

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK SİSTEM TASARIMI: ERBİL
ŞEHRİNDE BİR POMPAJ TESİSİ ÖRNEĞİ

Mohammed Iedin MAAROOF MAAROOF

ENTEĞRE SU YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2024

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK SİSTEM TASARIMI : ERBİL ŞEHRİNDE BİR POMPAJ TESİSİ ÖRNEĞİ

Mohammed Iedin Maarooif MAAROOF

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Entegre Su Yönetimi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Metin GÜNER

Bu çalışmada Erbil şehrinde bulunan ve tüketiciye günde 300 m³ su dağıtan, manometrik yüksekliği 59 mss olan her biri 22 kW güce sahip 3 adet santrifüj pompa için PV sistem tasarımına ilişkin mühendislik hesaplamaları yapılmıştır. Pompaj tesisi, 36°20' Kuzey enlemi ile 44°0' Doğu boylamı arasında kesişen koordinatlarda yer almakta olup, denizden olan ortalama yüksekliği 390 metredir. Su dağıtımını için Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları baz alınmış ve günde 6 saat çalıştırılması öngürülerek bu güç gereksinimi karşılamak için PV sistemde bu aylarda PV panel yüzeyine gelen ortalama ışınım miktarı 6.998 kWh/m².gün olarak hesaplanmıştır. Erbil şehri meteorolojik verilerinden yararlanılarak tasarlanan PV panelde kurulu güç 202.04 kW olup 371 adet seri bağlı olarak panel kullanılacağı belirlenmiştir. Son olarak yapılan hesaplamalarda pompaj tesisi için gerekli olan güç gereksinimi bulunan bulgularla sağlanmış olup performansı yeterli düzeyde olduğu kanıtlanmıştır.

Şubat 2024, 48 sayfa

Anahtar kelimeler: Fotovoltaik sistem, pompaj tesisi, güneş panelleri, pompalama, güneş enerjisi

ABSTRACT

Master Thesis

GRID CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM DESIGN: AN EXAMPLE OF A PUMPING PLANT IN ERBIL CITY

Mohammed Iedin Maaroof MAAROOF

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Integrated Water Management

Supervisor: Prof. Dr. Metin GÜNER

In this study, PV system design for 3 centrifugal pumps, each with 22 kW power, each with a manometric height of 59 mss , which distribute 300m³ of water per day to the consumers, located in Erbil city, was carried out and calculations were made after the tests were carried out. The pumping plant is located at the intersecting coordinates between 36°20' North latitude and 44°0' East longitude and the average height from the sea is 390 meters. The months of June, July, August and September are taken as a basis for water distribution and the PV system will be operated for 6 hours a day to meet this power requirement. The average irradiation amount to the PV panel surface during these months is calculated as 6.998 kWh/m².day It is calculated as a day. The installed power of the PV panel designed by utilizing the meteorological data of Erbil city is 202.04 kW and 371 series connected panels will be used. Finally, in the calculations made, the power requirement for the pumping plant is provided with the findings and its performance is proved to be at an adequate level.

February 2024 , 48 Pages

Key Words: Photovoltaic system, pumping plant, solar panels, pumping, solar energy

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans tez çalışmalarımın planlanması, yürütülmesi ve değerlendirilmesinde bana yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Metin GÜNER'e (Ankara Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı)

Hayatım boyunca olduğu gibi bu süreçte de desteklerini esirgemeyen başta Babam, Annem ve Eřim'e olmak üzere teşekkür ederim

Mohammed Iedin Maarooft MAAROOFT
Ankara, şubat 2024

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| TEZ ONAY SAYFASI | |
| ETİK..... | i |
| ÖZET..... | ii |
| ABSTRACT | iii |
| TEŞEKKÜR | iv |
| KISALTMALAR DİZİNİ | vii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | ix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Güneş Enerjisi Sistemi..... | 2 |
| 1.1.1 Yeryüzeyi güneş radyasyon | 2 |
| 1.1.2 Güneş..... | 3 |
| 1.1.3 Güneş geliş açıları | 4 |
| 1.2 Fotovoltaik Modül..... | 7 |
| 1.3 Fotovoltaik Panel..... | 8 |
| 1.4 Güneş Enerji Paneli Çeşitleri..... | 10 |
| 1.4.1 Monokristal silikon güneş panelleri | 10 |
| 1.4.2 Polikristal silikon güneş panelleri..... | 10 |
| 1.4.3 İnce film güneş panelleri..... | 11 |
| 1.4.4 Çoklu bağlantılı güneş panelleri | 11 |
| 1.5 Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistem | 11 |
| 1.5.1 Şebekeye bağlı sistemlerin avantajları | 13 |
| 1.5.2 Şebekeye bağlı sistemlerin dezavantajları | 13 |
| 1.5.3 Fotovoltaik santrallerin senkronizasyonu | 13 |
| 1.6 DC -DC Konverter | 15 |
| 1.7 Şebeke Bağlantılı İnvertörlerin Temel Özellikleri..... | 16 |
| 1.7.1 Şebeke bağlantılı invertörler ve güç dönüşümü | 17 |
| 1.7.2 İnvertör gücü | 18 |
| 1.7.3 Bağlantı panelleri ve dağıtım sistemleri..... | 19 |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ | 21 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 28 |
| 3.1 Materyal..... | 28 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1.1 Pompaj tesisi..... | 28 |
| 3.1.2 Erbil şehri ve koşulları..... | 29 |
| 3.1.3 Erbil şehri meteorolojik verileri | 31 |
| 3.2 Yöntem | 34 |
| 3.2.1 Fotovoltaik (PV) modül | 34 |
| 3.2.2 Çift yönlü elektrik sayacı..... | 36 |
| 3.2.3 PV panel yüzeyine gelen ortalama günlük ışınım miktarının hesaplanması.. | 37 |
| 3.2.4 Pompaj tesisi güç gereksinimi | 39 |
| 3.2.5 PV sisteminin kurulu gücü hesaplaması | 40 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA | 41 |
| 4.1 Panele Gelen Ortalama Günlük Işınım Miktarı | 41 |
| 4.2 Pompaj Tesisi Hidrolik Gücü Ve Verimi | 42 |
| 4.3 PV Panel Sistemin Kurulu Gücü | 43 |
| 4.4 PV Panel İnvertör Gücü | 43 |
| 5. SONUÇ..... | 44 |
| KAYNAKLAR | 45 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 48 |

KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|----------|--|
| AC | Alternatif Akım |
| DC | Doğru Akım |
| PV | Fotovoltaik |
| MPPT | Maksimum güç noktası takibi |
| VA | Görünür güç |
| kW | Kilowatt |
| W | Watt |
| I_K | Panel yüzeyine gelen toplam ışınım |
| I_d | Direkt ulaşan ışınım |
| I_y | Yaygın ışınım |
| I | Yer yüzeyine ulaşan toplam ışınım değeridir |
| β | Yüzey eğimini |
| ρ_g | Yerin aklık derecesi |
| Rb | Eğik yüzey üzerindeki direkt ışınım ile yatay yüzey üzerindeki direkt ışınım oranı |
| K_T | Berraklık indeksi |
| I_0 | Atmosferin dış yüzeyine gelen ışınım miktarı |
| Q | Debi |
| Hm | Manometrik yüksekliğe |
| w_{gb} | Güneş saat açısı |
| P_h | Hidrolik güç |
| η_p | Pompa verimi |
| P_f | Pompaya girdi olarak verilen güç |
| N_{PV} | PV sistemin kurulu gücü |
| t_g | Günlük maksimum güneşlenme süresi |
| AF | Sistemin invertörlerden dolayı kayıp durumu |
| E | Alt sistem verimi |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1 Güneşten gelen ışınım dağılım grafiği | 3 |
| Şekil 1.2 Güneşin tabakaları | 3 |
| Şekil 1.3 Yılın farklı günlerinde deklinasyon açısı | 5 |
| Şekil 1.4 Güneş öğlesinde ve günün diğer zamanlarında yükseklik açısı..... | 6 |
| Şekil 1.5 Azimut Açısı | 7 |
| Şekil 1.6 Fotovoltaik pil yapı ve çalışma prensibi | 8 |
| Şekil 1.7 FV hücre modül ve dizi yapısı | 9 |
| Şekil 1.8 Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler..... | 12 |
| Şekil 1.9 Enerji santrali şebeke senkronizasyon şeması | 15 |
| Şekil 1.10 Şebeke bağlantılı merkezi invertör sistemi | 18 |
| Şekil 3.1 Pompaj Tesisi..... | 29 |
| Şekil 3.2 Kullanılan santrifüj pompanın özellikleri | 29 |
| Şekil 3.3 Irak haritasında Erbil'in konumu | 30 |
| Şekil 3.4 Erbil bölgesinde ortalama yüksek ve düşük sıcaklık | 32 |
| Şekil 3.5 Erbil ortalama saatlik sıcaklık..... | 33 |
| Şekil 3.6 M10-144 Cam-arka yüzey tek taraflı yarım hücre çerçeveli modül fotovoltaik panelin boyutları | 36 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Çizelge 3.1 Erbil şehri ortalama meteorolojik verileri (Erbil Meteoroloji Genel Müdürlüğü)..... | 32 |
| Çizelge 3.2 Erbil Şehrinin güneş radyasyon değerleri ve bulutluluk oranları | 33 |
| Çizelge 3.3 M10-144 Cam-arka yüzey tek taraflı yarım hücre çerçeveli modül fotovoltak panelin elektriksel özellikleri..... | 35 |
| Çizelge 3.4 M10-144 Cam-arka yüzey tek taraflı yarım hücre çerçeveli modül fotovoltak panelin mekanik özellikleri..... | 35 |
| Çizelge 4.1 Araştırma bölgesinin güneşlenme değerleri..... | 41 |
| Çizelge 4.2 Direkt ışınım ,yaygın ışınım ve PV panele gelen ışınım miktarları..... | 42 |



1. GİRİŞ

Günümüzde enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği ve çevresel etkilerin azaltılması, küresel ölçekte enerji üretimi ve tüketiminde dönüşümü tetikleyen önemli bir itici güç haline gelmiştir. Bu dönüşüm sürecinde, güneş enerjisi temiz, yenilenebilir ve sınırsız bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Güneş enerjisi, güneşten gelen ışık enerjisinin fotovoltaik sistemler aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilir ve şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler, bu dönüşümü en etkili şekilde gerçekleştiren ve elektrik şebekesine entegre olan sistemler olarak önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, Erbil şehrindeki pompaj tesisleri, su kaynaklarının etkin yönetimi için hayati öneme sahiptir. Ancak, bu tesislerin enerji ihtiyaçları genellikle yüksek olup, mevcut enerji kaynaklarına olan bağımlılığı artırmaktadır (Köksal 2012).

Buna ek olarak, geleneksel enerji kaynaklarının sınırlı ve çevresel etkileri yüksek olması nedeniyle, şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin pompaj tesislerinde kullanımı, enerji maliyetlerini azaltma, enerji verimliliğini artırma ve çevresel sürdürülebilirliği sağlama potansiyeline sahiptir (Gökalp 2014). Erbil şehrinin coğrafi konumu, yüksek güneşlenme süresi ve yoğun güneş ışığına sahip olması, güneş enerjisi kaynaklarının potansiyelini artırmaktadır. Bu nedenle, Erbil'deki bir pompaj tesisi üzerinde şebeke bağlantılı fotovoltaik bir sistem tasarımının incelenmesi hem bölgesel enerji taleplerini karşılamak hem de enerji bağımsızlığını artırmak için önemli bir adım olabilir.

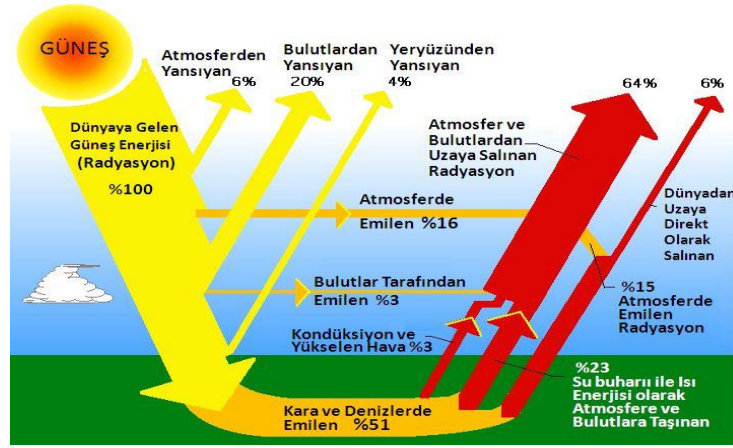
Bu tasarım, fotovoltaik panellerin uygun yerleşimi, invertörlerin seçimi, enerji depolama çözümleri ve şebeke bağlantısının entegrasyonu gibi çeşitli teknik ve mühendislik unsurlarını içermektedir. Ayrıca, Erbil'deki pompaj tesislerinde şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin kurulumu ve işletilmesiyle ilgili ekonomik, teknik ve sosyal faktörlerin de dikkate alınması gerekmektedir. Maliyet analizleri, yatırım geri dönüş süreleri, işletme ve bakım maliyetleri gibi unsurlar, tasarımın başarısı ve sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Ayrıca, mevcut yasal düzenlemeler, teşvik mekanizmaları ve düzenleyici politikalar da projenin uygulanabilirliği ve başarısı üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir.

Erbil'deki bir pompaj tesisi üzerinde şebeke bağlantılı fotovoltaik bir sistem tasarımının incelenmesi, güneş enerjisinin yerel enerji taleplerini karşılamadaki potansiyelini ve enerji dönüşümü sürecindeki avantajlarını ortaya koymak açısından önemlidir. Bu çalışma, sürdürülebilir enerji kullanımının teşvik edilmesi, enerji güvenliği sağlanması ve çevresel etkilerin azaltılması gibi hedeflere katkıda bulunabilir(Avcıoğlu 2017).

1.1 Güneş Enerjisi Sistemi

1.1.1 Yeryüzeyi güneş radyasyon

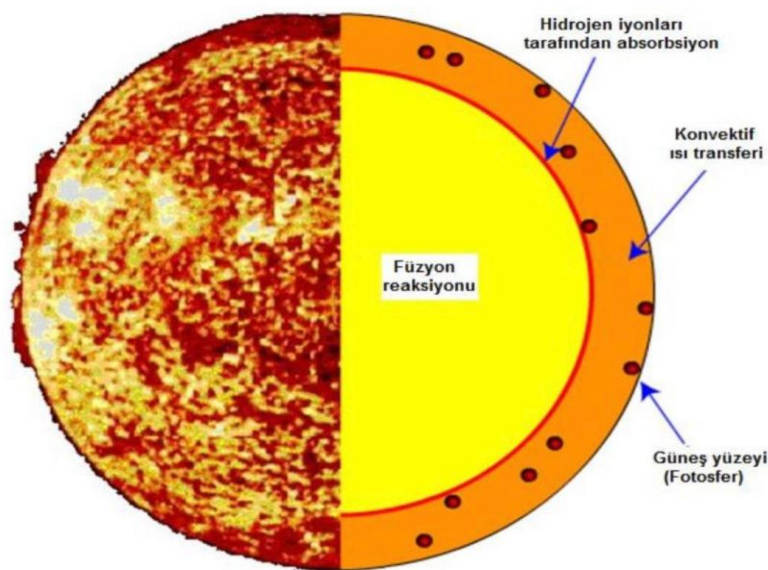
Güneşten yerküre üzerine gelen radyasyon genelde sabittir ama yeryüzüne ulaşan radyasyonda büyük farklılıklar oluşmaktadır. Bu farklılıkların sebebi ; lokasyon, mevsim, zaman, kirlilik, su buharı, bulutlar ve saçılma olabilmektedir. Bu farklılıklar güneş radyasyonundan yüzeye gelen ışığın açısını, spektral değerini ve toplam gücüne etki edebilmektedir. Dünyada kullanılan bir yıllık toplam enerji miktarı güneşin yeryüzüne ulaşan bir saatlik enerji miktarından azdır. Atmosferik etkiler bununla kalmamaktadır, atmosferde bulunan gazlar, tozlar ve aerosollar gün ışığı parçacıkları (Foton) absorbe etme özelliğine sahiptir. Atmosferdeki bu gazlar güneş radyasyonunun toplam gücüne az bir etki etmektedir. Bunun yerine ışığın saçılmasında tozlar ve hava molekülleri güneş radyasyonundan gelen gücü etkileyen ana faktörlerden biri sayılabilir ayrıca direkt ve diffüz radyasyondan oluşur, saçılan ışığın yönü yoktur ve bu ışık diffüz ışık olarak adlandırılır (Şekil 1.1). Atmosferde saçılmanın olmadığı günlerde güneş ışığı direkt olarak etki yapar, bu durumda sadece güneş radyasyonun %10'u diffüz radyasyondur (Beckman ve Duffie 2013).



Şekil 1.1 Güneşten gelen ışınım dağılım grafiği (Anonim 2023)

1.1.2 Güneş

Sonsuz enerji kaynağı Güneş, 1.39×10^9 m çapında, dünyadan 1.5×10^{11} m uzaktadır ve güneşin etkin kara cisim sıcaklığı 5777 K'dir. Güneşin etrafındaki bileşenler güneşte bir füzyon süreci oluştururlar ve bu süreçten bir enerji yayılımı oluşur (Beckman ve Duffie 2013). Atmosfer dışında güneş enerjisi şiddeti yaklaşık 1370 w/m ise atmosfere girdikten sonra $0-1100$ W/m arasında değişim göstermektedir (Yolcan ve Köse 2020). Şekil 1.2'de güneşin tabakalarının şematik bir görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 1.2 Güneşin tabakaları (Dayıoğlu 2022)

1.1.3 Güneş geliş açıları

Dünyanın elips hareketinden dolayı yıl içinde mevsimler oluşur, güneşin dünyaya göre yörüngesi bölgeden bölgeye, mevsimden mevsime, günden güne ve saate göre değişiklik gösterir. Aşağıda bazı güneş geliş açıları yer almaktadır:

Güneş Zamanı: Yerel güneş zamanı (LST) ve yerel zaman (LT) olmak üzere iki adet güneş zamanından bahsedilebilir. 12:00 öğle saatine denk gelen yerel güneş zamanı (LST), gökyüzündeki güneşin en yüksekte olduğu andır. Genellikle yerel saat (LT), yerel güneş zamanından (LST) farklıdır.

Yerel standart zaman meridyeni (LSTM): Yerel Standart Zaman Meridyeni (LSTM), belirli bir zaman dilimi için referans olarak kullanılan ve Greenwich Ortalama Zamanı'nın (GMT) ilk meridyeni olan bir referanstır. (Dayıoğlu 2022).

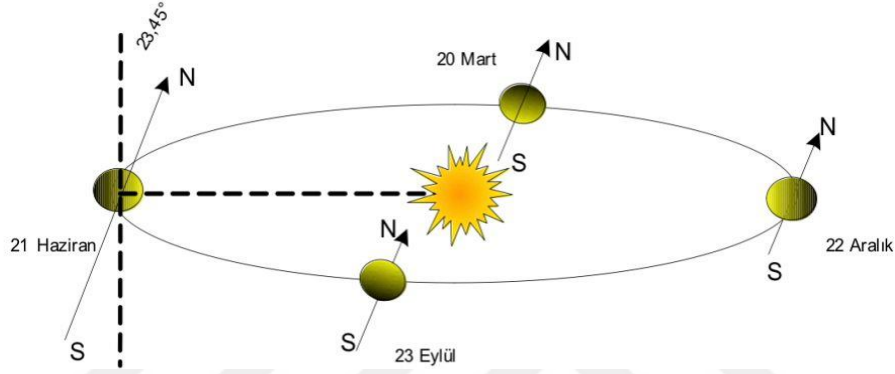
Güneşin Denklinasyon Açısı: Denklinasyon açısı (δ), dünyanın güneşin etrafında dönüşü ve dönme eksenini üzerindeki eğiminden dolayı mevsimlere bağlı olarak değişir. Yalnızca sonbahar ve ilkbahar gün dönümlerinde deklinasyon açısı 0° 'a eşit olmaktadır (Dayıoğlu 2022). Deklinasyon açısı için aşağıdaki denklemi kullanabiliriz (Cooper 1969).

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left[\frac{360}{365} (d - 81) \right]$$

d : 1 Ocak'tan başlayarak hesaplamaların yapıldığı tarihe kadar olan gün sayısıdır. Bu değer 1 Ocak için $d=1$ alınır. Aşağıdaki formülle hesaplanan denklinasyon açısı daha hassas sonuç verir.

$$\delta = \sin^{-1} \left\{ \sin 23.45^\circ \sin \left[\frac{360}{365} (d - 81) \right] \right\}$$

Şekil 1.3’de yılın farklı günlerinde deklinasyon açısı gösterilmektedir. Denklinasyon açısı ekinokslarda (22 Mart ve 22 Eylül) sıfır değerini alır. Kuzey yarımküre için yaz boyunca pozitif ve kış boyunca da negatif değerleri alır. Denklinasyon açısı, ekinokslarda yani 22 Mart ve 22 Eylül tarihlerinde sıfırdır. Yaz aylarında Kuzey yarımküre için pozitif, kış aylarında ise negatiftir. Denklinasyon açısı, maksimum değerine yani $+23.45^\circ$ ’ye 22 Haziran’da (kuzey yarımküre için yaz solistisi) ulaşırken, minimum değerine (-23.45°) ise 22 Aralık’ta (kuzey yarımküre için kış solistisi) ulaşır.



Şekil 1.3 Yılın farklı günlerinde deklinasyon açısı (Şenpınar 2006)

Yükseklik Açısı: Yükseklik açısı (α), güneşin gökyüzünde yataydan itibaren ölçülen açısal yüksekliğidir. Yükseklik açısının değişimi, güneşin gökyüzünde hareket etmesi ve yerin dönme hareketi nedeniyle meydana gelir. Sabahın erken saatlerinde güneş yükselmeye başlar, öğle vaktinde zirveye ulaşır ve sonra batışa doğru alçalır. Bu güneşin yükseklik açısındaki değişimi oluşturur. Ayrıca, yükseklik açısı mevsimlere göre de değişiklik gösterir. Dünyanın eksen eğikliği nedeniyle bir yerdeki gözlemci, yıl boyunca güneşin gökyüzündeki yolunun farklı olacağını deneyimler. Bu durum, güneşin yükseklik açısının mevsimlere göre değişmesine neden olur. Kış aylarında güneş daha düşük bir yükseklik açısına sahipken, yaz aylarında yüksek bir yükseklik açısına ulaşır. Şekil 1.4 yükseklik açısının değişimi verilmiştir. Yükseklik açısı güneşin doğuşunda 0° ve güneşin tam tepede olduğu zaman 90° olur. Güneş öğlesindeki yükseklik açısı aşağıdaki bağıntılarla bulunabilir (Dayıoğlu 2022).

Kuzey yarımküre için;

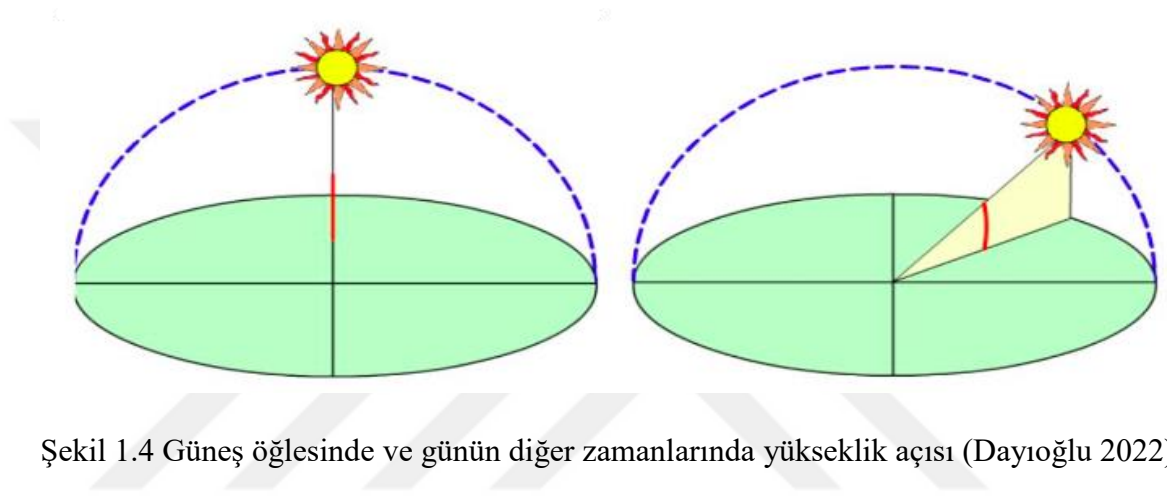
$$\alpha = 90 - \phi + \delta$$

Güney yarımküre için;

$$\alpha = 90 + \phi - \delta$$

ϕ = Enlem derecesi ($^{\circ}$)

δ : Yılın gününe bağlı olarak değişen denklinasyon açısı ($^{\circ}$)

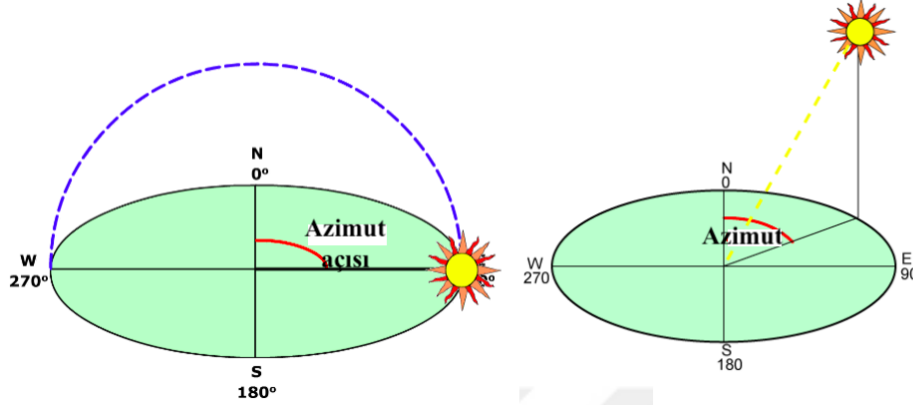


Şekil 1.4 Güneş öğlesinde ve günün diğer zamanlarında yükseklik açısı (Dayıoğlu 2022)

Zenit açısı, bir noktadaki gözlemcinin doğrudan başının üzerindeki noktaya olan açıdır. Matematiksel olarak, Zenit açısı, yerel düşey (dik) doğrultuya göre ölçülür ve genellikle yatay yerine düşeyden itibaren ifade edilir. Zenit açısı, gözlemciye en yakın noktadaki gökyüzüne bakma açısını temsil eder. Zenit açısı, gözlemcinin coğrafi konumuna ve zamanına bağlı olarak değişir. Öğle vaktinde, güneş en yüksek noktaya ulaştığında, Zenit açısı 90 derecedir. Zenit açısı, gözlemcinin yükseklik açısı kullanılarak şu şekilde hesaplanabilir: Zenit Açısı, 90° - yükseklik açısıdır (Dayıoğlu 2022).

Azimet Açısı: Azimet (yön) açısı, bir gözlemcinin veya nesnenin yatay düzlemde, genellikle kuzeyden saat yönünde ölçülen açıdır. Azimet açısı, bir noktanın veya nesnenin kuzeyden kaç derece doğuya veya batıya doğru olduğunu belirtir (Şekil 1.5). Güneş öğlesinde azimet açısı 0° dir. Azimet açısı pusula yönü gibi düşünülebilir. Azimet açısında genellikle kuzeyin 0° , doğunun 90° , güneyin 180° ve batının 270°

olarak kabul edildiği bir sistem kullanılır. Ancak, bazen kullanılan belirli sistemlere bağlı olarak farklı başlangıç noktaları olabilir (Beckman ve Duffie 2013).



Şekil 1.5 Azimut Açısı (<https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/azimuth-angle>)

Azimut açısı aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$\text{Azimut açısı} = \cos^{-1} \left[\frac{\sin \delta \cos \phi - \cos \delta \sin \phi \cos(HRA)}{\cos \alpha} \right]$$

HRA=15(LST-12) olup saat açısı sabah negatif; öğleden sonra ise pozitifdir.

LST=Lokal Güneş Zamanı

Azimut açısı aşağıdaki gibi düzeltilmelidir.

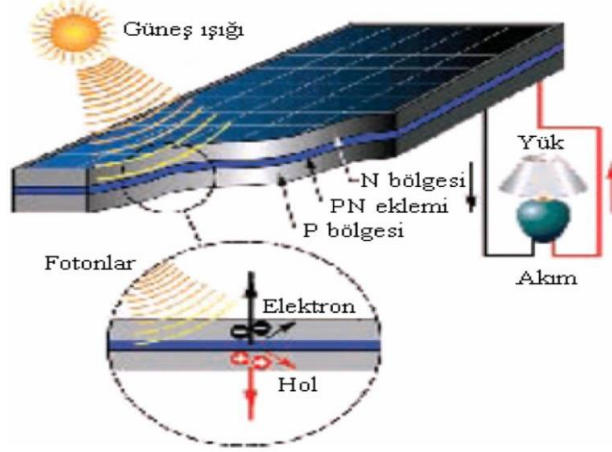
Azimut Açısı = Azimut, LST < 12 veya HRA < 0

Azimut Açısı = 360° - Azimut, LST > 12 veya HRA > 0

1.2 Fotovoltaik Modül

Fotovoltaik modül, bir dizi güneş pilini birleştirerek oluşturulan yapıdır. Şekil1.6 Güneş pilinin (güneş hücresinin) yapı ve çalışma prensibini göstermektedir. Modüller, daha yüksek güç çıkışı elde etmek ve enerji verimliliğini artırmak için genellikle birbirine paralel veya seri bağlanır. Bu modüller, genellikle çeşitli boyutlarda ve güç çıkışlarında

mevcuttur ve çatılara, güneş tarlalarına veya diğer uygun alanlara monte edilerek güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürürler (İncitaş 2023).



Şekil 1.6 Fotovoltaik pil yapı ve çalışma prensibi (Çalikoğlu 2010)

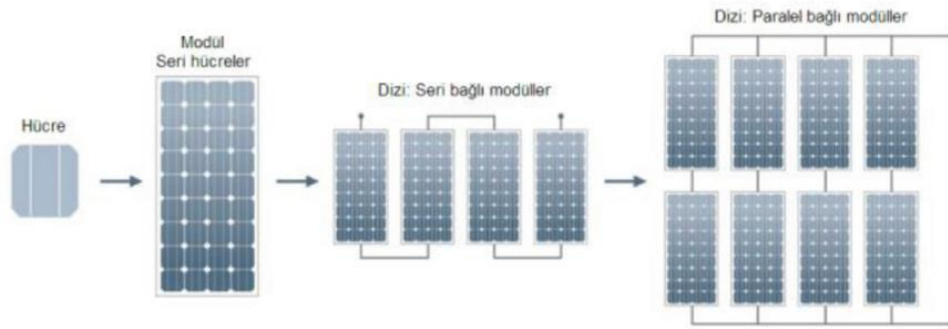
Fotovoltaik modüller, güneş enerjisini doğru akım (DC) elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu doğru akım daha sonra evlerde ve işletmelerde kullanılabilen alternatif akım (AC) elektriğe dönüştürülür. Bu dönüşüm, inverter adı verilen bir cihaz kullanılarak gerçekleştirilir. Fotovoltaik modüller, güneş enerjisinden elektrik üretiminde temel bileşenlerdir ve güneş enerjisine dayalı enerji sistemlerinin anahtar unsurlarını oluştururlar. Güneş enerjisinin yüzde 5 ile yüzde 20'si, güneş pili tarafından elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Verimlilik oranı, kullanılan PV teknolojisine, hava koşullarına ve güneşin konumuna bağlı olarak değişebilir. Teknoloji ve araştırmalardaki ilerlemelerle birlikte fotovoltaik modüllerin verimliliği sürekli olarak artmaktadır. Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi, sürdürülebilir bir enerji kaynağı sağlayarak çevresel ve ekonomik faydalar sağlar (Öztürk 2010) .

1.3 Fotovoltaik Panel

Fotovoltaik (PV) panel veya güneş paneli, güneş ışığını fotovoltaik etki yoluyla elektrik enerjisine dönüştüren bir cihazdır. Fotovoltaik paneller, elektrik üretimi de dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için güneşten yenilenebilir enerji sağlayan güneş fotovoltaik

sistemlerinin önemli bir bileşenidir. Bir fotovoltaik panelin çekirdeği, çoğunlukla silikon olmak üzere yarı iletken malzemelerden yapılmış çok sayıda güneş pilinden oluşur. Bu hücreler güneş ışığını elektriğe dönüştürmekten sorumludur. Güneş ışığı bu hücrelerin yüzeyine çarptığında yarı iletken malzemedeki elektronları uyararak bir elektrik akımı üretir. Bu olay fotovoltaik etki olarak bilinir (Atik Kıyga 2013).

Bireysel hücrelerin ürettiği elektrik akımı doğru akımdır (DC). Bir modül oluşturmak için birden fazla hücre bağlanır ve tam bir fotovoltaik panel oluşturmak için birden fazla modül birleştirilir şekil 1.7 fotovoltaik hücre modül ve dizi yapısını göstermektedir. Panel güneş ışığına maruz kaldığında kullanılabilir elektrik üretiyor. Fotovoltaik panel tarafından üretilen doğru akımın çoğu uygulama için alternatif akıma (AC) dönüştürülmesi gerekir. Bu amaçla bir invertör kullanılır. Üretilen AC elektriği, elektrikli cihazlara güç sağlamak için kullanılabilir veya elektrik şebekesine beslenebilir. Alternatif olarak, güneş ışığı olmadığında daha sonra kullanılmak üzere pillerde saklanabilir. Fotovoltaik paneller konut, ticari ve endüstriyel uygulamalarda güneş enerjisinden yararlanmak için yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1.7 FV hücre modül ve dizi yapısı (Tunçer 2022)

Sürdürülebilir enerji sistemlerinde çok önemli bir rol oynarlar. Geleneksel fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasına ve çevresel etkinin azaltılmasına yardımcı oluyorlar. Fotovoltaik teknolojinin verimliliği ve maliyet etkinliği yıllar içinde gelişmiş ve güneş enerjisi giderek daha uygulanabilir ve popüler bir temiz elektrik kaynağı haline gelmiştir (Kayısoğlu 2019).

1.4 Güneş Enerji Paneli Çeşitleri

Güneş panellerini oluşturan PV hücreleri, güneş enerjisini yakalayan ve serbest elektronlar üreten P-N eklemlili yarıiletken malzemelerden yapılmıştır. Güneş panelleri, farklı malzemeler, hücre yapıları ve üretim teknikleri kullanılarak çeşitli tiplerde üretilebilir. Aşağıda belirtilen güneş paneli çeşitleri, enerji üretiminde farklı avantajlara sahiptir. Bazıları daha yüksek verimlilik sunarken, bazıları daha uygun maliyetlidir. Panellerin seçimi, uygulama, bütçe ve verimlilik gereksinimlerine bağlı olarak yapılır. Güneş paneli teknolojileri hızla gelişmekte olup, yeni malzemeler ve üretim yöntemleri sürekli olarak araştırılmaktadır (Doğanay 2021).

1.4.1 Monokristal silikon güneş panelleri

Monokristal silikon paneller, tek kristal yapıdaki silikon kullanılarak üretilir. Bu paneller yüksek kristal kalitesine sahiptir ve tek bir kristal yapıya sahip olduklarından homojen bir görünüme sahiptir. Monokristal paneller, yüksek verimlilikle karakterizedir ve genellikle daha az alan kaplayan tasarımlara sahiptir. Ayrıca sıcak iklimler için uygundur. Bunlar, fotovoltaik hücrelerin verimliliğini artırmak için kullanılan gelişmiş üretim süreçleri nedeniyle genellikle daha yüksek maliyetlidir.

1.4.2 Polikristal silikon güneş panelleri

Polikristal silikon paneller, birden çok kristal yapıdaki silikon kullanılarak üretilir. Bu paneller, daha ekonomik bir üretim süreciyle elde edilir ve genellikle daha uygun maliyetlidir. Yüzeylerinde daha belirgin kristal yapılar vardır ve bu nedenle mavi bir görünüme sahiptirler. Polikristal panellerin verimliliği monokristal panellere göre biraz daha düşüktür. Ancak geniş bir kullanım alanına sahiptirler.

1.4.3 İnce film güneş panelleri

İnce film paneller, fotovoltaik malzemelerin ince bir tabakası kullanılarak üretilir. Bu tabakalar, genellikle silikon, amorf silikon, çiftli bir bileşik (örneğin, kadmiyum tellürit) veya bakır indiyum galenit gibi malzemelerden yapılır. İnce film paneller, diğer panellere kıyasla daha düşük maliyetle üretilebilir ve esnek bir yapıya sahiptir. Ancak, genellikle daha düşük verimlilikle karakterizedirler.

1.4.4 Çoklu bağlantılı güneş panelleri

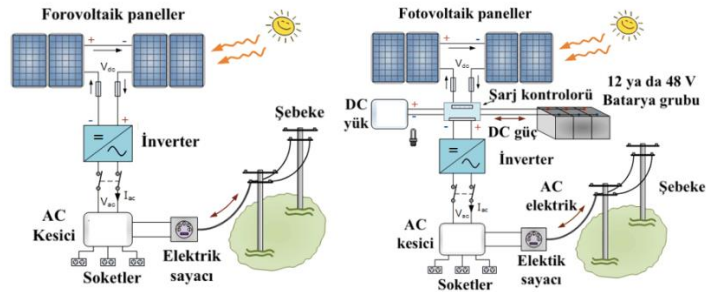
Çoklu bağlantılı paneller, farklı güneş hücrelerini bir araya getirerek daha yüksek voltaj ve güç üretmek için kullanılır. Seri veya paralel bağlantılarla hücrelerin verimliliği artırılır. Çoklu bağlantılı paneller, çeşitli teknolojilerde bulunabilir ve yüksek verimlilik sağlayabilirler.

1.5 Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistem

Şebekeye bağlı fotovoltaik (PV) sistemler, elektrik şebekesine doğrudan bağlanan güneş enerjisi tesisleridir. Bu sistemler, üretilen güneş enerjisinin sahada kullanılmasına ve fazla elektriğin şebekeye geri beslenmesine olanak tanır(Özkan 2021). Sistem, çatılara veya yere monteli yapılara kurulan güneş panelleri (fotovoltaik modüller) ile başlar. Bu paneller güneş ışığını yakalıyor ve fotovoltaik etki yoluyla doğru akım (DC) elektriğine dönüştürüyor. Güneş panellerinin ürettiği DC elektrik, invertöre gönderilir. İnvörtörün birincil işlevi, DC elektriğini, evlerde ve iş yerlerinde kullanılan elektriğin standart şekli olan alternatif akıma (AC) dönüştürmektir.

Güneş panelleri tarafından üretilen AC elektriği, daha sonra güneş enerjisi kurulumunun bulunduğu yerdeki elektrikli cihaz ve ekipmanlara güç sağlamak için kullanılır. Bu, şebekeden elektrik çekme ihtiyacını dengelemeye yardımcı olur. Şebekeye bağlı sistemler doğrudan yerel şebekenin elektrik şebekesine bağlanır. Bu, güneş panellerinin sahada ihtiyaç duyulandan daha fazla elektrik ürettiğinde, fazla elektriğin şebekeye geri

akabileceği anlamına gelir. Bu sistemlerde, güneş panelleri güneş ışığından elektrik üretir ve üretilen elektrik enerjisi invertörler aracılığıyla doğru akım (DC) formundan alternatif akım (AC) formuna dönüştürülür. Dönüştürülen AC elektrik enerjisi, öncelikle tüketim ihtiyacını karşılamak üzere direkt olarak binalara, evlere veya işletmelere yönlendirilir. Şebeke bağlantılı sistemlerde, tüketim ihtiyacından fazla elektrik üretildiğinde veya güneş ışığı az olduğunda tüketimden fazla elektrik ihtiyacı olduğunda devreye şebeke entegrasyonu girer (Şekil 1.8).



Şekil 1.8 Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler (<https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/grid-connected-pv-system.html>)

Bu durumlarda, fazla üretilen elektrik şebekede dışarıya akıtılabilir veya tüketim ihtiyacını karşılamak üzere şebekeden elektrik alınabilir. Şebekeden alınan veya şebekeye verilen elektrik miktarı, net elektrik enerjisi tüketimini belirler. Bir şebeke bağlantılı sistemde akülerin kullanılmaması, enerji depolama ve yönetim maliyetlerini azaltır. Ayrıca, güneş panellerinin ürettiği elektrik enerjisi doğrudan kullanılarak enerji verimliliği artırılır (Kaplan 2012). Bu sistemler, güneş enerjisinden yararlanmanın yanı sıra, kullanıcılara düşük enerji maliyetleri, enerji bağımsızlığı ve çevresel sürdürülebilirlik avantajları sağlar. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin yaygın kullanım alanları arasında konutlar, ticari binalar, endüstriyel tesisler ve tarım işletmeleri bulunur. Bu sistemler, güneş enerjisinin temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak etkin şekilde kullanılmasını sağlayarak fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltır ve karbon salınımını azaltmaya yardımcı olur. Ayrıca, şebekeye fazla enerji sağlama veya şebekeden enerji çekme imkânı, enerji üreticilerine gelir elde etme potansiyeli (Keçel 2007).

1.5.1 Şebekeye bağlı sistemlerin avantajları

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin bir dizi avantajı vardır. Bu sistemler, güneş enerjisini kullanarak elektrik üretir ve doğrudan tüketimi sağlar, böylece kullanıcılar enerji bağımsızlığı elde eder ve enerji maliyetlerini düşürür. Ayrıca, fazla elektrik üretimi durumunda enerji şebekesine satılabilir, bu da enerji üreticisi kullanıcılar için ek gelir kaynağı oluşturabilir. Şebekeye bağlı sistemler aynı zamanda enerji talebinin yoğun olduğu zamanlarda şebekeden enerji çekme imkânı sağlar, böylece güneş enerjisiyle üretilen elektrik eksikliği karşılanabilir. Bu sistemler, enerji verimliliğini artırır, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltır ve çevresel sürdürülebilirliği destekler. Ayrıca, şebekeye bağlı sistemlerin kurulumu ve bakımı genellikle daha kolay ve maliyeti daha düşüktür (Arıcı & İskender 2020).

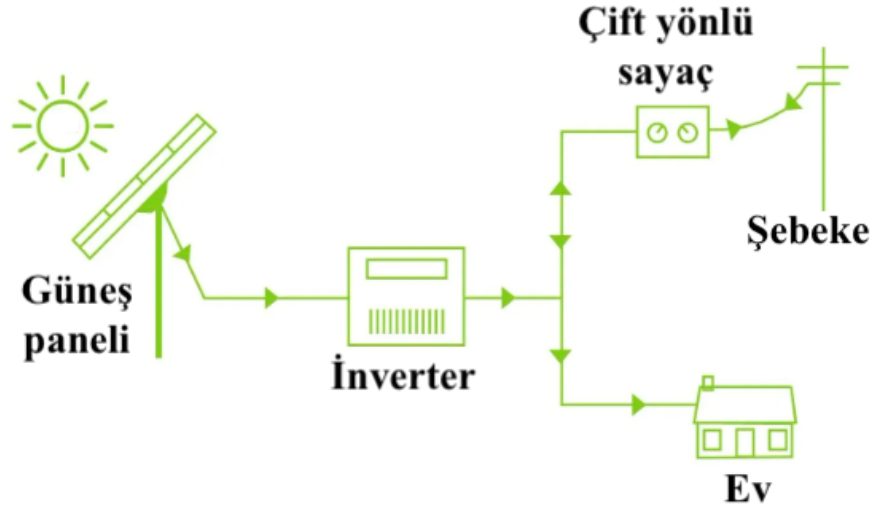
1.5.2 Şebekeye bağlı sistemlerin dezavantajları

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar arasında ilk olarak, sistemin şebeke bağlantısına bağımlı olması ve şebekenin güvenilirliğine dayanmasıdır. Şebeke kesintisi durumunda, sistem elektriği sağlayamaz ve tüketiciye enerji sunamaz. Ayrıca, şebekeye bağlı sistemler, enerji iletiminde kayıplara neden olabilir ve şebekeye fazla enerji verildiğinde veya enerji talebi düşük olduğunda sistemin performansı etkilenebilir. Diğer bir dezavantaj ise, şebekeden enerji satın almanın maliyeti ve enerji fiyatlarının dalgalanmasıdır. Bunun yanında, şebekeye bağlı sistemlerin kurulum maliyeti ve teknik gereklilikleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Son olarak, bazı bölgelerde şebekeye bağlı sistemlerin bağlantı politikaları ve düzenlemeleri karmaşık olabilir ve bu da sistem kurulumunu zorlaştırabilir (Arıcı & İskender 2020).

1.5.3 Fotovoltaik santrallerin senkronizasyonu

Fotovoltaik enerji santrallerinin şebeke ile senkronizasyonu, fotovoltaik enerji santrallerinin güvenli ve stabil bir şekilde şebekeye bağlanması ve şebeke ile uyumlu bir

şekilde çalışması sürecini ifade eder. Bu süreç, fotovoltaik enerji santralinden üretilen elektriğin şebekeye doğru akım (DC) formunda verilmesi ve şebekede kullanılan alternatif akım (AC) formuna dönüştürülerek şebekeye aktarılması adımlarını içerir (Şekil 1.9). Şebeke ile senkronizasyon, çeşitli teknik gereklilikleri ve kontrolleri içerir. Bunlar arasında frekans, gerilim, aktif ve reaktif güç dengesi gibi parametrelerin izlenmesi ve kontrol edilmesi yer alır. Fotovoltaik enerji santralleri, şebekeye bağlandıklarında şebekenin frekans ve gerilim özelliklerine uyum sağlamalı ve şebeke tarafından belirlenen güç faktörüne katkıda bulunmalıdır. Senkronizasyon işlemi, güç elektroniği tabanlı invertörler aracılığıyla gerçekleştirilir. İnvörtörler, fotovoltaik panellerden gelen DC elektriği alır ve bu elektriği şebekeye uygun AC formuna dönüştürür. Bu dönüşüm sırasında, invertörler şebekenin frekansını ve gerilimini izleyerek uyum sağlarlar. Ayrıca, güç faktörü kontrolü yaparak şebekeye aktarılan gücün aktif ve reaktif bileşenlerini ayarlarlar. Senkronizasyon işlemi, güvenlik ve kararlılık açısından önemlidir. Bir fotovoltaik enerji santrali şebekeye bağlandığında, şebeke tarafından sağlanan güç ve gerilim seviyelerine uyum sağlaması gerekmektedir. Aksi halde, şebeke istikrarsızlıklarına veya gerilim/frekans dengesizliklerine neden olabilir. Bu nedenle, fotovoltaik enerji santrallerinin şebekeye bağlanması öncesi, uygun senkronizasyon testleri ve izin verilen standartlara uygunluk kontrolleri yapılmalıdır. Senkronizasyon süreci, fotovoltaik enerji santrallerinin güvenilir, etkili ve kesintisiz bir şekilde şebekeye elektrik sağlamasını sağlar. Bu süreç, fotovoltaik enerji santrallerinin şebekeye entegrasyonunu kolaylaştırır ve güneş enerjisinden elde edilen elektriğin şebekeye sorunsuz bir şekilde entegre edilmesini sağlar (Küçükilhan 2017).



Şekil 1.9 Enerji santrali şebeke senkronizasyon şeması

(<https://www.elseroof.com/hizmetlerimiz/on-grid-sistemler/.17.11.2023>)

1.6 DC -DC Konverter

DC-DC yükseltici konvertörler, tipik olarak anahtarlamalı güç elektroniği devreleri kullanır. Bu devreler, anahtarlar (genellikle transistörler) vasıtasıyla elektrik akımının kontrol edilmesini sağlar. Yükseltici konvertörler, anahtarlar yardımıyla giriş voltajını kesintili olarak kontrol ederek enerjiyi bir endüktör (bobin) üzerinde depolar ve ardından çıkış voltajını artırarak yüksek voltajlı bir çıkış elde eder.

DC-DC yükseltici konvertörlerin çalışma prensibi, anahtarların uygun bir şekilde açılıp kapanmasıyla belirlenir. Anahtarlar, belirli bir frekansta çalışan bir kontrol sinyali tarafından tetiklenir ve belirli bir döngü oranı (açık/kapalı süre oranı) ile kontrol edilir. Bu döngü oranı, çıkış voltajının istenilen seviyeye yükseltilmesini sağlar. Kontrol sinyali, geri besleme mekanizması ile çıkış voltajını izler ve anahtarların çalışma süresini buna göre ayarlar, böylece çıkış voltajı istenilen değerde tutulur.

DC-DC yükseltici konvertörler, fotovoltaik sistemlerde çeşitli amaçlarla kullanılabilir. Örneğin, panellerden gelen düşük voltajlı DC elektriği güçlendirerek şebekeye bağlanacak düzeyde voltaja çıkarabilirler. Ayrıca, uzaktaki yüksek güç gereksinimlerini karşılamak için enerji iletiminde gerilim kayıplarını azaltmak için kullanılabilirler.

Sonuç olarak, DC-DC yükseltici konvertörler, fotovoltaik sistemlerdeki düşük voltajlı DC elektriğin yüksek voltajlı DC elektriğe dönüştürülmesinde önemli bir rol oynar. Anahtarlama güç elektroniği prensiplerine dayanan bu konvertörler, enerji dönüşüm verimliliğini artırarak fotovoltaik sistemlerin performansını iyileştirir(Tunçer 2022).

1.7 Şebeke Bağlantılı İnvertörlerin Temel Özellikleri

İnvertör, doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çevirir. İnvertör çıkışında üretilen AC güç, farklı gerilimde ve frekansta olabilir. Fotovoltaik sistemlerin şebekeye bağlanmasında kullanılan invertörlerin bazı özellikleri şu şekilde açıklanabilir.

Şebekeye Senkronizasyon: Şebekeye bağlı inverterler, şebekeyle senkronize olarak çalışabilmelidir. Bu sayede güneş panellerinden elde edilen enerji, şebekeye uyumlu bir şekilde akışını sağlar.

Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT): Şebeke bağlantılı inverterler, fotovoltaik sistemlerdeki güneş panellerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlar. Bu, güneş enerjisinden elde edilen enerjinin en verimli şekilde kullanılmasını sağlar.

Düşük Harmonik Bozulma: Şebekeye bağlı inverterler, ürettikleri AC gücündeki harmonik bozulmaları düşük seviyelerde tutmalıdır. Böylece, elektrik şebekesine zarar vermeden ve yönetmeliklerde belirtilen sınırlar içinde çalışabilirler.

Güç Faktörü: İnverterlerin güç faktörü, 1'e yakın olmalıdır. Yani, ürettikleri gücün gerçek güç (Watt) ve görünür güç (VA) arasındaki oranı yüksek olmalıdır. Bu, şebekeye etkin bir şekilde güç sağlar ve enerji verimliliğini artırır.

Sinüs Şeklinde Akım: İnverterler, şebekeye sinüs şeklinde bir akım sağlamalıdır. Bu, diğer elektrik cihazlarının düzgün bir şekilde çalışmasını sağlar ve harmonik bozulmaları engeller.

Şebeke Kesintisine Karşı Koruma: Şebeke kesintisi durumunda, şebeke etkileşimli inverterlerin şebekeye enerji aktarımını kesmesi gerekir. Ayrıca, bu inverterlerin adalama olarak bilinen durumu engellemek için yüksek ve/veya düşük voltaj röleleri ve frekans röleleri vardır.

Şebeke bağlantılı inverterler, akülü ve aküsüz sistemler olmak üzere iki tipe ayrılır.

Akülü (akü yedeklemeli) sistemler, AC'yi inverterden DC'ye dönüştürerek aküleri şarj eder. Güç merkezi olarak kullanılır ve otomatik jeneratör kontrolü gibi özelliğe sahiptir.

Şebeke bağlantılı aküsüz sistemlerde, topraklama koruması, AC çıktısı verme, maksimum güç takibi (MPPT) yapma ve koruma tertibatları gibi özellikler önemlidir.

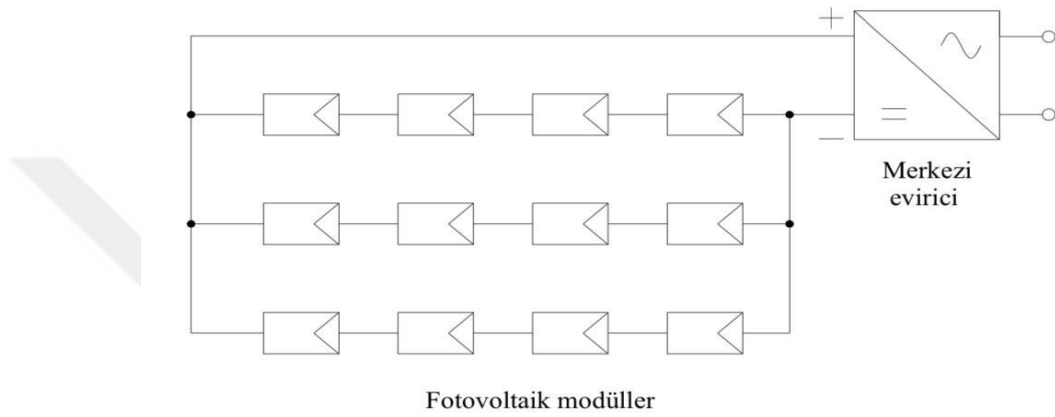
Bu özellikler sayesinde şebeke bağlantılı inverterler, güneş enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonunu kolaylaştırır ve elektrik ağına katkıda bulunarak enerji verimliliğini artırır (Tunçer 2022 ,Çalıkoglu 2010).

1.7.1 Şebeke bağlantılı invertörler ve güç dönüşümü

Şebeke bağlantılı invertörler, güneş enerjisi veya diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen doğru akım (DC) elektriğini şebekeye uygun alternatif akım (AC) formuna dönüştüren elektronik cihazlardır. Bu inverterler, fotovoltaik sistemlerdeki enerji üretimini şebekeye entegre etmek ve elektriği şebekeyle senkronize bir şekilde kullanılabilir hale getirmek amacıyla kullanılır.

Güneş panelleri gibi fotovoltaik sistemler, güneş ışığından elektrik enerjisi üretirler, ancak bu enerji doğru akım (DC) formundadır. Ancak elektrik şebekesi, evler ve işletmeler için kullanılabilir elektrik alternatif akım (AC) formunda sağlar. Bu nedenle, fotovoltaik sistemlerin ürettiği DC enerjiyi şebekeye entegre etmek için şebeke bağlantılı inverterler kullanılır.

Şebeke bağlantılı inverterler, DC elektriği AC elektriğe dönüştürürken aynı zamanda enerji verimliliğini de artırır (Şekil 1.10). Bunun için çeşitli kontroller ve algoritmalar kullanılır. Inverterler, maksimum güç noktası takibi (MPPT) ile güneş panellerinin en yüksek verimle çalışmasını sağlar. MPPT, güneş panellerinden gelen DC enerjinin en verimli şekilde kullanılabilmesini sağlar ve böylece daha fazla elektrik enerjisi elde edilir.



Şekil 1.10 Şebeke bağlantılı merkezi invertör sistemi (Çalikoğlu 2010)

Ayrıca, şebeke bağlantılı invertörlerin önemli bir özelliği, enerji geri beslemesi yapabilme yetenekleridir. Yani, fotovoltaik sistemler fazla enerji ürettiğinde, inverterler bu enerjiyi şebekeye geri verir. Bu şekilde, aşırı üretilen enerji diğer tüketiciler tarafından kullanılabilir hale gelir ve enerji tüketimi ile üretimi arasında bir denge sağlanır. Bu aynı zamanda net metering adı verilen bir uygulamanın temelidir, yani fazla üretilen enerji tüketim faturasında kredi olarak kullanılabilir(Çalikoğlu 2010).

1.7.2 İnvörtör gücü

Verimlilik: PV paneller tarafından üretilen doğru akım (DC) invertörler sayesinde alternatif akıma (AC) dönüştürülerek evlerde veya işyerlerinde kullanılabilir. İnvörtörün yeterli güce sahip olması, PV panellerin ürettiği DC gücü kayıplara uğratmadan en verimli şekilde dönüştürebilmesini sağlar (Tunçer 2022).

Kapasite Eşleştirme: İnvörtörün gücü, PV panel sisteminizin toplam kapasitesine uygun olmalıdır. PV panel kapasitesi invörtörün gücünü aşarsa, sistem verimli çalışmayabilir ve kayıplar yaşanabilir. Öte yandan, invörtör gücü panel kapasitesinden daha düşükse, panelin ürettiği maksimum güç tam olarak kullanılamaz ve sistem verimliliği azalabilir. Bu nedenle, invörtör gücünün PV panel sisteminin kapasitesiyle uyumlu olması önemlidir.

Uyumluluk: İnvörtörler, ulusal ve uluslararası güvenlik standartlarına uymalıdır. Belirli bir güç aralığındaki invörtörler, güvenlik gereksinimlerini karşılar ve sistemlerin güvenli bir şekilde çalışmasını sağlar. Hesaplanan invörtör gücü, bu standartlara uygunluğun sağlanmasına yardımcı olur.

Genişleme ve Yenilenebilirlik: İnvörtörün yeterli bir güce sahip olması, sistemi gelecekteki genişlemelere uyumlu hale getirir. Örneğin, ek PV paneller eklemek veya sisteme enerji depolama çözümleri entegre etmek isterseniz, invörtör gücünün bu değişiklikleri destekleyecek şekilde hesaplanmış olması gerekir(Tunçer 2022).

1.7.3 Bağlantı panelleri ve dağıtım sistemleri

Bağlantı panelleri ve dağıtım sistemleri, fotovoltaik enerji santrallerinin başarılı bir şekilde çalışabilmesi için kritik öneme sahiptir. Bu sistemler, güvenilirlik, verimlilik, güvenlik ve kullanıcı taleplerini karşılamak amacıyla tasarlanır. Ayrıca, yenilenebilir enerji entegrasyonu ve sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşmak için de büyük bir öneme sahiptir. Bağlantı panelleri, fotovoltaik modüllerden gelen enerjiyi toplar ve dağıtım sistemine yönlendirir. Bunlar, güç dönüştürme işlemlerini gerçekleştiren anahtarlar, sigortalar, kilitleme mekanizmaları ve bağlantı noktaları gibi bileşenleri içerir. Bağlantı panelleri, elektriksel güvenlik standartlarına uygun olmalı ve sistemlerin güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için gerekli önlemleri içermelidir. Dağıtım sistemleri ise toplanan enerjiyi, fotovoltaik santralden kullanıcıya iletmek için tasarlanır. Bu sistemler, enerji iletimindeki kayıpları minimize ederek iletim verimliliğini artırır. Aynı zamanda, güç kalitesini korumak ve istikrarlı bir enerji sağlamak için gerilim düzenlemesi, frekans kontrolü ve harmonik filtreleme gibi işlevleri de yerine getirir.

Bağlantı panelleri ve dağıtım sistemleri tasarımında birçok faktör dikkate alınmalıdır. Öncelikle, güvenilirlik ve güvenlik önemli bir odak noktasıdır. Elektriksel güvenlik standartlarına uyumlu olmalı ve olası arızaları önlemek için koruyucu önlemler içermelidir. Ayrıca, sistem verimliliği de göz önünde bulundurulmalıdır. Verimli bir bağlantı paneli ve dağıtım sistemi, fotovoltaik modüllerden elde edilen enerjinin kayıplarını minimize eder ve daha fazla enerji elde edilmesini sağlar. Güç kalitesi de bir diğer önemli faktördür. Bağlantı panelleri ve dağıtım sistemleri, gerilim dalgalanmaları, harmonik bozulmalar ve frekans sapmaları gibi güç kalitesi sorunlarını önlemek veya azaltmak için tasarlanmalıdır. Bu, elektrik ağına zarar verme riskini azaltırken, kullanıcılara güvenilir bir enerji sağlar. Son olarak, kullanıcı talepleri ve sürdürülebilir enerji hedefleri de dikkate alınmalıdır. Bağlantı panelleri ve dağıtım sistemleri, enerji kullanımının optimize edilmesini sağlamak ve kullanıcılara daha fazla enerji kontrolü sunmak için tasarlanabilir. Bu, enerji tasarrufu sağlamanın yanı sıra, kullanıcıların yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişine teşvik eder (Çalıköğlü 2010).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Masters (2004), "Yenilenebilir ve Verimli Elektrik Güç Sistemleri" başlığı altında sunduğu kitabında, elektrik enerjisi sistemleriyle ilgili bilgiler içermektedir. Kitap, çeşitli örneklerle desteklenmiş ve nicel analize uygun konuları örneklerle açıklamıştır. Ayrıca, günümüz elektrik enerjisi endüstrisinin düzenleyici, tarihsel ve teknik gelişimine genel bir bakış sunmaktadır. Temel ısı motorları, modern buhar çevrimi, gaz türbini, kombine çevrim ve kojenerasyon enerji santralleri gibi konuları içeren kitap, termodinamiği anlamak için gerekli bilgileri içermektedir. Ayrıca, çeşitli enerji santrallerinin elektrik hizmet sistemlerindeki uygun maliyetli kombinasyonlarını değerlendiren bir bölüm de bulunmaktadır. Kitap, farklı enerji kaynaklarını incelemiş ve özellikle rüzgar enerjisine odaklanmıştır.

Akmeşe'nin (2006) yüksek lisans tezi, yenilenebilir enerji kaynakları ve çeşitleri konusunda detaylı bir literatür incelemesi içermektedir. Çalışma, günümüzde ve gelecekte bu kaynakların yerine ve önemine odaklanmıştır. Güneş enerjisi, özellikle ısı ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılan teknolojilerle birlikte, yenilenebilir enerji kaynağı olarak ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Kuzey Irak bölgesinin enerji durumu ve potansiyeli göz önüne alınarak, bu bölgedeki petrol zengini ülkelerde güneş enerjisi potansiyeli üç ana kent için hesaplanmıştır. Bu enerjinin önemi, hesaplamalar sonucunda değerlendirilmiştir. Düzgün yüzeyli kolektörlerin özellikle büyük konutlarda, toplu yaşam alanlarında ve kırsal kesimdeki konutlarda sıcak su ihtiyacını karşılamada petrol zengini ülkelerde avantajlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, elektrik enerjisi üretimi açısından PV sistemleri incelenerek, LCOE metoduna göre elde edilen sonuçlar kullanılarak analiz edilmiş ve fosil yakıtlarla karşılaştırılmıştır. Şu anda PV sistemlerinden elde edilen elektrik enerjisinin fosil yakıtlardan daha maliyetli olduğu ancak PV sistemlerinin maliyetinin düşmekte olduğu ve petrol fiyatlarının arttığı bir gelecekte bu sistemlerin rekabetçi hale gelebileceği sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak, fosil yakıtların sınırlı ömürlere sahip olması, küresel iklim değişikliği ve çevresel etkiler gibi faktörler göz önüne alınarak, bu ülkenin ve diğer petrol zengini ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla tanışmaları ve sürdürülebilir enerji programlarına dahil edilmeleri önerilmiştir.

Keçel (2007), Türkiye'nin farklı bölgelerinde evsel elektrik ihtiyacının güneş panelleri ile karşılanmasına yönelik bir model geliştirmiştir. Enerji talebinin günümüzdeki artışı, nüfus artışı, teknolojik ilerlemeler, ekonomik büyüme ve küreselleşme gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Güneş enerjisi, bu artan ihtiyaca alternatif bir çözüm sunmaktadır ve Türkiye, güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri bakımından bu enerji kaynağını etkili bir şekilde kullanabilir. Tez, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde, tüketicilerin taleplerine uygun enerji sistemlerinin oluşturulması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Sistem ekipmanlarının belirlenmesinde, her ilin güneş ışınım miktarları, aylık ortalama sıcaklık dereceleri ve enlem dereceleri temel alınmıştır. Seçilen 58 ilin değerleri üzerinden, bu illerdeki kullanıcıların evsel elektrik ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli olan sistem ekipmanlarının teknik özellikleri, web tabanlı bir bilgisayar programı aracılığıyla kullanıcılara sunulmuştur.

Yalçın (2010), Ziraat Fakültesi çiftliği'nin güneş enerjisi potansiyelini belirleme ve güneş enerjisinden yararlanma olasılıklarını incelemiştir. Kuramsal, saha çalışması ve teknik analizlerle çiftlikteki güneş enerjisi potansiyelini ortaya koymuştur. Ayrıca, yıllık elektrik tüketim veri seti oluşturularak, elektrik tüketiminin farklı işletim tiplerinde ve çeşitli fotovoltaik yapılarla nasıl değiştiğini simüle etmiştir. Fotovoltaik güç elektrigi sistemleri ile karşılanma durumu detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Ünver (2013) tarafından gerçekleştirilen araştırma, analitik metotlar kullanılarak hesaplanan santrifüj pompanın ayrıntılı bir incelemesini içermektedir. Pompa boyutları, hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programı ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına dayanarak, pompanın performansını değerlendirmek için güç ve verim eğrileri çıkarılmıştır. Deney aşamasında, pompanın en etkili çalıştığı noktada bir deney düzeni oluşturulmuş ve gerekli enerji, batarya destekli fotovoltaik sistem ile karşılanmıştır. Çalışma sırasında, fotovoltaik panel, batarya ve motorun akım ve gerilim ölçümleri belirli aralıklarla yapılmıştır. Elde edilen veriler eğrisel bir şekilde analiz edilmiş ve bulgular değerlendirilmiştir.

Gökalp (2014) tarafından gerçekleştirilen yüksek lisans tezinde, fotovoltaik (PV) ilkeye dayalı güneş enerjisi kullanılarak çalıştırılan bir santrifüj pompa ile sulama (GES)

sisteminin teknik detayları ele alınmıştır. Her biri $12 \times 6 = 72$ adet PV hücresi içeren 5 modülden oluşan PV sisteminin elektriksel özellikleri, 3 dizide toplamda incelenmiş ve PV sisteminin toplam verimi belirlenmiştir. PV sistem tarafından üretilen elektrikle çalışan santrifüj pompa ile su pompalanması durumunda, su debisi, pompanın hidrolik gücü ve verimi hesaplanmıştır.

Köksal'ın 2012 yüksek lisans tezinde, güneş enerjisi ile çalışan dalgıç pompaların etkinliği üzerine bir araştırma yapılmıştır. Fotovoltaik (PV) prensibe dayalı üretilen elektrik, mekanik enerji sağlamak için kullanılmış ve bu kapsamda güneş enerjili sulama sisteminin teknik özellikleri belirlenmiştir. Her biri $12 \times 6 = 72$ adet PV hücresi içeren toplam 4 modülden oluşan PV sistemlerinin elektriksel özellikleri, akım, gerilim ve güç gibi parametrelerle birlikte verim açısından detaylı bir şekilde incelenmiştir. PV sisteminden elde edilen elektrikle çalışan üç farklı dalgıç pompa ile pompalanan su debileri, dalgıç pompaların hidrolik güç değerleri ve verimleri ölçülmüştür. Bir modül tarafından akümülatöre iletilen elektriksel güç miktarı 656.23 W olarak belirlenmiştir. PV sisteminin ortalama elektriksel güç üretimi 2982.72 W olup, elektriksel güç üretim verimi ortalama %17.86 olarak hesaplanmıştır.

Duffie ve Beckman (2013), Solar Engineering of Thermal Processes başlıklı kitaplarında güneş enerjisi, ısı transfer yöntemleri, seçilmiş ısı transferi konuları, opak malzemelerin radyasyon özellikleri, cam yoluyla radyasyon iletimi: emilen radyasyon, düz plakalı kollektörler, konsantre toplayıcılar, enerji depolama, güneş enerjisi proses yükleri, sistem termal hesaplamaları, güneş süreci ekonomisi, güneş enerjili su ısıtma: aktif ve pasif, bina ısıtma, bina ısıtma: pasif ve hibrit yöntemler, güneş enerjisi ile soğutma, güneş enerjili endüstriyel proses ısıtma, güneş termal enerji sistemleri, güneş havuzları: buharlaşma süreçleri, güneş enerjisi proses tasarımında simülasyonlar, aktif sistemlerin tasarımı, aktif sistemlerin kullanılabilirlik yöntemleriyle tasarımı, pasif ve hibrit ısıtma sistemlerinin tasarımı, fotovoltaik sistemlerin tasarımı ve rüzgar enerjisi hakkında ayrıntılı açıklamalar vermişlerdir.

Azeez (2014), yüksek lisans tezinde başlangıçta yenilenebilir enerji kaynakları ve türleri hakkında ayrıntılı bir kaynak araştırması yapmış günümüzde ve gelecekte bu

kaynakların yerine ve önemine odaklanmıştır. Özellikle, ısıl ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılan teknolojilerle birlikte, güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynağı olarak detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Ele alınan bölgenin ve petrol yönünden zengin 3 ülkenin enerji potansiyeli belirlenmiştir. Düzlem kolektörlerin konutlardaki sıcak su ihtiyacını karşılamada petrol zengini ülkelerde avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, elektrik enerjisi üretimi açısından PV sistemleri incelenerek, LCOE metoduna göre elde edilen sonuçlar kullanılarak analiz edilmiş ve fosil yakıtlarla karşılaştırılmıştır. Şu anda PV sistemlerinden elde edilen elektrik enerjisinin fosil yakıtlardan daha maliyetli olduğu ancak PV sistemlerinin maliyetinin düşmekte olduğu ve petrol fiyatlarının arttığı bir gelecekte bu sistemlerin rekabetçi hale gelebileceği sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak, fosil yakıtların sınırlı ömürlere sahip olması, küresel iklim değişikliği ve çevresel etkiler gibi faktörler göz önüne alınarak, bu ülkenin ve diğer petrol zengini ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla tanışmaları ve sürdürülebilir enerji programlarına dahil edilmeleri önerilmiştir.

Taşkaya (2015), fotovoltaik etki ile çalışan güneş enerjili sulama sisteminin tasarım parametrelerini incelemiş ve modellenmiştir. Araştırmada Niğde'nin güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Niğde'de bir pompaj tesisinin elektrik ihtiyacı için hesaplamalar yapılmıştır. Alınan sonuçlar değerlendirilerek, fotovoltaik etki ile işleyen güneş enerjili sulama sistemi için tasarım sürecini kolaylaştıran bir yazılım oluşturulmuş ve bu yazılımın yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına etkisi ön plana çıkarılmıştır.

Durak (2016), Güneş Enerjisi: Teori Ve Uygulama isimli eserinde güneş enerjisi meteorolojisi, güneş radyasyonu ölçüm teknikleri, güneş panelleri (PV GES sistemleri), yoğunlaştırıcı sistemler (CSP sistemler) hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

Reinders vd. (2017) kitaplarında fotovoltaikler, kristal silikon teknolojileri, güneş pilleri, organik fotovoltaikler, ölçüm yöntemleri, özel teknolojiler, PV modülleri ve üretimi, PV sistemler ve uygulamaları, dağıtım şebekesinde PV dağıtımı kısaca fotovoltaik sistemlerle ilgili ayrıntılı bilgiler vermişlerdir.

Altın (2021), Tekirdağ ilinde bir PV sistemi tasarlamıştır. Tasarımda panele gelen ortalama ışınım miktarı ve panel tipi belirlenmiştir. Paneller seri bağlanarak tasarım oluşturulmuştur. Temmuz, Ağustos ve Eylül'de çekilen su miktarları bulunmuştur. Tasarlanan panel sisteminin ele alınan bölge için yeterli olduğu saptanmıştır.

Alwakwak (2021) yaptığı Libya'da Güneş Enerjisi isimli yüksek lisans tezinde, Libya'nın güneş enerjisi üretim potansiyeli incelenmiştir. Ülkede bulunan geniş çöl alanları ve yüksek güneş ışığı, güneş enerjisi üretme potansiyelini artırmaktadır. Ortalama güç çıkış kapasitesi 6 kWh/m^2 civarındadır ve yılda ölçülen toplam kapasite 2264 kWh/m^2 'dir. Libya Yenilenebilir Enerji Kurumu'na göre, yıllık güneş ışığı süresi 3000 saatten fazladır. Ülkenin yüzölçümünün yaklaşık %90'ı çöl olduğu için tarım için uygun olmayan bu alanlar, güneş enerjisi üretiminde kullanılabilir potansiyele sahiptir. Bu çöllerin yarısının değerlendirilmesiyle saatte 53 Terawatt (TW) elektrik üretebilme potansiyeli bulunmaktadır. Ancak, mevcut durumda Libya yılda 3000 MWh güneş enerjisi üretmekte olup, toplam ihtiyacının yalnızca %8'ini karşılamaktadır. Bu nedenle Libya, ekonomik çeşitlilik sağlamak, enerji ihtiyacını karşılamak ve fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltmak amacıyla yenilenebilir enerjiye yönelmeyi planlamaktadır. Ülkede güneş pili sistemleri konusunda sınırlı bir deneyime sahip olmasına rağmen, bu alandaki kapasitesini artırmayı ve ihtiyacının en az %25'ini güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan karşılamayı hedeflemektedir.

Ghazi Ghazi (2021), yaptığı araştırmada Irak'ın Nəcəf kentindeki çöl arazilerini sulamak için güneş enerjili bir yeraltı suyu pompalama sisteminin tasarımını detaylı bir şekilde ele almıştır. Sulanacak arazi için belirlenen su pompalama hızı $83.4 \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında, toprak ve su sensörlerine bağlı olan üç farklı tarımsal ürün için özel bir sulama sistemi tasarlanmıştır. Sulama sistemini işletmek için gereken enerji ihtiyacı ve bu ihtiyacı karşılamak için gerekli güneş paneli sayısı hesaplanmıştır. Araştırma sonuçları, bu sistemin çöl arazilerini başarılı bir şekilde sulayabileceğini ve özellikle kırsal alan sulamalarında etkili ve verimli bir çözüm sunabileceğini göstermiştir.

Mouhrat (2021), yaptığı çalışmada MATLAB kullanılarak yapay sinir ağları ve dalgacık (wavelet) yöntemleri incelenmiştir. Bursa ve çevresine ait 5 yıllık güneş radyasyonu verileri, yapay sinir ağları ve dalgacık yöntemleriyle işlenerek gelecek dönem için simülasyonlar yapılmıştır. Farklı durumlarda gerçekleştirilen simülasyonlarda, her modelin tahmin hataları ve süreleri göz önüne alınarak en iyi tahmin yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Gözlem verileri ile model sonuçları karşılaştırıldığında, dalgacık yönteminin %93'lük bir başarı elde ettiği tespit edilmiştir. Yıllık değişimler analiz edildiğinde, gözlem ve model verileri arasındaki ilişki katsayısının %91-%93 arasında değiştiği ve %2-%5 oranında bir iyileşme gözlemlendiği belirlenmiştir.

Öner (2021) yaptığı çalışmasında organik sertifikalı zeytinyağı üretim tesisi üzerinde gerçekleştirilen sürdürülebilirlik analizini konu almıştır. Tesis, 52.5 kWp toplam kapasiteli 210 adet fotovoltaik panel ile elektrik üretmektedir. Gerçek işletme verileri kullanılarak yapılan yaşam döngüsü, enerji, ekserji ve sürdürülebilirlik analizleri, işletmedeki enerji, su, hammadde ve ambalaj malzemesi kullanımını ile atıkları değerlendirmektedir. Yaşam döngüsü analizi, zeytinyağının üretiminden tüketiciye ulaşana kadar olan karbon döngüsünü hesaplamakta ve sadece süreçteki karbon emisyonlarını değil, genel karbon etkisini ele almaktadır. Çalışmada karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik bazı öneriler de sunulmaktadır. Ölçümler ve hesaplamalar temel alınarak, 1 litre zeytinyağı üretimi için fabrika aşamasında 0.06 kWh elektrik enerjisi tüketildiği belirlenmiştir. 1 kWp için yıllık elektrik üretimi 1483.6 kWh olarak hesaplanmış, sistemin performans oranı ise %86 olarak belirlenmiştir. Farklı varyeteler için ekserji verimi değerleri %6.36 ile %14.61 arasında değişmektedir. Beşikten kapıya yaklaşımıyla su ayak izi 0.99 m³/ L zeytinyağı olarak hesaplanmış, karbon ayak izi ise ortalama 0.25 kg CO₂ eq./L zeytinyağı olarak bulunmuştur. Özellikle erkence varyetesi için karbon negatif bir sonuca ulaşılmıştır.

Yiğit ve Arslanoğlu (2021), çalışmalarında, PV panellerinin optimum eğim açılarını belirlemek amacıyla anlık ışınım şiddeti değerlerini kullanarak aylık, mevsimlik ve yıllık analizler gerçekleştirmiştir. Ayrıca, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının panel verimleri ve elektrik gücü üzerindeki etkilerini incelemiştir. Farklı optimum eğim

açısı hesaplama yöntemleri kullanılarak, eğik düzlem üzerine düşen ışınım değerlerinin günlük toplamı 365 gün boyunca hesaplanmıştır. Bu sayede günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık ışınım hesaplamaları yapılarak en uygun eğim açısı değerleri belirlenmiştir. Aylık ortalama günlük ışınım değerleri temel alınarak yapılan hesaplamalarda elde edilen optimum eğim açısı değerleri, farklılık göstermiş ve bu değerler 3-5 derece arasında değişmiştir. Altı farklı il için gerçekleştirilen bu hesaplamalarda, PV panellerinin optimum eğim açısıyla yerleştirilmesi durumunda ışınım, verim ve elektrik gücü hesaplanmıştır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Materyal olarak Erbil şehrinde 36°20' Kuzey enlemi ile 44°' Doğu boylamı arasında kesişen koordinatlarda yer alan bir pompaj tesisi alınmıştır. Pompaj tesisinin fotovoltaik sistem (PV) ile çalıştırılması yapılacaktır. Pompaj tesisinin bulunduğu yer, denizden ortalama 390 m yüksekliktedir. Çalışma alanımız Erbil şehrinin güney bölgelerine düşmekte ve Erbil kaymakamlığına bağlı olan Baharka Mahallesi'nde bulunmaktadır, Erbil şehrinin iklim özelliği kuzeyde karasal iklim, güneyde düzlüklerden dolayı sıcak bir iklimdir. Materyal olarak kullanılacak pompaj tesisinde her biri 22 kW güce sahip 3 adet santrifüj pompa bulunmaktadır (Şekil 3.1 ve 3.2). Bu pompalar evlere su dağıtımını yapmak için kullanılmaktadır. Pompalar günlük maksimum 6 saat çalışmaktadır. Pompaların maksimum çalışma saatleri Haziran ve Eylül ayları arasında gerçekleşmektedir. Çalışmamızda Erbil şehrinin bu aylardaki meteorolojik verileri kullanılmıştır. Haziran ve Eylül ayları arasında Erbil şehrinde maksimum güneşlenme sürelerine ulaşılmaktadır. Erbil Meteoroloji Müdürlüğünden elde edilen sıcaklık derecesi ortalamaları, yıllık yağmur oranı, nem oranı, uzun yıllar ortalama güneşlenme süreleri ve güneş ışınım değerleri yapacağımız fotovoltaik sistem tasarımında kullanılan verileri oluşturmaktadır.

3.1.1 Pompaj tesisi

Pompaj tesisi, suyun toplanması, arıtılması, depolanması ve özellikle kuru mevsimde pompa ile dağıtılması işlevlerini yerine getirir (Şekil 3.1). Pompaj tesisi aynı zamanda bir su arıtma tesisi olarak da hizmet vermektedir. Bu nedenle, su kalitesinin iyileştirilmesine ve temiz suya erişimdeki eşitsizliklerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Şekil 3.2'de santrifüj pompaların etiket değerleri verilmiştir.



Şekil 3.1 Pompaj Tesisi

| TOP-ONE® | | WATER PUMP EUROPEAN STANDARD | | CE | |
|------------------------|-------------|---------------------------------|-------------------|------------|-------|
| Type PSTB 65-200/220 | | | | | |
| Q(m ³ /h) | 85 | H(m) | | 54 | |
| Hmax(m) | 59 | kW | 22 | mm 80X65 | |
| N° | 20200830220 | HP | 30 | Suct.H 7 m | |
| VΔ | 380 | VΛ | 660 | Cl F | IP 55 |
| A | L27/244 | 2900 | min ⁻¹ | Hz | 50 |
| Electro Pump 3 ~ Phase | | | Continuous Duty | | |

Şekil 3.2 Kullanılan santrifüj pompanın özellikleri

3.1.2 Erbil şehri ve koşulları

Erbil, Kuzey Irak'ın Bölgesel Yönetimi'nin başkenti olan bir şehirdir ve Orta Doğu'nun en eski sürekli yerleşimlerinden biri olarak bilinir (Şekil 3.3). Zengin tarihi ve kültürel mirasıyla ünlü olan Erbil, aynı zamanda modern bir şehir olup son yıllarda hızlı bir ekonomik ve demografik büyüme yaşamaktadır. Şehir, enerji talebinin artmasıyla birlikte sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik arayışlarını da artırmıştır. Güneş enerjisi bu açıdan Erbil şehri için enerji gereksinimlerini yerine getirmede önemli bir potansiyele sahiptir. Güneş enerjisi, güneşten gelen ışık ve ısıyı

kullanarak elektrik enerjisi üretme sürecidir. Bu enerji kaynağı, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak, çevre kirliliğini ve sera gazı emisyonlarını azaltmak, enerji maliyetlerini düşürmek ve enerji güvenliğini sağlamak gibi birçok avantaja sahiptir. Erbil'in coğrafi konumu, güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça elverişlidir. Şehir, yıl boyunca güneşli günlerin sayısıyla dikkat çeker ve bu da güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini artırır. Ayrıca Erbil'in çevresinde geniş açık alanlar ve düşük yapılaşma yoğunluğu bulunmaktadır, bu da güneş panelleri için uygun alanların mevcut olduğu anlamına gelir (<https://tr.wikipedia.org/wiki/Erbil>).



Şekil 3.3 Irak haritasında Erbil'in konumu

Şehirdeki enerji talebini anlamak ve güneş enerjisi sistemlerinin ne ölçüde kullanılabileceğini belirlemek açısından önemlidir. Ayrıca enerji tüketimini azaltmak için enerji verimliliği önlemleri de değerlendirilebilir. Çalışmanın bir diğer önemli yönü de ekonomik ve finansal analizdir. Güneş enerjisi sistemlerinin maliyeti, yatırım getirisi ve enerji tasarrufu potansiyeli gibi faktörler değerlendirilebilir. Bu analiz, güneş enerjisi projelerinin ekonomik açıdan sürdürülebilirliğini belirlemek için önemlidir ve potansiyel yatırımcılar için rehberlik sağlar. Sonuç olarak, Erbil şehrinin güneş enerjisi verimliliği ve potansiyel fırsatları üzerine yapılan bu tez çalışması, şehrin sürdürülebilir enerji dönüşümüne katkıda bulunabilir. Güneş enerjisi kaynaklarının daha etkin bir

şekilde kullanılması, enerji güvenliğini artırabilir, çevresel etkileri azaltabilir ve şehir için ekonomik fırsatlar yaratabilir.

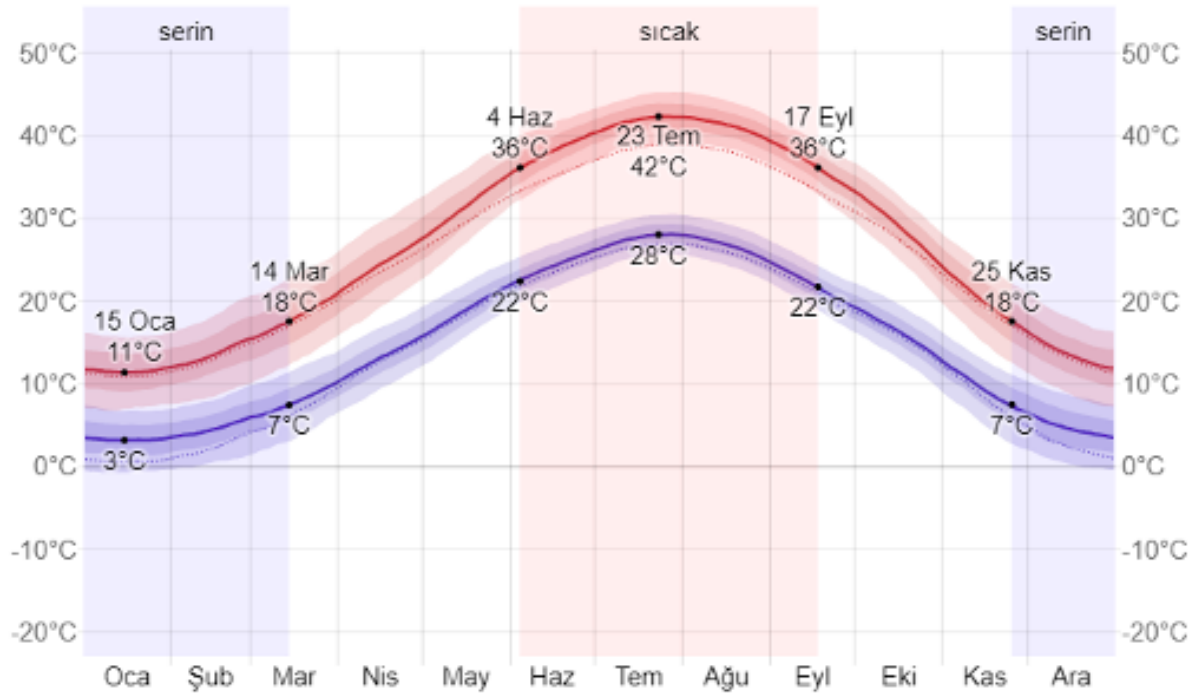
Erbil, genellikle güneşli ve sıcak bir iklime sahip olan bir bölgede yer almaktadır. Güneş ışınlarının yoğun olduğu ve uzun süreli güneşlenme saatlerinin olduğu bu iklim, şehirde güneş enerjisi potansiyelini artırmaktadır. İyi bir güneş radyasyonu seviyesine sahip olması, Erbil'in güneş enerjisi sistemlerinin verimli bir şekilde çalışması için elverişli bir ortam sağlamaktadır. Güneş enerjisi tesisleri için geniş çatı alanları, açık araziler ve diğer uygun yerler, güneş panellerinin optimum güneş ışığına maruz kalmasını sağlayarak verimliliği artırabilir. Güneş enerjisi sistemleri ve uygulamaları olarak bu şehirde güneş enerjisi sistemleri ve uygulamaları çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.1.3 Erbil şehri meteorolojik verileri

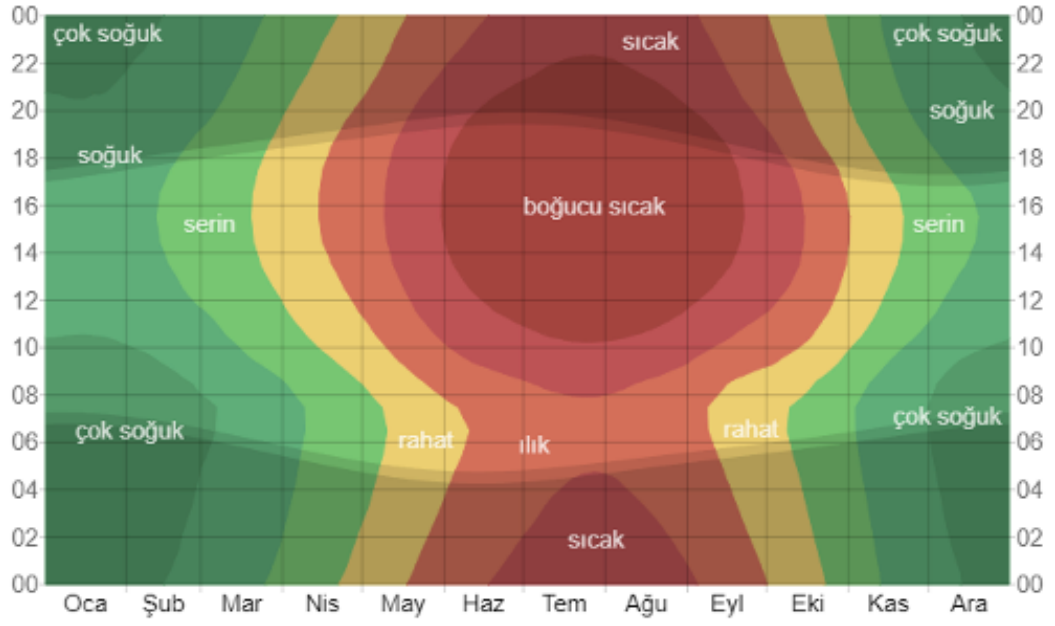
Erbil, güneşli ve açık bir iklimi olan bir bölgede yer alır. Bu nedenle, güneş enerjisi üretimi için önemli bir potansiyele sahiptir. Güneş enerjisi, Erbil'in enerji bağımsızlığını artırmak için bir fırsat sunar. Güneş panelleri, elektrik tüketimini karşılamak için kullanılabilir. Erbil şehrinin meteorolojik verileri Çizelge 3.1. de verilmiştir. Bu çizelgedeki veriler 20 yıllık verileri içermektedir. Şekil 3.4'de ve Şekil 3.5'de Erbil bölgesinin sıcaklık verileri grafik olarak verilmiştir.

Çizelge 3.1 Erbil şehri ortalama meteorolojik verileri (Erbil Meteoroloji Genel Müdürlüğü)

| Aylar | Güneşlenme Süresi (Saat/Gün) | Nem Oranı (%) | Minimum Sıcaklık (°C) | Maksimum Sıcaklık (°C) | Sıcaklık Ortalaması (°C) |
|----------|------------------------------|---------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|
| Ocak | 4.896 | 71.56 | 4.46 | 19.15 | 8.808 |
| Şubat | 5.886 | 67.97 | 5.55 | 14.97 | 10.26 |
| Mart | 6.547 | 61.47 | 9.17 | 19.20 | 14.18 |
| Nisan | 7.633 | 54.86 | 13.13 | 25.36 | 19.24 |
| Mayıs | 9.119 | 40.67 | 19.05 | 33.76 | 26.40 |
| Haziran | 11.44 | 28.83 | 24.46 | 38.66 | 31.56 |
| Temmuz | 11.69 | 26.54 | 27.37 | 41.93 | 34.65 |
| Ağustos | 11.18 | 27.82 | 26.99 | 41.50 | 34.25 |
| Eylül | 10.09 | 31.81 | 22.72 | 36.54 | 29.63 |
| Ekim | 7.897 | 42.69 | 17.88 | 30.02 | 23.95 |
| Kasım | 6.339 | 59.53 | 10.64 | 20.82 | 15.73 |
| Aralık | 5.087 | 69.52 | 6.25 | 14.50 | 10.38 |
| Ortalama | 8.156 | 48.60 | 15.64 | 28.03 | 21.59 |



Şekil 3.4 Erbil bölgesinde ortalama yüksek ve düşük sıcaklık (<https://tr.weatherspark.com/y/103233/Erbil-Irak-Ortalama-Hava-Durumu-Yil-Boyunca>)



Şekil 3.5 Erbil ortalama saatlik sıcaklık (<https://tr.weatherspark.com/y/103233/Erbil-Irak-Ortalama-Hava-Durumu-Yil-Boyunca>)

Erbil meteoroloji genel müdürlüğünden alınan 1993- 2022 yılları arasındaki aylık bulutluluk oranları ve güneş radyasyon değerleri Çizelge 3.2. de verilmiştir. Yıllık Potansiyel enerji 1800-2000 kWh/m² .yıl arasındadır.

Çizelge 3.2 Erbil Şehrinin güneş radyasyon değerleri ve bulutluluk oranları

| Aylar | Güneş radyasyon Değerleri(I) (kWh/m ² .ay) | Bulutluluk oranı |
|---------|--|------------------|
| Ocak | 76.95 | 4.23 |
| Şubat | 117.82 | 4.13 |
| Mart | 147.21 | 4.15 |
| Nisan | 203.66 | 4.07 |
| Mayıs | 238.95 | 3.15 |
| Haziran | 260.76 | 1.03 |
| Temmuz | 248.66 | 0.66 |
| Ağustos | 219.26 | 0.64 |
| Eylül | 181.49 | 0.95 |
| Ekim | 121.98 | 2.62 |
| Kasım | 92.23 | 3.29 |
| Aralık | 68.52 | 3.93 |

3.2 Yöntem

Bu çalışma durum tespiti yani case study çalışmasıdır. Çalışmada öncelikle Erbil şehrinin güneş enerji potansiyeli belirlenmiştir. Bu amaçla Erbil'in meteorolojik verilerinden yararlanılmıştır. Pompaj tesisi için şebeke bağlantılı bataryasız bir fotovoltaik sistem tasarımı yapılarak bölgede var olan güneş enerjisi potansiyeli kullanılmıştır. Erbil şehrinin güneş enerji potansiyelinden yararlanarak 3 adet içme suyu santrifüj pompaj tesisinin çalıştırılması için gerekli fotovoltaik sistemin kurulu gücü hesaplanmıştır. Ayrıca pompaj tesisinin günlük enerji ihtiyacı, PV panel yüzeyine gelen ortalama günlük ışınım miktarı, panel sayısı, toplam panel alanı, güneş enerjisi parametreleri gibi veriler belirlenmiştir. Bir fotovoltaik sistemin tasarımında yatay düzleme gelen güneş ışınımı değeri önemlidir (Duffie ve Beckman 2013, Keçel 2007).

Bölgede yapılan araştırmalara göre optimum panel eğim açısının 30 derece olması gerektiği önerilmiş olup bu çalışmada panel eğim açısı 30 derece alınmıştır. Daha az bir alan kapsamak ve daha yüksek bir enerji elde etmek amacıyla verimi yüksek 525-545 W nominal güce sahip tek taraflı yarım hücre çerçeveli (Kalyon M10-144 Cam-Arka yüzey) panellerin kullanılması öngörülmüştür. Fotovoltaik sistemlerin en önemli elemanlarından olan invertörler (çevirici) doğru akımı alternatif akıma dönüştüren cihazlardır (Leblebicioğlu, 2019). İntertörler merkezi ve dizi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

3.2.1 Fotovoltaik (PV) modül

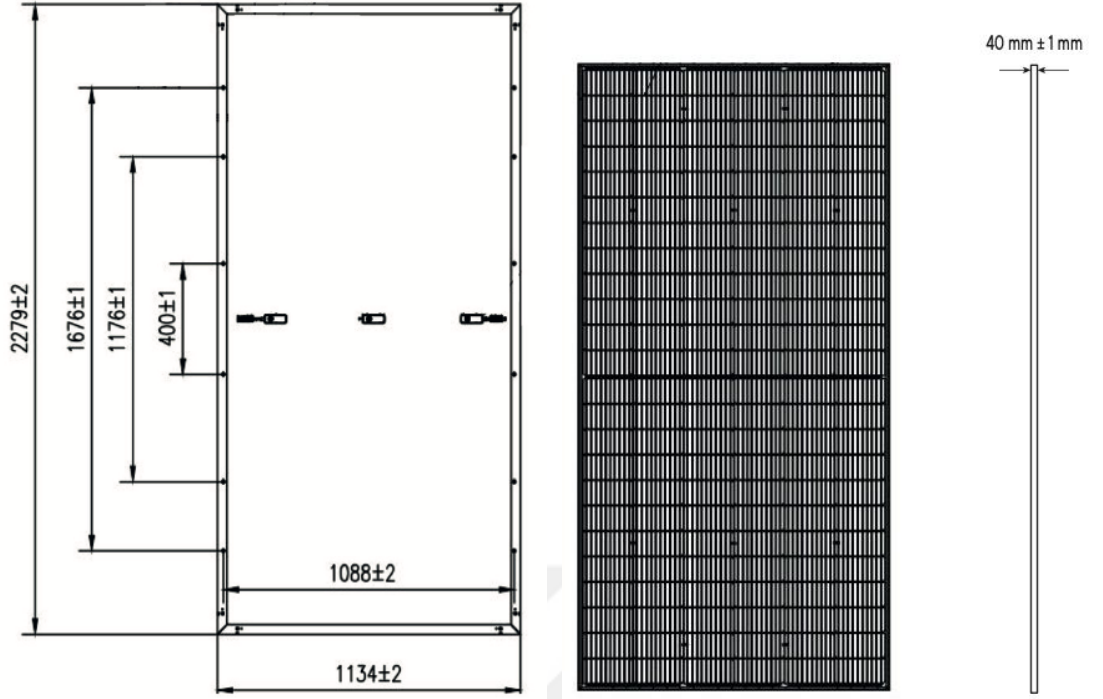
Daha az bir alan kapsamak ve daha yüksek bir enerji elde etmek amacıyla verimi yüksek 525-545 W nominal güce sahip tek taraflı yarım hücre çerçeveli (Kalyon M10-144 Cam-Arka yüzey) panellerin kullanılması öngörülmüştür. Bu panellerin özellikleri Çizelge 3.3, Çizelge 3.4 ve Şekil 3.6 verilmiştir.

Çizelge 3.3 M10-144 Cam-arka yüzey tek taraflı yarım hücre çerçeveli modül fotovoltaik panelin elektriksel özellikleri
(<https://kalyonpv.com/Products/documents/M10-144-GLASS-BACKSHEET-TR.pdf>)

| Parametre | STC | NMOT |
|---------------------------|-------|-------|
| Maksimum güç (W) | 545 | 405 |
| Açık devre gerilimi (V) | 49.65 | 46.20 |
| Kısa devre akımı (A) | 11.24 | 11.24 |
| Maksimum güç gerilimi (V) | 41.80 | 38.39 |
| Maksimum güç akımı (A) | 13.04 | 10.57 |
| PV modül verimliliği (%) | 21.09 | 19.59 |
| Güç toleransı (- / +) | 0...5 | |

Çizelge 3.4 M10-144 Cam-arka yüzey tek taraflı yarım hücre çerçeveli modül fotovoltaik panelin mekanik özellikleri
(<https://kalyonpv.com/Products/documents/M10-144-GLASS-BACKSHEET-TR.pdf>)

| Hücre | Tip | Mono-C Silicon Bifacial PERC | Boyut | Uzunluk (mm) | 2279 mm ±2 mm |
|-----------------|---|------------------------------|------------|--|------------------------|
| | Yarım Hücre sayısı (Adet) | 144 | | Genişlik (mm) | 1134 mm ±2 mm |
| | Ölçü (mm) | 182 x 91 | | Kalınlık (mm) | 40 mm ±1 mm |
| Bağlantı Kutusu | Diyot (adet) | 3 | Montaj | Adet | 12 |
| | Koruma | IP67/IP68 | | Boyut (mm) | 9 x 14 Yarıçap: 4.5 |
| | Kablo (cm) | 30 | | Montaj Deliği Aralığı Uzun Kenarı (mm) | 1676/1176/400 ± 1 |
| | Konektör | MC4 Uyumlu | | Montaj Deliği Aralığı (Yatay Eksen) (mm) | 1088 ± 2 |
| | Akım (A) | 25 | Kütle | 40 mm Çerçeve | 27 kg ± %5 |
| Cam | Anti Reflektif Kaplama Yarı Temperli, Kalınlık 3.2 mm | | Topraklama | Adet | 8 |
| | | | | Boyut | En: 4 mm |



Şekil 3.6 M10-144 Cam-arka yüzey tek taraflı yarım hücre çerçeveli modül fotovoltaik panelin boyutları (<https://kalyonpv.com/Products/documents/M10-144-GLASS-BACKSHEET-TR.pdf>)

Eğer her bir pompanın 22 kW olduğunu ve günde üç pompanın 6 saat çalıştığını varsayarsak, toplam günlük enerji tüketimi aşağıda verildiği gibi 396 kWh/gün olur.

$$22 \text{ kW} \times 3 \text{ pompa} \times 6 \text{ h /gün} = 396 \text{ kWh/gün}$$

Bu enerjiyi karşılamak için, PV panellerinin kurulacağı bölgenin güneş ışınlarını iyi şekilde alması gerekir.

3.2.2 Çift yönlü elektrik sayacı

İki yönlü elektrik sayacı, eve gelen elektriği iletmekle kalmayıp aynı zamanda dış kaynaklardan üretilen elektriği de şebekeye geri gönderir. Bu sayede, üretilen ve tüketilen elektrik enerjisi, üzerindeki dijital ekrandan kolayca izlenebilir. Erbil'deki pompa tesisi için kurulan fotovoltaik (PV) sistemden fazla enerji elde edildiğinde, bu

enerji şebekeye aktarılır, çift yönlü elektrik sayacı tarafından kaydedilir ve daha sonra kış aylarında elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanılabilir.

3.2.3 PV panel yüzeyine gelen ortalama günlük ışınım miktarının hesaplanması

Bir yörede güneş kolektörünün (düz yüzeyli) yüzeyine bir gün boyunca düşen toplam ışınım miktarı, uzun yıllara yayılan aylık güneşlenme verileri kullanılarak hesaplanmıştır (Masters 2004).

$$I_K = I_d R_b + I_y \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_{\rho_g} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (1)$$

Bu formülde, birinci terim yüzeye direkt gelen, ikinci terim gökyüzünden yansıyan ve üçüncü terim yeryüzünden yansıyan ışınımı temsil etmektedir. Eşitlikte (I_K) ilgili aya ilişkin panele günlük gelen toplam ışınım enerjisini, β yüzey eğimini ve ρ_g yerin aklık derecesini (yansıma oranı) vermektedir. Sırasıyla I_d direkt ulaşan ışınım, I_y yaygın (difüz) ışınım, I yer yüzeyine ulaşan toplam ışınım değeridir. (R_b) eğik yüzey üzerindeki direkt ışınımın yatay yüzey üzerindeki direkt ışınımına oranıdır. Bu değere ortalama geometrik açı faktörü ya da aylık geometrik faktörde denir. Eğik yüzey üzerindeki direkt ışınımın yatay yüzey üzerindeki direkt ışınımına oranı olan aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir (Duffie ve Beckman 2013).

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin w_{gbc} + \frac{\pi}{180} w_{gbc} \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin w_{gb} + \frac{\pi}{180} w_{gb} \sin \varphi \sin \delta} \quad (2)$$

φ = Enlem derecesi

δ = Deklinasyon açısı

w_{gb} = Güneş saat açısı

β = Panelin eğim açısıdır.

Ortalama geometrik açı faktörünü hesaplamak için aşağıdaki formüller aracılığıyla ilk önce deklinasyon açısı (δ) daha sonra güneş saat açısı (w_{gbc}) bulunur (Cooper 1969).

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left[\frac{360}{365} (n - 81) \right] \quad (3)$$

n=Gün sayısı (1 Ocak'tan itibaren yılın gün sayısı)'dır.

$$w_{gb} = \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (4-a)$$

Ayrıca panel yüzeyinin eğimli olmasından dolayı güneş saat açısı panel yüzeyi üzerinde farklı olmaktadır buda aşağıdaki eşitlik yolu ile hesaplanmaktadır (Masters 2004).

$$w_{gbc} = \min\{\cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta), \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) \tan \delta)\} \quad (4-b)$$

Berraklık (bulutluluk) indeksi (KT) günlük düzleme düşen dağılmış ışığın toplam ışığa oranını belirlemek için kullanılan bir parametredir ve bu oran, aşağıdaki denklem ile hesaplanır (Yiğit ve Arslanoğlu 2021).

$$\frac{I_y}{I} = 1.311 - 3.022K_T + 3.427K_T^2 - 1.821K_T^3 \quad (5)$$

Aylık ortalama günlük güneş ışınımını belirlemek için, izafi güneşlenme süresine dayalı olarak yukarıda verilen Eşitlik 5 kullanılabileceği gibi, berraklık (bulutluluk) indeksine bağlı olarak aşağıdaki denklem de kullanılabilir (Erbs vd. 1982).

$$K_T = \frac{I}{I_0} \quad (6)$$

I_0 (kWh/m² gün) atmosferin dış yüzeyine gelen ışınım miktarıdır. Bu değer aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir (Duffie ve Beckman 2013).

$$I_0 = \frac{24 \times I_{gs}}{\pi} \left[1 + 0.034 \cos \left(\frac{360 \times n}{365} \right) (\cos \varphi \cos \delta \sin \omega + \frac{\pi \omega}{180} \sin \varphi \sin \delta) \right] \quad (7)$$

I_{gs} =Güneş sabiti olup 1367 W/m² alınabilir.

n=Gün sayısı (1 Ocak'tan itibaren yılın gün sayısı)'dır.

3.2.4 Pompaj tesisi güç gereksinimi

Pompaj tesisinde manometrik yükseklik (H_m , m), debi (Q , m^3/s) ve suyun özgül kütlesi ($\gamma=1000 \text{ kg/m}^3$) kullanılarak hidrolik güç (P_h , kW) aşağıdaki formülle bulunur (Gökalp 2014).

$$P_h = \frac{Q \times H_m \times \gamma}{102} \quad (8)$$

Bu formülü kullanarak, belirli bir debi ve manometrik yükseklik için pompaj tesisi güç gereksinimi hesaplanabilir. Ancak, pompa verimliliğini bilmek önemlidir. Çünkü verimlilik, pompaj tesisi için gereken gerçek gücü belirler. Pompa verimliliği pompanın enerjiiyi nasıl kullandığını ve suyu pompaya taşırken ne kadar etkili olduğunu gösteren bir ölçüdür. Pompa verimliliği, pompanın çıkış gücünün, giriş gücüne oranını ifade eder. Yüksek bir pompa verimliliği, daha az enerji kullanarak daha fazla suyu taşıyabilen ve daha az enerji kaybeden bir pompa anlamına gelir. Verimli bir pompa, enerji tüketimini azaltır, işletme maliyetlerini düşürür ve enerji kaynaklarını daha sürdürülebilir bir şekilde kullanmayı sağlar. Aşağıdaki denklemden pompanın verimini hesaplayabiliriz (Altın 2021).

$$\eta_p = \frac{P_h}{P_f} \times 100 \quad (9)$$

Bu formül, pompanın ne kadar verimli olduğunu yüzde cinsinden ifade etmek için kullanılır. Suya verilen hidrolik güç (P_h), pompaj tesisi tarafından gerçekten kullanılan gücü temsil ederken, pompanın milinde olması gereken ya da motor tarafından pompa miline verilmesi gereken (P_f) güçtür. Pompa verimi (η_p) ne kadar yüksek olursa, pompa o kadar verimli çalışır. Pompaya motor tarafından verilen güç aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Gökalp 2014).

$$P_f = \frac{Q \times H_m \times \gamma}{102 \times \eta_p} = \frac{P_h}{\eta_p} \quad (10)$$

3.2.5 PV sisteminin kurulu gücü hesaplaması

Pompaj tesisi için kurulan PV sistemin güç hesaplaması aşağıdaki formülle hesaplanabilir (Kayıçoğlu 2019).

$$N_{PV} = \frac{P_h}{t_g \cdot AF \cdot E} \quad (11)$$

Burada verilen denklemde N_{PV} , PV sistemin kurulu gücünü, t_g günlük maksimum güneşlenme süresini, AF PV sistemin invertörlerden dolayı kayıp durumu E ise alt sistem verimidir.

$$AF=0.70 \quad E=0.40$$

Yukardaki denklemdeki maksimum güneşlenme süresi ise aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir (Kayıçoğlu 2019).

$$t_g = \frac{I_K}{G_{Max}} \quad (12)$$

Buradaki denklemde G_{Max} maksimum ışınım şiddeti ve değeri ise 1000 W/m^2 dir.

3.2.6 Fotovoltaik (PV) panel sayısının belirlenmesi

Panel sisteminin kurulu gücü hesaplandıktan sonra aşağıda verilen denklem sayesinde ise gerekli olan panel sayısı hesaplanmıştır (Altın 2021).

$$n = \frac{N_{pv}}{n_{pv}} \quad (13)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Uzun yılların ortalaması Erbil şehrinin meteorolojik kaynaklarından alınarak ortalama günlük güneş ışınım değerleri ve berraklık indeksi $K_T = \frac{I}{I_0}$ eşitlik (6) ile hesaplanmıştır. Aynı şekilde buna bağlı olarak atmosferin dış kısmına gelen ışınımın ortalama miktarı I_0 (kWh/m².gün) eşitlik (7) ile hesaplanmış ve yeryüzüne ulaşan toplam ışınım miktarı I (kWh/m².gün) ise Erbil meteoroloji genel müdürlüğünden alınmış ve Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelgede R_b , eğimli yüzeydeki direkt ışınımın yatay yüzey üzerindeki direkt ışınımına oranıdır ve eşitlik (2) ile hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1 Araştırma bölgesinin güneşlenme değerleri

| Aylar | I_0 (kWh/m ² .gün) | I (kWh/m ² .gün) | K_T | R_b |
|---------|------------------------------------|----------------------------------|-------|-------|
| Haziran | 11.454 | 8.692 | 0.759 | 0.873 |
| Temmuz | 11.535 | 8.020 | 0.695 | 0.859 |
| Ağustos | 10.898 | 7.070 | 0.649 | 0.929 |
| Eylül | 9.537 | 6.050 | 0.634 | 1.086 |

4.1 Panele Gelen Ortalama Günlük Işınım Miktarı

Çizelge 4.1’deki değerler kullanılarak panel yüzeyine gelen günlük ortalama ışınım miktarları hesaplanmıştır. Daha sonra bu hesaplanan değerler Çizelge 4.2 ‘de verilmiştir. Özellikle performans ölçülerinin yapıldığı Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında PV panel yüzeyine ortalama olarak 6.998 (kWh/m². Gün) güneş ışınım enerjisi gelmektedir. Bu aylarda güneşlenme süresi ve yoğunluğa da bağlı olarak daha fazla ışınım alması panel üzerinde daha fazla elektrik enerjisi üretmeyi sağlar. Aynı zamanda ışınım miktarı Haziran ayında 7.806 (kWh/m². Gün) en yüksek seviyeye gelirken eylül ayında ise 6.366 (kWh/m²) ile en düşük seviyeye ulaşmıştır.

Yaygın ışınım I_y eşitlik (5) ile hesaplanmış ve yaygın ışınım miktarları incelenen aylarda direkt ışınımdan I_d daha azdır çünkü yaz aylarında çalışma alanımızın gökyüzü açık olduğu için ışınlar direkt bir şekilde panel yüzeyine ulaşmaktadırlar, bu durum panel yüzeyine ulaşan ışınımın fazla olmasını sağlamaktadır. Çizelgede panel üzerine gelen ışınım miktarı I_k olarak verilmiştir ve eşitlik (1) ile hesaplanmıştır. Pompaj tesisi için kullanılacak olan elektrik üretimi, bu ışınım miktarına bağlıdır.

I_y = Yer yüzeyine ulaşan yaygın ışınım.

I_k = Kollektör ya da panel üzerine düşen güneş ışınımı.

Çizelge 4.2 Direkt ışınım ,yaygın ışınım ve PV panele gelen ışınım miktarları

| Aylar | I_d (kWh/m ² .gün) | I_y (kWh/m ² .gün) | I_k (kWh/m ² .gün) |
|---------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Haziran | 6.997 | 1.695 | 7.806 |
| Temmuz | 5.977 | 2.043 | 7.148 |
| Ağustos | 4.982 | 2.088 | 6.671 |
| Eylül | 4.184 | 1.866 | 6.366 |

4.2 Pompaj Tesisi Hidrolik Gücü Ve Verimi

Erbil şehrine kurulan pompaj tesisi tarafından geliştirilen hidrolik güç miktarı ve verimi eşitlikler (8) ve (9) ile hesaplanmış olup manometrik yüksek maksimum $H_m = 59$ mSS, suyun yükseltildiği en yüksek noktalar arasında debi $Q=85$ m³/h, suyun özgül kütlesi ($\gamma= 9810$ N/m³) değerleri ele alındığında her bir pompanın hidrolik gücü 22 kW ve toplam pompa verimi ise $\eta_p = 0.621$ olarak hesaplanmıştır.

4.3 PV Panel Sistemin Kurulu Gücü

PV panel sisteminde kurulu gücü hesaplarırken eşitlik (11) kullanılmış ve M10-144 Cam-arka yüzey tek taraflı yarım hücre çerçevesi modül fotovoltaik panelin elektriksel gücü 0.545 kW alınmıştır. Erbil'in yıl boyunca güneşlenme süreleri ortalaması alınmıştır. Burada çıkan sonuca bakıldığında maksimum alt sistem ve maksimum invertör kaybı ile toplamdaki kurulu güç $N_{PV}=202.04$ kW hesaplanmıştır. Daha sonra eşitlik (13) ile panel sayısı kurulu güç ve nominal güce bağlı olduğundan toplam kurulacak panel sayısı ise 371 olarak hesaplanmıştır. Teorik hesaplama sonrasında Erbil şehrinde bulunan pompaj tesisi güç gereksinimi için 371 adet panel seri bağlı olarak kullanılmıştır. Toplam kurulu gücü 202.04 kW olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yaptığımız literatür araştırması ve panelin ölçümlerini kullanarak kurulu güç için toplam 1200 metrekare alana ihtiyaç duyulmaktadır.

4.4 PV Panel İvertör Gücü

Fotovoltaik panellerce üretilen doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) dönüştürerek evlerde veya işyerlerinde kullanılabilir elektrik enerjisi sağlar. Erbil'e kurulacak olan PV sistemin İvertörün yeterli güce sahip olması dikkat edilmiştir. Tasarımı yapılan sisteme sonradan panel eklemek için invertör gücü kurulu gücün %25 fazlası alınabilir ve bu kurala göre invertörün güç 252.55 kW hesaplanmış olup bu hesap nominal voltaj ve nominal akım üzerinden yapılmıştır. Kurulu güç üzerinden yapılan hesaplama ile karşılaştırılıp doğruluğu kanıtlanmıştır. Daha sonra PV panellerin ürettiği DC gücü kayıplara uğratmadan en verimli şekilde dönüştürebilmesi öngörülmüştür.

5. SONUÇ

Erbil şehrinin güneş enerji potansiyelini değerlendirerek, bölgedeki içme suyu pompaj tesisinin elektrik ihtiyacını karşılamak için şebeke bağlantılı bataryasız bir fotovoltaik sistemin tasarımını incelenmiştir. Meteorolojik veriler kullanılarak yapılan analizler sonucunda, Erbil şehri güneş enerjisi bakımından oldukça elverişli bir bölge olarak belirlenmiştir. Çalışma, pompa tesisinin günlük enerji ihtiyacının, PV panellerin yüzeyine gelen günlük ortalama ışınım miktarı ve belirlenen güneş enerjisi parametreleri gibi faktörlere bağlı olarak saptandığını göstermiştir. Bu analizler sonucunda, pompaj tesisinin elektrik ihtiyacını karşılamak için uygun (PV) panel sayısı 371 adet ve bataryasız fotovoltaik sistemin kurulu gücü 202.04 kW olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Erbil şehrinin güneş enerji potansiyelini etkin bir şekilde değerlendirmenin, sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olan fotovoltaik sistemlerle içme suyu pompaj tesisinin elektrik ihtiyacını karşılamının mümkün olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışma, benzer bölgelerde yapılabilecek güneş enerjisi tabanlı su pompalama sistemlerinin tasarımı ve uygulamasına yönelik değerli bilgiler sunmaktadır. Ayrıca, sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasına katkıda bulunarak çevresel ve ekonomik faydaları vurgulamaktadır. Ayrıca güneş enerjisinin sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Bu tür yenilenebilir enerji kaynaklarının benimsenmesi, su pompalama tesislerinin enerji verimliliğini artırmak ve çevresel etkilerini azaltmak için önemli bir adım olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- Anonim. 2023. Erbil Meteorolojik genel Müdürlüğü, Erbil, Irak
- Anonim 2023. <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/grid-connected-pv-system.html>: Erişim tarihi: 11.04.2023. https://tr.wikipedia.org/wiki/Güneş_Enerjisi <https://tr.weatherspark.com/y/103233/Erbil-Irak-Ortalama-Hava-Durumu-Y%C4%B1-Boyunca>
- Anonim 2023. <https://www.solimpeks.com.tr/depolamali-ve-sebeke-baglanti-fotovoltaik-sistemler/> <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/1/94>: Erişim tarihi: 13.04.2023 <https://kalyonpv.com/Products/documents/M10-144-GLASS-BACKSHEET-TR.pdf>
- Akmeşe, D. 2006. Güneş Panelinden Beslenen Bir DA Motorun Çalıştırılması. Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik- Elektronik Mühendisliği, 114, Ankara.
- Altın , İ. 2021. Fotovoltaik Güneş Paneli ile çalıştırılacak Bir Sulama Sisteminin Projelendirilmesi, Kurulması ve Performansının Saptanması. Yüksek lisans tezi (yayımlanmamış), Namık Kemal Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı , 29 , Tekirdağ.
- Alwakwak, M. A.2021. Libya'da Güneş Enerjisi. Yüksek lisan tezi (basılmamış), Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü, 83,Karabük
- Arıcı, N., & İskender, A. (2020). Fotovoltaik Güneş Santrallerinde Şebeke Bağlantı Sorunları ve Çözümleri. Politeknik Dergisi, 23(1), 215-222.
- Atık Kıyga , P. 2013. Fotovoltaik Güç Sistemli su pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması. Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, 38 , Tekirdağ.
- Avcıoğlu, A.O. 2017. Yenilenebilir Enerji kaynakları ve teknolojileri Ders notları.. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği, Ankara.
- Azeez, S.A. 2014. A Study Examining Solar Energy Potential and The Efficient Application Areas in Northern Iraq Region. Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış), Kahramanmaraş Sütçü İmam University Graduate School Of Natural and Applied Sciences, 108, Kahramanmaraş.
- Cooper, PI, 1969, The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills, Solar Energy, 12,(3). Messenger Roger, Ventre Jerry, 2000, Photo-voltaic Systems Engineering, CRC Pres LLC, Florida, 385p.
- Çalikoğlu , S. Şebeke bağlantılı Fotovoltaik güç sistemleri ile elektrik üretimi. Yüksek Lisans tezi , Kocaeli Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, Elektrik eğitimi anabilim dalı, 88, Kocaeli
- Dayıoğlu, M.A. 2022. Güneş Enerjisi Ders Notları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Ankara.

- Doğanay, M. M. (2021). Mardin Bölgesi Güneş (Fotovoltaik) Enerjisi Potansiyel Analizi. Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi , 3 (1) , 86-117.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. 2013. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 928, New Jersey
- Durak, M.2016. Güneş Enerjisi: Teori Ve Uygulama. <https://enerji.mmo.org.tr/wp-erişim> Tarihi: 28.12.2022
- Erbs, D.G., Klein, S. A. and Duffie, J.A. 1982. Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation, Solar Energy, 28 (4); 293–302.
- Ghazi Ghazi, A.J. 2021. Design and Evaluation Of Solar Energy Powered Groundwater Pumping System For Irrigation Farm In Iraq Desert (Irak Çöl Bölgesinde Bulunan Bir Çiftlik İçin Güneş Enerjisi İle Beslenen Yeraltı Suyu Sulama Sisteminin Tasarımı Ve Değerlendirilmesi). Master's Thesis (unpublished), The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Çankırı Karatekin University, 82, Çankırı, Türkiye
- Gökalp , Y. 2014. Güneş Enerjisinden Yararlanarak Santrifüj Pompa ile Su Pompalama Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, 37, Adana.
- Kaplan, Z. 2012. Fotovoltaik Sistem Tasarımı. Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış), Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Kayıoğlu, B.2019. Güneş enerjisi sistemleri tasarımı. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notu, 120, Tekirdağ.
- Keçel, S., 2007. Türkiye'nin Değişik Bölgelerinde Eysel Elektrik İhtiyacının Güneş panelleri İle Karşılmasına Yönelik Model Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 159, Ankara.
- Köksal, M.A. 2012. Güneş Enerjisiyle Su Pompalama Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, 41, Adana.
- Küçükilhan , G. 2017. Fotovoltaik Güç sistemlerinin modellenmesi ve şebekeye etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi , Afyon kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü ,Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim dalı, 95 Afyonkarahisar.
- Leblebicioğlu, E. 2019. <https://www.muhendisbeyinler.net/fotovoltaik-pv-solar-sistem-ve-elemanlari/amp/> : Erişim Tarihi: 28.12.2022
- Masters, G. M. 2004. Renewable and Efficient Electric Power Systems, 1st ed. New Jersey:WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 654, New Jersey.
- Mouhurat, A. 2021. Bilgisayar Destekli Güneş Enerjisi Potansiyeli Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış),T.C. İstanbul Aydın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 64, İstanbul, Türkiye.

- Öner, F.2021. Sustainability Analysis of a Solar Assisted Organic Olive Oil Production Facility (Güneş Enerjisi Destekli Bir Organik Zeytinyağı Üretim Tesisinin Sürdürülebilirlik Analizi). Master's Thesis (unpublished), T.C. Ege Üniversitesi Graduate School of Applied and Natural Science, Department Of Solar Energy , 69, İzmir, Türkiye.
- Özkan, U.2021. Şebekeye Bağlı Çatı Üstü Fotovoltaik Sistem Tasarımı Ve Analizi. İTÜ Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Mühendisliği Programı, yayımlanmamış yüksek lisans tezi, İstanbul.
- Öztürk, H.H. 2010. Güneş pili ile çalışan tarımsal sulama sistemleri için tasarım ölçütlerinin belirlenmesi. 4. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Bildiri Kitabı: 58–73, 6-7 Kasım 2009, Mersin.
- Reinders, A., Verlinden, P., Sark, W. ve Frendlich, A. 2017. Photovoltaic Solar Energy From Fundamentals to applications. John Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, 733,United Kingdom.
- Şenpınar, A. 2006. Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması . Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi , 4 (2) , 36-41.
- Taşkaya, G. 2015. Fotovoltaik Etki ile Çalışan Güneş Enerjili Sistemin Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 75 , Zonguldak.
- Tunçer,B. 2022. Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Analizi , benzetimi ve boyutlandırılması. Yüksek lisans tezi , Pamukkale Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, Elektrik ve elektronik mühendisliği anabilim dalı , 97 , Denizli.
- Ünver, M.G.2013. Güneş Enerjisi İle Çalışan Prototip Bir Santrifüj Pompanın Sayısal Analiz Yöntemleri İle Tasarımı Ve Simülasyonu. Yüksek lisans tezi (yayımlanmamış), Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı,117, İzmir.
- Yalçın, L. 2010. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma Ve Uygulama Çiftliği'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi Ve Güneş Enerjisinden Yararlanabilme Olanakları. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi (Yayımlanmamış), 220, Ankara.
- Yiğit, A. ve Arslanoğlu, N. 2021. Anlık Işınım Şiddeti Ve Çevresel Faktörlere Bağlı Optimum Pv Panel Açısı, Verim, Güç Üretiminin İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 26, Sayı 1, DOI: 10.17482/uumfd.824582
- Yolcan,O.O. & Köse, R. (2020). Türkiye' Nin Güneş Enerjisi Durumu ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulumunda Önemli Parametreler . Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi , 6 (2) , 196-215.