıyla öne çıkan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Son yıllarda, ülkemizde bu kaynağın daha etkin kullanılması için çeşitli projeler ve yatırımlar hız kazanmıştır. Küresel ölçekte ise, fosil yakıtların çevresel zararlarından kaçınmak isteyen birçok ülke, güneş gibi temiz enerji kaynaklarına yönelmeye başlamıştır.

Güneşten elektrik elde etmek için çeşitli yöntemler bulunsa da en yaygın uygulama şekli fotovoltaik (PV) sistemlerdir; bu sistemler, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Güneş enerjisi teknolojileri özellikle 1970'li yıllardan sonra ivme kazanmış, teknik anlamda gelişim göstermiş ve maliyet açısından daha erişilebilir hale gelmiştir. Çevresel etkilerinin düşük olması ve kurulum sonrası işletme giderlerinin az olması, güneş enerjisinin önemini her geçen gün artırmaktadır (Çanka Kılıç, 2015).

3.1 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

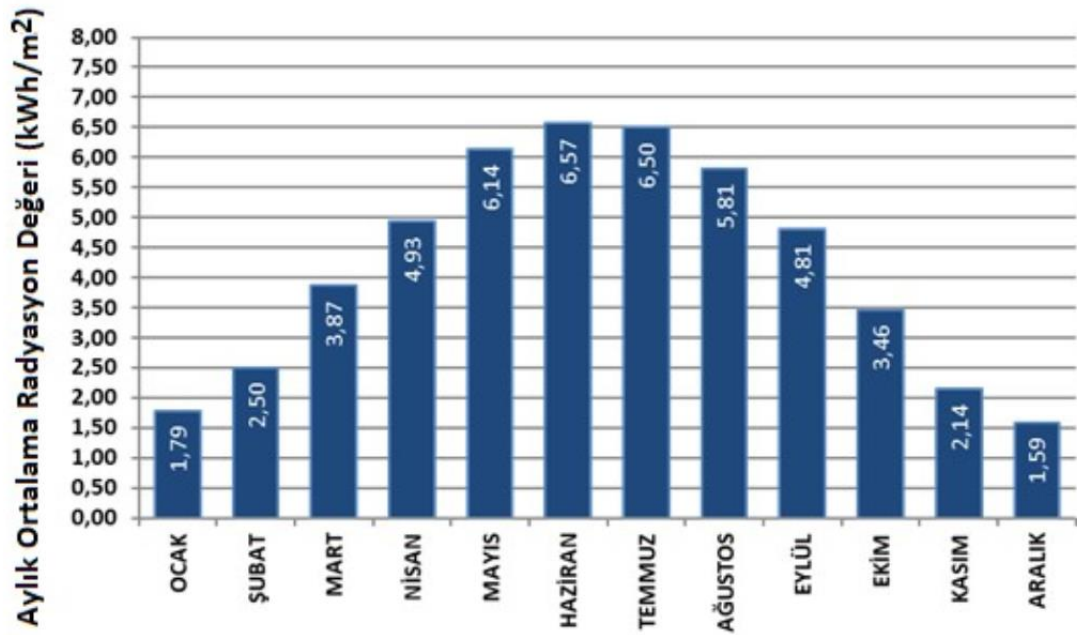
Türkiye, coğrafi konumunun sağladığı avantajla, yüksek güneşlenme süresi ve güneş ışınımı değerlerine sahip ülkeler arasında yer alır. Şekil 3.1 incelendiğinde, özellikle Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgelerinin güneş enerjisi potansiyelinin diğer bölgelere kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Harita üzerinde turuncu tonlarla belirtilen alanlar, güneş ışınımının en yoğun olduğu şehirleri temsil etmektedir. Karadeniz bölgesi güneş verimi bakımından en zayıf yerleşim yerleridir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat olduğu ve yıllık toplam ışınım değeri 1.527,46

kwh/m² hesaplanmıştır.

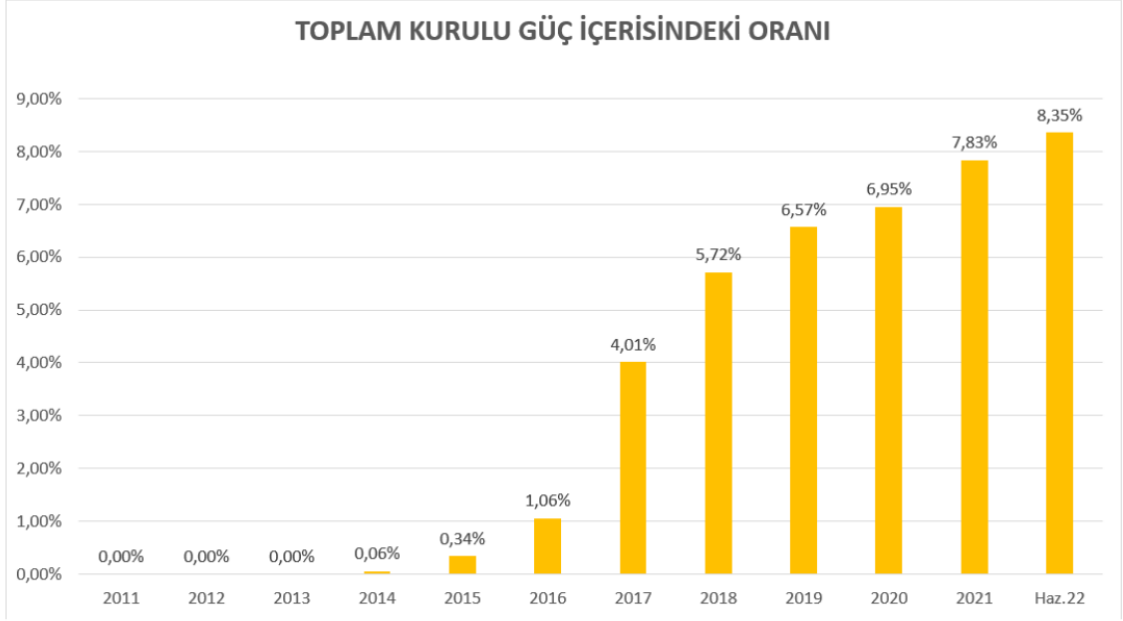


Şekil 3.1 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası (URL-7, 2023)

Türkiye’de güneş radyasyonunun en çok olduğu ayların Şekil 3.2’de görüldüğü üzere haziran ve temmuz aylarıdır. Güneş radyasyonunun en az olduğu aylar ise aralık ve ocak aylarıdır.



Şekil 3.2 Türkiye’nin aylık ortalama radyasyon değerleri (URL-7, 2023)



Şekil 3.3 Güneş Enerjisinin Türkiye'nin Kurulu Gücü İçerisindeki Yeri (URL-7, 2023)

Haziran 2022 sonu itibariyle güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücümüz 8,479 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %8.35 olduğu görülmektedir (Şekil 3.3). Türkiye'nin güneş enerji kapasitesinin yüksek olması sebebiyle güneş enerjisine olan yatırımların sürekli arttığı ve güneş enerji kurulu gücünün toplam kurulu güç içindeki oranının da ciddi oranda arttığı görülmektedir.



Şekil 3.4 Güneş Enerjisi Yapılabilecek Alanlar (URL-7, 2023)

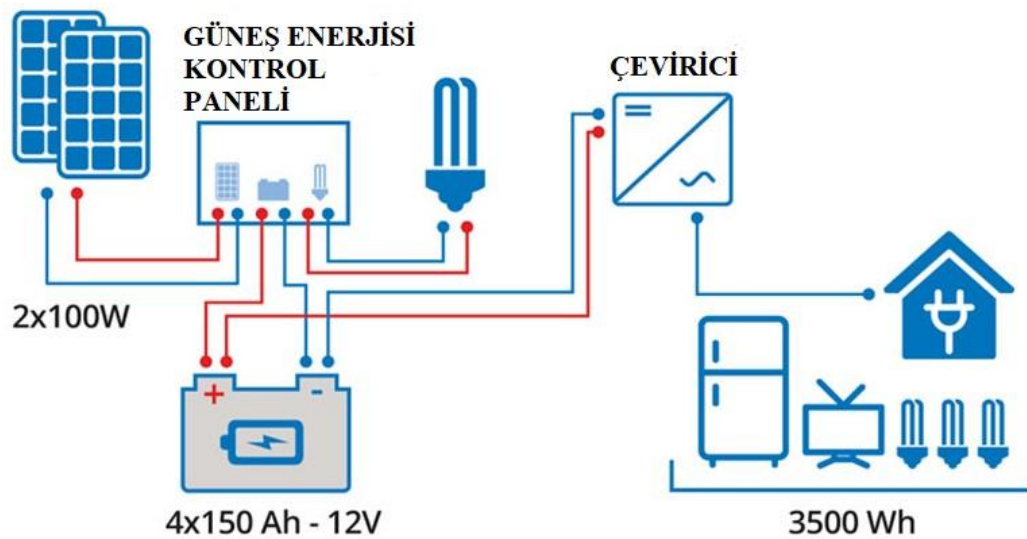
Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre ülkemizde 11,6 milyon bina olduğunun tespiti yapılmış olup bu binaların yaklaşık olarak %87'sinin konut olarak kullanıldığı bilinmektedir. Türkiye'deki bina sayılarına her yıl 100.000'den fazla bina eklendiği bilinmektedir. Bu binaların çatı ve cephelerine günümüzde ve gelecekte güneş enerjisi yatırımı yapılmaktadır. Türkiye'de güneş enerjisi yapılabilecek alanlar yukarıdaki Şekil 3.4'te gruplandırılabilir.

Sanayide, konutlarda ve bireysel amaçlı kullanıma ihtiyaç duyulan enerji ihtiyacının direkt güneş alınarak kullanılması mümkün değildir. Bundan dolayı güneşten gelen enerji çeşitli şekillerde dönüştürülerek kullanıma hazır hale getirilebilir. Bu konuda güneş enerjisinden faydalanmak üzere birçok yeni teknoloji geliştirilmiş olup geliştirilmeye devam etmektedir.

3.2. Fotovoltaik Sistemler

3.2.1. Off-Grid fotovoltaik sistemler (Şebekeden bağımsız sistemler)

Off-grid fotovoltaik sistemler, elektrik şebekesinden bağımsız olarak kurulan sistemlerin genel adıdır. Bu sistemlerde üretilen elektrik enerjisi aküler vasıtasıyla depolanıp inverter ile evimizde kullandığımız alternatif akıma dönüştürülerek kullanılabilir. Off-grid sistemler güneş paneli, akü grubu, şarj kontrol cihazı ve inverterlerden oluşmaktadır (Şekil 3.5). Güneş panelinden üretilen elektrik enerjisi şarj kontrol cihazı ile düzenlenerek akülerde depolanır. Doğru akım olarak depolanan elektrik enerjisi inverterler ile alternatif akıma dönüştürülerek evlerimizde, iş yerlerinde ve sanayilerde kullanılan elektrik enerjisine dönüştürülür. Off-grid sistemlerin en önemli parçalarından biri akülerdir. Akülerin çok kaliteli, şarj-deşarj verimi yüksek, yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve ömrü uzun aküler olması gerekir. Solar fotovoltaik panellere yeterli miktarda güneş ışınları geldiği takdirde ihtiyaç fazlası elektrik enerjisi akülerde depolanır, güneşin olmadığı ya da gece akülerde depolanan elektrik enerjisi kullanılmaktadır (Gönültaş, 2017).

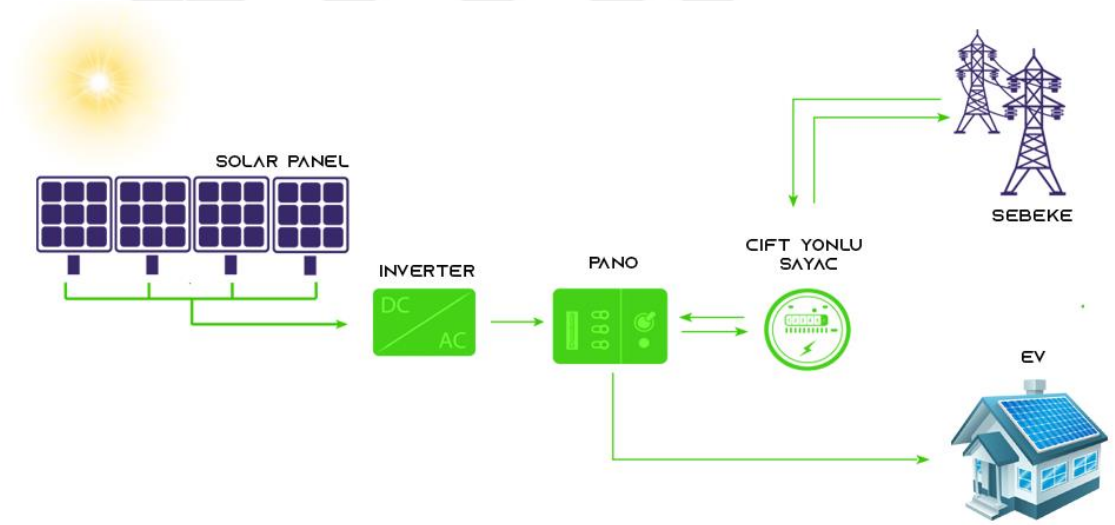


Şekil 3.5 Off-Grid PV Şeması (Şebeke bağlantısı olmayan sistemlerde elektrik üretimi), Off-grid Photovoltaic Systems, <https://www.vpsolar.com/en/off-grid-photovoltaic-systems/>

3.3.2. On-Grid fotovoltaik sistemler (Şebeke bağlantılı sistemler)

On-grid sistemler küçük ya da büyük olsun bir enerji santrali gibidirler (Şekil 3.6). Panellerden üretilen elektrik enerjisi 230 V (tek faz) ya da 400 V (üç faz) inverterler kullanılarak elektrik şebekesine aktarılır. On-grid sistemler; güneş panelleri, inverter cihazları, çift yönlü sayaçlar ve datalogger'lerden oluşmaktadır.

Sistem çalışma prensibi; güneş panellerinden üretilen elektrik enerjisi şebeke bağlantılı inverterlere gelerek düzenlenerek elektrik şebekesine aktarılabilir şekilde üç faz veya tek faza dönüştürülerek çift yönlü sayaç ile satılır. Güneş panelinden üretilen elektrik doğrudan kullanılır fazlası ise şebekeye aktarılır tıpkı off-grid sistemlerde ihtiyaç fazlasının depolanması gibi. Havanın kapalı olduğu ya da üretimin düşük olduğu zamanda şebekeden sisteme takviye yapılarak elektrik ihtiyacı karşılanır.



Şekil 3.6 On-Grid Fotovoltaik Sistem Şeması (Şebeke bağlantılı sistemlerde elektrik üretimi), On Grid Sistemler, <https://www.trendsolar.com.tr/on-grid.html>

3.3. Güneş Panelleri ve Çeşitleri

Fotovoltaik sistemlerin en temel parçası olan güneş panelleri güneşten ışınların soğularak inverterlere gönderildiği sistemdir. Güneş paneli bünyesinde barındırdığı yarı iletken silisyum malzemeden yapılmış güneş hücreleri vasıtasıyla güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur. Farklı kapasitelerde güneş panelleri bulunmakta olup kurulacak olan tesisin elektrik gücüne göre seçim yapmak mümkündür. Piyasada yaygın olarak kullanılan güneş panelleri; monokristal, polikristal ve ince film panellerdir.

Fotovoltaik güneş panellerini, gün ışığını direkt olarak elektrik enerjisine çevirmek üzere tasarlanmış elektronik cihazlar olarak da adlandırabiliriz. Güneş panelleri içerisinde panel gücüne göre belirli sayıda güneş hücresi bulunmaktadır. İçinde bulunan güneş hücreleri sayesinde dünyaya gelen güneş ışınlarını soğurarak elektrik enerjisine çevirmektedirler.

3.3.1. Monokristal ve polikristal güneş panelleri

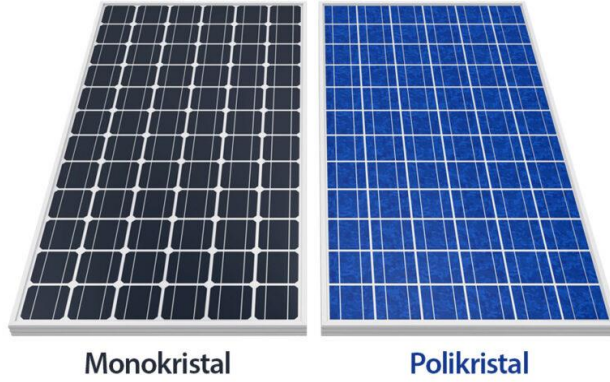
Güneş panelleri, çok sayıda güneş hücresinin bir araya gelmesiyle oluşur ve bu hücrelerin yapımında genellikle yerkürede bol miktarda bulunan silikon elementi kullanılır. Panel içerisindeki her bir güneş hücresi, yapısal olarak bataryalardaki hücrelere benzerlik gösterir. Tıpkı pillerde olduğu gibi, elektrik akımını oluşturabilmek için bu hücreler pozitif ve negatif olmak üzere iki katmandan meydana gelir.

Monokristal ve polikristal güneş panelleri, temel olarak silikon malzeme kullanılarak üretilir. Bu panellerin üretiminde silikon katmanlar yatay ve dikey yönde yerleştirilir ve ardından üstleri dayanıklı temperli camla kaplanarak dış etkenlere karşı korunur. Monokristal hücreler, tek bir saf silikon kristalinden elde edilerek, istenen panel boyutlarına göre kesilir. Buna karşılık, polikristal hücreler farklı silikon kristallerinin birleşmesiyle oluşturulur ve daha sonra biçimlendirilir.

Monokristal yapının tek kristal formda olması, içerisindeki elektronların daha rahat hareket etmesini sağlar; bu da bu tür panellerin enerji dönüşüm verimliliğini polikristallere kıyasla artırır. Dolayısıyla, aynı koşullarda monokristal paneller daha fazla elektrik üretebilir. Ancak bu yüksek verimlilik, maliyet açısından da fark yaratır; monokristal paneller genellikle daha pahalıdır.

Renk olarak monokristal paneller siyaha yakın bir tona sahipken, polikristal paneller

mavi renkte olur. Ancak yalnızca panelin rengine bakarak hangi tür olduğunu kesin olarak anlamak mümkün değildir. Görsel farklılıklar daha çok hücrelerin yapısında fark edilir; polikristal panellerde ön yüzeydeki hücreler arka planda dalgalı bir yapı yansıtırken, monokristal panellerde arka yüzey daha düz bir görünüm sunar (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Monokristal ve Polikristal güneş panelleri

3.3.2. İnce film güneş panelleri

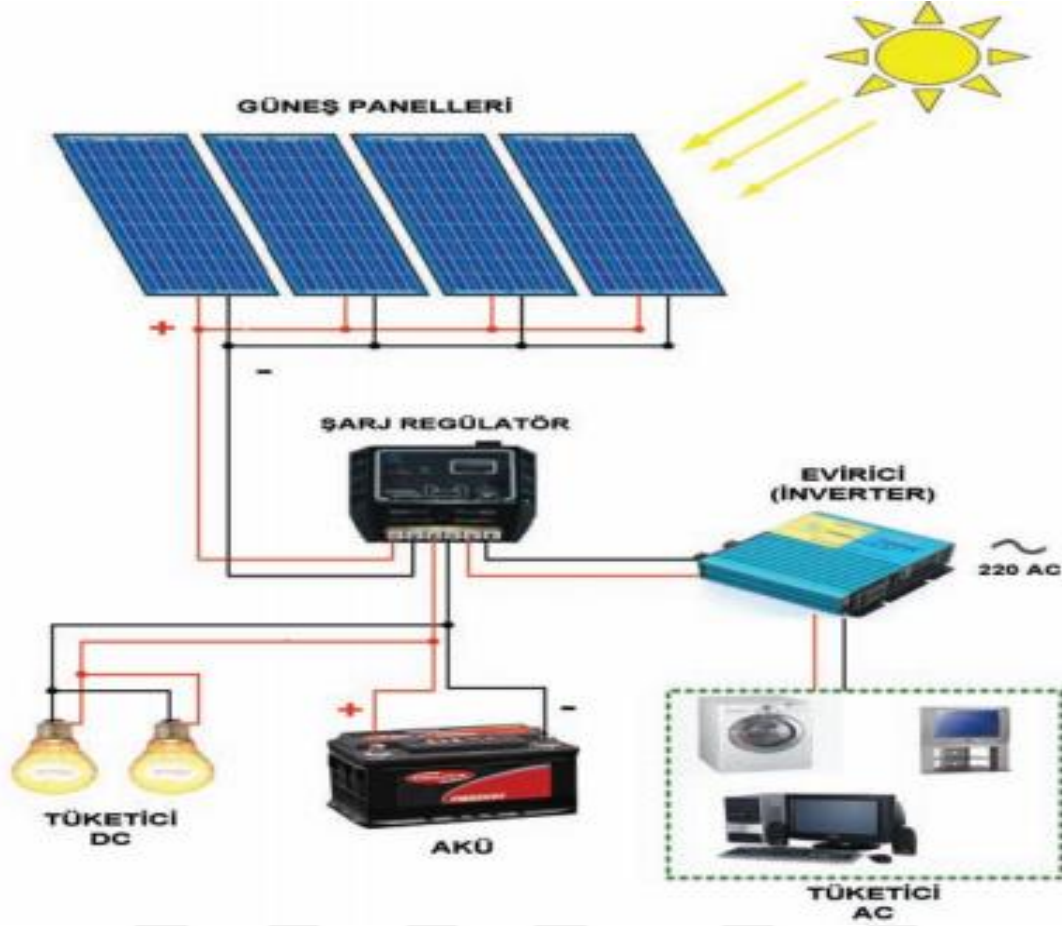
İnce film güneş panelleri, esnek yapıları sayesinde hafiflik ve dayanıklılığı bir arada sunar. Görsel açıdan şık bir tasarım sunmalarının yanı sıra, kolay taşınabilir olmaları ve montaj sürecinin pratikliği ile de öne çıkarlar. Ancak, üretim maliyetleri genellikle monokristal ve polikristal panellere göre daha yüksektir. En dikkat çekici dezavantajı ise, bu panellere kıyasla daha düşük verimlilikle çalışmalarıdır. Bu nedenle, ince film paneller en az tercih edilen türler arasında yer alır. Günümüzde ise özellikle binaların dış cephe kaplamalarında estetik ve entegrasyon kolaylığı nedeniyle daha yaygın şekilde kullanılmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 İnce Film Güneş Paneli

3.4. Güneş Enerjisi Sistemlerinin Diğer Parçaları

Güneş enerji sistemlerinde güneşten gelen ışınlar güneş panelinde soğurulduktan sonra şarj regülatörüne aktarılmaktadır. Burada güneş panellerinden gelen elektrik akımı düzenlenerek bir kısmı inverterlere aktarılır, şebekeye aktarılmayan elektrik ise akülerde depolanmaktadır. İnverterlere gelen doğru akım (DC) inverterde 230 V alternatif akıma (AC) çevrilerek kullanılabilir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Güneş Enerji Sistemlerinde kullanılan cihazlar, Güneş enerjisi örnek hesaplama, <https://muhendis.web.tr/ev-icin-kac-adet-gunes-paneli-gerekliyor-off-grid-ornek-hesaplama/>

3.4.1. Şarj kontrol cihazları

Şarj kontrol cihazları güneşten gelen elektrik enerjisini (doğru akım) düzenleyerek akülerin şarj olabileceği şekilde sabitleyerek düzenler. Akülerin doğru akım kaynağından şarj olabilmesi için gelen dc akımın bir regülatör tarzı cihazlarla sabitlenerek akülere gönderilmesi gerekmektedir. Şarj kontrol cihazları güneş panellerinden gelen doğru akımı stabil hale getirerek akülere gönderir. Şarj kontrol cihazları aynı zamanda akülerden güneş panellerine ters akım akmasını da önler. Şarj kontrol cihazları aküyü aşırı şarjdan koruyup, aküler tam dolduğu zaman güneş panelinden gelen elektriği keser. Şarj kontrol panellerinin iki tipi bulunmaktadır bunlar PWM ve MPPT'dir.

3.4.2. Bataryalar

Şebekeden bağımsız (off-grid) fotovoltaik sistemler, enerji üretiminin sürekliliği

açısından batarya kalitesine büyük ölçüde bağımlıdır. Bu tür sistemlerde kullanılacak akülerin yüksek şarj-deşarj verimliliğine sahip olması, sistem performansını doğrudan etkiler. Aynı zamanda, bu bataryaların uzun ömürlü, bakımı kolay ve derindeşarja dayanıklı olmaları da kritik öneme sahiptir.

Off-grid uygulamalarda kullanılan bataryalar, genellikle zorlayıcı çevre koşullarına maruz kalabileceğinden, yüksek sıcaklıklara ve nemli/dalgalı iklim şartlarına karşı dirençli olacak şekilde seçilmelidir. Bu tür sistemlerde en çok tercih edilen batarya türleri arasında;

- Jel aküler (bakım gerektirmeyen, sızdırmaz yapılarıyla güvenli kullanım sağlar),
- OPzS tipi sulu aküler (uzun ömürlü, derindeşarja uygun ve yüksek çevrim sayısına sahip),
- ve derin çevrimli kurşun-asit bataryalar (görece uygun maliyetli ve dayanıklı) yer almaktadır.

Lityum-iyon teknolojisine sahip bataryalar da son yıllarda off-grid sistemlerde artan bir ilgiyle kullanılmaya başlanmıştır; çünkü bu bataryalar daha kompakt, hafif ve uzun ömürlü olmalarının yanı sıra daha hızlı şarj olabilmektedir. Ancak maliyet açısından hâlâ geleneksel sistemlere kıyasla daha yüksek seviyededirler. Sonuç olarak, off-grid sistemlerin verimli çalışması için sadece panel ve inverter değil, batarya seçimi de sistemin başarısını belirleyen temel unsurlar arasındadır.

3.4.3. İnverterler

İnverterler, güneş panellerinin ürettiği doğru akımı (DC), evlerde ve elektrikli cihazlarda kullanılan alternatif akıma (AC) dönüştüren temel bileşenlerdir. Bu cihazlar, şebeke bağlantısız (off-grid) fotovoltaik sistemlerde enerji dönüşümünün sağlıklı ve verimli bir şekilde gerçekleşmesini mümkün kılar. Off-grid uygulamalarda kullanılan inverterler genellikle üç ana tipte sınıflandırılır:

- Kare dalga inverterler, en basit ve düşük maliyetli model olmalarına rağmen hassas cihazlarda kullanım için uygun değildir.
- Modifiye sinüs dalga inverterler, kare dalgaya göre daha düzgün bir çıkış sağlar ve düşük güç gerektiren cihazlarda yeterli performans sunar.
- Tam sinüs dalga inverterler, şebeke elektriğine en yakın çıkışı üretir ve tüm

evsel ve endüstriyel cihazlarla uyumlu çalışır.

Güneş enerjisi sistemlerinde, genellikle modifiye sinüs ve özellikle yüksek kaliteli cihazlarla kullanılmak üzere tam sinüs inverterler tercih edilmektedir. Tam sinüs inverterler, daha stabil enerji sunmaları sayesinde motorlu cihazlarda, hassas elektroniklerde ve inverter klima gibi yüklerde sorunsuz performans sağlar.

3.5. Güneş Enerjisi Uygulamaları

Güneş enerjisi, günümüzde pek çok alanda yaygın biçimde kullanılmakta ve günlük yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmektedir. Fotovoltaik hücreler sayesinde hem elektrik üretimi hem de sıcak su temini sağlanabilmektedir. Güneş enerjisiyle çalışan sistemler; bahçe ve sokak aydınlatmaları, trafik sinyalizasyonları, taşınabilir cihaz şarjları (örneğin cep telefonları), araçlar, hava taşıtları, kol saatleri, hesap makineleri, uydular, hatta güneş fırınları ve soğutma cihazları gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle kırsal bölgelerde veya elektrik şebekesinin ulaşmadığı noktalarda yer alan sistemler (örneğin trafik lambaları ya da aydınlatmalar), gün içinde ürettikleri fazla enerjiyi akülerde depolayarak gece boyunca kesintisiz enerji sağlamaktadır. Elektrik üretiminde güneş enerjisinin en çok kullanılan yöntemi, fotovoltaik (PV) paneller aracılığıyla yapılan sistemlerdir. Bu sistemler kurulum yerine göre genellikle iki ana gruba ayrılır:

- Çatı tipi uygulamalar, bireysel konutlar ve ticari binalarda yaygındır.
- Arazi tipi uygulamalar, büyük ölçekli enerji üretim tesislerinde kullanılır.

3.5.1. Fotovoltaik sistem çatı ve cephe uygulamaları

Ülkemizde en yaygın olarak kullanılan uygulamalardan bir tanesi çatı uygulamalarıdır. Çatı uygulamaları iki şekilde yapılabilir. Off-grid şebeke bağlantılı olmayan sistemler ve on-grid şebeke bağlantılı sistemlerdir.

Günümüzde en çok uygulanan sistemlerden bir tanesi Şekil 3.10'da gösterildiği gibi çatı uygulamalarıdır. Çatı uygulamaları genellikle off-grid olarak yapılmaktadır. Günümüzde genellikle bu sistemler yerleşim yerlerinden ve elektrik şebekelerinden uzakta bulunan yapıların temel elektrik ihtiyaçlarının karşılanması için kullanılmaktadır. Şehir merkezlerinde apartmanların çatılarında kullanımı pek yaygın değildir.



Şekil 3.10 Güneş Enerjisi Çatı Uygulamaları

Çatı uygulamalarında tek abonenin olduğu binalarda uygulaması daha kolay olmaktadır. Kamu binaları, tek aboneli iş merkezleri, özel sektöre ait binaların çatılarına fotovoltaik paneller konularak elektrik ihtiyacının belirli bir kısmının buradan üretilecek olan elektrikle sağlanmaktadır. Antalya Büyükşehir Belediye Hizmet Binası ve Antalya Ulaşım A.Ş. binalarının çatılarına fotovoltaik paneller koyarak kendi elektriğini üreten ve sağlayan ilk belediye olma unvanını almıştır. Antalya'nın yenilenebilir enerji kaynaklarına yaptığı yatırımlarla yerel yönetim olarak Avrupa'da öne çıkan şehirler arasında yer almaktadır. Antalya Büyükşehir Belediyesi, bu iş için yaklaşık 4 milyon lira kaynak ayırarak ciddi bir yatırım yapmayı planlamaktadır. Kendi kurulu gücünün büyük bir kısmını 260 kWp/249 kWe üretim ve 250 kWh depolama kapasitesine sahip kurulum yaparak elektrik ihtiyacının büyük bir kısmını güneş enerjisinden sağlamayı planlamaktadır.

3.5.2. Fotovoltaik sistem arazi uygulamaları

Güneş Santrali Kurulumları genellikle bu şekilde yapılarak çok büyük güçlerde elektrik üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde 2022 yılı sonu itibariyle 9353 adet güneş enerjisi santrali bulunmaktadır. Şekil 3.11'de arazi uygulamalarına örnek olarak gösterilebilir (URL-8, 2024).



Şekil 3.11 Güneş Enerjisi Arazi Uygulamaları

4. LİTERATÜR TARAMASI

Gençoğlu (2015), yaptığı çalışmada, Türkiye'de tarımsal sulama genellikle elektrik, mazot veya petrol gibi geleneksel enerji kaynaklarına dayalı su pompaları ile yapılmakta olduğundan ve bu sistemlerin maliyeti, bakım gereksinimleri ile sınırlı erişilebilirlikleri nedeniyle alternatif çözümler aranmakta olduğundan bahsetmiştir. Güneş enerjisi ile çalışan su pompalama sistemlerin, günlük bakım gerektirmediğinden ve güneşin bol olduğu her yerde kullanılabilirdiğinden, ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmakla birlikte, uzun vadede yakıt ve bakım gereksinimlerinin olmaması sayesinde ekonomik avantaj sağladığını analiz etmiş olup PLC kontrollü, şebekeden bağımsız bir güneş enerjili su pompalama sistemi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Elazığ Gözebaşı Köyü'nde pilot bir bölgede enerji nakil hattı ile güneş enerjili sistemin maliyetleri karşılaştırılmış ve ekonomik analiz yapılarak sistemin sağladığı elektriksel parametreler ölçülerek analiz edilmiştir.

Atik-Kıyga (2013) yaptığı çalışmada, güneş enerjisinin mevcut durumu ve fotovoltaik kaynaklardan beslenen su pompalama sistemlerinin tasarım esaslarını incelemektedir. 4,2 kWp kurulu gücüne sahip bir işletme kurularak işletmenin maliyeti 25.000 \$-26.000 \$ olarak hesaplanmış olup bakım gerektirmeyen ürünler olması ve uzun ömürlü olmasından dolayı güneş enerjisi ile sistem kurulumun mantıklı olduğunun altı çizilmiştir.

Bolaji ve Adu (2007) yaptıkları çalışmada Nijerya'daki kırsal bölgeler için uygun bir fotovoltaik (PV) su pompalama sisteminin tasarımını incelemiştir. Çalışmalarında, güneş enerjisi destekli pompa sistemleri incelenmiş ve özellikle doğrudan bağlı sistemlerin kırsal bölgeler için en uygun çözüm olduğu belirtilmiştir. Sistemin kurulum maliyetleri ve bileşenleri hakkında bilgiler verilerek, Nijerya'daki kırsal alanlarda sürdürülebilir su temini için güneş enerjisinin uygulanabilir bir çözüm olduğu vurgulanmıştır.

Uğurateş (2023) yaptığı çalışmasında, uzak arazi şartlarında tarımsal sulamada kullanılan su pompalama sistemine entegre taşınabilir fotovoltaik (PV) güneş panelinin tasarımı ve performans analizi üzerine odaklanmıştır. Çalışmada, güneş enerjisi destekli su pompalama sistemlerinin kırsal alanlardaki tarımsal sulama ihtiyacını karşılamak için etkin bir alternatif olup olmadığı araştırılmıştır. Günlük 27 m³ su ihtiyacını karşılamak için tasarlanan sistemde, 6 adet 285 W gücündeki güneş panelinin yeterli olduğu

hesaplanmıştır. PVsyst simülasyon programı kullanılarak, sistemin güneş enerjisi verimliliği analiz etmiş ve en uygun taşınabilir güneş paneli tasarımı gerçekleştirmiştir. Güneş enerjili sulama sistemlerinin ekonomik ve çevresel olarak avantajlı olduğu görülmüş, geleneksel dizel jeneratörlü sistemlere kıyasla daha düşük işletme maliyetine sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

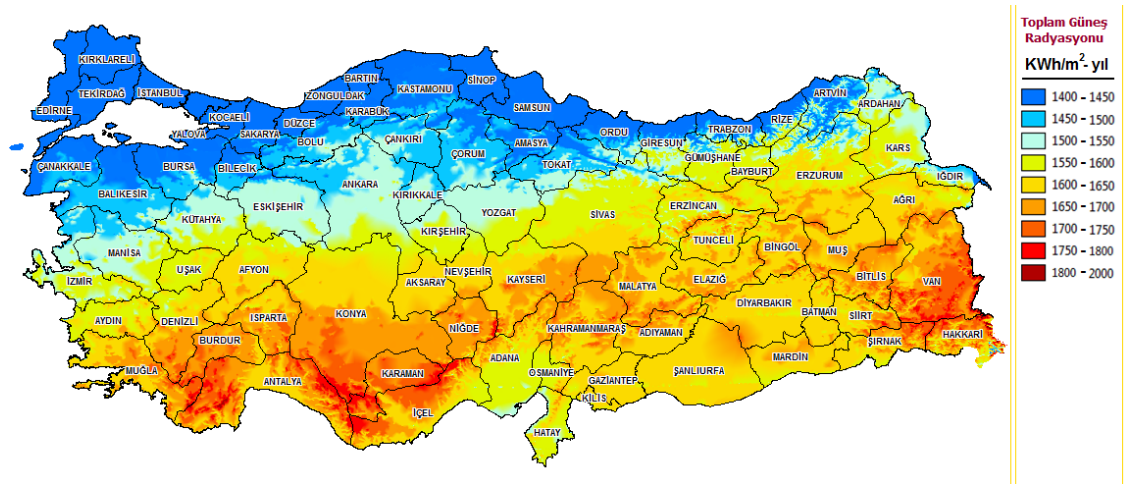
Yıldız ve Yıldırım (2020) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, Düzce ili özelinde su ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulacak bir dalgıç pompa sistemine enerji sağlayacak bir güneş enerjisi sisteminin ekonomik fizibilitesi ele alınmıştır. Çalışmada, şebekeye bağlı 15 kWp gücünde bir fotovoltaik sistem kurulumu üzerinden fayda-maliyet analizi yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, söz konusu sistemin yatırım maliyetini yaklaşık 12 yıl içerisinde geri kazandıracağı sonucuna varılmıştır.

Benzer şekilde, Isak (2021), yüksek lisans tezinde Güney Somali'deki tarımsal sulama ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla, geleneksel fosil yakıtlı su pompalarının yerine güneş enerjili su pompalama sistemlerinin kullanılabilirliğini ve ekonomik avantajlarını incelemiştir. Bu analizde, fotovoltaik tabanlı sulama sistemlerinin, dizel yakıtla çalışan sistemlere kıyasla metreküp su başına ortalama 0,22 dolar daha düşük maliyetle çalıştığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, güneş enerjisi kullanımının yalnızca enerji maliyetlerini azaltmakla kalmayıp, tarımsal verimliliği artırarak kırsal kalkınmayı destekleyeceği ve ülke ekonomisine olumlu katkı sağlayacağı ifade edilmiştir.

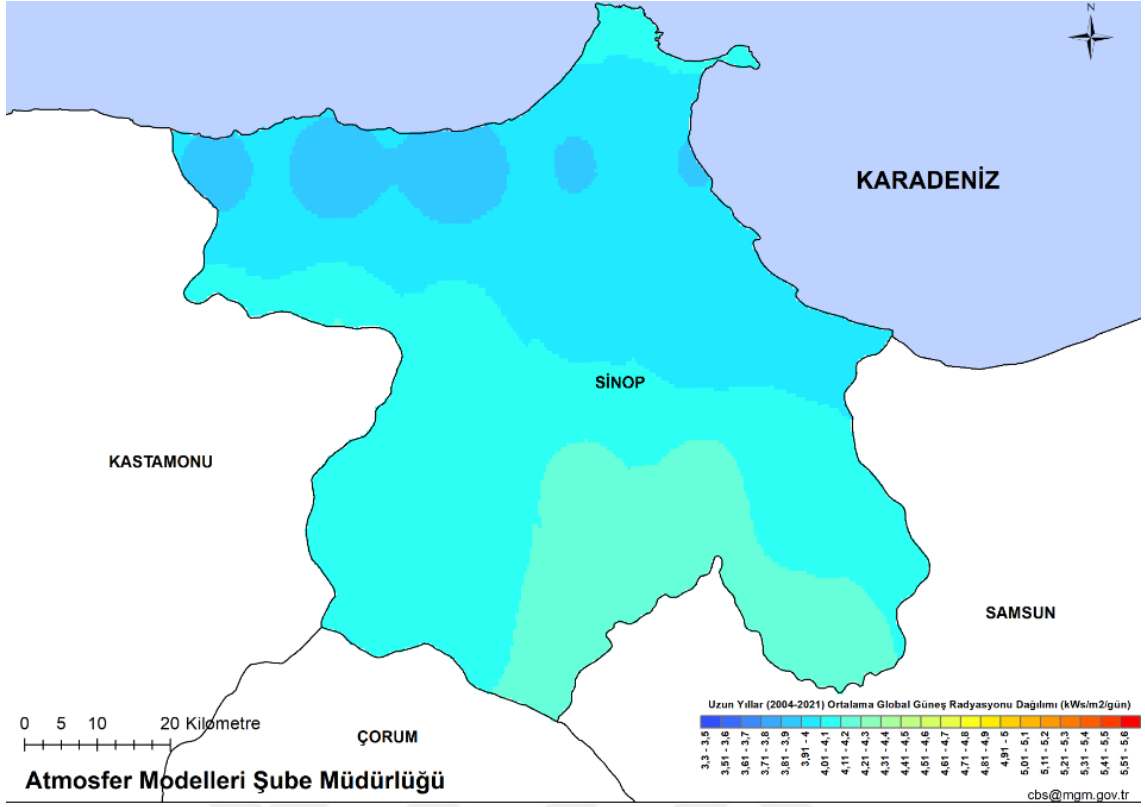
5. MATERYAL VE YÖNTEMLER

5.1. Sinop İli Güneş Enerjisi Potansiyeli

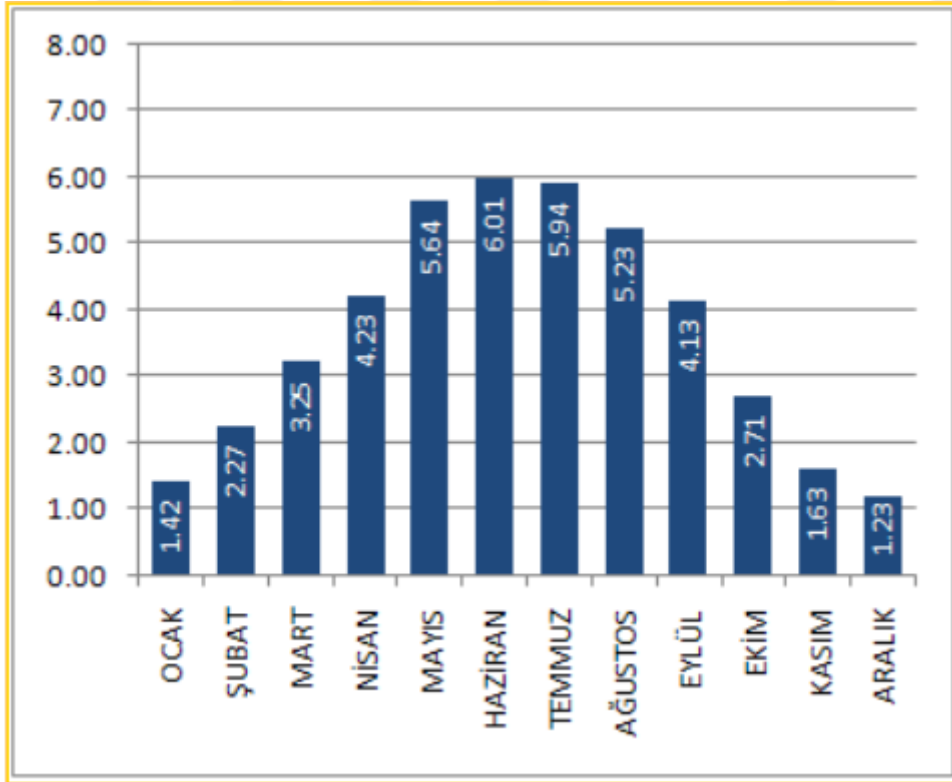
Sinop Türkiye'nin en kuzeyinde bulunan bir ilimizdir. Sinop konum olarak 41° 12' ve 42° 06' kuzey enlemleri ile 34° 14' ve 35° 26' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Şekil 5.1'de Türkiye radyasyon haritası ve 5.2'de Sinop ilinin radyasyon haritası görülmektedir. Buna göre Sinop ilinin güneş radyasyonu bakımından Türkiye ortalamasının altında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.1 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (URL-9, 2023)

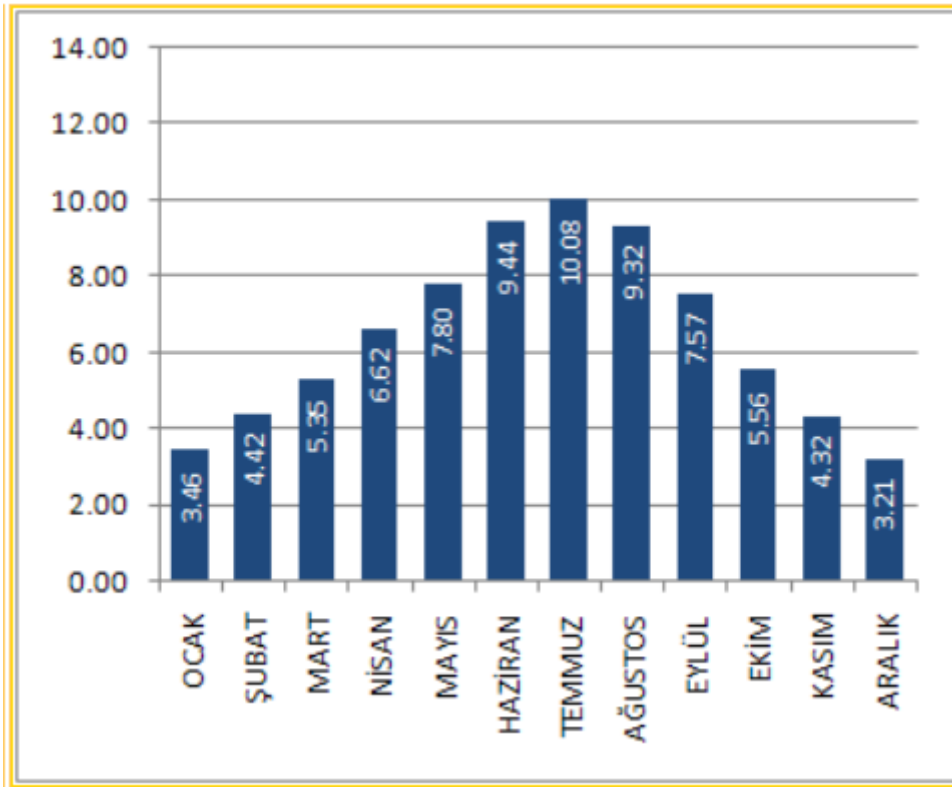


Şekil 5.2 Sinop Radyasyon Haritası (URL-9, 2023)



Şekil 5.3 Sinop Global Radyasyon Değerleri (URL-10, 2023)

Şekil 5.3'te görülüşü üzere Sinop'un radyasyon değeriinin mayıs, haziran, temmuz ve ağustos aylarında yüksek düzeyde olduğu görölmektedir. Ocak, şubat, kasım ve aralık aylarında ise radyasyon değeriinin minimum seviyede olduğu görölmektedir.



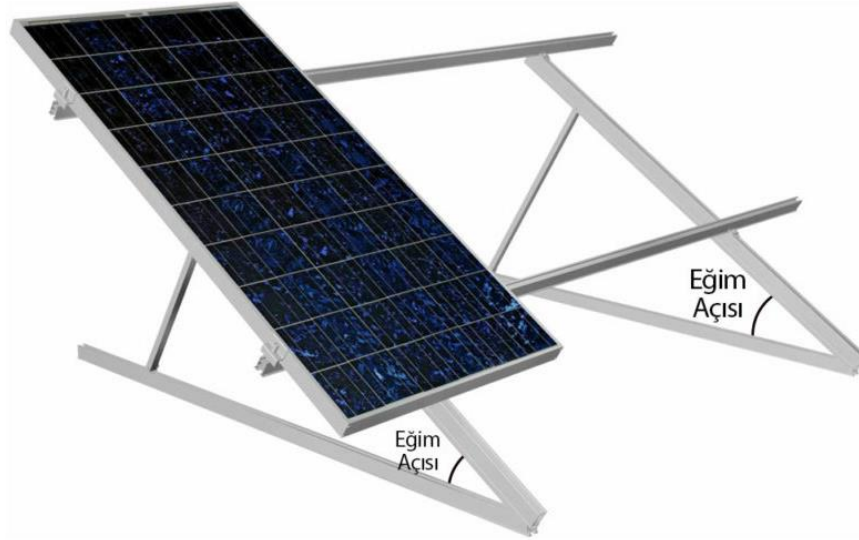
Şekil 5.4 Sinop Güneşlenme Süreleri (URL-10, 2023)

Sinop güneşlenme süreleri incelediğinde Şekil 5.4'te de göröldüğü üzere güneşlenme süresinin en fazla olduğu ayların haziran, temmuz, ağustos ayları olduğu görölmektedir.

5.2. Güneş Paneli Eğim Açısının Hesaplanması

Fotovoltaik sistemlerde, güneş panellerinin konstrüksiyon ile sabit eğik olarak montajının yapıldığı sistemlerde, panellerin yatayda güneş ışınlarına karşı yaptığı açı, panellerden maksimum verimin alınabilmesi açısından çok önemlidir (Şekil 5.5). Güneş ışınlarının yer yüzüne en dik geldiği zaman diliminde panellerin zemin ile yaptığı açı hesaplanmalı ve panellerin montajı o açıya göre montajının yapılması gerekir. Panelden maksimum verim alabilmek için optimum eğim açısı panellerin kurulacağı konumun enleminin yaklaşık % 90'ı kadardır ve optimum azimut kuzey yarı küre için gerçek

güney ve güney yarımküre için gerçek kuzeydir (Messenger ve Ventre, 2003). Kurulumu yapılacak fotovoltaik panellerin yönü, sistemin kurulacağı yerin konumuna göre belirlenir. Türkiye gibi kuzey yarım kürede yer alan ülkelerde güneş paneli güneye doğru yönlendirilirken, güney yarım kürede yer alan ülkelerde ise kuzeye doğru yönlendirilir.



Şekil 5.5 Güneş paneli eğim açısı

Güneşten gelen ışınların panellere dik bir şekilde gelmesi son derece önemlidir. Maksimum verim elde edebilmek için de panellerin belirli bir açı ile yerleştirilmesi gerekmektedir. Optimum açı ile yerleştirilen paneller ile güneş enerjisinden azami verim sağlanır. Panel eğim açıları aylık, yıllık, mevsimlik olarak değişim göstermektedir. Optimum panel eğim açıları panel verimliliğinin artırılmasında önemli bir unsurdur ve bu konuda çokça bilimsel çalışma yapılmaktadır (Dal, 2021; Ulgen, 2006; Bakirci, 2012). Optimum açı belirlenirken panellerin yerleştirileceği konumun enlem değeri dikkate alınır. Sinop'ta kurulacak olan bir Güneş Enerji Santrali için güneş panellerinin eğim açısını aşağıdaki formüle göre bulunur.

$$\text{Panel Eğim Açısı} = \text{Enlem} \times 0.87 + 3.1 \quad (5.1)$$

Buna bağlı olarak bu tez çalışmasında sistemin kurulumu planlanan Sinop Kabalı köyünün enlem değeri $42,02314^\circ$ olup bölgeye kurulacak olan panellerin eğim açısını aşağıdaki gibi bulabiliriz.

$$\text{Sinop Bölgesi İçin Panel Eğimi} = 42,02314 \times 0,87 + 3,1 = 39,6601318^\circ \quad (5.2)$$

Buna göre panellerin montajı Sinop Kabalı Bölgesi için yaklaşık 40°'lik açı ile güneye bakacak şekilde yerleştirilmelidir.

5.3. İçme Suyu ve Sulama Sistemi

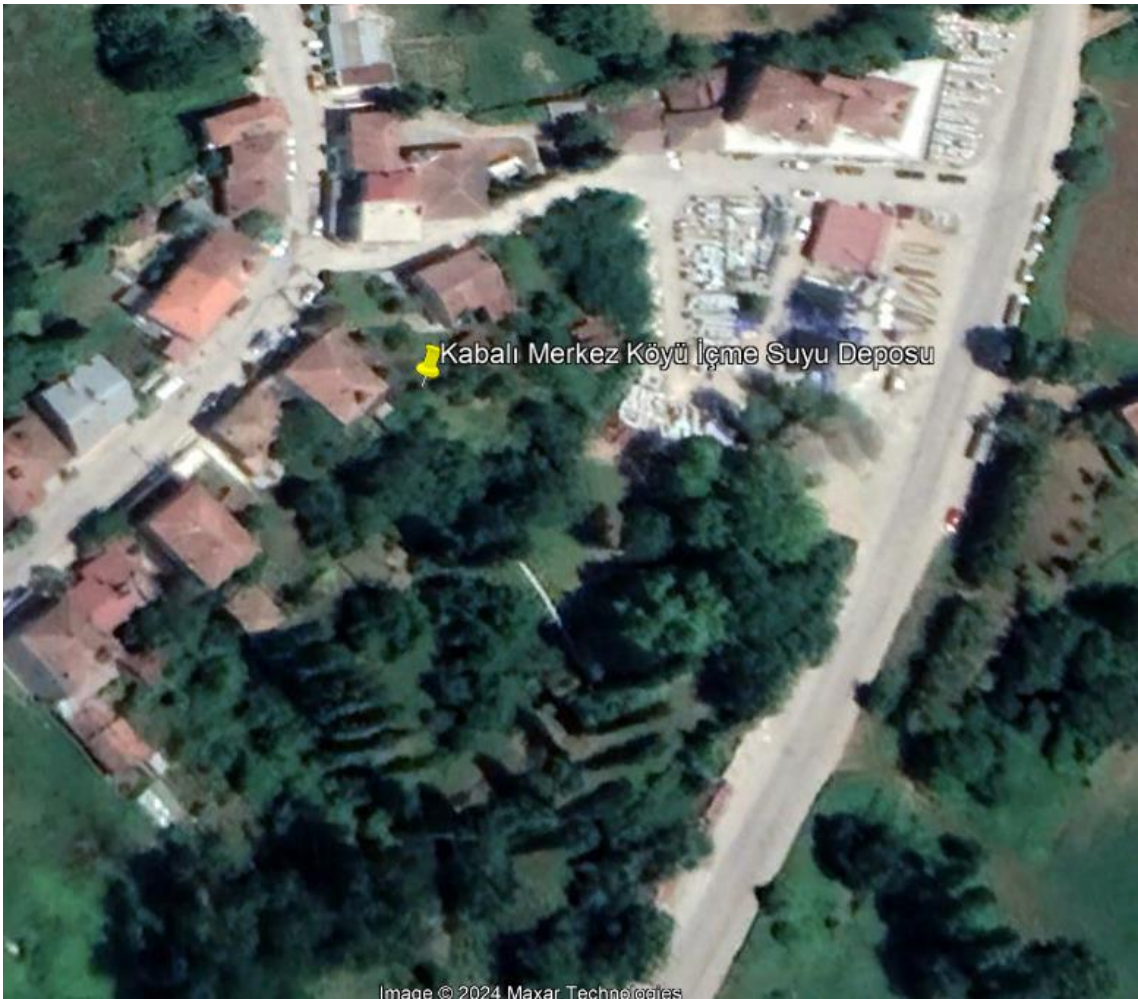
İçme suyu sistemleri yer altında bulunan kaynak sularının etkin bir şekilde içme suyu olarak kullanılmasını ve bunun yanında artan suyun ise tarımsal sulama sisteminde kullanılmasını amaçlayan temel unsurlardan biri olarak nitelendirilir. Su ihtiyacı bulunan köylerde ve mahallerde sondaj ile su kuyusu açarak insanların su ihtiyacının karşılanması hedeflenmektedir. Özellikle Sinop İlinin yüksek köylerinde su ihtiyacının çok olduğu yerlerde ve kaynak suyunun bulunmadığı yerlerde yer kabuğunun yaklaşık 100 metre altından özel sondaj makineleri ile içme suyu çıkarılmaktadır. Çıkarılan bu su moto-pomp sistemi makineleri köyün daha yüksek yerine yapılan depolara pompalanmaktadır. Bu depolardan ise suyun kendi cazibesıyla evlere dağılması sağlanmaktadır.

Su sondajı yapılmadan önce zemin jeolojik olarak incelenir, hangi bölgelerde yer altı suyunun daha fazla olduğunun tespiti yapılır. Her zemin yapısına göre farklı sondajlama sistemleri yapılmaktadır. Yerin belirli bir derinlik altında bulunan suyun yer yüzeyine çıkarılması ve bu çıkarılma esnasında kullanılan su borularının kırılmaması için zemin yapısına uygun boru sistemi kullanılarak su yer yüzüne çıkarılır. Çıkarılan suyun numunesi alınarak Halk Sağlığı Laboratuvarlarından test yaptırılır. İçme suyu olarak kullanılabilir rapor verilen sular içme suyu olarak kullanılır, içme suyu olarak kullanılması uygun olmayan sular ise kullanma suyu olarak kullanılır.

5.4. Güneş Enerjisi Kullanılarak Sondaj ile Su Çıkarılması

İçme suyu olarak çıkarılan su sistemi güneş enerjisi ile entegre edildiği takdirde enerji maliyetlerini ciddi oranda düşürmenin yanında çevresel etkilerin de ciddi oranda azaltıldığı görülmektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu güneş enerjisi sistemi ile entegre olarak uygulanmaktadır. Şekil 5.6'da Kabalı köyünde kurulması planlanan arazinin konumu belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında Kabalı Köyünün su ihtiyacının karşılanması amacıyla açılmış olan su sondaj kuyusunun

elektrik ihtiyacının güneş enerjisi sistemine dönüştürülmesi, projelendirme aşamaları, fayda maliyet analizinin yapılması gibi konularda inceleme yapılmıştır. Bu kapsamda güneş enerjisinden elde edilebilecek enerjinin en büyük avantajının ücretsiz ve sınırsız olmasıdır. Bu sistemle enerji bağımlılığı azaltılıp, karbon ayak izi azaltarak fosil yakıtlara olan bağımlılığımız azaltılabilmektedir. Sürdürülebilir bir tarım sistemi ve içme suyu sağlanması açısından güneş enerjisi entegreli sistemler çok önemlidir. Sinop ilinde elektrik alt yapısının bulunmadığı ve elektrik tüketim maliyetlerinin yüksek olduğu yerlerde güneş enerjili entegre sistemlere dönüşüm yapılmaktadır.



Şekil 5.6 Kabalı Merkez köyü içme suyu tesisi GES kurulması planlanan arazi

5.5. Kabalı Köyü İçme Suyu Tesisi ve GES Santrali

Kabalı köyünün içme suyu ihtiyacının karşılanması amacıyla elektrikli bir moto-pomp tesisi kurulması ve enerjisini fotovoltaik panellerden alacak şekilde planlama yapılması düşünülmektedir. Sistemin Off-grid olarak yapılması planlanmaktadır. Sinop ili güneş enerjisinden yararlanma konusunda oldukça zayıftır. Bunun sebebi güneş radyasyon oranının ve günlük güneşlenme süresinin Türkiye ortalamasının altında bulunmasıdır. Buna karşılık Şekil 5.4'te verildiği gibi günlük güneşlenme süresinin yaz aylarında günlük 10 saat kış aylarında ise günlük ortalama 3 saat olduğu görülmektedir. Suyu olan ihtiyacın yaz aylarında maksimum seviyede kış aylarında minimum seviyede olmasından dolayı günlük güneş enerjisinden faydalanma bakımından bu oranlar yeterlidir. Tarıma elverişsiz bir alan olan yaklaşık 400 m²'lik bir alana güneş enerjisi sistemi yapılması planlanmaktadır.

5.6. Sistemin Kurulacağı Alanın Arazi Yapısı

Güneş enerji santralinin (GES) kurulumu planlanan yer; Sinop ili Kabalı Köyünde verimsiz toprak arazisi olarak geçen kullanılmayan bir alandır. Yapılması planlanan GES yatırımı ile ilgili kurulum yapılacak arazide dikkat edilmesi gereken başlıca konular şunlardır;

a) Güneş potansiyel durumu: Kurulacak olan arazinin günlük güneşlenme süresi Şekil 5.4'te görüldüğü gibi ortalama 6 saattir. Güneşlenme süresi (Şekil 5.4) ve güneş radyasyon değeri (Şekil 5.3) ne kadar yüksek ise santralden elde edilecek kazanç da o kadar yüksek olur.

b) Arazinin Toprak Yapısı: Santralin kurulacağı alan toprak bir arazi ve fazla bir engebeye sahip olmamasından dolayı ek bir maliyet çıkmayacaktır.

c) Arazinin bulunduğu cephe: Türkiye'de ve Sinop'ta güneşten en fazla faydalanmak için arazi güney cephesinde olmalı veya arazinin güney cephesi tercih edilmelidir.

d) Arazinin bulunduğu konum: Seçilen arazinin konumu itibarıyla sel ve heyelan riski bulunmamaktadır. Kurulum yapılacak olan alanın iyice incelemesi sel ve heyelan riskleri göz önünde bulundurulmalıdır.

e) Arazinin Fiziki Yapısı: Seçilen arazide tümsek ve çukur alan bulunmamaktadır. Tümsek veya çukurların fazla olduğu alanda zemini düzeltmek için ek maliyetlere ihtiyaç vardır.

f) Arazinin Gölgeleme Durumu: Santral alanında günün belirli saatlerinde herhangi bir gölgeleme olmaması çok önemlidir.

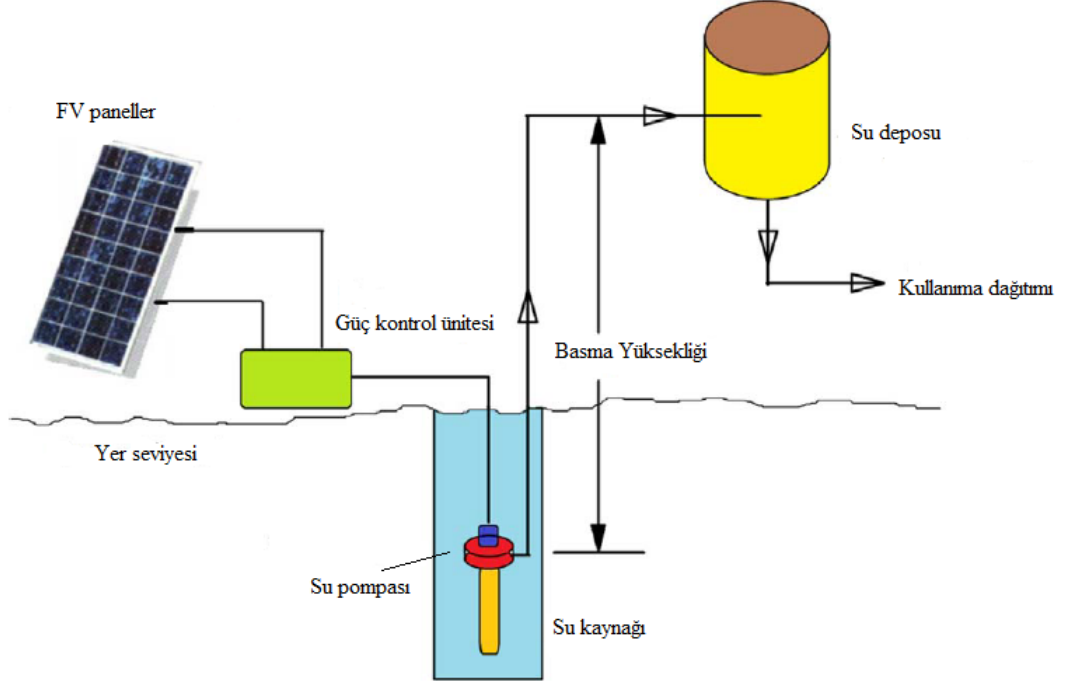
g) Arazinin Yasal Sahipleri: Santral kurulacak olan alanın yasal sahiplerinden muvafakat yazısı alınacaktır.



6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Sistem İçin Panel Gücünün ve Pompa Gücünün Belirlenmesi

Sistemde kullanılacak olan panel sayısı belirlenirken günlük enerji ihtiyacı ve günlük güneşlenme süreleri dikkate alınmaktadır. Bu tip uygulamalarda dalgıç pompa ile çıkan su, yüksekte bir yerde depolanır. Depolanan suyun kendi cazibesiyle dağıtımı yapılır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Güneş enerjisi sistemi kullanılarak su çıkarılması

Tez konusu olan Kabalı Merkez Köyünün nüfusu 2024 yılı verilerine göre 600 kişi olarak baz alınmıştır. Bir kişinin günlük su kullanım ihtiyacı 100 litre/gün olarak baz alınmıştır (Şahin, 2000). Debisi $8 \text{ m}^3/\text{h}$ olan bir moto-pump sistemi planlandığında moto-pumpın günde maksimum 7.5 saat çalışması yeterli olacaktır.

6.1.1. Su pompası hidrolik gücü

Su pompalama sisteminin hidrolik gücü, sistemin tasarlanan basıncına (H ; metre) ve su akış hızına (Q ; m^3/h) bağlıdır. Pompalama sisteminin gerekli hidrolik gücü eşitlik 6.1 kullanılarak hesaplanır (Habib, 2023).

$$P_H(kW) = \frac{H \times Q \times \rho \times g}{3.6 \times 10^6} \quad (6.1)$$

Burada

g : Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2)

ρ : Suyun yoğunluğu (1000 kg/m^3)

H : Su pompasının basma yüksekliğidir.

Yaptığımız bu araştırma çalışmasında, kurulumu yapılmış olan benzer bir sistem baz alınarak, depo giriş kotu ile terfi binası zemin kotu arasındaki mesafe 36 m, terfi hattı borusu yük kaybı 4 m, depo giriş basıncı 6 m ve dinamik seviye 23 m olarak düşünülmüş ve kayıplar da göz önüne alınarak H değeri 80 m olarak öngörülmüştür.

Debisi $8 \text{ m}^3/\text{h}$ olan bir moto-pump sistemi planlandığından; bu durumda sistem için gerekli hidrolik güç:

$$P_H(kW) = \frac{(80 \text{ m}) \times (8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}) \times (1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \times (9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}{3.6 \times 10^6} = 1.74 \text{ kW} \quad (6.2)$$

olarak elde edilir.

6.1.2. Motor gücünün hesabı

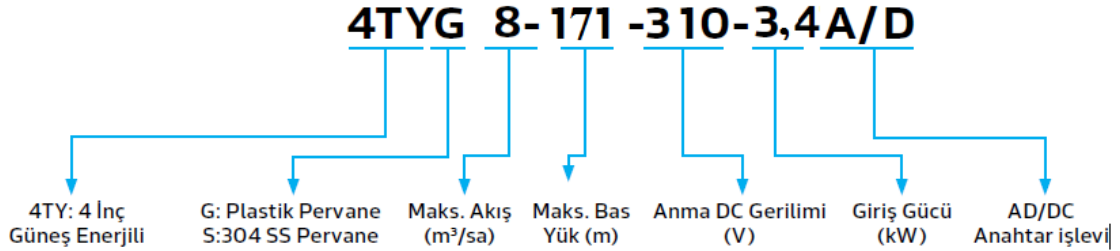
Moto-pump sisteminin ihtiyaç duyacağı elektriksel güç, eşitlik 6.3 ile hesaplanır (Habib, 2023) ve su pompasının verimiyle orantılıdır.

$$P_E = \frac{P_H}{\eta} \quad (6.3)$$

Burada η moto-pump sisteminin verimidir. Seçtiğimiz moto-pump sistemine ait verim değeri %50-55 civarındadır. Bu durumda sistem için gerekli elektriksel güç;

$$P_E = \frac{1.74 \text{ kW}}{0.55} = 3.16 \text{ kW} \quad (6.4)$$

Sistemde kullanılacak moto-pomp gücü 3.16 kW’ dan daha büyük olmalıdır. Tasarladığımız sistem için kataloglardan Alarko firmasına ait “4TYG8-171-310-3,4A/D” kodlu 3.4 kW’lık güneş enerjili derin kuyu su pompası seçilmiştir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Seçilen su pompası özellikleri

Sistemin enerjisini sağlayacak fotovoltaik sistem için panel gücü 640 W_p olarak belirlenmiştir. Sistemde kullanılacak panel seçimi yapılırken, yerli üretici olması, panel boyutları, panel verimi gibi özellikleri göz önünde bulundurarak yüksek verimliliğe sahip, CW Enerji firmasının ürünü olan “CWT640-120TNB12 640 W_p” kodlu (Tablo 6.1) monokristal bir panel seçimi yapılmıştır.

Tablo 6.1 Seçilen panelin teknik özellikleri (URL-11, 2025)

Model Tipi	CWT640-120TNB12 640 W _p
Azami Çıkış Gücü	640 W _p
Modül Verimliliği	22,65
Maksimum Güç Gerilimi (V _{mp})	36,56
Maksimum Güç Akımı (I _{mp})	17,51 A
Açık Devre Gerilimi (V _{oc})	43,78 V
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40 ~ +85°C
Hücre Boyutu(mm)	210x105
Panel Boyutu(mm)	2172x1303x35
Panel Ağırlığı	31 kg
Panel Teknolojisi	Monokristal
Hücre Sayısı	120 (6x20)
Maks. Rüzgar/ Kar Yüğü Dayanımı (Pa)	2400/5400

Şekil 5.4'te verilen grafikte Sinop için en düşük güneşlenme süresi aralık ayına aittir ve bu değer 3.21 saattir. En yüksek güneşlenme süresi ise temmuz ayı için 10.08 saat olarak belirtilmiştir. Sistem tüm yıl boyunca çalışacağından en düşük güneşlenme süresi olan aralık ayı baz alınarak hesaplamalara devam edilmiştir.

Sondaj ile içme suyu çıkarma sisteminde kullanılacak panel sayısını belirlerken günlük enerji ihtiyacı ve günlük güneşlenme süresi dikkate alınarak hesap yapılmaktadır. Tasarımını planladığımız köy için günlük su ihtiyacı $60 \frac{m^3}{gün}$ olarak belirlenmiştir ve seçtiğimiz Moto-pomp sisteminin günde 7.5 saat çalışması yeterli olacaktır. Bu durumda günlük gerekli enerji ihtiyacı eşitlik 6.5'teki gibi verilir.

$$\text{Günlük enerji ihtiyacı (kWh)} = \text{Gerekli elektriksel güç} \times \text{çalışma süresi} \quad (6.5)$$

$$\text{Günlük enerji ihtiyacı (kWh)} = 3.4 \text{ kW} \times 7.5 \text{ h} \quad (6.6)$$

$$\text{Günlük enerji ihtiyacı (kWh)} = 25.5 \text{ kWh} \quad (6.7)$$

olarak elde edilmiştir. Kullanılacak panel sayısı belirlenirken eşitlik 6.8'den faydalanılır (Ceylan, 2021). Kurulması planlanan sistemin tasarımında teknik bilgileri Tablo 6.1' de verilen 640 W'lık monokristal panel seçimi yapılmıştır.

$$\text{Panel Sayısı} = \frac{\text{Günlük Enerji İhtiyacı}}{\text{Güneş Panelinin Gücü} \times \text{Güneşlenme Süresi} \times 0,85} \quad (6.8)$$

Paydada yer alan 0.85 değeri fotovoltaik modüle ait verim katsayısıdır. Zamanla güneş panellerinde meydana gelebilecek kayıpları ifade eder. Bu durumda aralık ayı için hesaplama yapıldığında, gerekli panel sayısı

$$\text{Panel Sayısı} = \frac{25,500 \text{ Wh}}{640 \text{ W} \times 3,21 \text{ h} \times 0,85} = 14.6 \cong 15 \text{ panel} \quad (6.9)$$

Dolayısıyla aralık ayı güneşlenme süresi dikkate alındığında sistem için kayıplar da göz önüne alınarak 15 panel kullanımının yeterli olacağı öngörülmüştür.

6.1.3. Panellerin bağlanması

Tasarımını yaptığımız sistem için 640 W güce sahip 15 adet panel kullanılması yeterli görülmüştür. Bu durumda sistemin sahip olacağı toplam güç:

$$640W \times 15 = 9600 W \text{ (veya } 9.6 kW) \quad (6.10)$$

olacaktır. Panel bağlantıları yapılırken 3 paneli seri bağlayıp, 5'li serinin ise paralel bağlanması ile oluşturulabilir (Şekil 6.3). Tablo 6.1'e göre her panel için panel gerilimi $V_{mp} = 36.56 V$ ve açık devre gerilimi $V_{oc} = 43.78 V$ 'dur.

3'lü seri bağlantı gerilimi (V_{mp});

$$36.56 V \times 3 = 109.68 V \text{ (her seri dizi için)} \quad (6.11)$$

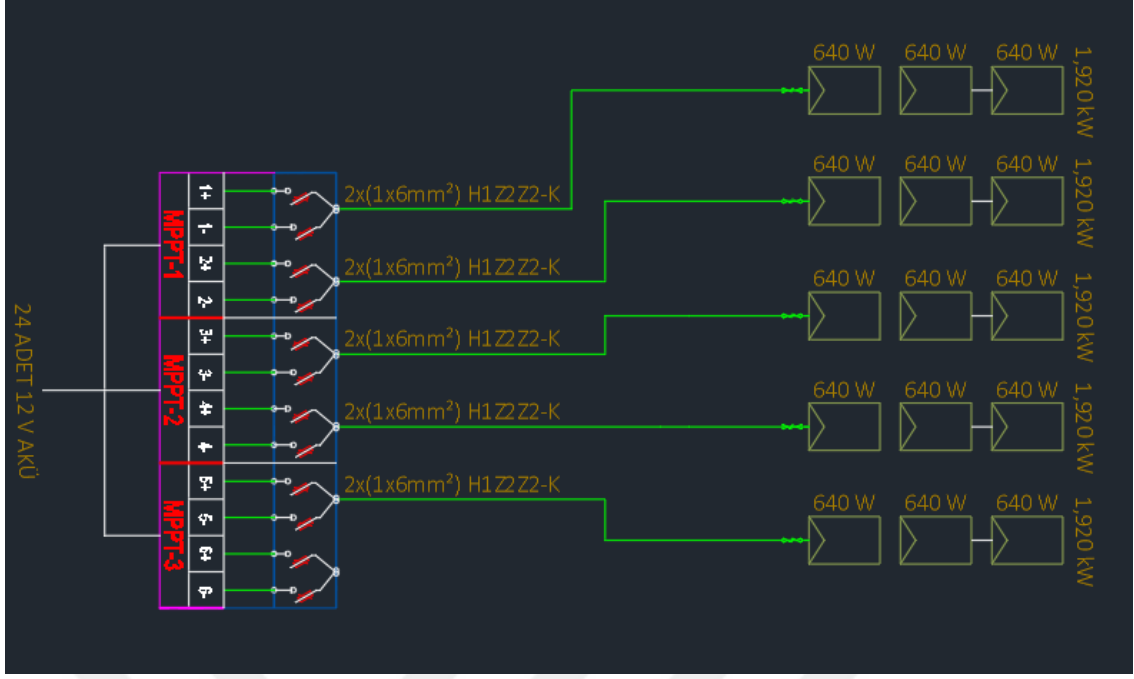
5'li dizi için toplam akım ise (her panel için maksimum güç akımı $I_{mp} = 17.51 A$);

$$17.51 A \times 5 = 87.55 A \quad (6.12)$$

Sonuç olarak 3'lü seri gruplar halinde 5'li paralel grup ile toplam sistem çıkışı:

Her seri grup için toplam voltaj: 109.68 V

Paralel grupların toplam akım değeri: 87.55 A olarak elde edilir.



Şekil 6.3 Panellerin bağlantı şekilleri

6.2. Mppt Gücünün Belirlenmesi

Mppt (Maximum Power Point Tracking); maksimum güç noktası izleme veya yakalama kelimesinin İngilizce kısaltmasıdır. Kısaca panellerden en yüksek verimi alır. Mppt cihazları güneş panellerinden gelen akımın düzenlenerek akülere transfer edilmesini sağlayan cihazlardır. Akülerin tam dolmasını veya aşırı ısınmasını ya da akülerin tamamen boşalmasını engelleyerek akü dolum süresini kısaltmaktadır. Seçilen panelin çıkış voltajı şarj regülatörlerinin giriş voltajıyla uygun olmalıdır. Şarj regülatörleri 12/24/48 V aralığında otomatik algılama yapmaktadır. Seçim yaparken en önemli husus seçilecek olan regülatörün maksimum akıma dayanıklı olmasıdır (Ceylan, 2021).

Her bir seri bağlı grubun akım değeri 17.51 A olduğundan, her seri bağlı 2 grup için 50 A'lik 1 adet Mppt cihazı kullanmak üzere, toplam 3 tane mppt cihazı ile sistem sağlıklı çalışacaktır. Bağlantı şekilleri Şekil 6.3'te verilmiştir.

6.3. Akü Kapasitesinin Belirlenmesi

Fotovoltaik sistemlerde üretilen enerji güneşlenme süresine göre değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla şebekeden bağımsız bir sistemin kesintisiz bir şekilde çalışabilmesi için akü kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Aküler üretilen elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek depolama yaparlar. Seçilecek akülerin **derin**

döngülü jel akü veya **lityum-demir fosfat (LiFePO₄)** teknolojisine sahip olması, sistemin çevrim ömrü ve güvenliği açısından kritik öneme sahiptir.

Jel aküler, ilk yatırım maliyeti açısından daha ekonomiktir. Ancak kullanım ömürlerinin düşük olması ve düşük DOD değerleri nedeniyle uzun vadede daha maliyetli hale gelmektedirler.

LiFePO₄ aküler ise yüksek ilk yatırım maliyetine sahiptir. Ancak daha uzun ömürlü olduklarından uzun vadede daha ekonomik ve çevre dostu bir seçenek sunar.

Karşılaştırma yapmak için hem jel akü hem de LiFePO₄ akü seçilmesi durumunda gerekli akü hesabı yapılmıştır.

Sistem için gerekli olan akü kapasitesini belirlemek için eşitlik 6.13' den faydalanabiliriz (Ceylan, 2021).

$$Akü Kapasitesi (Ah) = \frac{Günlük Enerji İhtiyacı (Wh)}{Akü Voltajı (V) \times Deşarj Derinliği (DOD; \%)} \quad (6.13)$$

6.3.1. Jel akü kullanılması durumunda akü kapasitesinin belirlenmesi

Sistem için gerekli günlük enerji ihtiyacı 25.5 kWh olarak eşitlik 6.7'de elde edilmişti. Öncelikle jel akü tercih edilmesi durumunda akü kapasitesi hesabı yapılmıştır. Sistemimizin ihtiyaç duyduğu güç büyük olduğu için, akü voltajı 48V olarak seçilmiştir. Deşarj derinliği (DOD) değeri %50 olarak kabul edilmiştir. Bu durumda ihtiyaç duyulacak akü kapasitesi;

$$Akü Kapasitesi (Ah) = \frac{25500}{48 \times 0.5} \cong 1062.5 Ah \quad (6.14)$$

olarak elde edilir. Dolayısıyla tasarladığımız sistem için en az 48 V ve 1062.5 Ah kapasiteli bir akü grubuna ihtiyaç duymaktayız. Piyasada bulunan her biri 12 V- 200Ah kapasiteye sahip jel aküler kullanılması durumunda, 48 V sistem için seri bağlı 4 adet akü bir dizi oluşturur. Gerekli toplam kapasiteyi karşılayacak şekilde,

Gerekli akü kapasitesi: 1062.5 Ah

4'lü seri bağlı dizinin kapasitesi: 200 Ah – 48 V (12 V×4 adet)

Bu durumda gerekli dizi sayısı:

$$1062.5/200=5.3125 \cong 6 \text{ dizi}$$

Böylelikle 4 adet 12V-200Ah'lik akünün seri bağlandığı ve 6 adet seri grubun da paralel bağlandığı 24 adet jel aküden oluşan bir sistemin tasarlanması uygun olacaktır. Akülerin bağlantı şekilleri Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.4 Jel akü seçimi yapılarak tasarlanan akü bağlantı şeması

6.3.2. LiFePO₄ akü kullanımı durumunda akü kapasitesinin belirlenmesi

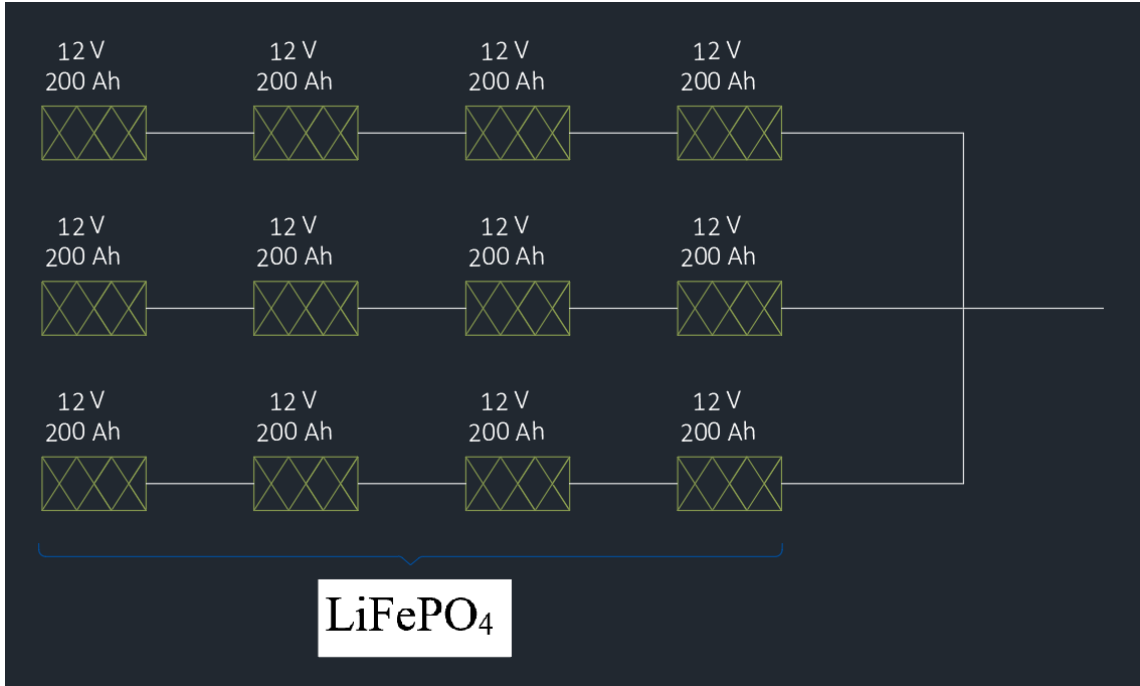
Benzer hesaplamalar Lityum Demir Fosfat (*LiFePO₄*) akü seçimi yapılarak tekrarlanacaktır. LiFePO₄ aküler için DOD değeri 0.8 (%80) alınarak eşitlik 6.13'e göre akü kapasitesi hesabı yeniden yapılırsa;

$$\text{Akü Kapasitesi} = \frac{25.5}{48 \times 0.9} = 590,27 \text{ Ah} \quad (6.15)$$

LiFePO₄ aküler seçilmesi durumunda sistemin çalışması için gerekli akü sisteminin kapasitesi 48 V gerilime ve 590,27 Ah kapasitesine sahip olmalıdır.

- Bu durumda sistem voltajı 48 V için 4 adet 12 V'luk akü seri bağlanır.
- Gerekli toplam kapasite 590,27 olduğundan $590,27/200=2,95$ paralel grup elde edilir. Bu değer üst değere yuvarlanarak 3 paralel grup elde edilir.
- Sonuç olarak toplam akü adeti: 4 seri \times 3 paralel = **12 akü** olarak elde edilir.

Sisteme ait akü bağlantı şeması Şekil 6.5'te verilmiştir.

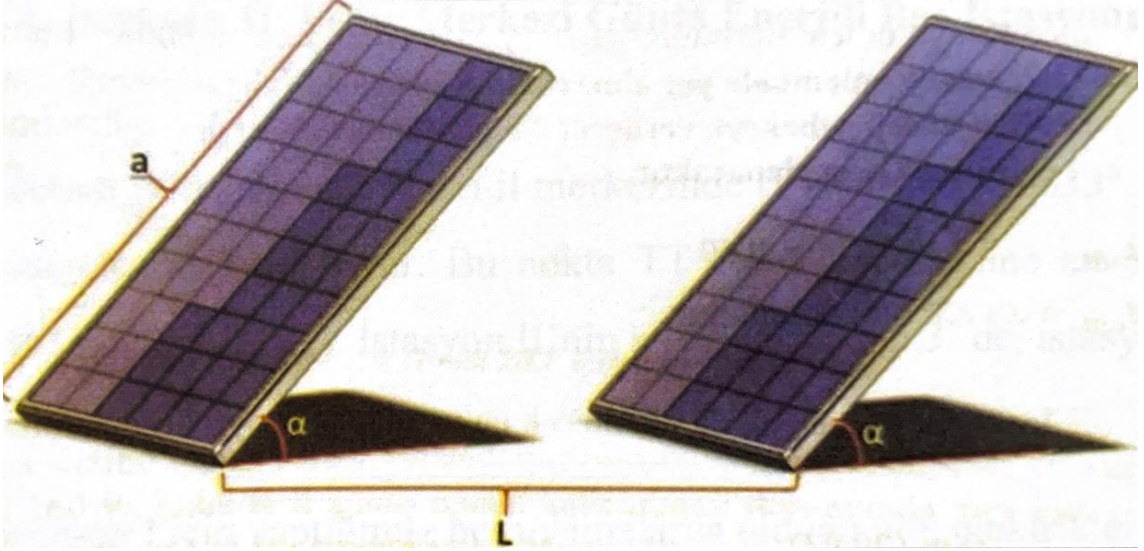


Şekil 6.5 LiFePO₄ akü seçimi yapılarak tasarlanan akü bağlantı şeması

Sonuç olarak her iki akü seçeneği değerlendirildiğinde, sistemin daha uzun ömürlü ve bakım gerektirmeyen bir yapıda olması hedeflenerek LiFePO₄ tercih edilerek maliyet hesabı bu aküler üzerinden yapılmıştır.

6.4 Paneller Arası Mesafenin Belirlenmesi

Fotovoltaik sistemlerin kurulacağı bölge olan Sinop Kabalı bölgesi için panel eğim açısı bölüm 5.2'de 40° olarak belirlenmiştir. Paneller arası mesafe belirlenirken oluşabilecek en uzun gölge boyunun hesaplanması gerekmektedir (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 Güneş Panellerinde Gölgeleme

$$L = a \times \left[\frac{\sin(\beta_{opt})}{\tan(23)} \right] + \cos(\beta_{opt}) \quad (6.16)$$

L=Paneller arası mesafe

α =Seçilen panelin boyu (2172 mm) (Tablo 6.1)

β_{opt} =Optimum panel eğim açısı (40°)

Paneller arası mesafeyi hesaplırsak;

$$L = 2.172m \times \left[\frac{\sin(40)}{\tan(23)} \right] + \cos(40) = 4.06 m \quad (6.17)$$

olarak elde edilir.

Panellerin eni 1.303m ve 4 lü seri grup halinde bağlandıklarından 5.212 m en ve bu 4lü seri dizi 6'lı paralel grup halinde bağlandığından 24.36 m boy olmak üzere 127 m²'lik bir alana ihtiyaç duyulacaktır.

6.5 Güneş Enerjili Su Pompalama Sisteminin Ekonomik Analizi

Tez kapsamında içme suyu moto-pomp sisteminin ihtiyaç duyacağı enerjiyi FV sistemlerden elde edilmesi durumunda Tablo 6.2'de maliyet analizi yapılmıştır.

Tablo 6.2 08.05.2025 tarihli Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası kur verileri

ABD	
DOLARI/TRY	
ALİŞ	SATIŞ
38,5259	38,6223

Tablo 6.3 Maliyet Analizi

ÜRÜN	ADET	FİYAT	TOPLAM
CWT640-120TNB12 640 Wp PV Paneller	15	200 \$	3,000 \$
Aküler LiFePO ₄ (Lityum Demir Fosfat)	12	250 \$	3,000 \$
3 KW MPPT Şarj Kontrol Cihazları	3	250 \$	750 \$
Konstrüksiyon	1	2,000 \$	2,000 \$
Elektriksel ekipmanlar (koruma ekipmanları, topraklama)	1	500 \$	500 \$
Toplam			9,250 \$

Yapılan araştırmalar sonucunda, şebekeden bağımsız bir sistem düşünülmektedir. Şebekeden bağımsız bir sistemin yaklaşık maliyeti 9250 \$ yani 356.364,00 TL (08.05.2025 tarihli merkez bankası kur verilerine göre 1 \$ (alış) =38,5259 TL) olmaktadır.

Buna göre şebekeden bağımsız bir sistemin amorti süresi incelendiğinde:

Sistem için gerekli günlük enerji ihtiyacı 25.5 kWh olarak belirlenmişti. Bu durumda yıllık enerji ihtiyacı

$$E_{yillik\ enerji} = 25.5 \times 365 = 9307.5\ kWh/yil \quad (6.18)$$

22.04.2025 tarihli verilere göre kWh başına elektrik maliyeti yaklaşık olarak 4.5 TL olduğu göz önüne alındığında (URL-12,2025), kurulacak olan sistem için amorti süresi hesaplaması yapılırsa:

$$\text{Amorti Süresi} = \frac{\text{Sistem maliyeti}}{\text{yıllık enerji tasarrufu}} = \frac{356364 \text{ TL}}{9307.5 \times 4.5} = 8.5 \text{ yıl} \quad (6.19)$$

Bu durumda sistem kendini yaklaşık olarak 9 yılda amorti eder diyebiliriz. Bu süre sona erdikten sonra ise sistemin yıllık tasarrufu devam eder. Böyle bir sistemin ömrü yaklaşık olarak 15-20 yıl olarak kabul edildiğinde böyle bir sistemde büyük faydalar sağlanacağı kaçınılmaz bir gerçektir.

7. SONUÇLAR

Günümüzde güneş enerjisi ile çalışan fotovoltaik sistemlerin kullanımı giderek artış göstermektedir. Özellikle elektrik şebekesinden uzak bölgelerde ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlamak için fotovoltaik sistemlerin kullanımı oldukça ekonomik ve çevreci bir çözüm sunmaktadır. Sinop köylerinde içme sularının büyük bir kısmı moto-pomp tesisleri aracılığıyla sağlanmaktadır. Moto-pomp tesislerin elektrik tüketim maliyetlerinin çok yüksek olması, güneş enerji santrali kurulumuna olan eğilimi arttırmaktadır. Hazırladığımız bu tez çalışmasında da Sinop İli Kabalı Köyü yerleşimi referans alınarak moto-pomp sistemiyle su çıkarma işleminde gerekli enerjinin, şebekeden bağımsız bir fotovoltaik sistem kullanarak sağlanması durumunda gerekli olan sistemler ve maliyetleri konusunda bir inceleme çalışması yapılmıştır. Tasarladığımız sistem için gerekli bileşenler, hesaplamalar ve analizler doğrultusunda sistemin verimliliği, güvenilirliği ve ekonomik açıdan avantajları değerlendirilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın temel amacı, güneş enerjisi ile çalışan bir su pompalama sisteminin enerji ihtiyacını karşılamak için gerekli olan bileşenlerin doğru seçilmesi, sistemin tasarımının yapılması ve ekonomik açıdan sistemin geri dönüş süresinin hesaplanmasıdır. Yaptığımız hesaplamalar doğrultusunda elde ettiğimiz sonuçları aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

- Debisi 8 m³/h olan, 3.4 kW gücünde bir güneş enerjili derin kuyu su pompası seçilmiştir. Bu pompa, belirlenen su ihtiyacını karşılamak için yeterli güce sahiptir.
- Tasarladığımız sistemin enerji ihtiyacı, günlük 25.5 kWh olarak hesaplanmış ve bu değer güneş enerjisi ile karşılanacağı belirlenmiştir.
- Sistemde kullanılan güneş panelleri, Sinop ili güneşlenme süreleri dikkate alınarak, günlük enerji ihtiyacını karşılamak için yeterli olacak şekilde tasarlanmış olup, 15 adet 640 Wp lik monokristal güneş paneli seçimi yapılmıştır.
- LiFePO₄ teknolojisine sahip 12V 200Ah kapasiteli 12 adet akü, sistemin enerji depolama kapasitesini sağlamak amacıyla seçilmiştir. Sistemde kullanılan LiFePO₄ aküler, uzun ömürlü olmaları ve yüksek verimlilik sağlamaları açısından tercih edilmiştir. Akü kapasitesi, günlük enerji ihtiyacı ve sistemin

kesintisiz çalışabilmesi için belirlenen gereksinimler doğrultusunda hesaplanmıştır ve gece boyunca su pompasının çalışabilmesini sağlayacak şekilde yeterli depolama kapasitesine sahiptir.

- Sistemde kullanılan MPPT şarj regülatörleri, güneş panellerinin maksimum verimle çalışmasını sağlayarak enerji kaybını en aza indirecektir. Panel çıkışını aküye en verimli şekilde yönlendirebilmek için 50A'lık 3 adet MPPT şarj regülatörü kullanılması öngörülmüştür.

Sistemin ekonomik analizi yapıldığında Sistemin toplam başlangıç maliyeti 9250 USD olarak hesaplanmış, bu maliyetin içerisinde güneş panelleri, aküler, MPPT regülatörleri, kablolama ve diğer ekipmanlar yer almıştır. Yıllık enerji tasarrufu ise 1100.46 USD olarak belirlenmiş ve sistemin 9 yıl içerisinde kendini amorti edeceği hesaplanmıştır. Bu sonuç, güneş enerjisi ile çalışan bir su pompalama sisteminin ekonomik açıdan uzun vadeli fayda sağladığını göstermektedir. Geri dönüş süresi, sistemin çevre dostu bir alternatif olmasının yanı sıra, düşük işletme maliyetleriyle de uzun vadede ekonomik kazanç sağladığını ortaya koymaktadır. Bu süre sonunda, sistem tamamen kendini amorti ettikten sonra her yıl 1100.46 USD tutarında bir enerji tasarrufu sağlanacaktır.

Güneş enerjisi ile çalışan su pompalama sistemleri, fosil yakıtlara dayalı enerji sistemlerine kıyasla çok daha çevre dostudur. Güneş enerjisi, karbon salınımı yapmadığı için çevreye zarar vermez ve bu da sürdürülebilir bir enerji çözümü sunar. Bu çalışmada tasarlanan sistemin kullanılması, ayrıca köy yerleşimlerinde çevre kirliliğini azaltmaya yardımcı olacaktır. Ayrıca, güneş enerjisiyle çalışan su temini sistemleri, enerji bağımsızlığı sağlayarak yerel halkın şebeke enerjisine olan bağımlılığını azaltır. Bu durum, özellikle kırsal alanlarda yaşayan halk için önemli bir sosyal fayda sağlar. Güneş enerjisi ile çalışan sistemler, düşük işletme maliyetleri ve uzun ömürleri sayesinde, uzun vadede köy yerleşimlerine ekonomik fayda da sağlayacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma, köy yerleşimlerinde güneş enerjisi ile çalışan su pompalama sistemlerinin uygulanabilirliğini göstererek, gelecekteki sürdürülebilir enerji çözümleri için önemli bir referans sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- A. Hamidat, B. Benyoucef (2009). *Systematic procedures for sizing photovoltaic pumping system, using water tank storage* [Energy Policy, Volume 37, Issue 4, April 2009, Pages 1489-1501] <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.12.014>
- Atik-Kıyga, P. (2013). *Fotovoltaik güç Sistemli su pompalarının dizayn esaslarının araştırılması*. [Yayınlanmış yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi]
- Bakirci, K. (2012a). *Correlations for optimum tilt angles of solar collectors: A case study in Erzurum, Turkey*. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 34(11), 983–993. doi:10.1080/15567031003735279
- Bolaji B. O., Adu M. R, (2007). *Desing methodology for photovoltaic pump-ing system suitable for rural application in Nigeria*. 120-130
- Canka Kılıç, F. Ç (2015). *Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri*. *Mühendis ve Makina*. 55, 671, 28-40
- Ceylan, İ., Gürel,E. (2021). *Güneş Enerji Sistemleri ve Tasarımı* (2. Basım). Dora Basım-Yayın Dağıtım Ltd. Şti.
- Dal, A. R. (2021). *Güneş Enerji Panellerindeki Optimum Eğim Açısının Verime Etkisinin İncelenmesi*. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*., 241-250.
- Gençoğlu, E. (2015). *Güneş pili ile çalışan bir su pompalama sisteminin tasarımı ve gerçekleştirilmesi* [Yayınlanmış yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi]
- Gönültaş, E. (2017). *Güneş enerji santrallerinin tasarımı ve performans analizi* [Yayınlanmış yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi]
- Kabir, J. M. (2016). *Factors influencing customer satisfaction at a fast food hamburger chain: The relationship between customer satisfaction and customer loyalty* (Publication No. 10169573) [Doctoral dissertation, Wilmington University]. ProQuest Dissertations & Theses Global.
- Habib, S., Liu, H., Tamoor, M., Zaka, M. A., Jia, Y., Abdelazim G. Hussien , Hossam M. Zawbaa , Salah Kamel. *Technical modelling of solar photovoltaic water pumping system and evaluation of system performance and their socio-economic impact*. *Heliyon* 9 (2023). e16105 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16105>
- Isak. A.M.(2001). *Güneş enerjili su pompalama sistem tasarımı: somali örneği* [Yayınlanmış yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi]

Messenger, R.A. and Ventre, J., (2003). *Photovoltaic Systems Engineering*. 2nd Edition, CRS Press

Şahin, C. (2000). *Su Getirme Etüt ve Proje Bilgisi*. [T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Etüt ve Proje Dairesi Başkanlığı İçmesuları Etüt ve Proje Şube Müdürlüğü]

Uğurateş S. (2023). *Uzak arazi şartlarında tarımsal sulamada kullanılan su pompalama sistemi ile entegre taşınabilir fotovoltaik güneş paneli'nin tasarımı ve performansının incelenmesi*. (Yayınlanmamış doktora tezi, Çukurova Üniversitesi)

Ulgen, K. (2006). Optimum tilt angle for solar collectors. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 28(13), 1171-1180.

(URL-1, 2023). <https://www.teias.gov.tr/> TEİAŞ(2023), Türkiye'nin Elektrik Üretim İstatistikleri, Erişim:14 Mart 2024

(URL-2, 2023) https://emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369, Elektrik Mühendisleri Odası (2023), Elektrik Üretimine Kaynaklara Göre Dağılım İstatistikleri, Erişim:14 Mart 2024

(URL-3, 2023) <https://enerji.gov.tr>, Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı (2023), Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yıllar İçindeki Değişim İstatistikleri, Erişim: 5 Haziran 2024

(URL-4, 2023) <https://www.renewableenergyworld.com/> , Energy Understood All Factored İn, Dünya Enerji Kaynakları İstatistik Verileri, Erişim: 5 Haziran 2024

(URL-5, 2023) <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>, Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (2023), Türkiye'nin Güneş Enerji Verileri, Erişim: 14 Mayıs 2024

(URL-6, 2024) <https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/sources-of-energy.php> erişim tarihi 15.02.2024 , U.S. Energy Information Administration, Türkiye ve Dünyanın Yenilemez Enerji Kaynak Durumu, Erişim: 14 Nisan 2025

(URL-7, 2023) <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> , Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bilgi Merkezi(2023), Türkiyenin Güneş Enerji İstatistikleri, Erişim:5 Mayıs 2024

(URL-8, 2024) <https://www.enerjiekonomisi.com/2023-yili-sonu-itibariyle-turkiye-de-kac-yenilenebilir-enerji-santrali-var/24139/>, Enerji Ekonomisi (2023), Güneş Enerjisi Santral Sayısı Veriliri, Erişim:4 Ocak 2025

(URL-9,2023) <https://www.mgm.gov.tr>, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2023), Güneş Enerjisi Radyasyon Verileri, Erişim: 4 Nisan 2024

(URL-10,2023) <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>, Güneş Enerji Potansiyeli Atlası, Güneş Enerjisi Radyasyon Hesapları, Erişim: 14 Nisan 2024

(URL-11,2024) <https://cw-enerji.com/tr/urun/cw-enerji-550-wp-108pm-m12-blackwhite-gunes-paneli-serisi-1283.html> , CW Enerji (2024), Kullanılan Güneş Panelinin Teknik Özellikleri, Erişim :10 Ocak 2025

(URL-12,2025) <https://www.epdk.gov.tr/detay/icerik/3-100/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>, EPDK(2025) Elektrik Faturaları Düzenleme Esasları, Erişim:15 Haziran 2025

Yıldız A., Yıldırım E. *Düzce Çevresi Su Temini Uygulamalarında Kullanılacak 15 kWp Fotovoltaik Sistemin Fayda-Maliyet Analizi*, EMO Bilimsel Dergi 2019 Cilt: 9 Sayı:2



ÖZGEÇMİŞ

2008 yılında Samsun ilinde doğdu. İlköğrenimini Ayvacık'a bağlı Ayvacık ilçesinde, ortaöğrenimini Samsun İlinde tamamladı. 2012 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2012-2014 yıllarında Samsun ilinde özel sektörde çalıştı. 2014 yılında Sinop İl Özel İdaresi'nde Elektrik Elektronik Mühendisi olarak göreve başladı.

2020 yılında Sinop Üniversitesi Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü Disiplinler arası Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı bölümünde yüksek lisansa başlayan ZENGİN, evli ve bir çocuk babasıdır.

