

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POLİKRİSTAL GÜNEŞ PANELLERİNİN COĞRAFİ
KONUMLARA GÖRE VERİM ANALİZİNİN YAPILMASI

MUHAMMET DEMİRKIRAN

KOCAELİ 2023

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POLİKRİSTAL GÜNEŞ PANELLERİNİN COĞRAFİ
KONUMLARA GÖRE VERİM ANALİZİNİN YAPILMASI

MUHAMMET DEMİRKIRAN

Dr. Öğr. Üyesi Abdulhakim KARAKAYA

Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Doç.Dr. Ayşe ERGÜN AMAÇ

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr.Öğr.Üyesi Erdal ŞEHİRLİ

Jüri Üyesi, Kastamonu Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 26.01.2023

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
 - Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
 - Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
 - Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
 - Tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- beyan ederim.

☒ Bu tez çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler

.....tarafından.....no'lu proje

kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

(İmza)

Muhammet DEMİRKIRAN

(Öğrencinin Adı Soyadı)

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan “Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....

(İmza)

Muhammet DEMİRKIRAN

(Öğrencinin Adı Soyadı)

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Enerji ihtiyacının karşılanması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Fotovoltaik (PV) sistemler de yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi elde etme yöntemlerinden birisidir. Artan enerji talebini karşılamakta yardımcı olan fotovoltaik sistemler, günümüzde yeterli verimlilikte çalışmamaktadır. Fotovoltaik sistemlerin verimlerinin artırılması konusunda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada; PVSOL programında oluşturulan santral modelleriyle, enlem, yükselti, ısı, denizellik, panel çeşidi gibi değişkenlerin güneş panellerinin verimine etkileri analiz edilmiştir.

Araştırma sürecim boyunca desteğini ve yardımını esirgemeyen başta tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Abdülhakim KARAKAYA'ya teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım boyunca sabır ve anlayış göstererek desteklerini benden esirgemeyen sevgili yol arkadaşım Emine DEMİRKİRAN ve kızım Lina DEMİRKİRAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Ocak - 2023

Muhammet DEMİRKİRAN

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLOLAR DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Elektrik Enerjisi	3
2.2. Enerji Üretim Kaynakları	3
2.3. Güneş Enerji Sistemleri	4
2.3.1. Küresel ve Yerel Güneş Enerji Potansiyeli	4
2.3.2. Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi	5
2.4. Fotovoltaik Sistemler	6
2.4.1. Fotovoltaik Panel Çeşitleri	6
2.4.2. Şebekeye Bağlantı Sistemleri	8
2.4.3. Diğer Bileşenler	10
2.5. Fotovoltaik Sistemlerin Kurulum Yöntemleri	11
2.5.1. Sabit Sistemler	11
2.5.2. Güneş Takip Sistemleri	11
2.5.2.1. Açık Çevrim Güneş Takip Sistemleri.....	12
2.5.2.2. Kapalı Çevrim Güneş Takip Sistemleri.....	12
2.5.2.3. Pasif Güneş Takip Sistemleri	13
2.5.2.4. Aktif Güneş Takip Sistemleri.....	13
2.5.2.5. Tek Eksenli Güneş Takip Sistemleri	14
2.5.2.6. Çift Eksenli Güneş Takip Sistemleri	14
2.6. Fotovoltaik Sistemlerde Verim	15
2.7. Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	16
3. MALZEME VE YÖNTEM	25
3.1. Çalışmada Kullanılan Ekipmanlar ve Özellikleri	25
3.1.1. Güneş Paneli	25
3.1.2. Evirici (İnvertör).....	26
3.1.3. Koruma Elemanları.....	27
3.1.4. Kullanılan Malzemeler	28
3.2. PVSOL Programı.....	29
3.3. Fotovoltaik Santral Modelleri.....	29
3.3.1. Erzurum Güneş Enerji Santrali.....	30
3.3.2. Çanakkale Güneş Enerji Santrali	31
3.3.3. Sinop Güneş Enerji Santrali	31
3.3.4. Hatay Güneş Enerji Santrali	32
4. BULGULAR.....	33
4.1. Veri Analizleri	33
4.2. Santrallerin Coğrafik Konumları	33

4.3. Santrallerin Aylara Göre Enerji Üretim Verileri	34
4.4. Santrallerin Yıllara Göre Tahmini Kazanç Verileri.....	34
4.5. Santrallerin Yıllık Özgöl Kazanç Verileri	36
4.6. Santrallerin Gölgeleme Verileri.....	37
5. SONUÇLAR.....	38
KAYNAKLAR.....	41
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	47



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Türkiye global güneş radyasyonu.....	4
Şekil 2.2.	Fotovoltaik hücrede elektrik üretimi	5
Şekil 2.3.	Hücre, modül, panel ve dizi yapısı	5
Şekil 2.4.	Monokristal güneş paneli	6
Şekil 2.5.	Polikristal güneş paneli	7
Şekil 2.6.	İnce film güneş paneli	7
Şekil 2.7.	Esnek güneş paneli	8
Şekil 2.8.	Saydam güneş paneli	8
Şekil 2.9.	Şebekeye bağlı sistem	9
Şekil 2.10.	Şebekeden bağımsız sistem	10
Şekil 2.11.	Sabit kurulumlu fotovoltaik sistem	11
Şekil 2.12.	Açık çevrim güneş takip sisteminin blok diyagramı	12
Şekil 2.13.	Kapalı çevrim güneş takip sisteminin blok diyagramı	12
Şekil 2.14.	Pasif güneş takip sistemi	13
Şekil 2.15.	Aktif güneş takip sistemi	13
Şekil 2.16.	Tek eksenli güneş takip sistemi	14
Şekil 2.17.	Çift eksenli güneş takip sistemi	15
Şekil 3.1.	Santrallerde kullanılan koruma elemanları ve bağlantı şeması	28
Şekil 3.2.	Güney cephesinden santral görünüşü	30
Şekil 3.3.	Erzurum santraline ait PVSOL programı ekran görüntüsü	30
Şekil 3.4.	Çanakkale santraline ait PVSOL programı ekran görüntüsü	31
Şekil 3.5.	Sinop santraline ait PVSOL programı ekran görüntüsü	31
Şekil 3.6.	Hatay santraline ait PVSOL programı ekran görüntüsü	32
Şekil 4.1.	Santrallerin aylara göre enerji üretim grafiği	34
Şekil 4.2.	Santrallerin yıllara göre tahmini kazanç grafiği	35
Şekil 4.3.	Santrallerin 21. yılın sonundaki finansal durum grafikleri	36
Şekil 4.4.	Santrallerin yıllık özgül kazançları	36
Şekil 4.5.	Santrallerin gölgelenmeden dolayı oluşan yüzdelik kazanç kayıpları	37
Şekil 5.1.	Hatay-Sinop ve Erzurum-Çanakkale santrallerinin kâr oranları	38
Şekil 5.2.	Santrallerin 21. yılın sonundaki kâr oranları	39
Şekil 5.3.	Santrallerin gölgelenme kayıp oranları	39
Şekil 5.4.	Santrallerin bir yılda önlediği CO ₂ miktarı	40

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Santrallerde kullanılan panel bilgileri	26
Tablo 3.2. Santrallerde kullanılan invertör bilgileri	27
Tablo 3.3. Santrallerde kullanılan malzeme bilgileri	28
Tablo 4.1. Kurulacak santrallerin verileri.....	33
Tablo 4.2. Santrallerin gelir-gider tablosu.....	35



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	: Yüzde
₺	: Türk lirası
A	: Panel alanı, (m ²)
AC	: Alternative current, (Alternatif akım)
DC	: Direct current, (Doğru akım)
GW	: Giga watt
I _{MP}	: Maksimum güç çıkışındaki akım, (Amper)
I _T	: Birim alana düşen güneş ışınım miktarı, (W/m ²)
kg	: Kilo gram, (Ağırlık birimi)
kVA	: Kilo volt amper, (Görünür güç birimi)
kW	: Kilo watt
kWh	: Bir saatte üretilen kilowatt cinsinden elektrik enerjisi
kWp	: Kilo watt peak, (Optimum koşullarda üretilecek maksimum güç değeri)
m	: Metre, (Temel uzunluk ölçüsü birimi)
m ²	: Metre kare, (Alan birimi)
mm	: Mili metre
MPP	: Maximum power point, (Maksimum güç noktası)
MW	: Mega watt
°	: Derece
°C	: Santigrat derece, (Sıcaklık birimi)
°D	: Doğu Boylamı
°K	: Kelvin derece, (Sıcaklık birimi)
°K	: Kuzey enlemi
P _{IN}	: Giriş gücü, (Watt)
P _M	: Maksimum çıkış gücü, (Watt)
PV	: Photovoltaic, (Fotovoltaik)
T _C	: Güneş paneli sıcaklığı, (°C)
UTC	: Universal time coordinate, (Evrensel zaman koordinatı)
V	: Volt, (Gerilim birimi)
V _{MP}	: Maksimum güç çıkışındaki gerilim, (Volt)
W	: Watt, (Elektriksel güç birimi)
β	: Sıcaklığa bağımlılık katsayısı
η_0	: PV hücrenin standart test koşullarındaki elektriksel verimi
η_e	: Güneş panelinin elektriksel verimi

Kısaltmalar

DHI	: Diffuse Horizontal Irradiance (Dağınık Yatay Işınım)
DNI	: Direct Normal Irradiance (Doğrudan Normal Işınım)
GES	: Güneş Enerjisi Santrali
GHI	: Global Horizontal Irradiance (Küresel Yatay Işınım)
HES	: Hidroelektrik Santral
MADSR	: Monthly Average Daily Solar Radiation (Aylık Ortalama Günlük Güneş Radyasyonu)
PM	: Particulate Matter (Partikül Madde)

PVSOL : Photovoltaic Design and Simulation Software (Fotovoltaik Dizayn ve
Simölasyon Yazılımı)
RES : Rüzgâr Enerji Santrali



POLİKRİSTAL GÜNEŞ PANELLERİNİN COĞRAFİ KONUMLARA GÖRE VERİM ANALİZİNİN YAPILMASI

ÖZET

Teknolojinin ileri bir boyuta taşınması ile çeşitli enerji formları hayatımızda yer almaya başlamıştır. Bu enerji çeşitleri arasında aktif olarak en fazla ihtiyaç duyduğumuz ise elektriktir. Bu ihtiyacın karşılanması için sınırlı kaynaklar kullanılmaktadır. Kısa bir süre için sınırlı kaynaklarla elektrik üretimi karşılanmaya devam edilse de bir süre sonra enerji ihtiyacının karşılanmasında yeterli olmayacaklardır. Bu nedenle var olan kaynaklar en etkili şekilde kullanılmalıdır. Yenilenemeyen bu sınırlı enerji kaynaklarının kullanımı, teknolojinin gelişmesiyle birlikte her geçen gün daha verimli hale gelmektedir. Buna rağmen artan enerji ihtiyacının tamamını karşılayamamaktadır. Sürekli artan enerji talebini karşılamakta iyi bir alternatif olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır. Ve bu alanda birçok çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda yenilenebilir enerji kaynakları da üretime dahil edilerek enerji taleplerini karşılamakta kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji ile elektrik üretimi günümüzde istenilen düzeye ulaşmış değildir. Daha verimli elektrik üretimi yapabilmek için yeni araştırmalar da devam etmektedir. Bu çalışmada da yenilenebilir enerji kaynağı olan güneşten faydalanılarak, güneş panelleri ile elektrik enerjisi üretiminde coğrafi şartların güneş paneli verimine olan etkileri incelenmiştir. Türkiye’de dört farklı şehirde kurulan santral modelleri, PVSOL (fotovoltaik dizayn ve simülasyon yazılımı) programı kullanılarak analiz edilmiştir. Simülasyon programında kullanılan santral modellerinde; yükselti, enlem-boylam ve sıcaklık gibi etkenlerin elektrik enerjisi üretimine etkileri incelenmiştir. Bunlara ek olarak santral modellerinde gölgelenmenin etkisi de analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi Bölgeler, Elektrik Enerjisi, Güneş Enerjisi, PVSOL, Yenilenebilir Enerji.

EFFICIENCY ANALYSIS OF POLYCRISTAL SOLAR PANELS ACCORDING TO GEOGRAPHICAL LOCATIONS

ABSTRACT

With the advancement of technology, various forms of energy have started to take place in our lives. Among these types of energy, the one we need most actively is electricity. Limited resources are used to meet this need. Although electricity production continues to be met with limited resources for a short time, they will not be sufficient to meet the energy needs after a while. Therefore, existing resources should be used in the most effective way. The use of these limited non-renewable energy resources is becoming more efficient day by day with the development of technology. However, it cannot meet all of the increasing energy needs. The tendency towards renewable energy sources, which is a good alternative to meet the ever-increasing energy demand, is increasing. And many studies are being done in this field. As a result of the studies, renewable energy sources are also included in the production and used to meet the energy demands. Electricity generation with renewable energy has not reached the desired level today. New researches continue to be able to produce more efficient electricity. In this study, the effects of geographical conditions on solar panel efficiency were investigated in the production of electrical energy with solar panels by utilizing the sun, which is a renewable energy source. The power plant models established in four different cities in Turkey were analyzed using PVSOL (photovoltaic design and simulation software). In the power plant models used in the simulation program; The effects of factors such as altitude, latitude-longitude and temperature on electrical energy production were investigated. In addition to these, the effect of shading on the power plant models was also analyzed.

Keywords: Geographical Regions, Electrical Energy, Solar Energy, PVSOL, Renewable Energy.

1. GİRİŞ

Kullanılan teknolojik cihazların artması beraberinde elektrik enerjisine olan ihtiyacının da artmasına yol açmıştır. Halihazırda kullanılan fosil yakıtlar artan bu ihtiyaca sürekli olarak cevap verecek düzeyde değildir. Fosil kaynaklar kullanarak elektrik üretimi esnasında çevreye aşırı derecede zarar verilmektedir (Uyan, 2017). Daha temiz ve sürdürülebilir bir şekilde elektrik enerjisi üretebilmek için fosil yakıtların dışında yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinden faydalanılarak sürdürülebilir ve daha temiz elektrik enerjisi üretmek mümkündür.

Artan enerji talebine alternatif olarak kullanılan fotovoltaik sistemlerle elektrik üretimi yapılan çalışmalar sonucunda her geçen gün daha verimli hale gelmektedir. Günümüze kadar, güneş paneli hücresinin geliştirilmesi ve var olan panellerin kullanımı sırasındaki koşulların değiştirilmesi konusunda birçok çalışma bulunmaktadır. Gelişen teknoloji de güneş panellerinin verim artışını hızlandırmaktadır. Güneş panelleri verimi (η_e) maksimum panel gücü, birim alana düşen ışınlam ve panel yüzey alanıyla değişim göstermektedir. Güneş panellerinin elektriksel verimi Denklem (1.1) kullanılarak hesaplanır (Demirci, 1996; Gül ve Akyüz, 2019).

$$\eta_e = \frac{P_M}{P_{IN}} = \frac{V_{MP} I_{MP}}{I_T A} \quad (1.1)$$

η_e = güneş panelinin elektriksel verimi

P_M = maksimum çıkış gücü (Watt)

P_{IN} = giriş gücü (Watt)

V_{MP} = maksimum güç çıkışındaki gerilim (Volt)

I_{MP} = maksimum güç çıkışındaki akım (Amper)

I_T = birim alana düşen güneş ışınlam miktarı (W/m^2)

A = panel alanı (m^2)

PV panellerde artan hücre sıcaklığıyla açık devre geriliminde önemli ölçüde düşüş ve kısa devre akımında küçük bir artış meydana gelir. Bunun sonucunda elektriksel verimde bir düşüş görülür. Bu etkilere göre elektriksel verim yeniden düzenlenerek Denklem (1.2)'de verilmiştir (Ceylan ve diğ., 2014).

$$\eta_e = \eta_0 [1 - \beta(T_c - 25)] \quad (1.2)$$

η_0 = PV hücrenin standart test koşullarındaki (25 °C hava sıcaklığı ve 1000 W/m² ışınım altında) elektriksel verimdir.

β = sıcaklığa bağımlılık katsayısı

T_c = güneş paneli sıcaklığı (°C)

Fotovoltaik sistemlerin çalışma prensibi; güneş ışınlarının yarı iletken hücrelerindeki elektronları serbest hale getirerek akım üretmesine dayalıdır (Türe, 2008). Fotovoltaik panellerin enerji üretebilmesi için ihtiyaç duyduğu şey, ışık kaynağıdır. Fakat güneş ışınlarıyla birlikte ortaya çıkan ısı enerjisi ise fotovoltaik sistemlere negatif yönde etkilemektedir. Dolayısıyla fotovoltaik sistemlerin verimi, enlem, boylam, yükselti vb. etmenlere bağlıdır. Bu bilimsel çalışmada bahsi geçen enlem, boylam, yükselti ve sıcaklığın enerji verimliliğine etkileri incelenmiştir. Ayrıca bu inceleme esnasında ısının güneş panelleri üzerinde oluşturduğu etkiler de analiz edilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Yapılan bu bilimsel çalışmada elektrik enerjisinin üretiminde kullanılan kaynaklardan ve günümüz elektrik üretim yöntemlerinden bahsedilmiştir. Ayrıca, fotovoltaik sistemlerin çalışması, bağlantı türleri, fotovoltaik sistemlerin kısımları, coğrafi etmenlerin verime etkileri incelenmiştir. Son olarak, bu alanda yapılmış literatür çalışmalarından bahsedilmiştir.

2.1. Elektrik Enerjisi

Kullanılan çoğu cihazın çalışması için gerekli olan enerji türü, elektrik enerjisidir. Elektrik enerjisi ise potansiyel enerjiden türetilmiş enerji çeşididir. Başka bir ifade ile potansiyel fark uygulayarak serbest elektronları harekete geçirmektir. Kimyasal tepkimeler sonucunda da elektron hareketi gerçekleştirilebilmektedir. Pillerde kimyasallar kullanılarak elektrik üretilir. Elektrik enerjisinin elde edilmesinde kullanılan birçok kaynak bulunmaktadır (Bockris ve diğ., 1993).

2.2. Enerji Üretim Kaynakları

Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan hammaddeler elektrik üretim santrallerinin çeşitlerini belirlemektedir. Örneğin; kömür, doğalgaz, fuel-oil vb. kaynaklar, termik santrallerin, su, Hidroelektrik Santral'lerin (HES'lerin), güneş enerjisi, Güneş Enerji Santrallerinin (GES'lerin), rüzgâr enerjisi, Rüzgâr Enerji Santrallerinin (RES'lerin) elektrik üretiminde kaynak olarak kullanılır. Bu kaynaklar ikiye ayrılabilir. Bunlardan birincisi tükenebilen enerji kaynakları ve diğeri ise yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Elektrik üretiminde kullanılan kaynaklar, oluşumları bakımından çok uzun sürede yeniden oluşuyorsa bu tür kaynaklara tükenebilen kaynaklar denilmektedir (Avdar, 2022). Günümüzde enerji ihtiyacını karşılamakta genellikle bu yenilenemeyen enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bu yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanım alanlarının çok olması ve rezervlerinin az olması enerji üretimini de olumsuz etkileyecektir.

Elektrik enerjisi üretimi fosil kaynaklarla yapıldığı zaman hem çevre kirliliğine sebep olmakta hem de kullanılan kaynakların tükenmesine sebep olmaktadır. Bunlara alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji

kaynakları, doğa ve iklime bağılı olarak kendiliğinden oluşan ve kullanıldığında ise yeniden üretiminin sağlanabildiği kaynaklardır (Koç ve Şenel, 2013; Hua ve diğ., 2016). Bu kaynaklarla elektrik üretimi sağlandığında hem çevre kirliliğinin önüne geçilmekte hem de sürdürülebilir enerji sağlanmaktadır. Güneş, rüzgâr, su, jeotermal, biyokütle ve gel-git sürdürülebilir enerji kaynaklarındandır.

2.3. Güneş Enerji Sistemleri

Güneş enerjisi ile elektrik üretimi temelde iki farklı şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bunlardan birincisi, güneş ısısından üretilen su buharının kullanılmasıyla elektrik enerjisi üretilmesidir (Cengiz ve Mamiş, 2016). İkincisi ise güneşin ışığı kullanılarak fotovoltaiik sistemlerden direkt olarak elektrik enerjisi üretmektir (Altaş, 1998; Kayabaşı ve Kaya, 2019).

2.3.1. Küresel ve Yerel Güneş Enerji Potansiyeli

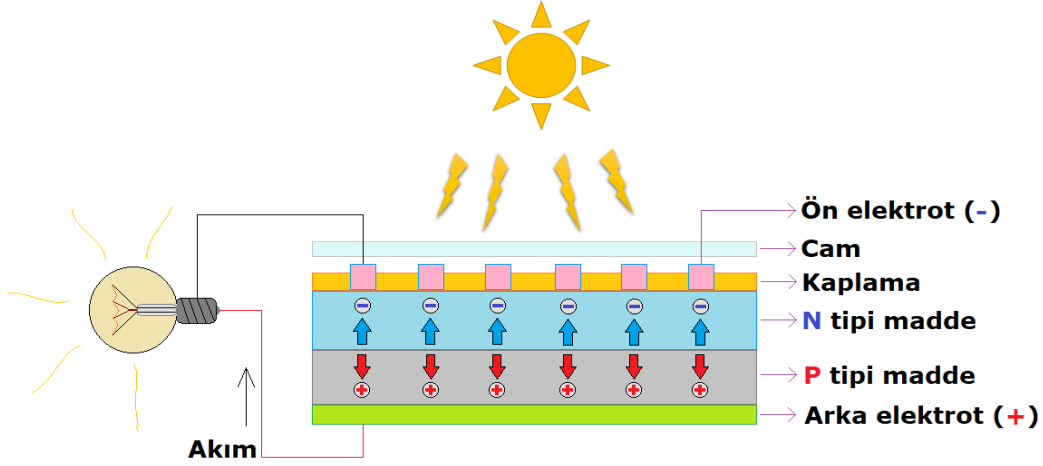
Dünya genelinde güneş ışınlarının düşme açısı bakımından enerji potansiyeli ekvator da daha fazladır (Aksungur ve diğ., 2013). Ekvatordan kutuplara doğru gidildikçe güneş ışınlarının düşme açısı azaldığı için güneşten elektrik üretme potansiyeli de azalmaktadır. Bu nedenle, enleme bağılı olarak güneş radyasyon değeri değişmektedir (Öztürk, 2008; Öztürk ve Kaya, 2013). Türkiye ise orta kuşakta bulunduğu için güneş enerjisi bakımından oldukça iyi konumdadır. Şekil 2.1’de Türkiye’nin global güneş radyasyonu değeri görülmektedir (URL-1).



Şekil 2.1. Türkiye global güneş radyasyonu (URL-1)

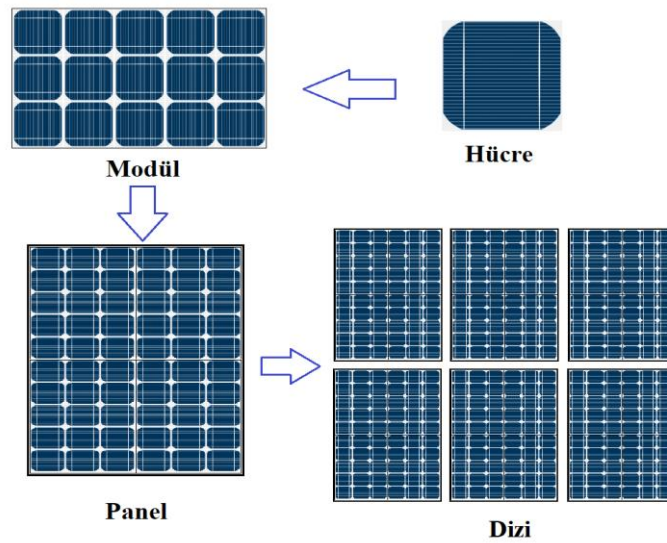
2.3.2. Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi

Yarı iletken malzemeler kullanılarak güneş paneli hücreleri üretilir. Üretilen bu hücrelerin her birinden yaklaşık olarak 0,5 volt elektrik üretilmektedir (Çelebi, 2002; Rüstemli ve Dinçer., 2011). Üretilen akım ise yapılan güneş paneli hücresinin boyutu ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Şekil 2.2’de güneş paneli hücrelerinden elektrik üretim prensibi görülmektedir.



Şekil 2.2. Fotovoltaik hücrede elektrik üretimi

Şekil 2.3’te, hücre bazında üretilen küçük değerdeki güç, seri veya paralel bağlantı yöntemleriyle istenilen değerde modüller üretilmektedir. Elde edilen bu modüller birleştirilerek paneller oluşturulmaktadır. Kullanılan panel sayıları artırılarak istenilen güçteki diziler elde edilebilmektedir (Tunçkaşık ve Köse, 2022).



Şekil 2.3. Hücre, modül, panel ve dizi yapısı

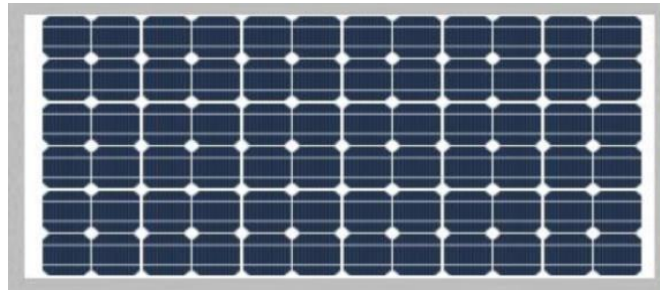
2.4. Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik sistemler; güneş panelleri, depolama sistemleri, eviriciler, koruma elemanları ve kablolar gibi ekipmanlardan oluşmaktadır. Güneş panelleri, fotonlar sayesinde elektriğin üretildiği kısımdır. Üretilen elektriğin, güneşin olmadığı zamanlarda kullanılması için akü ve batarya gibi depolama sistemleri kullanılmaktadır. Güneş panellerinde doğru akım olarak üretilen elektrik, eviriciler sayesinde Alternatif Akıma (AC'ye) dönüştürülmektedir.

2.4.1. Fotovoltaik Panel Çeşitleri

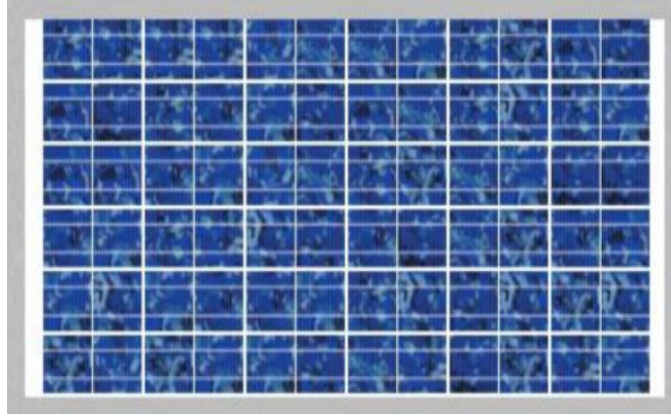
Fotovoltaik sistemlerde kullanılan panel çeşitleri, hücre üretiminde kullanılan yöntem ve malzeme ile belirlenmektedir.

Monokristal Güneş Panelleri: Bu tür güneş panellerinde kullanılan yarı iletkenlerin saflık oranı oldukça yüksektir. Doğada bulunan kum ve kuvars bol miktarda silisyum yarı iletkeni içermektedir. Kumun saflık düzeyi düşük olduğundan, monokristal panel üretiminde kuvars tercih edilmektedir. Kuvars işlenerek %99 gibi yüksek oranda saf silisyum elde edilir ve bu silisyum monokristal güneş panellerinin yapımında kullanılır. Monokristal güneş panellerinin verimleri %15-25 arasındadır (Meral, 2020). Şekil 2.4'te monokristal güneş paneli PVSOL ekran alıntısı görülmektedir.



Şekil 2.4. Monokristal güneş paneli

Polikristal Güneş Panelleri: Polikristal güneş panellerinde kullanılan yarı iletkenin saflık oranı ise monokristal güneş panellerinde kullanılan yarı iletkenlerin saflık oranından daha düşüktür. Saflaştırma yöntemleri kullanılmadan oluşturulan polikristal güneş panellerinin görüntüleri de homojen bir yapıda değildir ve maliyetleri daha düşüktür. Çoklu kristal yapılarından dolayı verimleri monokristal panellere göre daha azdır (Erkul, 2010). Şekil 2.5'te polikristal güneş paneli PVSOL ekran alıntısı görülmektedir.



Şekil 2.5. Polikristal güneş paneli

İnce Film Güneş Panelleri: İnce film güneş panelleri, farklı yarı iletkenlerin ince katmanlar halinde üst üste bir araya getirilmesiyle elde edilir. Amorf silisyum, mikromorf hücre, bakır indiyum ve kadmiyum tellür gibi maddeler ince film güneş paneli yapımında kullanılan malzemelerdir. Yaygın olarak amorf silisyum tercih edilir. Verimleri ise monokristal ve polikristal panellere göre daha azdır, yaklaşık olarak %5,5'tir (Boz, 2011). Şekil 2.6'da ince film güneş paneli PVSOL ekran alıntısı görülmektedir.



Şekil 2.6. İnce film güneş paneli

Esnek Güneş Panelleri: Esnek güneş panelleri monokristal, polikristal veya ince filmden üretilmektedir. Bu tür panellerde alüminyum çerçeve ve temperli cam bulunmamaktadır. Bu nedenle ağırlıkları da diğer panellere göre daha düşüktür. Esnek yapıları sayesinde, hava, kara ve deniz araçlarında, duraklarda ve eğimli alanlarda rahatlıkla kullanılabilirler. Şekil 2.7'de esnek güneş paneli görülmektedir (URL-2).



Şekil 2.7. Esnek güneş paneli (URL-2)

Saydam Güneş Panelleri: Hali hazırda yaygın kullanımı olmamakla birlikte araştırma ve geliştirme aşamasında olan bu tür güneş panelleri şeffaf yapısı sayesinde güneşten elektrik üretebildiği gibi güneşi engellememektedir. Bu özelliği sayesinde saydam güneş panelleri normal yaşam alanlarında da kullanılarak daha fazla enerji üretebilecektir. Şekil 2.8’de saydam güneş paneli görülmektedir (URL-3).



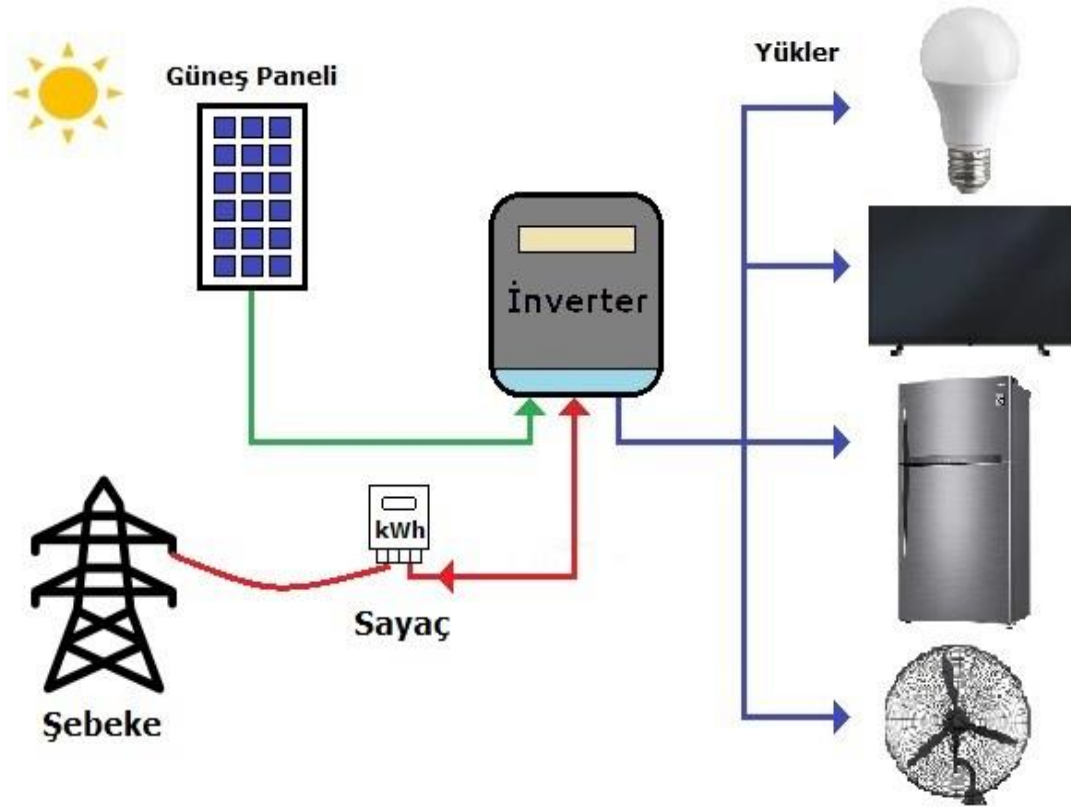
Şekil 2.8. Saydam güneş paneli (URL-3)

2.4.2. Şebekeye Bağlantı Sistemleri

Fotovoltaik sistemler ile elektrik üretimi doğru akım olarak gerçekleştirilmektedir. Güneş paneli hücrelerinde küçük miktarda üretilen bu doğru akım, paneldeki hücre sayısına bağlı olarak farklı değerlerde olabilir. Panellerde elde edilen güç diğer paneller ile invertörde uygun bağlantı yöntemleri yapılarak daha yüksek güç değerlerine ulaştırılmaktadır. İnvertörler, fotovoltaik sistemlerde üretilen doğru gerilimi alternatif

akım şebekesine uygun hale getirerek sistemine dahil ederler. Ya da fotovoltaik sistemlerde üretilen doğru gerilimi alternatif akıma dönüştürerek, şebekeden bağımsız olarak bireysel kullanıcıların kullanımına sunarlar. Fotovoltaik sistemler, şebekeye bağlı (on-grid) ya da şebekeden bağımsız (off-grid) sistemler olarak kurulabilmektedirler.

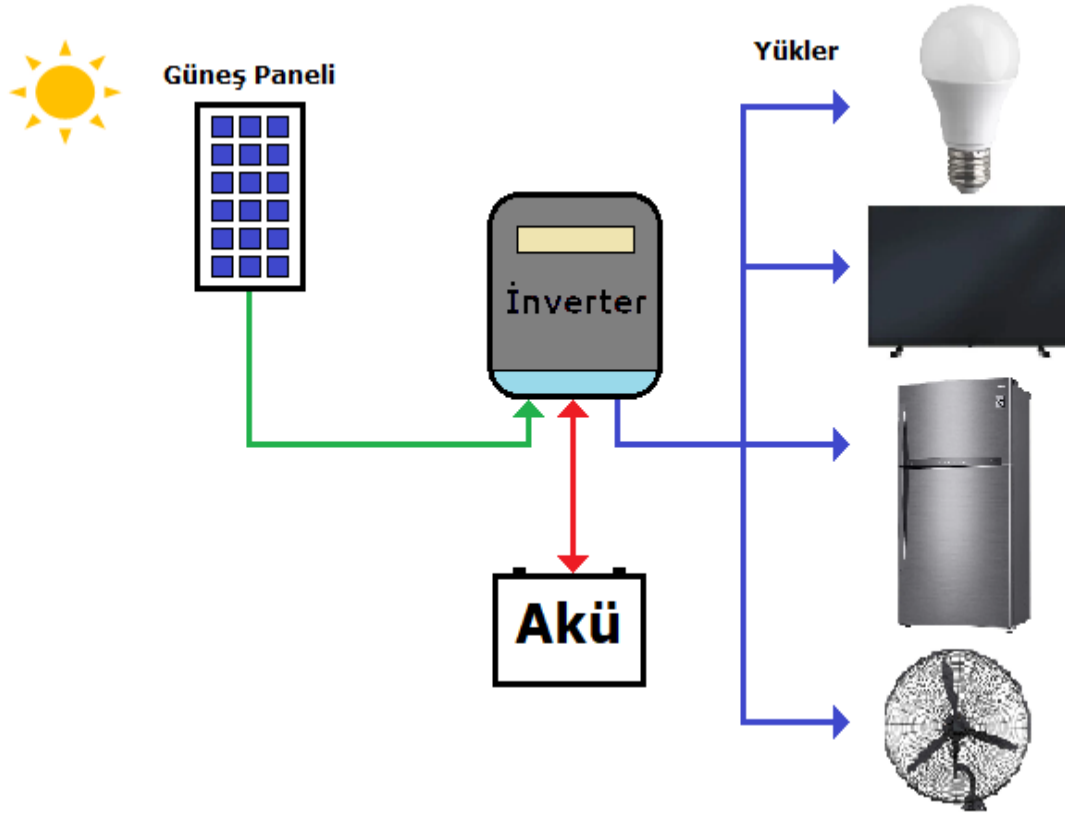
Şebekeye bağlı sistemler: Fotovoltaik sistemlerin ürettiği elektrik enerjisinin mevcut şebeke sistemiyle entegre olacak şekilde kullanılmasıdır. Bu sistemde panellerde üretilen doğru gerilim, invertörler vasıtasıyla şebeke frekansı ile aynı olacak şekilde alternatif gerilime dönüştürülür. Bu sistemde, üretilen gerilim fazla olması durumunda şebekeye elektrik verilebilmektedir. Güneşin olmadığı durumlarda veya yetersiz olduğu anlarda ise şebekeden elektrik enerjisi talep edilebilmektedir (Majidzade, 2018). Şekil 2.9’da şebekeye bağlı sistem görülmektedir.



Şekil 2.9. Şebekeye bağlı sistem

Şebekeden bağımsız sistemler: Ana elektrik şebekesinden bağımsız sistemlerdir. Fotovoltaik sistemler ile üretilen elektrik enerjisi şebekeden bağımsız olarak tüketilir. Genelde şebeke bağlantısının olmadığı yerlerde tercih edilir. Güneşin olmadığı durumlarda fotovoltaik paneller elektrik üretemeyeceği için ve şebeke bağlantısı

olmadığından bu tür sistemlerde bataryalara ihtiyaç duyulmaktadır (Mosaad, 2022). Şekil 2.10'da şebekeden bağımsız sistem görülmektedir.



Şekil 2.10. Şebekeden bağımsız sistem

2.4.3. Diğer Bileşenler

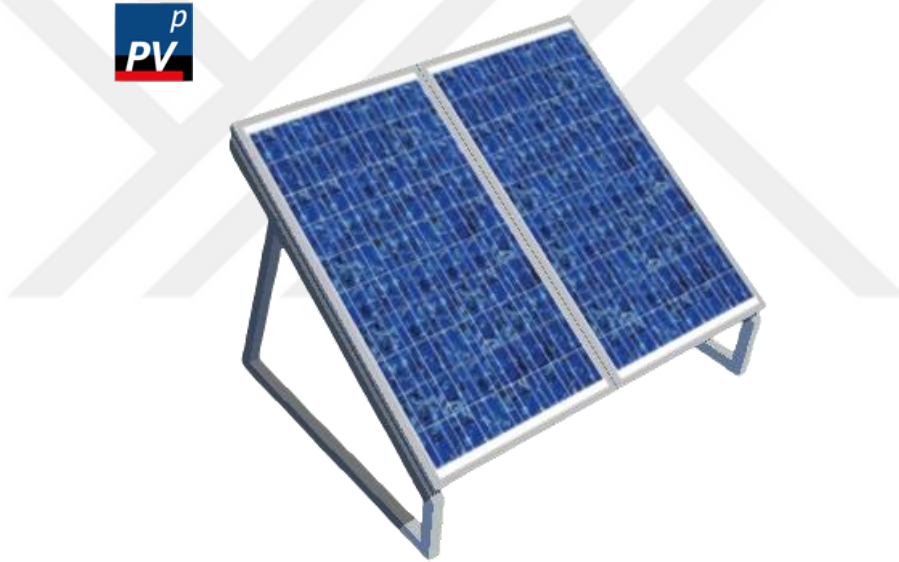
Fotovoltaik sistemler, güneş paneli, aküler, şarj kontrol cihazları ve invertörler gibi temel bileşenlerden başka, sistemin bir arada çalışabilmesi için diğer bileşenlere de ihtiyaç duymaktadırlar. Temel bileşenlerin dışında sisteme destek veren bu bileşenler; kablolar, diyotlar, devre kesiciler, sigortalar, aşırı akım koruma elemanları, topraklama aparatları ve montaj aparatlarından oluşmaktadır (Oluklulu, 2001). Fotovoltaik sistemler Doğru Akım (DC) sistemler olduğu için diğer alternatif akım sistemlerinde kullanılan koruma elemanları bu sistemlerde kullanılmamaktadır. Fotovoltaik sistemlerde DC sigortalar, DC kesiciler gibi elemanlar, enerji hatlarını korumaktadır. Güneş paneli sistemlerinde; rutubet, nem, su, kemirgenlere dayanıklı ve alevi yürütmeme özelliklerine sahip, açık ya da kapalı alanlarda kullanılabilen, sıva altı, sıva üstü veya toprak altında kullanıma uygun özel üretim DC kablolar kullanılmaktadır. Kullanılan bu kabloların taşıdıkları akımlara göre kesitleri de değişmektedir.

2.5. Fotovoltaik Sistemlerin Kurulum Yöntemleri

Güneş panellerinin yerleştirilme şekillerine göre fotovoltaik sistemlerin kurulum yöntemleri değişiklik göstermektedir. Genel olarak sabit ve hareketli sistemler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

2.5.1. Sabit Sistemler

Bu tür sistemlerde güneş panelleri değişmeyen sabit bir açı ile bir kez yerleştirilir ve hep aynı konumda kalır. Fotovoltaik sistemin kurulduğu bölgeye göre güneşi en fazla dik açı ile alacak şekilde konumlandırılır. Yıl ve gün içerisindeki güneş ışınlarının düşme açısındaki değişimler, güneş panelinin verimlerini etkilemektedir (Dal, 2021). Şekil 2.11’de sabit kurulumlu fotovoltaik sistem PVSOL ekran alıntısı görülmektedir.



Şekil 2.11. Sabit kurulumlu fotovoltaik sistem

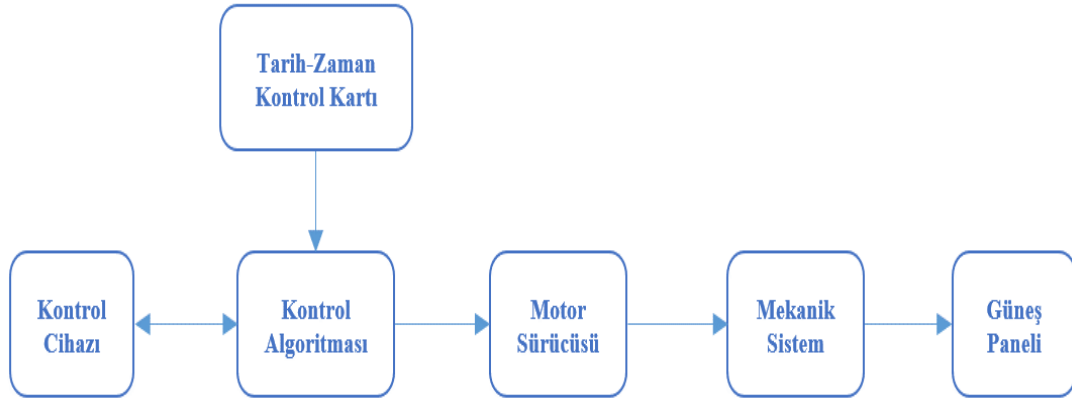
2.5.2. Güneş Takip Sistemleri

Güneş takip sistemlerinde birden fazla yöntem kullanılmaktadır. Kullanılan bu yöntemlerin temel prensibi, güneş ışınlarının panellere dik gelecek şekilde takip edilmesidir.

Sabit fotovoltaik sistemlerin verimleri genellikle %15-17 civarlarındayken güneş takip sistemleriyle maksimum güç takibi yapılarak bu verim %22,8’e kadar artırılabilir (Akdemir ve Karakaya, 2022).

2.5.2.1. Açık Çevrim Güneş Takip Sistemleri

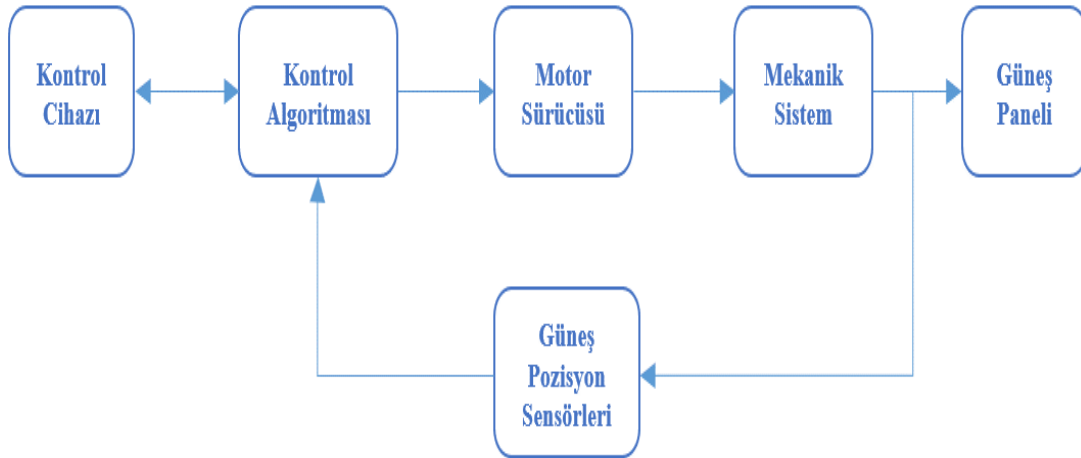
Açık çevrim güneş paneli sistemlerinde, güneşi takip edebilmek için önceden hazırlanmış bir kontrol kartı kullanılır. Kontrol kartı sayesinde gün ve yıl içerisinde değişen güneşin konum bilgilerine göre panel hareketi sağlanır. Geri bildirim söz konusu değildir. Bu nedenle güneş ışınlarının panele optimum açı ile gelip gelmediği denetlenememektedir. Şekil 2.12’de açık çevrim güneş takip sisteminin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.12. Açık çevrim güneş takip sisteminin blok diyagramı

2.5.2.2. Kapalı Çevrim Güneş Takip Sistemleri

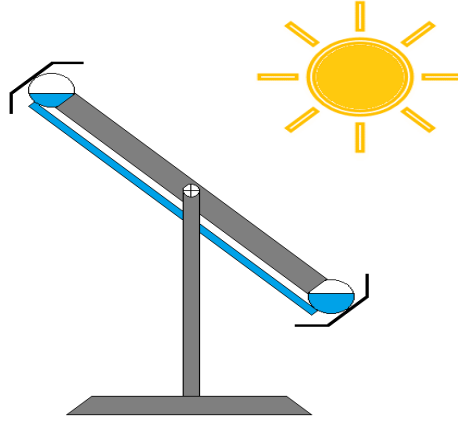
Kapalı çevrim sistemlerinde, sensörler kullanılarak güneşin konumu algılanır. Algılanan konum verileri kontrol kartı sayesinde güneş panellerini en uygun açığa ayarlar. Değişen güneş konumuna göre geri bildirim sağlanarak güneş takibi sağlanır. Şekil 2.13’te kapalı çevrim güneş takip sisteminin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.13. Kapalı çevrim güneş takip sisteminin blok diyagramı

2.5.2.3. Pasif Güneş Takip Sistemleri

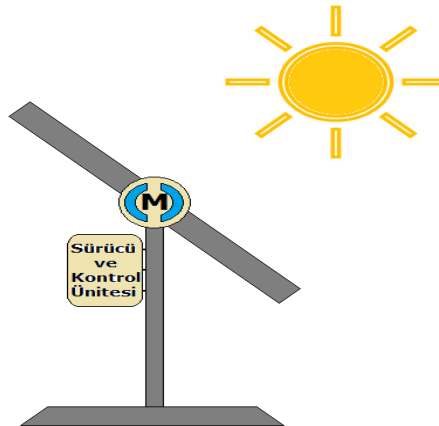
Bu tür sistemlerle güneş takibi yapabilmek için gereken hareket motor tarafından sağlanmaz. Güneş panelinin yanlarına yerleştirilen düzeneğin içerisine düşük kaynama noktasına sahip sıvı veya gaz kullanılır. Güneş gören taraf daha hızlı ısınacağından gazın genleşmesi sonucunda panelin yönü değişir (Anderson ve diğ., 2003). Şekil 2.14’te pasif güneş takip sistemi görülmektedir.



Şekil 2.14. Pasif güneş takip sistemi

2.5.2.4. Aktif Güneş Takip Sistemleri

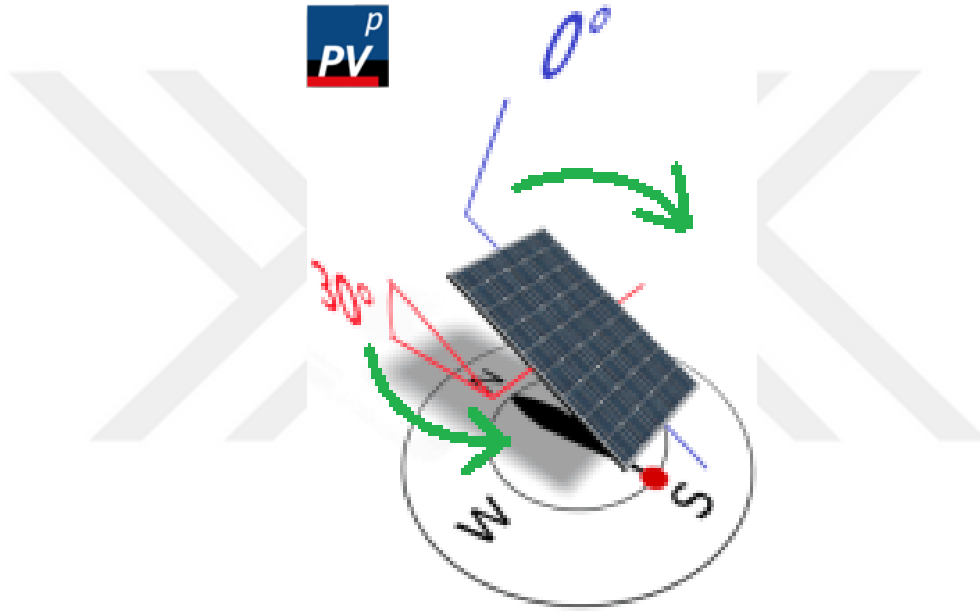
Sensörlerden gelen bilgiler veya kontrol kartlarındaki bilgiler doğrultusunda motorlar ve sürücüler ile güneş panellerinin hareketinin sağlandığı sistemlerdir. Kontrol üniteleri zamana bağlı olarak da güneş panellerinin hareketini sağlayabilir. Farklı aktif takip sistemleri bulunmaktadır (Nadia ve diğ., 2018). Şekil 2.15’te aktif güneş takip sistemi görülmektedir.



Şekil 2.15. Aktif güneş takip sistemi

2.5.2.5. Tek Eksenli Güneş Takip Sistemleri

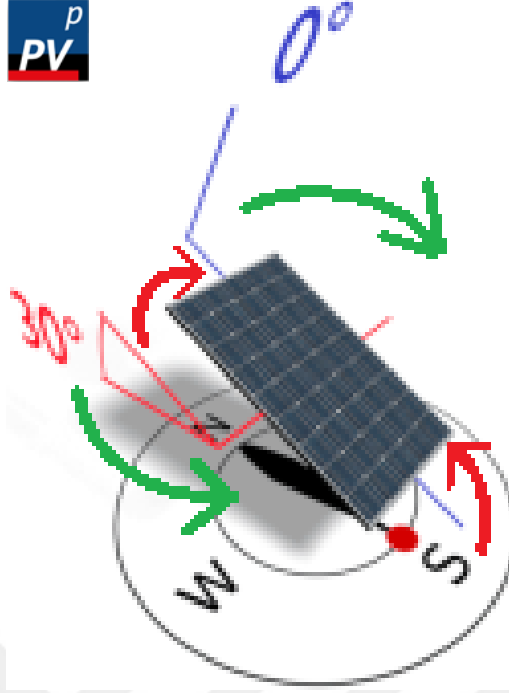
Güneş panelleri takip ettikleri eksen tipine göre sınıflandırıldıklarında iki gruba ayrılırlar. Tek eksenli güneş takip sistemleri, gün içerisinde doğu-batı yönünde değişen güneş ışınlarını takip ederek güneş panellerinin verimini artırmaktadırlar (Gündoğdu ve diğ., 2016). Tek eksenli güneş takip sistemleri, gün içerisindeki güneş ışınları değişiminin takibi için yatay eksenle (doğu-batı yönlü) 160° hareket etmektedir. Hareket eksenini tek olduğu için dikeyde 30° 'lik sabit açı ile konumlandırılmaktadır. Şekil 2.16'da tek eksenli güneş takip sistemi PVSOL ekran alıntısı görülmektedir.



Şekil 2.16. Tek eksenli güneş takip sistemi

2.5.2.6. Çift Eksenli Güneş Takip Sistemleri

Fotovoltaik istemlerden daha fazla verim elde edebilmek için hem gün içerisinde değişen güneş ışınlarının takibini doğu-batı yönünde hem de yıl içerisindeki değişen güneş ışınlarının değişimini güney-kuzey yönünde takip eden sistemlerdir. Çift eksenli güneş takip sistemleri, güneş ışınlarını en dik açıyla alabilmek için; yatay eksenle (doğu-batı yönlü) 160° hareket ederken, dikey eksenle (kuzey-güney) ise 10° - 60° arasında hareket etmektedir. Şekil 2.17'de çift eksenli güneş takip sistemi PVSOL ekran alıntısı görülmektedir. Bu sistemler, tek eksenli güneş takip sistemleriyle karşılaştırıldıklarında %18 daha fazla enerji üretebilmektedirler (Alak ve Karakaya, 2022).



Şekil 2.17. Çift eksenli güneş takip sistemi

2.6. Fotovoltaik Sistemlerde Verim

Fotovoltaik sistemlerde verimi etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bunların en başında panellerin üretiminde kullanılan malzemeler yer alır. Silikon bazlı üretilen güneş paneli hücrelerinde kullanılan yarıiletkenlerin saflık dereceleri, üretilen panelin verimini değiştirmektedir. Monokristal güneş paneli hücrelerinde kullanılan malzemeler tek tip olduğu için daha yüksek verimli panellerdir. Polikristal güneş paneli hücrelerinde kullanılan malzemeler çoklu yapıya sahip oldukları için daha düşük verimli panellerdir.

Güneş panellerinin verimleri üretim aşamasından sonra da değişiklik göstermektedir. Aynı panel farklı koşullarda kullanıldığında da farklı verim ile çalışabilmektedir. Sıcaklık, panelleri etkileyen en büyük etkidir. Güneş panelleri elektrik üretirken güneş ışığına ihtiyaç duyarlar. Aynı zamanda güneş ısıasına da maruz kalırlar. Güneş panelleri ısındıkça verimleri azalır (Selbaş ve Çetin, 2022). Panel verimini etkileyen diğer etkenlerden biri ise kısmi gölgelenmedir. Güneş paneli üzerine düşen kısmi gölgelenmeler, hücrelerde daha az elektrik üretimine neden olmaktadır. Tam gölgelenmeler ise panelin elektrik üretimini engelleyebilir. Bu gibi durumlarda fotovoltaik sistemler verim kaybına uğrar (Deniz, 2013).

Fotovoltaik sistemlerin kurulacağı yerin bulutluluk oranları, güneş panellerine düşecek ışınımı engelleyeceği için verim kaybına sebep olacaktır. Açık havalarda daha yüksek verimle çalışan güneş panelleri bulutlu ve kapalı alanlarda daha düşük verimle çalışacaktır.

Güneş panellerinin yüzey temizliği verimi doğrudan etkilemektedir. Yüzeyleri kısmi veya tamamen kirli olan güneş panellerine gelen güneş ışınları hücrelere ulaşamayacağından ya hücresel bazda ya da tüm panelde elektrik üretilmesini engelleyecektir. Sonuç olarak güneş panelinin yüzeyi ne kadar kirli ise verimini de o ölçüde azaltacaktır.

Farklı enlemlerde kurulan fotovoltaik sistemlerin verimleri de farklı olacaktır. Ekvatora daha yakın enlemlerde kurulan fotovoltaik sistemlerin verimleri daha yüksek olacaktır. Kutuplara doğru gidildikçe kurulan fotovoltaik sistemlerin verimleri ise daha düşük olacaktır. Bunun sebebi ise kutuplardan ekvatora yaklaştıkça güneş ışınları daha dik açı ile gelir ve güneş radyasyon değeri fazladır.

2.7. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Fotovoltaik sistemlerde kullanılan güneş panelleri yapıldıkları malzemelere göre farklı türlerde üretilmektedir. Elektrik enerjisi üretmek için tasarlanan bu güneş panellerinin verimini, güneş ışınım değeri, sıcaklık, karasallık, denizellik, hava kirliliği, bulutluluk oranı gibi iklim şartları ve çevre koşulları etkilemektedir. Güneş panellerinin verimlerini iyileştirmek için farklı çalışmalar yapılmaktadır. Fotovoltaik sistemlerin değişen koşullara bağlı verim analizlerinin yapıldığı literatür çalışmaları incelendiğinde;

Buni ve diğ. (2018) güneş ışınım artışının panel verimine etkisini incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada güneş radyasyonu ile güneş panelinin akım, gerilim ve verim arasındaki ilişki araştırılmıştır. Veri analizleri sonucunda, güneş ışınımı ile güneş panellerinin çıkış akımı ve verimi arasında doğru orantı olduğunu tespit edilmiştir. Güneş ışınımı arttığında, fotovoltaik hücrelerde üretilen akım ve buna bağlı olarak da güneş panelinin veriminin arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, güneş radyasyonundaki artış, çalışan parametreler üzerinde kötü bir etkiye sahip olan fotovoltaik hücre sıcaklığında artışa neden olduğu tespit edilmiştir.

Adak ve diğ. (2019) fotovoltaiik sistemlerin verim analizleri, çıkış gücünün güneş ışınlımlarına ve sıcaklığa bağılı olarak, Matlab programında incelenmiştir. Güneş panellerindeki kısmi gölgelenmeler için Matlab/Simulink ortamında eşdeğer model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu gölgelenme durumları için akım-gerilim ve güç-gerilim grafikleri çıkarılmıştır. Sonuç olarak değişen güneş ışınlımları güneş panellerinde üretilen elektrik enerjisini doğru orantılı olarak etkilemiştir. Ve verim de güneş ışınlımına bağılı doğru orantılı değişmiştir.

Osman ve diğ. (2020) güneş ışınlımı, gölgelenme, toz ve coğrafi konuma bağılı olarak fotovoltaiik sistemlerin performanslarını incelemişlerdir. Artan enerji talebini karşılamada iyi bir alternatif olarak gördükleri yenilenebilir enerji kaynağından fotovoltaiik sistemler ile elektrik üretmenin, yapılan hesaplamalar ile gerçekleştirilen kurulumlar arasında tutarsızlıklar belirlemişlerdir. Fotovoltaiik sistemlerde kullanılan güneş panellerinin olması gereken verim değerlerini karşılamadıklarını tespit etmişlerdir. Güneş panellerinin verimlerini, gölgelenme, toz, güneş ışınlımı ve coğrafi konum gibi parametreleri hesaba katarak analiz ettiklerinde farklı sonuçlara ulaşmışlardır.

Rodziewicz ve diğ. (2021) güneşli ve bulutlu günlerde fotovoltaiik sistemlerin verim analizlerini incelemişlerdir. Güneş radyasyonu spektrum dağılımındaki değişikliklerin çeşitli fotovoltaiik modüllerin özellikleri üzerindeki etkisini, özellikle saçılmış bileşene vurgu yaparak sunmuşlardır. Parlak, güneşli ve bulutlu yaz günlerinde çeşitli yarı iletken soğuruculara dayalı fotovoltaiik modüllerin görelı verimliliklerini karşılaştırmışlardır. Ek olarak, modül eğim açısının yüzeye gelen dağılık bileşenin büyüklüğü ve modülün verimliliğı üzerindeki etkileri incelemiştir. Çeşitli hava koşulları için güneş spektrumları, SolarSpectrum veya SMARTS2 gibi özel bilgisayar programları kullanılarak tahmin etmişlerdir.

Koo ve diğ. (2013) iklimsel ve çevresel şartlardan dolayı değişiklik gösteren güneş radyasyonunu, yapay sinir ağı kullanarak yüksek oranda doğru tahmin yapan, Aylık Ortalama Günlük Güneş Radyasyonu (MADSR) modeli ile verim analizini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada, yapay sinir ağı, çoklu regresyon analizi ve genetik algoritma ile birleştiren hibrit bir metodoloji olan ileri durum tabanlı akıl yürütme modelini kullanarak, ölçülen MADSR verileri olmadan konum için bir MADSR tahmin modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında kullandıkları ileri durum tabanlı akıl

yürütme modelinin ortalama tahmin doğruluğu %95,69 ile çok yüksek ve tahmin doğruluğunun standart sapması %3,67 çıkmıştır.

Demir ve Özkan, (2019) Türkiye'nin Konya ilinde yaptıkları çalışmada, sıcaklığın ve zenit açısının fotovoltaiik paneller üzerindeki verimlerini incelemişlerdir. Güneş enerjisi en çok kullanılan kaynaklardan birisidir. Fotovoltaiik panellerin verimini etkileyen faktörlerde en önemli iki parametresi panel sıcaklığı ve zenit açısının değeridir. Bu iki parametrenin panel verimine olan etkisi Konya bölgesinde kurulan bir deney düzeneği üzerinde araştırılmışlardır. Yapılan çalışmada 4 adet eşdeğer fotovoltaiik panel kullanmışlardır. Panellerin sıcaklığını kontrol etmek için arka yüzeyine yerleştirilmiş alüminyum kanalcıklardan soğutulmuş su geçirmişlerdir. Mevsimlik açı değerleri ise farklı şekilde konumlandırılmış paneller ile ölçülmüşlerdir. Yapılan deneysel test düzeneğinden elde edilen veriler sonucunda soğutma yapılan panellerde %11,17 çıkış gücünde artış gözlemlenmişlerdir. Zenit açı ayarı yapılan panellerde ise sabit panele göre %7,49 daha fazla enerji ürettiğini gözlemlemişlerdir. İki parametrenin uygun şekilde ayarlanması sonucunda deneysel düzende kullandıkları panellerde %17,47 oranında daha fazla enerji ürettiğini tespit etmişlerdir.

Bhol ve diğ. (2015) farklı çevresel faktörlerin fotovoltaiik güneş panelinin performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Fotovoltaiik güneş panellerinin, toz, renk, ısınım, gölgeleme gibi farklı çevresel faktörlere göre değerlendirerek her durumdaki akım-gerilim ve güç-gerilim grafiklerini elde etmişlerdir. Elde ettikleri deneysel veriler sonucunda sistemin verimini ve güç çıkışını hesaplamışlardır.

Dubey ve diğ. (2013) güneş pillerinin çalışma sıcaklığını ve fotovoltaiik sistemlere etkilerini incelemişlerdir. Genel olarak güneş pillerinin performans oranlarının, sıcaklıktan dolayı enlemle birlikte azaldığını tespit etmişlerdir. Ancak güney And Dağları, Himalaya bölgesi ve Antarktika gibi yüksek rakımlı bölgeler düşük sıcaklık nedeniyle daha yüksek performans oranlarına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Sıcaklığa karşı daha az duyarlı olan fotovoltaiik modüllerin, yüksek sıcaklık bölgeleri için tercih edilir ve sıcaklığa karşı duyarlı olan fotovoltaiik modüllerin ise düşük sıcaklık bölgelerinde daha etkili olacağını tespit etmişleridir.

Ye ve diğ. (2013) Singapur'daki seçili fotovoltaik sistemleri, modül sıcaklığı, çatı malzemesi, havalandırma, modül çerçevesi ve diğer çevresel koşullar dahil olmak üzere ayrıntılı olarak analiz etmişlerdir. Farklı proje sahalarında modül sıcaklığının varyansının, ortam sıcaklığının varyansından çok daha büyük olduğunu tespit etmişlerdir.

Narkwatchara ve diğ. (2020) yaptıkları çalışmada, özellikle tropikal iklimlerle ilgili faktörler olmak üzere temel hesaplamalarda kullanılan ortak parametrelere ek faktörleri araştırmışlardır. Ayrıca, tropikal bir iklim bölgesinde fotovoltaik sistemlerden elektrik üretiminin verimliliğine yönelik Partikül Madde (PM) 2,5 mikron (PM_{2,5}), ortam sıcaklığı ve diğer faktörlerin etkisini de araştırmışlardır. Parametreleri bir veri kaydedici kullanılarak toplamış ve analiz etmişlerdir. Sonuçlar, ortam sıcaklığı ve PM_{2,5} faktörlerinin tropik iklim bölgesinde elektrik üretimi üzerinde doğrudan olumsuz bir etkiye neden olduğunu göstermiştir.

Bergin ve diğ. (2017) Farklı coğrafyalardaki atmosferik parçacıkların değişen güneş ışıınımlarını ve yüksek düzeyde toz veya partikül madde bulunan yerlerde PV sistemlerinin verimliliğini incelemişlerdir. Özellikle Hindistan, Çin ve Arap Yarımadası'nın geniş alanları dahil olmak üzere yüksek düzeyde toz veya antropojenik partikül kirleticilere maruz kalan bölgelerdeki fotovoltaik sistemlerin incelemelerini yapmışlardır. Antropojenik kaynaklarla (örneğin, fosil ve biyokütle yakıt yanması) ilgili toz ve PM'nin güneş enerjisi üretimi üzerindeki etkisini tahmin etmek için saha ölçümlerini ve küresel modellemeyi birleştirmişler. Sonuçlar, güneş enerjisi ile elektrik üretiminin şu anda bu bölgelerde ~%17-25 oranında azaldığını tespit etmişlerdir. Partikül maddelerin mevcut güneş enerjisi üretim kapasitesini, Hindistan ve Çin'de sırasıyla ~1 GW ve ~11 GW azalttığını tespit etmişlerdir. Partikül maddelerin güneş enerjisi üretimlerini azalttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Al-Bashir ve diğ. (2020) güneş ışıınının, hücre sıcaklığının ve rüzgâr hızının Ürdün'deki Haşimi Üniversitesi'nde inşa edilen bir fotovoltaik sistemin performansı üzerindeki etkilerini araştırmak için analitik bir model önermişlerdir. Sistemleri şebekeden bağımsız bağlantılı olup, tilt açılarını periyodik ve manuel olarak değiştirmişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları modeli, deneysel verilere dayalı olarak üretilen gücü tahmin etmek için Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon kullanılarak geliştirmişlerdir. Çalışmalarında, tahmin

parametreleri ve üretilen güç arasındaki doğrusal bir ilişkinin, bildirilen diğer birçok çalışmayla aynı fikirde olduğunu gözlemlemişlerdir. Öngörülen her bir parametrenin etkisi, her bir parametre arasındaki iyi bilinen ilişki ve cebirsel işaretler yoluyla tahmin edilen güç ile uyum içinde bulunduğunu tespit etmişlerdir.

Li ve diğ. (2017) güneş pillerinin veriminin sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiğini ve sıcak bölgelerdeki PV sistemlerin sıcaklığı düşürüldüğünde verimlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Güneş pillerinin soğutma potansiyelinden tam olarak yararlanmak için, mevcut silikon güneş pillerinin termal radyasyon ve güneş soğurma özelliklerini deneysel olarak karakterize etmişlerdir ve bu tür deneysel karakterizasyon temelinde, eşzamanlı olarak ışınlı soğutma gerçekleştirirken aynı zamanda güneş ışığını seçici olarak kullanılan kapsamlı bir fotonik yaklaşım önermişlerdir. Özellikle, alt bant aralığı ve ultraviyole rejimlerinde güneş spektrumunu önemli ölçüde yansıtırken, termal emisyon yoluyla ısıyı güçlü bir şekilde yayan tek boyutlu fotonik filmlerden yapılmış bir fotonik soğutucu tasarlamışlardır. Bu fotonik soğutucuyu bir güneş paneline uygulamanın hücre sıcaklığını 5,7 °C'nin üzerinde düşürebileceğini gözlemlemişlerdir. Bu fotonik soğutucu hem verimliliği hem de kullanım ömrünü iyileştirmek için mevcut fotovoltaik modüllerde kolayca uygulanabilir olduğunu tespit etmişlerdir.

Poudyal ve diğ. (2011) deniz seviyesinden, 72 m, 800 m, 1350 m, 2850 m yükseklikte, Biratnagar (26,45°K, 87,27°D), Pokhara (28,22°K, 83,32°D), Katmandu (27,72°K, 85,32°D) ve Lukla (26,69°K, 86,73°D) bölgelerinin güneş radyasyonlarını karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, toplam maksimum güneş radyasyonu 704,51 W/m² ile Biratnagar, 815,97 W/m² ile Pokhara, 777,27 W/m² ile Kathmandu ve 914,03 W/m² ile Lukla'da gözlemlemişlerdir. Ayrıca, yıl boyunca, günlük ortalama güneş enerjisi 4,95, 5,44, 5,19 ve 4,61 kWh/m² değerleri sırasıyla Biratnagar, Pokhara Katmandu ve Lukla'da bulmuşlardır.

Madhavan ve Ratnam, (2021) Hindistan'ın güney yarımadasında bulunan Gadanki'de (13,48° K, 79,18° D) gözlemlenen halka şeklindeki güneş tutulmasının (26 Aralık 2019) yüzey radyasyonu ve fotovoltaik (PV) enerji üretimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Spektral ve geniş bant ışınlımlarının güneş kararmasına duyarlı olduğu ve tutulma sırasında güneşin örtülmemiş alanının kesrine benzeyen eğriliği takip ettiğini bulmuşlardır. Farklı dalga boylarındaki Dağınık Yatay Işınlım (DHI)'daki sapma oldukça

hassas olsa da Küresel Yatay Işınım (GHI)'daki ve Doğrudan Normal Işınım (DNI)'daki sapmaların tutulma periyodu sırasında farklı dalga boyları arasında karşılaştırılabilir olduğunu bulmuşlardır. Karanlığın en yoğun anında hem GHI hem de DNI'daki azalma, 414 nm'den 671,2 nm'ye yükselen bir eğilim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, geniş bant ışıınımlarındaki sapma, en yüksek karartmada farklı azalma büyüklükleriyle birlikte %72 ile %98 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Bunun dışında, oluşum zamanı, güneş perdelemesinin şiddeti ve hâkim gökyüzü koşullarının yüzey radyasyon bileşenleri üzerinde değişen etkiler gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Başay ve diğ. (2019) yaptıkları çalışmada, Bursa ili, Orhaneli ilçesi, Sırl Mahallesiinde kurulacak Güneş Enerji Santrali (GES) için fotovoltaiik panellerin yapılarına göre seçiminden, aylık ve yıllık ortalama güneş ışıınının ne kadar olacağı ile gölgelenme durumundan, bölgeye düşecek olan sıcaklık miktarının verime yapacağı olumsuz etkiden, Güneş Enerji Santralinde kullanılacak ekipmanların uyumluluğundan, gelen güneş ışıınının açısına göre panellerin konumlandırılmasını analiz etmişlerdir. Güneş ışıınlarının panellere dik açıyla düşmesini sağlayan sistem kurulduğunda verimin en yüksek olduğunu, 32° eğim açılı sistem kurulduğunda sistem veriminin yaklaşık %12 azaldığını tespit etmişlerdir. Araziye paralel bir modül kurulumu yapıldığında (Arazinin eğimi %10 olarak kabul edilmiştir) ise verimin %20 azaldığını tespit etmişlerdir.

Singh ve diğ. (2022) Hindistan'daki altı farklı iklim bölgesi için bina ile bütünleşmiş ve bağımsız montaj yöntemleriyle fotovoltaiik teknolojilerinin performansı incelemişlerdir. Kristal silikon, bakır indiyum diselenid ve kadmiyum tellurid fotovoltaiik hücre teknolojisi ile önerilen bir PVGIS programını kullanarak, 2 kWp şebekeye bağlı PV sisteminin aylık enerji üretim potansiyelini ve kayıplarını değerlendirmişlerdir. Değerlendirmeden, performans parametresini tahmin etmişlerdir. Enerji sapması, performans açısından en iyi PV teknolojisinin seçilmesi önermişlerdir. 90°'de PV teknolojilerinin potansiyel üretimi, bulunan enlemle karşılaştırıldığında %41 (sıcak ve nemli) ile %64 (soğuk ve güneşli) arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. 90°'de soğuk ve güneşli, soğuk ve bulutlu durumunda, bakır indiyum diselenitin üretim performansı binayla bütünleşik ve bağımsız montaj yöntemlerinde daha iyi bulunduğunu tespit etmişlerdir. Sistemdeki yüzde kaybı, soğuk ve güneşli durumunda minimum, %17 ile

%25 arasında, sıcak ve nemli için maksimum ve önerilen PV teknolojileri için %23,2 ile %33,4 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Øgaard ve diğ. (2020) Norveç'te kurulu gücü 3,3 MW olan bir PV santralin verim analizlerini; karlı, değişken hava koşulları, sıcaklık, düşük ışık ve güneş ışıınım değişimleri yönünden incelemişlerdir. Toplam kurulu gücü 3,3 MW olan Norveç'teki fotovoltaik santral incelemelerinde sistem üzerindeki kar, düşük ısı ve sistematik ışıınım farklılıklarının kararsızlığa yol açtığını tespit etmişlerdir. Kararsızlığa yol açan bu etkileri filtreleyerek yapılan ölçümlerde performansın standart sapmasının azaldığını tespit etmişlerdir. Analizler sonucunda, donanım maliyetlerini artırmadan fotovoltaik izleme sistemlerinin güvenilirliğini artırmanın iki yoluna vurgu yapmışlardır. Bunlardan birincisi, uygun bir performans metriği seçilerek daha iyi güvenilirlik elde edilebilir. İkincisi ise performans ölçütünün değişkenliği, standart literatür eşiklerini kullanmak yerine özellikle değişkenliğin kaynağını hedefleyen filtreler kullanılarak azaltılabilir olduğunu belirlemişlerdir.

Liu ve diğ. (2021) binalarla bütünleşik fotovoltaik sistemlerin kullanımını artırmak için yüksek güneş ışıınımına sahip bölgelerde birçok açıdan fizibilitesini ve uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Özel olarak, bu makalede öncelikle binalarla bütünleşik fotovoltaik sistemlerin uygulama avantajlarını binaların enerji temini ve estetik değeri açısından araştırmaktadırlar. Yüksek güneş ışıınımına sahip bölgelerde binalarla bütünleşik fotovoltaik sistemlerin performansını etkileyen çeşitli faktörleri (örneğin PV modülü sıcaklığı, güneş radyasyonu yoğunluğu, PV modülü yönü ve eğim açısı, PV modülü türleri ve invertör gibi), bağımsız olarak analiz etmişlerdir. Binalarla bütünleşik fotovoltaik sistemlerin yüksek güneş ışıınımına sahip bölgelerde uygulanabilirliğini, enerji verimliliğini, çevresel fayda ve ekonomik performans açısından sistematik olarak değerlendirmişlerdir.

Li ve diğ. (2022) yaptıkları çalışmada, göl ve kara arasındaki hava sıcaklığındaki farkın fotovoltaik enerji üretiminin geliri üzerindeki etkisini karşılaştırmışlar ve analiz etmişlerdir. Fotovoltaik enerji üretimi, hava sıcaklığı ve güneş radyasyonu arasındaki fonksiyonel denklemi oluşturmuşlardır. Oluşturdukları bu denklem, hava sıcaklığı, güneş radyasyonu ve fotovoltaik enerji üretimi arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur.

Pero ve diğ. (2021) fotovoltaik sistemlerin verimini, sıcaklık, güneş ışıması, kar, kirlilik ve rüzgâr hızı gibi etkilerin dışında, yağmurun etkisini hesaba katarak incelemişlerdir. Yapılan çalışmada, Avrupa bağlamındaki ılıman iklimlere odaklanılarak hem teorik hem de deneysel bir bakış açısı altında gerçekleştirilen, kristal silikon teknolojisinin performansları üzerindeki yağmur etkisinin ayrıntılı bir değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları umut verici bulmuşlardır ve yağmurun genel etkisinin fotovoltaik sistemlerin enerji verimliliği üzerinde, özellikle termal ve optik nedenlerle, ihmal edilemez olumlu etkilere sahip olabileceğini doğrulamışlardır.

Castillejo-Cuberos ve Escobar, (2020) çalışmalarında, Şili'deki sekiz yerde, kısa vadeli güneş radyasyonu değişkenliğini iyi dengelenmiş altı ölçüm kullanarak değerlendirmek için birkaç yıl boyunca 1 dakikalık çözünürlük verilerini analiz etmişlerdir. Elde edilen bilgileri karşılaştırıp, aralarındaki sonuçları kıyaslamak için korelasyonlar geliştirmişlerdir. Ek olarak, yüksek hızlı geçici olayları analiz edip, güneş kaynağını statik ve dinamik olarak kalitesine göre değerlendirmek için yeni bir ölçüm tanımlamışlardır.

Lin ve Ravindra, (2020) güneş pili hücrelerinin panel alt sıcaklık etkilerini ve 80-380 °K aralığında güneş panellerinin performanslarını incelemişlerdir. Güneş pili performansını, kısa devre akım yoğunluğu, açık devre voltajı, doldurma faktörü ve güç dönüşüm verimliliği gibi çeşitli fotovoltaik parametreler dikkate alınarak değerlendirmişlerdir. Farklı özelliklere veya yapıya sahip güneş pilleri için güneş pili parametrelerinin sıcaklığa bağımlılığının ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasıyla, olumsuz ortamlarda bu hücrelerde iyileştirmek için etkili bir yolun gerçekleştirilebileceğini tahmin etmişlerdir.

PVSOL programı, gerçek iklim verilerine dayanarak kullanıcıların çeşitli analizler yapmasına imkân tanımaktadır. Dolayısıyla bu iklim verileri seçilen konuma göre değişmektedir. Bu çalışmada seçilen konumların iklim verileri 1991-2010 tarihleri arasındaki değerlerdir. PVSOL programı, bu iklim verilerini kullanarak seçilen bölgelerin gelecek yıllara ait ortalama güneş ışıınım, ortalama sıcaklık değerlerini ve gölgelenme durumlarını belirlemektedir. Elde edilen bu veriler doğrultusunda, kurulacak santrallerin yirmi yıllık veri analizleri gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'nin dört farklı coğrafi bölgesine kurulan aynı özelliklere sahip 250 kWp (Kilo Watt Peak)'lik güneş santralleri, PVSOL programı kullanılarak analiz edilmiştir. Kurulacak santral modellerinde, piyasada yaygın olarak kullanılan polikristal güneş panelleri kullanılmıştır.

Bu santral modellerinden, enlem ve yükseltiye baēlı olarak yıllık elektrik enerjisi üretim verimleri elde edilmiştir. Enleme baēlı yıllık ortalama güneş ışı nım değ erinin ve yükseltiye baēlı olarak da sıcaklığ ın elektrik üretimine etkisi incelenmiştir. Ayrıca, kurulan santrallerin maliyet analizleri yapılarak amortisman ve kâr süreleri karşılaştırılmıştır.



3. MALZEME VE YÖNTEM

Güneşten termal ve fotovoltaik olmak üzere iki yöntemle elektrik üretilmektedir. Termal yöntemde, güneşin ısıttığı su buharı kullanılmaktadır. Fotovoltaik yöntemde ise güneş ışınlarının yarı iletkenlerdeki serbest elektronları hareket ettirmesi prensibine göre elektrik üretilmektedir. Fotovoltaik sistemlerde monokristal, polikristal, ince film, esnek ve saydam güneş panelleri kullanılmaktadır.

Yapılan bu bilimsel çalışmada, enlem değerlerinin fotovoltaik sisteme etkilerini araştırmak için Türkiye'nin en güneyinde bulunan Hatay ili ve en kuzeyinde bulunan Sinop ili seçilmiştir. Seçilen bu iki il arasındaki enleme bağlı güneş ışını geliş açısının fotovoltaik sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Yükseltinin fotovoltaik sisteme etkilerinin araştırılması için ise Türkiye'de yaklaşık aynı boylam değeri üzerinde bulunan fakat yükselti farkları çok olan, doğuda Erzurum ili, batıda ise Çanakkale ili seçilmiştir.

Hatay, Sinop, Erzurum ve Çanakkale illerinde PVSOL programı kullanılarak aynı özelliklere sahip dört santral modellenmiştir. Modellemesi gerçekleştirilen bu santrallerin, gerçek iklim verileri kullanılarak analizleri yapılmıştır.

3.1. Çalışmada Kullanılan Ekipmanlar ve Özellikleri

Bu bilimse çalışma Türkiye'nin dört farklı bölgesinde aynı özelliklere sahip güneş enerji santralleri PVSOL programı yardımıyla modellenerek analiz edilmiştir. Modellemesi yapılan santrallerde güneş panelleri, evirici (invertör), koruma elemanları ve diğer ekipmanlar bulunmaktadır. Bu bölümde kullanılan ekipmanlarla ilgili bilgilere değinilmiştir.

3.1.1. Güneş Paneli

Güneş panelleri, fotovoltaik sistemlerdeki elektrik enerjisinin üretildiği kısımdır. Güneş panellerinde doğru akım üretilmektedir. PVSOL programında tasarlanan santrallerin her birinde, 1000 adet Solar Energy S.A SE 250/60P Polikristal güneş panelleri kullanılmıştır. Tablo 3.1'de kullanılan güneş panellerinin bilgileri görülmektedir.

Tablo 3.1. Santrallerde kullanılan panel bilgileri

Panel Bilgileri	Açıklama
Üretici	Solar Energy S.A.
PV Modülü	SE 250/60 P (v1)
Hücre Tipi	Polikristal Silisyum
Hücre Sayısı	60 adet
By-pass Diyot Sayısı	3 adet
Genişlik	992 mm
Yükseklik	1642 mm
Derinlik	40 mm
Çerçeve Genişliği	40 mm
Ağırlık	18 kg
MPP Gerilimi	30,5 V
MPP Akımı	8,2 A
Nominal Çıkış Gücü	250 W
Verim	%15,35
Açık Devre Gerilimi	38,7 V
Kısa Devre Akımı	8,7 A

3.1.2. Evirici (İnvertör)

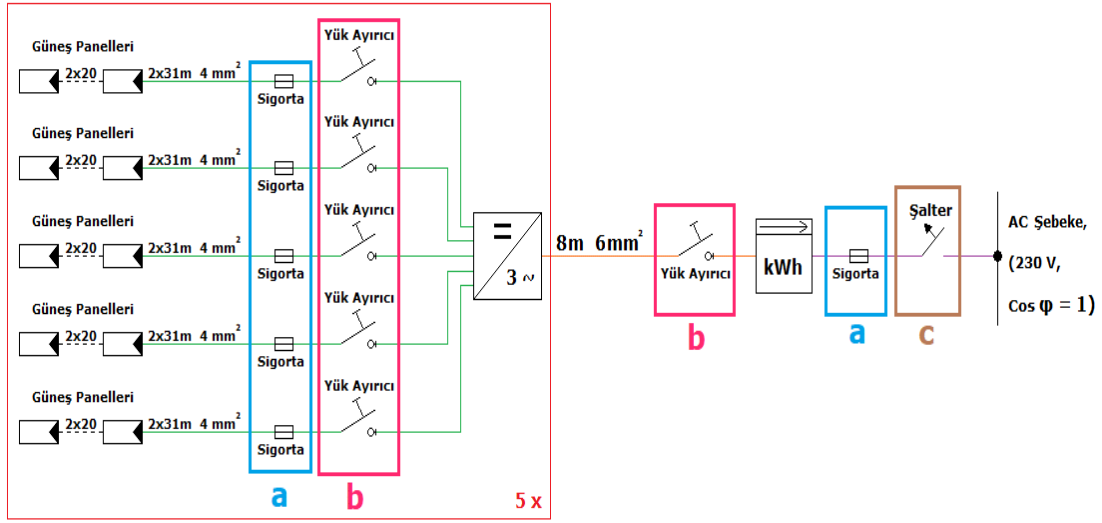
Eviriciler, güneş panellerinde üretilen doğru akımı alternatif akıma çeviren elemanlardır. PVSOL programında tasarlanan santrallerin şebekeye bağlantısı için, SMA Solar Technology AGI Sunny Tripower CORE 1 modelinden beşer adet invertör kullanılmıştır. Güneş enerji santrallerinde kullanılan invertör 3 fazlıdır ve maksimum görünür gücü 50 kVA'dır. Minimum çalışma gerilimi 150 volt ve maksimum çalışma gerilimi 800 voltur. DC giriş sayısı 12 adet ve MPP izleyici sayısı 6 adettir. Tablo 3.2'de kullanılan invertörlerin bilgileri görülmektedir.

Tablo 3.2. Santrallerde kullanılan invertör bilgileri

İnvertör Bilgileri	Açıklama
Üretici	SMA Solar Techonology AG
İnvertör	Sunny Tripower CORE1 (v1)
DC Nominal Çıkış	51 kW
AC Nominal Güç	50 kW
Maksimum DC Güç	51 kW
Maksimum AC Güç	50 kVA
Bekleme Konumundaki Tüketim	4,8 W
Gece Tüketimi	4,8 W
Minimum Giriş Gücü	120 W
Maksimum Giriş Akımı	120 A
Maksimum Giriş Gerilimi	1000 V
Nominal DC Gerilimi	670 V
Faz Adeti	3 Faz
DC Giriş Sayısı	12 Adet
MPP İzleyici Sayısı	6 Adet
Maksimum Giriş Akımı	20 A
Maksimum Giriş Gücü	16 kW
Minimum Çalışma Gerilimi	150 V
Maksimum Çalışma Gerilimi	800 V

3.1.3. Koruma Elemanları

Şekil 3.6’da fotovoltaik sistemlerde kullanılan koruma elemanları görülmektedir. ‘a’ ile gösterilen koruma elemanı sigortadır. Sigortalar, oluşabilecek yüksek akımlara karşı hattı koruma görevi yapmaktadırlar. ‘b’ ile gösterilen kısımlardaki elemanlar ise yük ayırıcılarıdır. Yük ayırıcıları, yük altındaki akımların güvenli bir şekilde ayrılmasını, kısa devre akımlarına ve aşırı yük akımlarına karşı güvenli koruma sağlamaktadırlar. ‘c’ ile gösterilen koruma elemanı ise şalterdir. Şalterler, devrede açma kapama işlemlerini yaparlar. Ayrıca aşırı yük ve kısa devre durumlarında koruma görevi yaparlar. Fotovoltaik sistemlerde, eviriciden önce DC koruma elemanları, eviriciden sonra ise AC koruma elemanları kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. Santrallerde kullanılan koruma elemanları ve bağlantı şeması

3.1.4. Kullanılan Malzemeler

PVSOL programında kurulan her bir santral modellemelerinde; 1000 adet SE 250/60P model PV modülü, 5 adet Sunny Tripower marka invertör, 1 adet elektrik sayacı, 1550 m 4 mm² doğru akım kablosu (dizi kablosu), 40 m 3x6 mm² alternatif akım kablosu, 51 adet sigorta, 1 adet devre kesici ve 55 adet yük kesici kullanılmıştır. Kullanılan malzemeler ve özellikleri Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Santrallerde kullanılan malzeme bilgileri

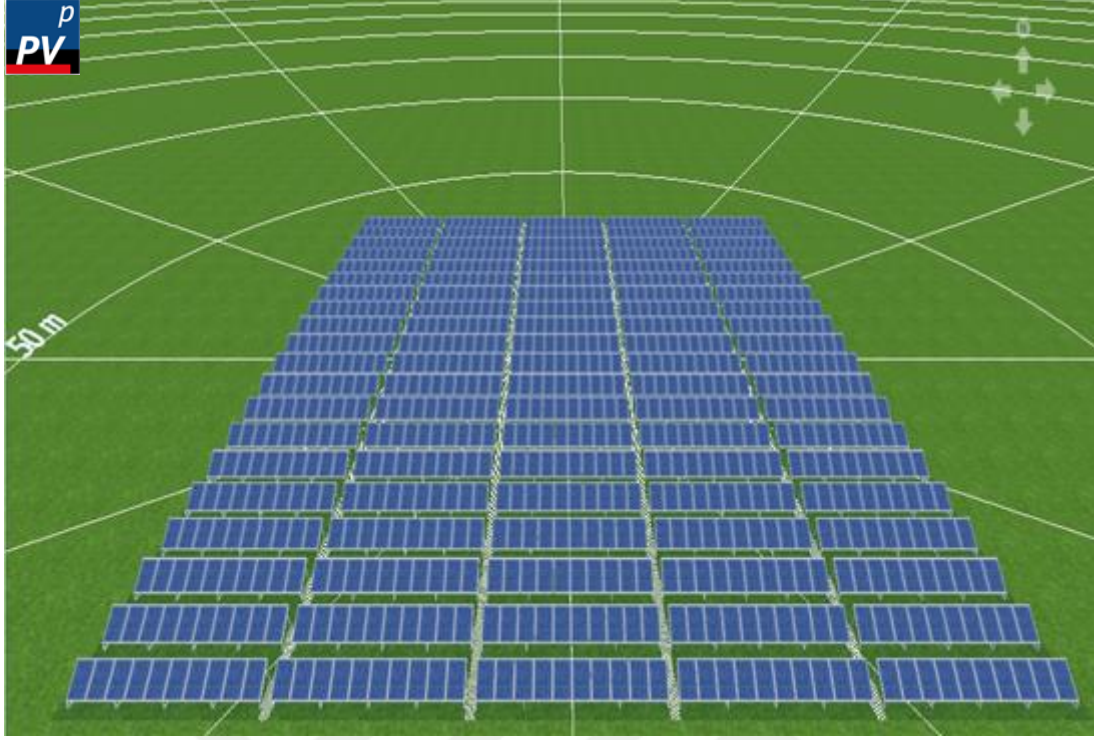
Tür	Ad	Miktar	Birim
PV Modülü	SE 250/60P	1000	Adet
İnvertör	Sunny Tripower ORE1	5	Adet
Sayaç	Üretim Sayacı	1	Adet
Kablolar	Dizi Kablosu 4 mm ² Bakır	1550	m
Kablolar	AC Kablo 3 Fazlı 6 mm ² Bakır	40	m
Bileşenler	Sigorta	51	Adet
Bileşenler	Devre Kesici	1	Adet
Bileşenler	Yük Kesinti Anahtarı	55	Adet

3.2. PVSOL Programı

1998 yılında Valentin Software firması tarafından piyasaya sürülen PVSOL simülasyon programı, mühendislerin, tasarımcıların, tesisatçıların, bilir kişilerin ve yatırımcıların fotovoltaiik sistem tasarımlarını yapmalarına olanak sağlamaktadır. PVSOL programı ile fotovoltaiik sistemlerin iki boyutlu veya üç boyutlu tasarımı yapılabilmektedir. PVSOL’de modellenen fotovoltaiik sistemlerdeki güneş panellerinin kısmi ve tam gölgelenme durumlarındaki analizleri yapabilmektedir. Ayrıca, iklim ve coğrafi veriler kullanılarak cihazlar, batarya sistemleri, elektrikli araçlar ve şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız şebeke sistemleri de tasarlanabilmektedir. Bunlara ek olarak, dinamik bir simülasyon programı olan PVSOL kullanılarak sistemlerin görsel ve grafiksel verileri de elde edilebilmektedir (Karuniawan, 2021).

3.3. Fotovoltaiik Santral Modelleri

PVSOL programı kullanılarak, Türkiye’nin Erzurum, Çanakkale, Sinop ve Hatay illerinde aynı özelliklere sahip dört tane güneş santrali tasarlanmıştır. Bu santrallerin her birinde, 1000 adet Solar Energy S.A SE 250/60P Polikristal güneş panelleri kullanılmıştır. Paneller, 53 m en ve 62 m boya sahip toplamda 3286 m²’lik bir araziye kurulacak şekilde modellenmiştir. Kurulum ve gerekli bakımların yapılabilmesi için 50 cm arazi kenarlarına ve 10 m arayla panel aralarına yollar yapılmıştır. Panel montaj açısı 30°’dir. Paneller arası mesafe ise 1,636 m’dir. Sistemin şebekeye bağlantısı için, SMA Solar Technology AGI Sunny Tripower CORE 1 modelinden beşer adet invertör kullanılmıştır. Her bir santralin gücü 250 kWp’dir. Santral modelleri, 3 fazlı, faz-nötr arası gerilim değeri 230 volt şebekeye bağlı sistemdir. Sistemde kullanılan panellerin verim kayıpları dikkate alınmıştır. Sistemlerin kurulum maliyetleri kWh başına 1\$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplamaların yapıldığı zamandaki güncel dolar kuru, 1\$ = 8,88₺’dir. Teşvik ödemeleri 01.07.2021-31.12.2025 tarihleri arasında, güneş enerjisine dayalı üretim tesisi için uygulanacak olan 0,4 ₺/kWh değeri hesaplamalarda kullanılmıştır. Santral modeli kurulan her ilin coğrafi bölgesindeki elektrik dağıtım şirketleri adlarında elektrik tarifeleri, 0,4 ₺/kWh değerinden oluşturulmuş ve ödemeler bu tarifeler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Santrallere güvenlik ve işletme giderleri olarak aylık 2000 ₺ gider gösterilmiştir. PVSOL programından alınan santral görünüşü Şekil 3.2’deki gibidir.



Şekil 3.2. Güney cephesinden santral görünüşü

3.3.1. Erzurum Güneş Enerji Santrali

Farklı coğrafi bölgelere kurulacak dört santralden birincisi olan Erzurum Enerji Üretim Santralinin ortalama yükseltisi 1900 m'dir. Koordinatları ise 39° kuzey enlemi ve 41° doğu boylamıdır. Yıllık ortalama güneş ışınım değeri 1456 kWh/m²'dir. Yıllık ortalama sıcaklığı 5 °C'dir. Şekil 3.3'de Erzurum santraline ait bilgiler yer almaktadır.

System Type, Climate and Grid

Type of System
3D, Grid-connected PV System

Type of Design
☒ Use 3D Design

Climate Data

Country	Location	Latitude	Longitude	Time zone	Time Period	Resolution	Annual sum of global irradiation	Annual Average Temperature
Turkey	Erzurum	39° 55' 1" (39,92°)	41° 16' 1" (41,27°)	UTC+2	1991 - 2010	Hourly	1456 kWh/m ²	5 °C

Simulation Parameters

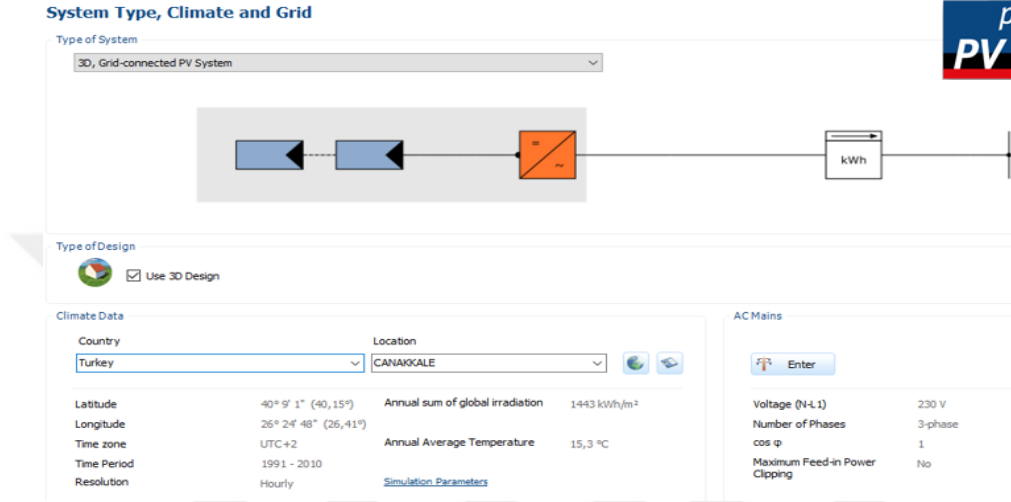
AC Mains

Parameter	Value
Voltage (N-L1)	230 V
Number of Phases	3-phase
cos φ	1
Maximum Feed-in Power Clipping	No

Şekil 3.3. Erzurum santraline ait PVSOL programı ekran görüntüsü

3.3.2. Çanakkale Güneş Enerji Santrali

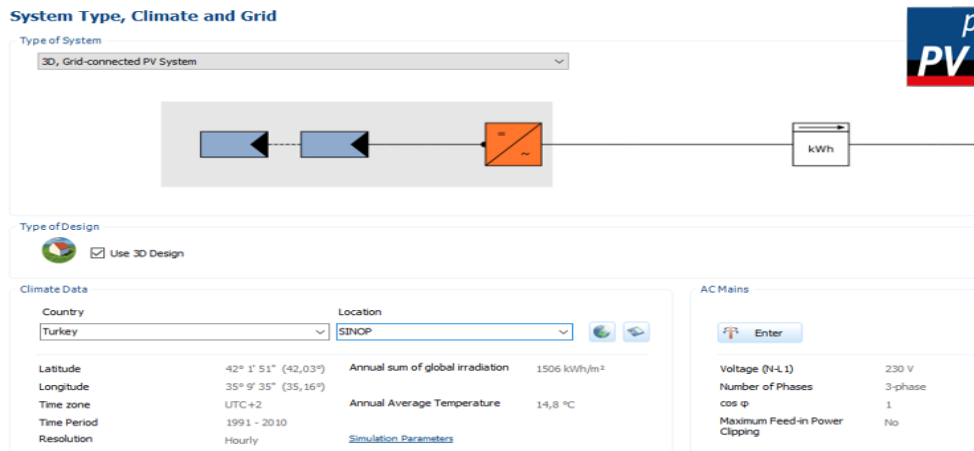
Farklı coğrafi bölgelere kurulacak dört santralden ikincisi olan Çanakkale Enerji Üretim Santralinin ortalama yükseltisi 12 m'dir. Koordinatları ise 40° kuzey enlemi ve 26° doğu boylamıdır. Yıllık ortalama güneş ışınlam değeri 1443 kWh/m²'dir. Yıllık ortalama sıcaklığı 15,3 °C'dir. Şekil 3.4'te Çanakkale santraline ait bilgiler yer almaktadır.



Şekil 3.4. Çanakkale santraline ait PVSOL programı ekran görüntüsü

3.3.3. Sinop Güneş Enerji Santrali

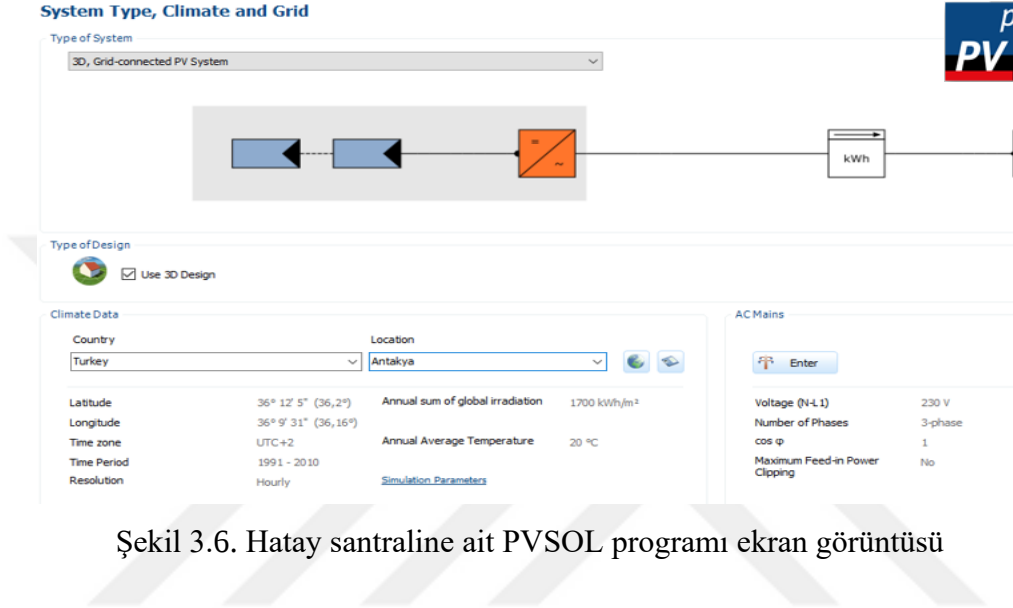
Farklı coğrafi bölgelere kurulacak dört santralden üçüncüsü olan Sinop Enerji Üretim Santralinin ortalama yükseltisi 25 m'dir. Koordinatları ise 42° kuzey enlemi ve 35° doğu boylamıdır. Yıllık ortalama güneş ışınlam değeri 1506 kWh/m²'dir. Yıllık ortalama sıcaklığı 14,8 °C'dir. Şekil 3.5'te Sinop santraline ait bilgiler yer almaktadır.



Şekil 3.5. Sinop santraline ait PVSOL programı ekran görüntüsü

3.3.4. Hatay Güneş Enerji Santrali

Farklı coğrafi bölgelere kurulacak dört santralden dördüncüsü olan Hatay Enerji Üretim Santralinin ortalama yükseltisi 89 m'dir. Koordinatları ise 36° kuzey enlemi ve 36° doğu boylamıdır. Yıllık ortalama güneş ışıınım değeri 1700 kWh/m²'dir. Yıllık ortalama sıcaklığı 20 °C'dir. Şekil 3.6'te Hatay santraline ait bilgiler yer almaktadır.



4. BULGULAR

4.1. Veri Analizleri

Bu bölümde, PVSOL programında oluşturulan santral modellerinden elde edilen veriler analiz edilmiştir. Doğu ve Batı santrallerinin yükselti bakımından elektrik üretimine etkisi incelenmiştir. Kuzey ve Güney santrallerinde ise enlem farkının elektrik üretimine etkisi incelenmiştir. Daha sonra, dört santralin maliyet verileri analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda amortisman ve kâr süreleri karşılaştırılmıştır.

4.2. Santrallerin Coğrafik Konumları

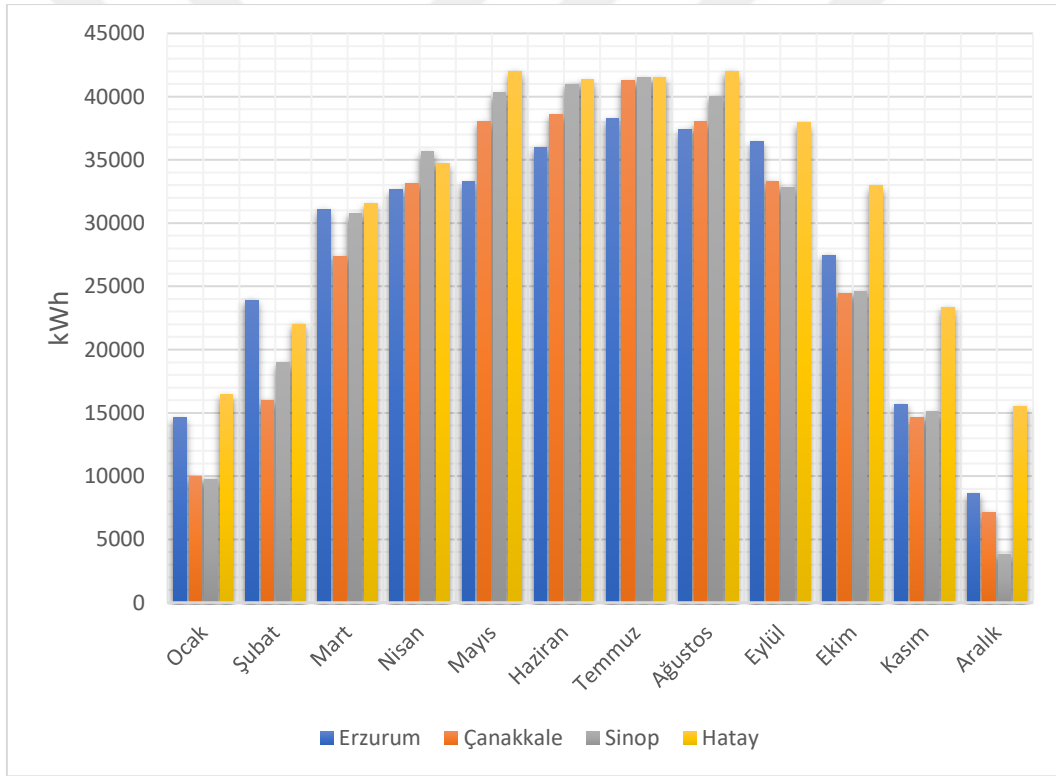
Tablo 4.1’de kurulacak olan dört santrale ait veriler görülmektedir. Tablo 4.1. incelendiğinde, PVSOL programında seçilen konuma göre, 1991-2010 tarihleri arasındaki gerçek veriler kullanılarak ilgili bölgeye ait ortalama ışıınım miktarı, ortalama sıcaklık verileri ve râkım bilgileri görülmektedir. Bu bilgilere göre, Hatay santrali enlem bakımından ekvatora daha yakın olduğu için güneş ışıınım değeri diğer illere göre daha fazladır. Bu nedenle, elektrik üretim miktarı ve elde edilen kazanç da artacaktır. Erzurum santrali, yüksek rakımlı bir bölgede olduğu için yıllık ortalama sıcaklık daha düşüktür. Sıcaklığın düşük olması panellerin verimini artıracaktır.

Tablo 4.1. Kurulacak santrallerin verileri

Santral Verileri	Santraller			
	Erzurum Santrali	Çanakkale Santrali	Sinop Santrali	Hatay Santrali
Enlem (Kuzey)	39	40	42	36
Boylam (Doğu)	41	26	35	36
Evrensel Zaman Koordinatı	UTC+2	UTC+2	UTC+2	UTC+2
Zaman Dilimi	1991-2010	1991-2010	1991-2010	1991-2010
Yıllık Ortalama Işıınım (kWh/m ²)	1456	1443	1506	1700
Yıllık Ortalama Sıcaklık (°C)	5	15,3	14,8	20
Rakım (Metre)	1900	12	25	89

4.3. Santrallerin Aylara Göre Enerji Üretim Verileri

Şekil 4.1’de santrallerin aylık enerji üretim grafiği görülmektedir. Şekil 4.1. incelendiğinde; kış aylarındaki güneş ışıınım değeri yaz aylarına göre daha az olduğu için elektrik üretim miktarının azaldığı görülmektedir. Elektrik üretiminde temel etken güneş ışıınım değeridir. Fakat birbirine yakın güneş ışıınım değerlerine sahip olan Erzurum ve Çanakkale santrallerinde olduğu gibi farklı gölgelenme, hava durum değişiklikleri ve sıcaklık farkı gibi özel şartlardan dolayı bazı aylarda birbirine yakın elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Hatay ve Sinop santrallerinin farklı enlemlere, Çanakkale ve Erzurum santrallerinin ise farklı yükseltilere kurulduğunda ürettikleri enerji miktarlarının eşit olmadığı açıkça görülmüştür.

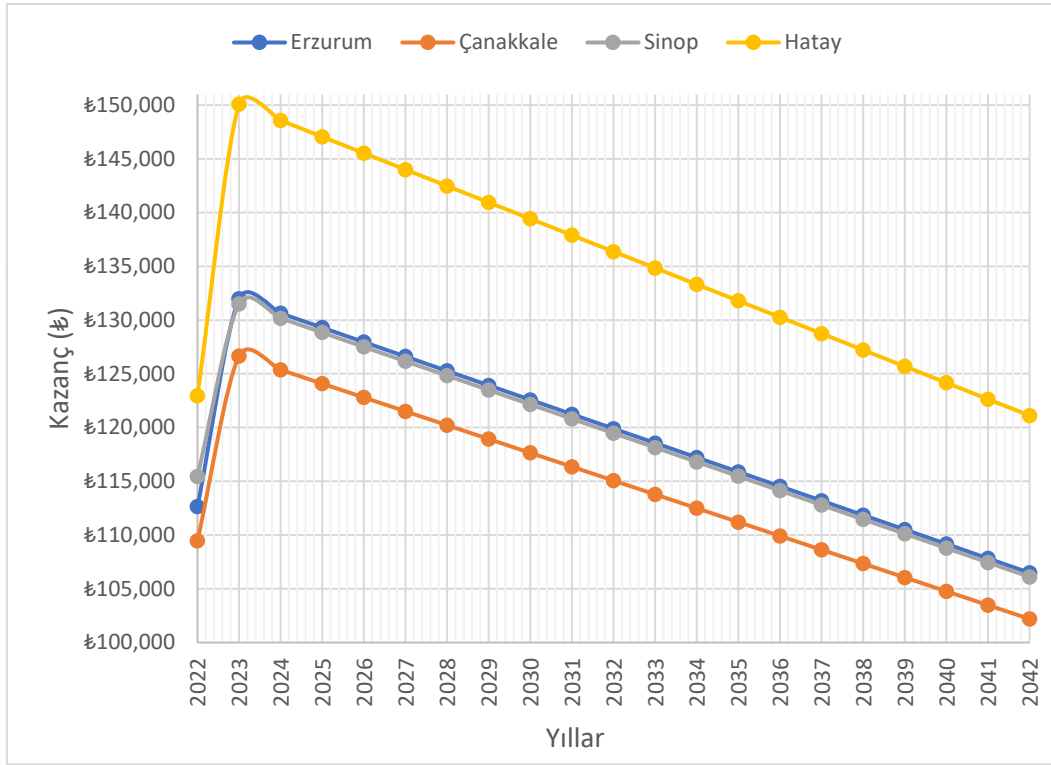


Şekil 4.1. Santrallerin aylara göre enerji üretim grafiği

4.4. Santrallerin Yıllara Göre Tahmini Kazanç Verileri

Şekil 4.2’de santrallerin yıllara ait tahmini kazanç grafiği görülmektedir. Kullanılan güneş panellerinde verim kaybı hesaba katıldığından dolayı zamana bağlı olarak elektrik üretiminde azalma olduğu görülmektedir. Bu nedenle, elde edilen kazanç da zamana bağlı olarak azalmaktadır. Güneş ışıınımı bakımından daha verimli bir coğrafik konuma sahip

olan Hatay santralinden en yüksek kazanç elde edilmiştir. Yaklaşık aynı enlemde olan Çanakkale ve Erzurum santrallerinde ise, daha soğuk bir bölgede olan Erzurum santralinden daha yüksek kazanç elde edildiği görülmektedir. Ekvatora yakın bölgelerin güneş ışınım değerleri artsa da özel çevresel şartlardan dolayı Sinop santralinin Erzurum santraline yakın kazanç elde ettiği görülmektedir.



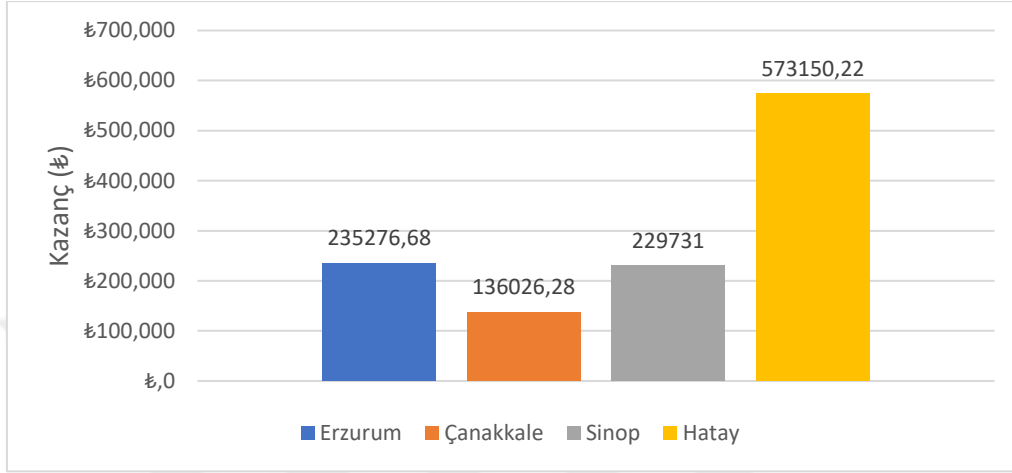
Şekil 4.2. Santrallerin yıllara göre tahmini kazanç grafiği

Tablo 4.2’de santrallere ait finansal veriler bulunmaktadır. Tablo 4.2. incelendiğinde; toplam giderler ve yatırım maliyetleri bütün santrallerde eşittir. 21. yılın sonunda en az kazanç Çanakkale santralinden, en çok kazanç ise Hatay santralinden elde edildiği görülmektedir.

Tablo 4.2. Santrallerin gelir-gider tablosu

	Santraller			
	Erzurum	Çanakkale	Sinop	Hatay
Toplam Kazanç	₺2497276,68	₺2398026,28	₺2491731,00	₺2835150,22
Toplam Giderler	₺42000,00	₺42000,00	₺42000,00	₺42000,00
Yatırım Maliyeti	₺2220000,00	₺2220000,00	₺2220000,00	₺2220000,00

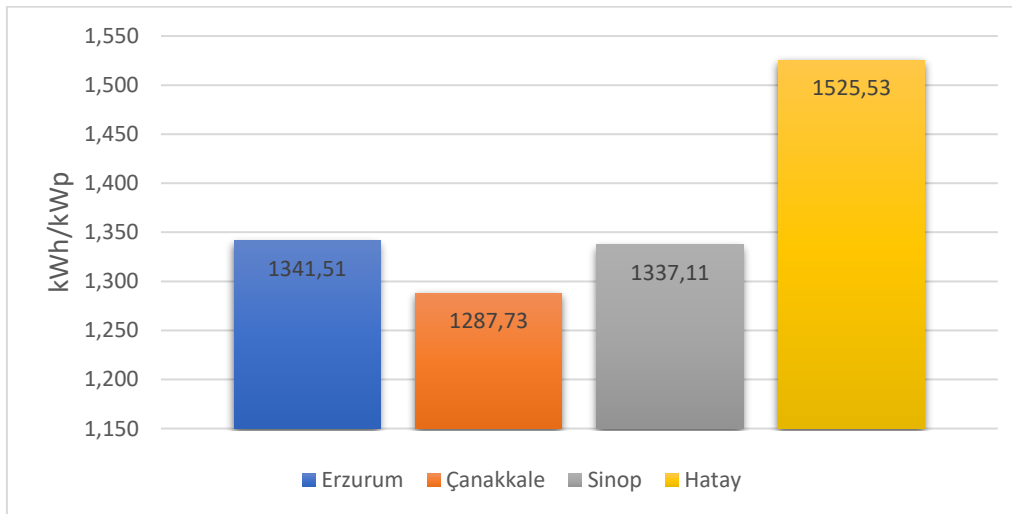
Şekil 4.3'te santrallerin 21. yılın sonundaki finansal durumlarıyla ilgili grafik görülmektedir. Tablo 4.2. ve Şekil 4.3. incelendiğinde, Çanakkale, Erzurum, Sinop ve Hatay santralleri sırasıyla 136026,28₺, 229731,00₺, 235276,68₺ ve 573150,22₺ kâr ettiği görülmektedir.



Şekil 4.3. Santrallerin 21. yılın sonundaki finansal durum grafikleri

4.5. Santrallerin Yıllık Özgül Kazanç Verileri

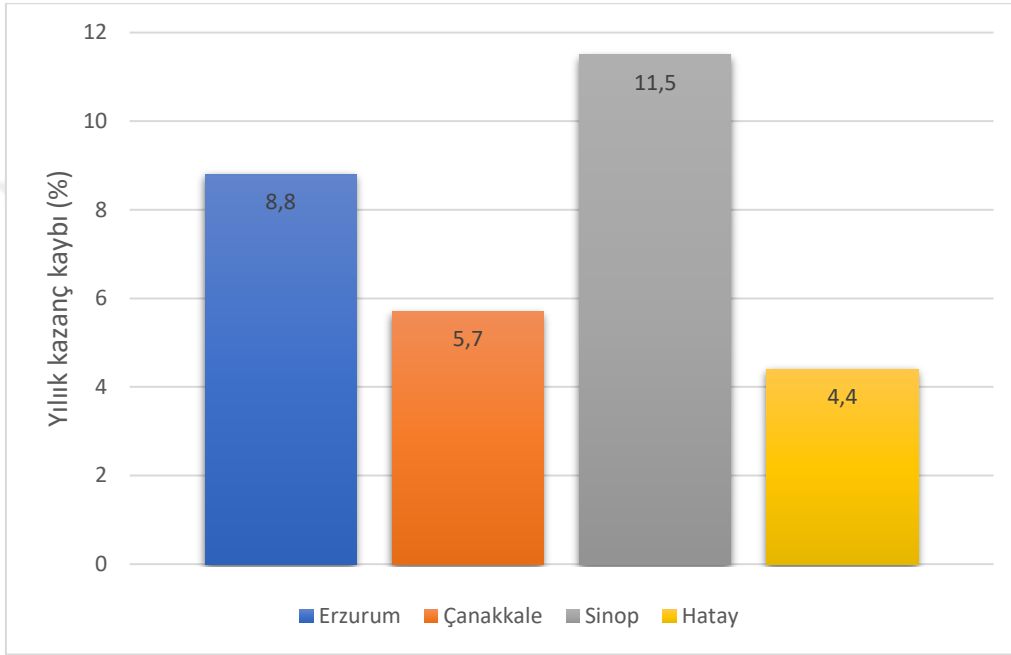
Şekil 4.4'te 4 santrale ait yıllık özgül kazanç değerleri görülmektedir. Erzurum ve Çanakkale santralleri yaklaşık aynı enlemde olmasına rağmen, yükseltiden dolayı oluşan sıcaklık farkının panel verimine etkisi görülmektedir. Sinop ve Hatay santralleri ise yaklaşık olarak aynı boylamda olmasına rağmen, enleme bağlı güneş ışınlamı fazla olduğu için Hatay santrali daha fazla elektrik üretmiştir.



Şekil 4.4. Santrallerin yıllık özgül kazançları

4.6. Santrallerin Gölgeleme Verileri

Şekil 4.5'te Santrallerin gölgelemenmeden dolayı oluşan yüzdelik kazanç kayıp değerleri görülmektedir. Santraller, PVSOL programında aynı özelliklerde tasarlanmıştır. Buna rağmen, coğrafik konumlarından dolayı santraller gün ve yıl içerisinde farklı bulutluluk oranına sahiptir. Bu nedenle, her bir santral için gölgelemenmeden dolayı oluşacak kazanç kaybı farklıdır.

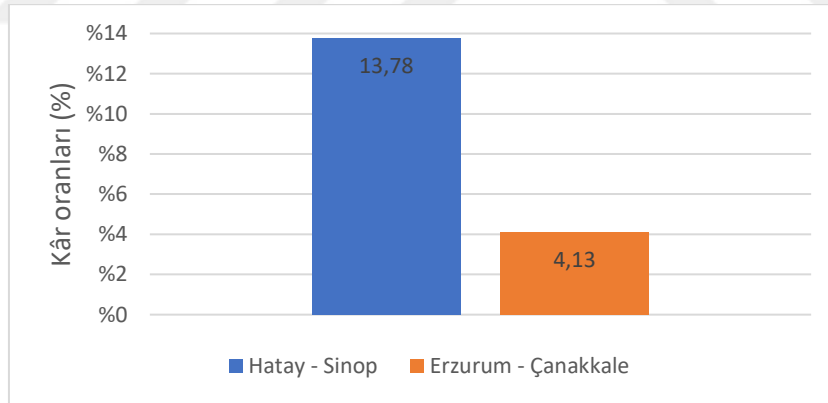


Şekil 4.5. Santrallerin gölgelemenmeden dolayı oluşan yüzdelik kazanç kayıpları

5. SONUÇLAR

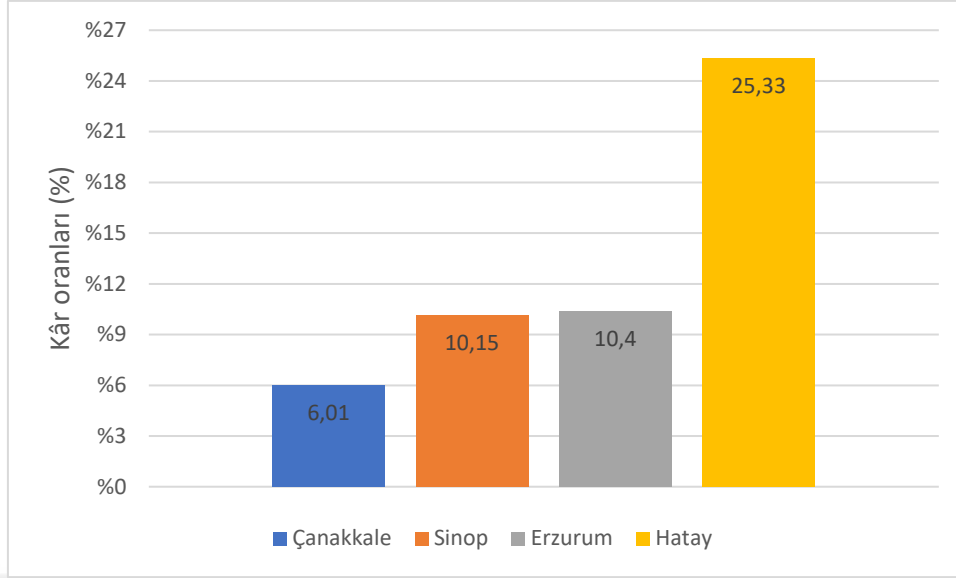
Yapılan bu bilimsel çalışmada, polikristal güneş panelleriyle elektrik üretmek için Türkiye’deki dört farklı coğrafi bölgenin panel verimine olan etkisi PVSOL programı kullanılarak analiz edilmiştir. PVSOL programında kurulan santral modellemelerinden alınan veriler incelendiğinde, enlem derecesinin değişmesi, güneş ışıınım değerlerini etkilediği görülmüştür.

Ekvatora yakın bölgelerdeki güneş ışıınım miktarı daha fazladır. Bu nedenle, seçilen bölgelerden biri olan Hatay santrali ekvatora daha yakın olduğu için, Sinop santralinden %13,78 daha fazla kâr elde edilmiştir. Boylam değerlerinin değişmesi, güneş ışıınım değerlerini değiştirmez. Fakat rakım farkından dolayı sıcaklık değiştiği için panel verimlerinin de değiştiği görülmüştür. Bu nedenle, Erzurum santrali Çanakkale santralinden %4,13 daha fazla kâr elde edildiği tespit edilmiştir. Bunun sonucunda, ekvatora yakın ve yükseltisi fazla olan bölgede kurulacak olan fotovoltaik sistemlerin daha kısa sürede kâra geçeceği görülmüştür. Bu değerlere ait bar grafik değişimi Şekil 5.1’de verilmiştir.



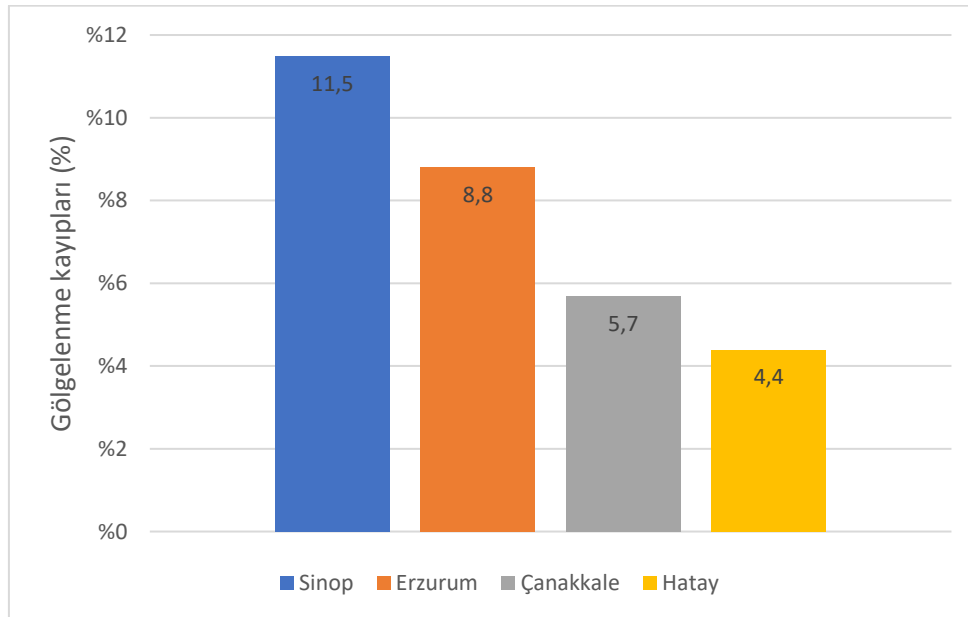
Şekil 5.1. Hatay-Sinop ve Erzurum-Çanakkale santrallerinin kâr oranları

Santrallerin kurulum maliyetleri ve işletme giderleri hesaba katıldığında, ilk yatırım maliyetine göre 21. yılın sonunda, Çanakkale santralinden %6,01, Sinop santralinden %10,15, Erzurum santralinden %10,40 ve Hatay santralinden ise %25,33 oranında kâr elde edilmiştir. Elde edilen bu kâr oranlarına göre; polikristal güneş panelleriyle kurulan Hatay ilindeki santralde, diğer bölgelerdeki eşdeğer santrallere göre en az %14,93 ve en çok %19,32 daha fazla kar edildiği tespit edilmiştir. Şekil 5.2’de karşılaştırılan bu santrallerin 21. yılın sonundaki kâr oranlarıyla ilgili bar grafik verilmiştir.



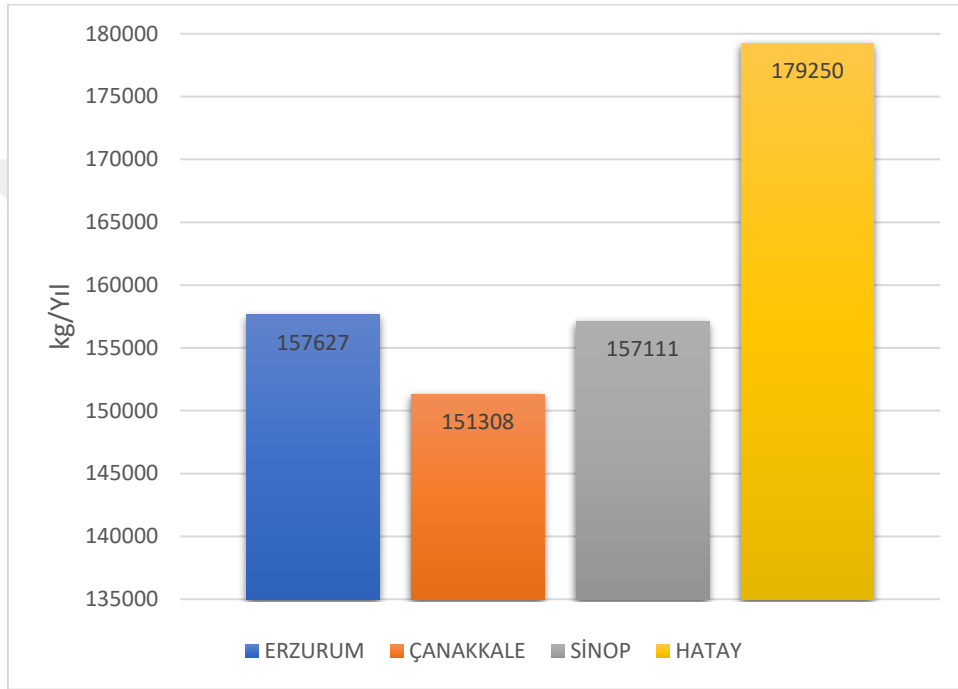
Şekil 5.2. Santrallerin 21. yılın sonundaki kâr oranları

PVSOL programında tasarlanan eşdeğer santrallerin kısmi gölgelenme kayıpları, Sinop santralinde %11,5, Erzurum santralinde %8,8, Çanakkale santralinde %5,7 ve Hatay santralinde ise %4,4 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre, farklı bulutluluk oranlarına sahip bölgelerin elektrik enerjisi üretimine olan etki oranları bulunmuştur. Bulutluluk oranı az olan yerlerde doğal olarak elektrik enerjisi üretimindeki kayıplar da daha az olmuştur. Şekil 5.3'te santrallerin gölgelenmeden kaynaklanan kayıp oranlarını gösteren bar grafik verilmiştir.



Şekil 5.3. Santrallerin gölgelenme kayıp oranları

PVSOL programıyla yapılan analiz sonuçlarına göre; santrallerde üretilen elektrik enerjileriyle doğru orantılı olarak, Çanakkale, Sinop, Erzurum ve Hatay santrallerinde sırasıyla yılda, 151308 kg, 157111 kg, 157627 kg ve 179250 kg CO₂ salınımının önleendiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, elektrik enerjisinin fosil kaynaklar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilmesi, CO₂ salınımını büyük oranda azaltacağı açıkça görülmektedir. Şekil 5.4'te santrallerin yıllık bazda önledikleri CO₂ salınım miktarları bar grafik şeklinde verilmiştir.



Şekil 5.4. Santrallerin bir yılda önlediği CO₂ miktarı

KAYNAKLAR

- Adak, S., Cangi, H., Yılmaz, A.S. (2019). Mathematical Modeling and Simulation of the Output Power of Photovoltaic System Based on Temperature and Radiation. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11, 316-327.
- Akdemir, A., Karakaya, A. (2022). Analysis of Maximum-Power-Tracking Methods in Photovoltaic Panels. *Emerging Materials Research*, 11(3), 367-375. <https://doi.org/10.1680/jemmr.22.00061>
- Aksungur, K.M., Kurban, M., Filik, Ü.B. (2013). Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi. *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, 23-24 Mayıs 2013.
- Alak, A.O., Karakaya, A. (2022). Analysis of Standard Systems with Solar Monitoring Systems. *Open Chemistry*, 20, 1557-1565. <https://doi.org/10.1515/chem-2022-0265>
- Al-Bashir, A., Al-Dweri, M., Al-Ghandoor, A., Hammad, B., Al-Kouz, W. (2020). Analysis of Effects of Solar Irradiance, Cell Temperature and Wind Speed on Photovoltaic Systems Performance. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10, 353-359.
- Altaş, İ.H. (1998). Fotovoltaaj Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, 47, 66-71.
- Anderson, E., Dohan, C., Sikora, A., Bitar, S.J., McNeill, J.A. (2003). Solar Panel Peak Power Tracking System. *Worcester Polytechnic Institute*, 12, 28-30.
- Avdar, R. (2020). Yenilenemeyen Enerji Kaynakları Piyasasının Çoklu Regresyon Yöntemi ile Analizi; Türkiye Doğalgaz Piyasası Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 633028.
- Meral, A. (2020). Taşınabilir Güç Kaynaklarında Mono ve Polikristal Güneş Panellerinin Kullanılması ve Kompozit Malzemeler ile Panellerin Verimi Artırılarak, Performans Analizlerinin Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 653869.
- Başay, V., Akyüz, C., Yılmaz, G. (2019). Factors Determining the Efficiency of the Solar Power Plant Established in Forested and Mid-Mountain Areas Around Uludağ. *Uludag University Engineering Faculty Journal*, 24, 181-191.
- Bergin, M.H., Ghoroi, C., Dixit, D., Schauer, J.J., Shindell, D.T. (2017). Large Reductions in Solar Energy Production Due to Dust and Particulate Air Pollution. *Environmental Science & Technology Letters*, 4, 339-344.

- Bhol, R., Dash, R., Pradhan, A., Ali, S.M. (2015). Environmental Effect Assessment on Performance Of Solar PV Panel. *International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies [ICCPCT], IEEE*, 1-5.
- Bockris, J.O.M., Veziroğlu, T.N., Smith, D. (1993). *Güneş Enerjisi*. Yeni Yüzyıl Kitaplığı: İletişim Yayınları.
- Boz, O.H. (2011). Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı: Fotovoltaik Güneş Pilleri. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 282925.
- Buni, M.J.B., Al-Walie, A. A. K., Al-Asadi, K.A.N. (2018). Effect of Solar Radiation on Photovoltaic Cell. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, 3, 47-51.
- Castillejo-Cuberos, A., Escobar, R. (2020). Understanding Solar Resource Variability: an in-depth Analysis, Using Chile as a Case of Study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109664.
- Cengiz, M.S., Mamiş, M.S. (2016). Termal Güneş Enerjisi Kullanımı ve CSP Sistemlerin Verimlilik Analizi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1), 1-13.
- Ceylan, İ., Gürel, A.İ., Demircan, H., Aksu, B. (2014). Cooling of a Photovoltaic Module with Temperature Controlled Solar Collector, *Energy and Buildings*, 72, 96-101.
- Çelebi, G. (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(3), 17-33.
- Dal, A.R. (2021). Güneş Enerji Panellerindeki Optimum Eğim Açısının Verime Etkisinin İncelenmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 241-250.
- Del Pero, C., Aste, N., Leonforte, F. (2021). The Effect of Rain on Photovoltaic Systems. *Renewable Energy*, 179, 1803-1814.
- Demir, H.B., Özkan, A.O. (2019). The effect of Temperature and Zenith Angle on Panel Power Generation in Photovoltaic Panels. *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, 1, 1-9.
- Demirci, F. (1996). Fotovoltaik Güneş Pillerinin Çalışmasını Etkileyen Dış Faktörlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 57086.
- Deniz, E. (2013). Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar. III. *Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri*. İzmir, Türkiye, 21-24 Kasım 2013.

- Dubey, S., Narotam, J., Seshadri, B. (2013). Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and its Effect on PV Production in the World-A Review. *Energy Procedia*, 33, 311-321.
- Erkul, A. (2010). Monokristal, Polikristal ve Amorf-Silisyum Güneş Panelleri Verimliliğinin İncelenmesi ve Aydınlatma Sistemi Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 269169.
- Gül, M., Akyüz, E. (2019). Fotovoltaik-Termal (PV/T) Bir Sistemin Deneysel Performansının İncelenmesi. *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 21(1), 444-458.
- Gündoğdu, K., Kabadayı, H.S., Öztürk, A. (2016). Fotovoltaik Paneller İçin Güneş Takip Edebilen Basit ve Ekonomik Bir Sistem Tasarımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2), 634-639.
- Hua, Y., Oliphant, M., Hu, E.J. (2016). Development of Renewable Energy in Australia and China: A Comparison of Policies and Status. *Renewable Energy*, 85, 1044-1051.
- Karuniawan, E.A. (2021). Analisis Perangkat Lunak PVSYST, PVSOL dan HelioScope Dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic. *Jurnal Teknologi Elektro*, 12(3), 100-105. doi: 10.22441/jte.2021.v12i3.001.
- Kayabaşı, R., Kaya, M. (2019). Fotovoltaik Modüllerin Atık Isılarından Termoelektrik Jeneratör ile Elektrik Üretimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 310-324.
- Koç, E., Şenel, M.C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54(639), 32-44.
- Koo, C., Hong, T., Lee, M., Park, H.S. (2013). Estimation of the Monthly Average Daily Solar Radiation Using Geographic Information System and Advanced Case-Based. *Environmental Science & Technology*, 47, 4829-4839.
- Li, P., Gao, X., Li, Z., Zhou, X. (2022). Effect of the Temperature Difference Between Land and Lake on Photovoltaic Power Generation. *Renewable Energy*, 185, 86-95.
- Li, W., Shi, Y., Chen, K., Zhu, L., Fan, S. (2017). A Comprehensive Photonic Approach for Solar Cell Cooling. *ACS Photonics*, 4, 774-782.
- Lin, L., Ravindra, N.M. (2020). Temperature Dependence of CIGS and Perovskite Solar Cell Performance: an Overview. *SN Applied Sciences*, 2, 1361.
- Liu, Z., Zhang, Y., Yuan, X., Liu, Y., Xu, J., Zhang, S., He, B. (2021). A Comprehensive Study of Feasibility and Applicability of Building Integrated Photovoltaic (BIPV) Systems in Regions with High Solar Irradiance. *Journal of Cleaner Production*, 307, 127240.

- Madhavan, B.L., Ratnam, M.V. (2021). Impact of a Solar Eclipse on Surface Radiation and Photovoltaic Energy. *Solar Energy*, 223, 351-366. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.062>
- Mosaad, M.I. (2022). Grid-Connected PV System Statistics and Evaluation; Review. *Yanbu Journal of Engineering and Science*, 19(1), 1-10.
- Majidzade N. (2018). Mikro Ölçekli Şebeke Bağlantılı Bir Fotovoltaik Santralin Tasarlanması ve Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 530242.
- Nadia, A.R., Isa, N.A.M., Desa, M.K.M. (2018). Advances in Solar Photovoltaic Tracking Systems: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2548-2569.
- Narkwatchara, P., Ratanatamskul, C., Chandrachai, A. (2020). Effects of Particulate Matters and Climate Condition on Photovoltaic System Efficiency in Tropical Climate Region. *Energy Reports*, 6, 2577-2586.
- Øgaard, M.B., Riise, H.N., Haug, H., Sartori, S., Selj, J.H. (2020). Photovoltaic System Monitoring for High Latitude Locations. *Solar Energy*, 207, 1045-1054.
- Oluklulu, Ç. (2001). Güneş Enerjisinden Etkin Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik Modüller, Boyutlandırılmaları ve Mimaride Kullanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 114559.
- Öztürk, H.H. (2008). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı*. Ankara: Teknik Yayınevi.
- Öztürk, H.H., Kaya, D. (2013). *Fotovoltaik Teknoloji*. Kocaeli: Umuttepe Yayınları.
- Poudyal, K.N., Bhattarai, B.K., Sapkota, B., Kjeldstad, B. (2011). Solar Radiation Potential at Four Sites of Nepal. *Journal of the Institute of Engineering*, 8, 189-197.
- Rodziewicz, T., Rajfur, M., Teneta, J., Swislawski, P. (2021). Modelling and Analysis of the Influence of Solar Spectrum on the Efficiency of Photovoltaic Modules. *Energy Reports*, 7, 564-574.
- Rüstemli, S., Dinçer, F. (2011). Van İli Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Enerjisinin Mevcut Durumu ve Geleceği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(1), 22-33.
- Selbaş, R., Çetin, H. (2022). Fotovoltaik Güneş Santrallerinin Verimlerinin Değişiminin İncelenmesi. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 10-17.

- Singh, D., Gautam, A.K. Chaudhary, R. (2022). Potential and Performance Estimation of Free-Standing and Buildingintegrated Photovoltaic Technologies for Different Climatic Zones of India. *Energy and Built Environment*, 3, 40-55.
- Tunkaşık, İ., Köse, E. (2022). Fotovoltaik Panellerde Farklı Tasarımların Verime Etkisinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 41, 252-257. DOI: 10.31590/ejosat.1165188
- Türe, İ.E. (2008). Çatı Malzemesi Olarak Güneş Enerjisi Sistemleri. 4. *Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler” Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 13-14 Ekim 2008.
- URL-1: https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx, (Ziyaret tarihi: 20 Aralık 2022).
- URL-2: <https://blog.solarnub.com/en/flexible-solar-panels/>, (Ziyaret tarihi: 20 Aralık 2022).
- URL-3: <https://www.enerjigunlugu.net/cin-solar-pencere-uretimine-basladi-25467h.htm> (Ziyaret tarihi: 20 Aralık 2022).
- Usman, Z., Tah, J., Abanda, H., Nche, C. (2020). A Critical Appraisal of PV-Systems Performance. *Buildings*, 10, 192.
- Uyan M. (2017). Güneş Enerjisi Santrali Kurulabilecek Alanların AHP Yöntemi Kullanılarak CBS Destekli Haritalanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 343-351.
- Ye, Z., Nobre, A., Reindl, T., Luther, J., Reise, C. (2013). On PV Module Temperatures in Tropical Regions. *Solar Energy*, 88, 80-87.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Demirkiran M., Karakaya A. (2022). Efficiency Analysis of Photovoltaic Systems Installed in Different Geographical Locations. *Open Chemistry*, 20 (1), 748-758. <https://doi.org/10.1515/chem-2022-0190>



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini İstanbul’da tamamladı. Lise öğrenimini Hatay’da tamamladı. 2005 de başladığı Mustafa Kemal Üniversitesi Antakya Meslek Yüksek Okulu’ndan 2008 yılında mezun oldu. 2009 yılında başladığı Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi’nden 2014 yılında mezun oldu. 2009 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Elektrik Öğretmenliği bölümünden 2014 yılında mezun oldu. 2019 yılında başladığı Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, mühendislik tamamlama programından 2020 yılında mezun oldu. 2020 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir. Şu anda özel bir meslek lisesinde Elektrik-Elektronik Öğretmeni olarak görev yapmaktadır.

