

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



AZERBAYCAN/BAKÜ ŞARTLARINDA MEGA ÖLÇEKLİ
ŞEBEKE BAĞLANTILI BİR GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN
PVSYST PROGRAMI KULLANILARAK PERFORMANS
ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAHMUDZADE SEYMUR

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. KADİR GELİŞ

BOLU, TEMMUZ - 2024

KABUL VE ONAY SAYFASI

Seymur MAHMUDZADE tarafından hazırlanan “**AZERBAYCAN/BAKÜ ŞARTLARINDA MEGA ÖLÇEKLİ ŞEBEKE BAĞLANTILI BİR GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN PVSYST PROGRAMI KULLANILARAK PERFORMANS ANALİZİ**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oy çokluğuyla kabul edilmiştir. 1/07/2024

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Doç. Dr. Kadir GELİŞ
Bolu Abant İzzat Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Alaattin Osman EMİROĞLU
Bolu Abant İzzat Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Doç. Dr. Faruk YEŞİLDAL
Atatürk Üniversitesi

.....

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

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

Teze ilişkin Turnitin adlı programında enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %30'u geçmemektedir.

MAHMUDZADE SEYMUR

ÖZET

**AZERBAIJAN/BAKÜ ŞARTLARINDA MEGA ÖLÇEKLİ ŞEBEKE
BAĞLANTILI BİR GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN PVSYST PROGRAMI
KULLANILARAK PERFORMANS ANALİZİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAHMUDZADE SEYMUR
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. KADİR GELİŞ)
BOLU, TEMMUZ - 2024
xii + 54**

Güneş enerjisi, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmek için fotovoltaik sistemler tarafından kullanılan, sürdürülebilir ve kolayca bulunabilen bir güç kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Bu araştırma, Azerbaycan/Bakü şartlarında mega ölçekli şebeke bağlantılı bir güneş enerji santralinin PVSYST programı kullanılarak performans analizinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Tasarım süreci, kurulum alanının coğrafi konumu, güneşlenme değerleri ve fotovoltaik panellerin ve invertörlerin özellikleri dahil olmak üzere çeşitli faktörlerin dikkatli bir şekilde ele alınmasını ve değerlendirilmesini içermektedir. Bu çalışmada kapsamlı değerlendirmeler için PVsyst 7.4 simülasyon aracı seçilmiştir. Program, seçilen bölgenin coğrafi koordinatlarını ve Meteororm 8.1 veri tabanından elde edilen sentetik meteorolojik verileri bir araya getirerek, önerilen fotovoltaik sistemin performansının analiz edilmesini sağlayan simülasyon aracına entegre edilmiştir. Analizler sabit eğim açılı, tek eksen güneş ışını takip sistemli ve çift eksen güneş ışını takip sistemli 3 MW kapasiteli Güneş Enerji Santrallerinin Teknik, Ekonomik ve Çevresel açıdan karşılaştırmalı olarak incelenmesini içermektedir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, en yüksek yıllık enerji üretimi çift eksenli takip sistemine sahip GES'te 5371 MWh, en yüksek performans oranı ise tek eksenli güneş ışınımı takip GES'te %88,6 olarak bulunmuştur. Ekonomik olarak incelendiğinde en uzun geri ödeme süresinin 11.4 yıl ile çift eksenli takip sisteminde olduğu GES'te, en kısa geri ödeme süresinin ise sabit eksenli GES'te 5.6 yıl olarak bulunmuştur. Karbon emisyonları bakımından incelendiğinde en yüksek karbon salınımındaki azalma 52733,9 tCO₂ ile Çift eksenli takip sisteminde önlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Güneş Enerjisi, Fotovoltaik Sistemler, Simülasyon, PVsyst, Performans Oranı

ABSTRACT

PERFORMANCE ANALYSIS OF MEGA-SCALE GRID-CONNECTED SOLAR POWER PLANT IN AZERBAIJAN/BAKU USING-PVSYST

SOFTWARE

MSC THESIS

MAHMUDZADE SEYMUR

BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. KADİR GELİŞ)

BOLU, TEMMUZ - 2024

xii + 54

Solar energy is a sustainable and readily available power source utilised by photovoltaic systems to convert sunlight into electrical energy. This research aims to evaluate the performance analysis of a mega-scale grid-connected solar power plant in Azerbaijan/Baku conditions using PVSYST software. The design process involves careful consideration and evaluation of various factors including the geographical location of the installation site, insolation values and the characteristics of the photovoltaic panels and inverters. In this study, PVsyst 7.4 simulation tool was selected for comprehensive evaluations. The program is integrated into the simulation tool, which combines the geographical coordinates of the selected region and synthetic meteorological data obtained from the Meteonorm 8.1 database to analyse the performance of the proposed photovoltaic system. The analyses include a comparative analysis of 3 MW capacity Solar Power Plants with fixed tilt angle, single axis solar radiation tracking system and dual axis solar radiation tracking system in terms of Technical, Economic and Environmental aspects. When the results obtained are evaluated, the highest annual energy production is 5371 MWh in the SPP with dual axis tracking system and the highest performance ratio is 88.6% in the SPP with single axis solar radiation tracking system. Economically, the longest payback period was found to be 11.4 years in the SPP with dual axis tracking system and the shortest payback period was found to be 5.6 years in the fixed axis SPP. When analysed in terms of carbon emissions, the highest carbon emission reduction was prevented in the dual axis tracking system with 52733.9 tCO₂

KEYWORDS: Solar Energy, Photovoltaic Systems, Simulation, PVsyst, Performance Ratio

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
ETİK BEYAN.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
RESİM LİSTESİ	x
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xi
TEŞEKKÜR	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür taraması	2
1.2 Tezin Amaç ve Kapsamı	5
2. GÜNEŞ ENERJİSİ	7
2.1 Güneş Enerjisinin Önemi	7
2.2 Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları	8
2.3 Küresel Güneş Enerji Potansiyeli	10
2.4 Azerbaycanda Güneş Enerjisi Potansiyeli	11
2.5 Fotovoltaik Sistemler	11
2.5.1 Fotovoltaik Paneller	12
2.5.2 Güneş Hücreleri	14
3. FOTOVOLTAİK SİSTEM BİLEŞENLERİ VE PV SİSTEM	
PERFORMANS PARAMETRELERİ.....	18
3.1 IEC 61724 Standartı ve PV Sistem Performans Parametreleri.....	18
3.2 Yerel Koşulların Güneş Enerjisi Üretimi Üzerindeki Etkisinin Analiz Edilmesi.	18
3.3 Konstrüksiyon Elemanları	20
3.3.1 Taşıyıcı İskelet.....	20
3.3.2 Bağlantı Ekipmanları.....	21
3.4 Elektrik- Elektronik Ekipmanlar.....	21
3.4.1 Kablolar.....	21
3.4.2 İnvertörler.....	21
3.4.3 Akü.....	23
3.4.4 Transformatör ve Şebeke	24
3.5 Güneş Takip Sistemi.....	24
3.5.1 Sabit Sistemler	24
3.5.2 Tek Eksenli Takip Sistemi	25
3.5.3 Çift Eksenli Takip Sistemi	25
3.6 Sistem Kayıpları	26
3.6.1 Gölgeleme Kayıpları	27
3.6.2 Sıcaklık Kayıpları.....	27
3.6.3 Kablo kayıpları.....	27
3.6.4 İnverter Kayıpları	27
3.6.5 Uyumsuzluk Kayıpları	28
3.6.6 Yansıma Kayıpları	28
3.6.7 Tozlanma ve Karlanma Kayıpları	29
3.6.8 Panel Teknik Özelliklerindeki Kayıplar.....	30
4. MATERYAL VE YÖNTEM	31
4.1 Pvsyst Simülasyon Aracı.....	31

4.2 Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistemin PVsyst ile Tasarımı	34
4.3 PVsyst Simülasyon Aracında Coğrafi Konumun ve Meteorolojik Verilerin Belirlenmesi	35
4.4 Panel Yönelimlerinin, Eğim Açısının ve Azimut Açılarının Belirlenmesi ...	35
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	37
5.1 PVsyst Simülasyon Aracı Bulgularına Göre Şebeke Bağlantılı PV Sistemin Performans Analizi	37
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	48
6.1 SONUÇ.....	48
6.2 ÖNERİLER.....	50
7 KAYNAKLAR	51



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Dünyanın yüzeyinde yıllık ortalama güneş ışınlamı dağılımı (21)	10
Şekil 2.2. Fotovoltaik Panel (24)	12
Şekil 2.3. Fotovoltaik panelde elektrik üretimi (28)	13
Şekil 2.4. FV hücre, panel, dizi tasarımları (30)	14
Şekil 2.5. Monokristal hücre (34)	15
Şekil 2.6. Polikristal hücre üretim safhaları (37)	16
Şekil 2.7. İncefilm güneş panelleri (38)	16
Şekil 3.1. Hareketli taşıyıcı sistem (44)	20
Şekil 3.2. Sabit panel sistemi (56)	25
Şekil 3.3. Tek eksenli güneş takip sistemi (57)	25
Şekil 3.4. Çift eksenli güneş takip sistemi (59).	26
Şekil 3.5. Bir fotovoltaik paneldeki kayıpların dağılımı (60)	26
Şekil 4.1. Pvsyst 7.4 ana sayfa görüntüsü	32
Şekil 4.2. Pvsyst şebeke bağlantılı proje yönetim sayfası	33
Şekil 4.3. PVsyst üzerinden alınan, meteorolojik veriler	35
Şekil 4.4. Sabit eksenli güneş enerji santralinin eğim ve azimut açısı	36
Şekil 5.1. Şebeke bağlantılı PV sistem şeması	37
Şekil 5.2. Enerji'ye dayalı PV panelinin karakteristik eğrisi	39
Şekil 5.3. Çalışda incelenen sistemler için Normalize Üretim ve Performans Oranı grafikleri	40
Şekil 5.4. Aylık ortalama enerji üretimi	41
Şekil 5.5 Yıllık enerji üretimi	42
Şekil 5.6. Yıllık spesifik üretim	43
Şekil 5.7. Farklı sistemler için yıllık net kar ve nakit akışı	45

RESİM LİSTESİ

Sayfa

Resim 3.1. On-grid Fotovoltaik Sistemler İçin Eviriciler (48).....	22
Resim 3.2. Off-grid Fotovoltaik Sistemler İçin Eviriciler (49)	22



KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

AC	: Alternatif Akım
ARC	: Yansıma Önleyici Kaplama
CSP	: Konsantre Güneş Enerjisi
DC	: Direkt Akım
EIA	: Enerji Bilgi İdaresi
GES	: Güneş Enerjisi Santrali
İEC	: Uluslararası Elektronik Komisyonu
PV	: Fotovoltaik
PR	: Performans Oranı
MPP	: Maksimum Güç Noktası
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince ihtiyacım olduğu zamanlarda yardımlarını ve tecrübelerini esirgemeyen değerli tez danışmanım Doç.Dr Kadir GELİŞ'e teşekkürü borç bilirim.

Tez süresince tüm çalışmalarımnda desteyini hep hissettiğim değerli hocam Arş. Gör. Kadir ÖZBEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca arkamda duran, hedeflerime ilerlememde yol göstericim annem Seferova Sevinç'e sonsuz teşekkür ederim. Bu çalışma esnasında ne zaman yorulsam ve pes etmek istesem bana her zaman moral veren arkadaşlarıma teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Enerji Bilgi İdaresi (EIA), küresel enerji tüketiminde 2050 yılına kadar %50'lik bir artış olacağını öngörmektedir. Bu artışın, sera gazı emisyonlarında da %50'lik bir artışa yol açması beklenmektedir. Bu emisyonlar, Shirmohammadi ve arkadaşlarının 2020(1), araştırmalarında vurguladığı gibi, iklim değişikliği ve küresel ısınmanın önemli bir etkenidir. Karbondioksit emisyonları özellikle dikkat çekicidir ve toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık %70'ini oluşturmaktadır. Küresel enerji tüketimi, karbon emisyonlarını azaltma ve iklim değişikliğiyle mücadele zorunluluğu nedeniyle derin bir dönüşüm geçirmektedir. Geleneksel fosil yakıt bazlı enerji üretiminden yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş bu yolculuğun en önemli adımlarından biridir. Dünya şu anda enerji gereksinimlerini karşılamak için ağırlıklı olarak petrol, doğal gaz ve kömür dahil olmak üzere fosil yakıtlara güvenmektedir. Ancak bu fosil yakıt rezervleri sınırlıdır ve bunların kullanımı önemli çevresel zararlara yol açmaktadır. Bunun sonucunda alternatif enerji kaynaklarının araştırılmasına yönelik araştırma ve geliştirme çalışmalarına ağırlık verilmiştir. Güneş ışığı, rüzgar, biyokütle, jeotermal ve dalga enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları doğal olarak oluşur ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılabilir. Bu kaynakların potansiyel kullanımları neredeyse sınırsızdır ve çevre üzerinde olumsuz etkileri minimum düzeydedir. Özellikle güneş enerjisi, neredeyse sınırsız kaynağı ve minimum çevresel etkisi göz önüne alındığında, umut verici ve giderek daha uygun maliyetli bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak, güneş enerjisi santrallerinin dağıtımı dünya çapında önemli bir büyümeye tanık olmaktadır(2). Doğu Avrupa ile Batı Asya'nın kavşağında yer alan Azerbaycan, bol güneş enerjisi kaynaklarına sahip olduğundan büyük ölçekli güneş enerjisi projeleri için uygun bir adaydır. Başkent Bakü, yıl boyunca çok sayıda güneş ışığı saati ile ağırlıklı olarak kurak bir iklime sahiptir. Bu iklim özelliği, güneş enerjisi üretimi için uygun bir ortam sunmakta ve bu bölgedeki güneş enerjisi santrallerinin performans analizi ihtiyacını daha da vurgulamaktadır.

1.1 Literatür taraması

Akcan, Kuncan ve Minaz, PVsyst simülasyonlarını kullanan 2020 araştırmalarında Batman'da hidroelektrik enerjiye uygulanabilir bir alternatif olarak güneş enerjisi üretim potansiyelini araştırmışlardır. Batman'da bir okulun çatısına kurulması planlanan güneş enerjisi santrali için belirlenen lokasyon üzerinde yoğunlaşmıştır. PVsyst programını ve Meteonorm 7.2 veritabanını kullanarak simülasyon programı aracılığıyla şehre yönelik yapay iklim verileri ürettiler. Sonuçlar, sentetik meteorolojik veriler ile Türkiye Devlet Meteoroloji Dairesi'nden (YEGM) elde edilen bilgiler arasında minimal farklılıklar olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, fiili enerji üretiminin ilk baştaki beklentileri aşarak 35,31 MWh/yıl olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca, bu fazla enerjiyi bölgesel şebekeye satma potansiyelinin üzerine durmuşlar; bu da okula ek gelir elde etmek için kazançlı bir fırsat sunuyordu(3).

Ghazi, Irak'ın Necef kentindeki çöl arazilerinin sulanması için özel olarak tasarlanmış, güneş enerjisiyle çalışan bir yeraltı suyu pompalama sistemi tasarlamak üzere Matlab Simulink programını kullanmıştır. Çalışma, 12.500 m²'lik önemli bir alanı verimli bir şekilde sulamak için iki adet 5,5 kW'lık kuyu pompası ve 0,78 kW'lık bir tank pompasının kullanılması planlanmıştır. Yapılan modelleme ile, sulama sistemi için gereken güneş panellerinin optimum miktarını ve gücünü belirlemesi sağlanmıştır. Araştırma, sistemin yalnızca geniş kırsal alanları başarıyla sulama potansiyelini ortaya koymakla kalmamış, aynı zamanda onu bu bölgelerdeki sürdürülebilir tarım uygulamaları için verimli ve etkili bir çözüm olarak konumlandırmıştır(4).

Kuzucu, Edirne ilinde tarımsal sulamada şebeke elektriğine bağlı kalmak yerine alternatif fotovoltaik sistemlerin uygulanmasıyla ilgili maliyet ve geri ödeme sürelerini incelemiştir. Analiz, güneş paneli gücü, invertör gücü, şarj kontrol cihazı gücü, akü kapasitesi ve beklenen elektrik enerjisi çıkışına ilişkin hesaplamaları içermektedir. Sistem ömrünün 25 yıl, geri ödeme süresinin ise 7 yıl olarak öngörüldüğü çalışmada, güneş enerjisinden devlet desteğiyle faydalanmanın tarımsal sulamada uygulanabilir ve uygun maliyetli bir yaklaşım olacağı sonucuna varmıştır (5).

Alıcı, Çukurova bölgesindeki üç farklı konfigürasyon için örnek olay çalışması olarak 400 W panellerden oluşan sistemleri uyguladı. Sabit sistem, tek eksenli güneş takip sistemi ve çift eksenli güneş takip sistemi aynı çevre koşullarında analiz edilmiş ve üretim verileri ayrıntılı olarak karşılaştırılmıştır. Bulgular, güneş takip sistemlerinin öneminin vurgulanmış ve bu sistemlerin daha fazla elektrik üretme kapasitelerinin üzerinde durulmuştur(6).

Beyarslan, şebekeye bağlı bir köyde elektrik maliyetlerini düşürmeyi ve karbon ayak izini en aza indirmeyi amaçlayan, yenilenebilir enerji kaynaklarını içeren hibrit bir sistemi modellemek için HOMER programını kullanmıştır. Köyün güç talebi, pik yük, güneş radyasyonu ve rüzgar hızına ilişkin günlük veriler toplanmış ve analiz edilmiştir. Çalışma, optimal bir mikro şebeke sisteminin çeşitli elektrik yükü, fotovoltaik modüller (PV), rüzgar türbinleri, küçük hidroelektrik santraller, piller, elektrolizörler, yakıt hücreleri ve hidrojen depolama kombinasyonlarından oluşabileceğini belirlenmiştir. Araştırma, bu unsurların stratejik olarak birleştirilmesiyle, çeşitli operasyonel bağlamlarda hem uygun maliyetli hem de çevre dostu çözümlerin elde edilebileceğini göstermiştir (7).

2020 yılında Akcan, Kuncan ve Minaz, Batman'da hidroelektrik enerjiye alternatif olarak güneş enerjisi potansiyelini keşfetmek için PVSyst simülasyon yazılımından yararlanan bir çalışma yürütmüşlerdir. Batman ilindeki bir okulun çatısına elektrik santralini kurulumunu modellemek için PVsyst'i kullandılar. Simülasyonları için Meteonorm 7.2 veritabanını kullanarak şehir için iklim verileri üretilmiştir. Yıllık 35,31 MWh'lik beklenen enerji üretiminin beklentileri aştığını, bunun da fazla enerjiyi bölgesel şebekeye satma fırsatı sunarak okula ek gelir sağladığını gözlemlemişlerdir. Çalışmada fotovoltaik sistemlerin Batman için hidroelektrik enerjiye kıyasla daha avantajlı bir enerji seçeneği sunduğu vurgulanmıştır (3).

Öztürk ve Dursun, araştırmalarında fotovoltaik (PV) sistemlerin sistem bileşenlerinin değerlendirilmesi, seçim kriterleri ve takip sistemlerini kapsayan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada takip sistemlerinin avantajlarından bahsedilmiştir (8).

Nann S., 40 dereceye ayarlanmış sabit açılı bir sistemle başlayarak, güneş takip sistemleri için maliyet ve ışınlım verilerine dayalı kapsamlı bir analiz gerçekleştirmiştir. Ayrıca, tek eksenli sistemin maliyetinin iki eksenli sistemin yarısı kadar olmasına rağmen, iki eksenli izleme sisteminin tek eksenli izleme sistemine oldukça benzer performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır (9)

Altıntaş, Bingöl ve Öner tarafından yürütülen ayrı bir araştırmada, mikroişlemci kontrollü çift eksenli güneş takip sistemi geliştirilmiş ve performansının değerlendirilmesi için bir dizi deney yapılmıştır. Sistem, sensör olarak ışığa bağlı değişken bir direnç içermekte ve hassas ayarlamalar için kademeli motorlar kullanmıştır. Kurulumu, gerçek zamanlı güneş konumu bilgisi sağlayan ve mikroişlemci ile RS232 protokolü aracılığıyla iletişim kuran bir bilgisayar entegre edilmiştir. Panellerin sıcaklık değişimleri sık aralıklarla izlenerek analiz için veri setleri oluşturulmuştur. Takip sisteminin dönüş açısını 2° aralığında tuttular, bu da sabit ve hareketli paneller arasında 9°C'lik gözle görülür bir sıcaklık farklılığına neden olmuştur. Çalışmanın bulguları, sabit panel sisteminin mobil güneş takip sistemine kıyasla daha az güneş radyasyonu aldığını kesin olarak doğrulamıştır (10).

Paras Karki ve ark. (2012), PVsyst kullanarak Katmandu ve Berlin'deki şebekeye bağlı fotovoltaik (PV) sistemlerin karşılaştırmalı performans analizini gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada, her iki şehirde 60 kWp'lik bir PV sistemini simüle ettiler ve hem PV dizisinin ürettiği enerjiyi hem de şebekeye sağlanan enerjiyi incelemişlerdir. Çalışma, enerji üretimini değerlendirmenin yanı sıra sistemdeki çeşitli potansiyel kayıplar da araştırılmıştır (11).

Kanchan Matiyali ve ark. (2016), PVsyst simülasyon aracını kullanarak Dhalipur'da kurulacak 400 kWp'lik şebekeye bağlı güneş PV enerji santralinin performans çalışmasını yürütmüşlerdir. Önerilen sistemin oldukça uygulanabilir olduğu görülmüştür. Simüle edilen sistem performans oranını %78,1 olduğu görülmüştür(12).

Özdemir ve Özmen, araştırmalarında Düzce Üniversitesi'nde güneş enerjisinden yararlanmaya yönelik bir çalışma yapmıştır. Araştırmada her biri aynı kapasitede olan fotovoltaik panellerin verimlilik, performans, ışınlım ve günlük

toplam enerji üretim değerlerinin analizine odaklanıldı. Yapılan çalışmada footvoltaik panellerin verimliliklerinin %12,8 ve performans oranlarının %87,6 olduğu görülmüştür (13).

Duhis ve ark. albedo etkisinin güneş enerjisi sistemlerinin verimliliği üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışma, çatı tipi panellerin albedo değerlerinin değiştirilmesini, başlangıçta albedo değeri 0,25 olan bir yüzeyin beyaza boyanmasını ve ardından bu değerin 0,70'e yükseltilmesini ve ardından sonuçların analiz edilmesini içermektedir. Çalışmanın bulguları, albedo değerlerindeki artış ile panellerin artan enerji üretim kapasitesi arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermiştir. Temel olarak araştırma, daha yüksek albedo değerlerinin güneş panellerinden artan enerji çıkışına karşılık geldiğini göstermektedir (14).

1.2 Tezin Amaç ve Kapsamı

Bu tezin temel amacı, Azerbaycan'da bulunan mega ölçekli şebekeye bağlı bir güneş enerjisi santralının Bakü'nün iklim koşullarına odaklanarak kapsamlı bir performans analizi yapmaktır. Bu analiz, bu bölgedeki güneş enerjisi projelerinin planlanması, tasarlanması ve işletilmesinde etkili olabilecek tesisin performansı, verimliliği ve güvenilirliği hakkında araştırmacılara ve kullanıcılara bilgi sağlayacaktır. Araştırma, güneş enerjisi sistemlerinin modellenmesi ve simüle edilmesi için yaygın olarak tanınan ve güvenilir bir araç olan, açık kaynaklı PVSyst yazılımı kullanılarak yapılacaktır.

Bu çalışma, yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip bir bölge olan Azerbaycan'da büyük ölçekli güneş enerjisi projelerinin geliştirilmesi için bir yol haritası oluşturmaktadır. Ayrıca, bu çalışmanın sonuçları Azerbaycan'daki yenilenebilir enerji sektörüyle ilgilenen politika yapıcılar, yatırımcılar ve enerji profesyonelleri için bir referans noktası görevi görebilir. Mega ölçekli bir güneş enerjisi santralının yerel koşullardaki performansını anlamak, yatırımların optimize edilmesi, risklerin azaltılması ve bu tür projelerin uzun vadeli sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Sistem Modelleme: Bu araştırmanın önemli bir bileşeni, mega ölçekli şebekeye bağlı güneş enerjisi santralının karmaşık ve hassas bir modelinin

oluşturulmasını içermektedir. Bu model coğrafi düzeni, güneş paneli teknolojisini, invertörleri ve çeşitli yardımcı sistemlerini dikkate almaktadır.

Performans Simölasyonu: Güneş enerjisi santralinin performansının kapsamlı bir şekilde anlaşılması için araştırmada PVSYST programı kullanılmaktadır. Çeşitli senaryolar altında tesisin performansını simöle etmek için bu yazılımı kullanılmaktadır. Bu senaryolar farklı hava koşullarını, çeşitli bakım stratejilerini ve panel eğim açılarını değiştirmenin etkisinin araştırılmasını içermektedir. Amaç, enerji üretimini, sistem verimliliğini değerlendirmek ve bu değişen koşullar altında potansiyel sorunları veya sınırlamaları belirlemektir.

Çevresel Etki: Araştırmanın önemli bir yönü güneş enerjisi santralinin çevresel etkisinin analizidir. Bu analiz, tesisin sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ve bölgedeki genel çevresel sürdürülebilirliğine katkısını değerlendirmek için tasarlanmıştır. Güneş enerjisi santralinin çevresel faydalarını ve daha geniş sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğinin azaltılması bağlamında önemini incelemektedir.

Bu araştırma hedeflerinin belirlenen kapsam dahilinde birleştirilmesi, Azerbaycan'daki mega ölçekli şebekeye bağlı güneş enerjisi santrallerinin, özellikle Bakü'nün kendine özgü iklim koşulları altında performansı ve uygulanabilirliğine ilişkin bütünsel bir anlayış sağlamayı amaçlamaktadır.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

2.1 Güneş Enerjisinin Önemi

Güneş enerjisi sistemleri yıllar geçtikçe giderek daha verimli hale gelmiştir. Güneş paneli teknolojisindeki yüksek dönüşüm oranları ve gelişmiş enerji depolama çözümleri gibi gelişmeler, aynı miktarda güneş ışığından daha fazla enerji elde edilmesini mümkün kılmıştır. Bu artan verimlilik, güneş ışığının daha az yoğun olduğu bölgelerde bile güneş enerjisinin enerji taleplerimizin daha büyük bir bölümünü karşılayabileceği anlamına geliyor. Güneş enerjisi, enerji şebekelerinin modernleştirilmesinde ve güvenilirliğinin artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır (15). Yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla paya sahip olduğu bir dünyaya geçiş yaparken, güneş enerjisi şebeke istikrarına katkıda bulunmaktadır. Güneş enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarını içeren akıllı şebeke teknolojileri, enerji arzı, talebi ve dağıtımının daha iyi yönetilmesine olanak tanıyarak kesinti riskini azaltır ve enerji kullanımını optimize etmektedir. Dünyanın pek çok yerinde, özellikle uzak veya az gelişmiş bölgelerde, güneş enerjisi kırsal bölgelerin elektrik ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Mikro güneş enerjisi şebekeleri ve küçük ölçekli güneş enerjisi kurulumları, elektriğe erişim sağlayarak eğitim, sağlık ve ekonomik fırsatlara erişim sağlayarak yaşam kalitesini artırmaktadır (16). Güneş enerjisi sektörü, araştırma ve geliştirmeye yönelik önemli yatırımlardan yararlanmaya devam etmektedir. Malzeme bilimi, enerji depolama ve güneş pili teknolojisindeki atılımlar, güneş panellerinin verimliliğini ve uygun fiyatını sürekli olarak artırmaktadır. Bu tür gelişmeler, güneş enerjisini yakın gelecekte daha da çekici bir enerji kaynağı haline getirmeyi vaat etmektedir. Güneş enerjisinin önemi, piller gibi enerji depolama teknolojilerinin gelişmesiyle yakından bağlantılıdır. Bu teknolojiler, aralıklı güneş ışığının yarattığı zorluğun üstesinden gelerek, fazla güneş enerjisinin daha sonra kullanılmak üzere depolanmasına olanak tanır. Enerji depolama sistemleri aynı zamanda şebeke esnekliğine ve istikrarına da katkıda bulunarak güneş enerjisini daha güvenilir bir enerji kaynağı haline getirir. Güneş enerjisi, güvenilir elektriğe erişimin sınırlı olduğu bölgelerde enerji yoksulluğunu azaltabilir. Bireyler ve topluluklar, şebekeden bağımsız güneş enerjisi çözümleri sağlayarak, gazyağı lambaları veya dizel jeneratörler gibi pahalı ve çevreye zararlı alternatiflere bel bağlamadan aydınlatma ve elektronik cihazların şarj edilmesi gibi temel enerji ihtiyaçlarını

karşılayabilir. Güneş panelleri kullanım ömrünün sonuna yaklaşırken, geri dönüşüm ve yeniden değerlendirme çalışmaları değerli malzemelerin israf edilmemesini sağlıyor. Bu, güneş paneli imhasının çevresel etkisini azaltır ve daha sürdürülebilir bir tedarik zincirine katkıda bulunur (17). Güneş enerjisi, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleriyle, özellikle de uygun fiyatlı ve temiz enerji, iklim eylemi ve sorumlu tüketimle ilgili hedeflerle uyumludur. Güneş enerjisinin benimsenmesini teşvik ederek daha sürdürülebilir ve eşitlikçi bir dünyaya doğru adımlar atıyoruz. Güneş enerji santrallerinin avantajları olduğu kadar dezavantajları da vardır. Tablo 2.1’de Güneş enerji santrallerinin avantaj ve dezavantajları yer almaktadır.

Tablo 2.1. GES’nin avantaj ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
Sürekli bir sistem olması	İlk kurulum maliyyetinin yüksekliği
Kurulum kolaylığı	Hava durumuna bağılılık
Düşük bakım maliyyeti	Depolama sistemlerinin pahalı olması
Hızlı gelişen teknoloji	Kurulum için geniş alan ihtiyacı
Sıfır çevre kirliliği	

2.2 Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

Güneş enerjisi uygulamaları her geçen gün gelişmeye ve genişlemeye devam etmekte ve çok çeşitli kullanım ve işlevsellik sergilemektedir. Güneş enerjisinin çok yönlülüğü, çeşitli sektörlerle erişimini genişletmekte ve onu modern dünyamızda giderek daha vazgeçilmez bir kaynak haline getirmektedir (18). Aşağıda Güneş enerjisinin kullanım alanları özet halinde sunulmuştur.

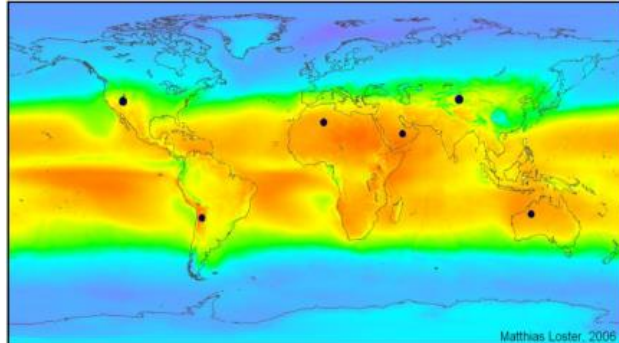
- **Elektrik Üretimi:** fotovoltaik (PV) güneş panelleri güneş ışığını elektriğe dönüştürür. Bu elektrik, güneş enerjisi santralleri aracılığıyla evlere, işyerlerine ve hatta tüm şehre enerji sağlamak için kullanılabilir.
- **Isıtmak ve soğutmak:** güneş enerjisi termal sistemleri, su ısıtma, alan ısıtma için ısı üretmek üzere güneş ışığını yakalar. Bu genellikle güneş enerjili su ısıtıcılarında kullanılır.

- Su arıtma: güneş enerjili damıtıcılar suyu tuzdan arındırmak ve arıtmak için kullanılabilir ve temiz su kaynaklarına erişimin sınırlı olduğu bölgelerde temiz içme suyu sağlanabilir.
- Tarım: güneş enerjisi sulama sistemlerine güç sağlayabilir ve mahsulün sulanması için suyun pompalanmasına yardımcı olarak tarımsal verimliliği artırabilir.
- Toplu taşıma: Güneş enerjisiyle çalışan arabalar ve güneş bisikletleri gibi güneş enerjisiyle çalışan araçlar, itiş gücü sağlamak üzere pilleri şarj etmek için güneş panelleri kullanır. Güneş enerjisiyle çalışan tekneler ve uçaklar da geliştiriliyor.
- Dış Aydınlatma: güneş enerjili ışıklar sokak aydınlatması, bahçe aydınlatması ve yol aydınlatması için yaygın olarak kullanılmakta ve şebekeye bağlı elektrik ihtiyacını azaltmaktadır.
- Uzay araştırması: Güneş panelleri, uzay gemilerinde ve uydularda güneş ışığını yakalamak ve uzayda elektrik enerjisi üretmek için yaygın olarak kullanılır.
- Şebeke Dışı Uygulamalar: güneş enerjisi, kabinler, karavanlar ve uzaktan izleme sistemleri dahil olmak üzere şebekeden bağımsız ve uzak konumlar için hayati bir güç kaynağıdır.
- Acil durum gücü: güneş enerjisi jeneratörleri ve taşınabilir güneş enerjisi şarj cihazları, elektrik kesintileri ve acil durumlarda yedek güç sağlar.
- Şebeke Entegrasyonu: güneş enerjisi elektrik şebekesine entegre edilebilir, böylece ev sahipleri ve işletmeler fazla elektriği şebekeye geri satabilir, sürdürülebilirliği teşvik edebilir ve gelir elde edebilirler.
- Eğitim ve Araştırma: güneş enerjisi, yenilenebilir enerji ve sürdürülebilirliği öğretmek için bir eğitim aracı olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisi teknolojisindeki araştırmalar bu alandaki ilerlemelere yön vermeye devam ediyor.
- Uzaktan İletişim: güneş enerjisi, meteoroloji istasyonları ve uzaktan izleme cihazları gibi uzak ve şebeke dışı konumlarda pilleri ve güç iletişim ekipmanlarını şarj etmek için kullanılır.

- Yüzme Havuzlarında Su Isıtma: güneş enerjili havuz ısıtıcıları, yüzme havuzu suyunu ısıtmak için güneş ışığını kullanır, enerji maliyetlerini azaltır ve yüzme sezonunu uzatır.
- Endüstriyel işlemler: bazı endüstriler, belirli ısıtma ve güç ihtiyaçları için güneş enerjisini kullanarak fosil yakıtlara olan bağımlılıklarını azaltıyor ve karbon emisyonlarını azaltıyor.
- Çevresel koruma: güneş enerjisiyle çalışan yaban hayatı izleme kameraları ve sensörleri, yaban hayatını doğal ortamlarında incelemek ve korumak için koruma çabalarında kullanılıyor.

2.3 Küresel Güneş Enerji Potansiyeli

Yenilenebilir enerji kaynakları, küresel enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılamaktadır. Bu yenilenebilir kaynakların %8,9'u geleneksel biyokütleden, %4,2'si termal kaynaklardan, %3,9'u hidroelektrik enerjiden ve geri kalan %2,2'si rüzgar enerjisinden karşılanmaktadır. 2015 sonu itibarıyla küresel elektrik üretiminin yaklaşık %23,7'si yenilenebilir kaynaklardan sağlanmaktadır (19). Dünya atmosferi ortalama olarak yaklaşık 342 W/m^2 güneş enerjisi almaktadır. Gelen bu güneş ışınımının yaklaşık %30'u saçılır veya uzaya geri yansıtılırken geri kalan %70'i (yaklaşık 239 W/m^2) güneş enerji sistemleri için kullanılabilir. Şekil 2.1, Dünya yüzeyindeki güneş ışınımının yıllık ortalama yoğunluğunu göstermektedir. Araştırmalar, %8'lik nispeten düşük dönüşüm verimliliğine rağmen, genellikle "kara nokta" alanları olarak adlandırılan yüksek güneş radyasyonu seviyelerine sahip bölgelerin, dünyanın toplam birincil enerji talebinden daha fazla enerji üretme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir (20).



Şekil 2.1. Dünyanın yüzeyinde yıllık ortalama güneş ışınımı dağılımı (21)

2.4 Azerbaycanda Güneş Enerjisi Potansiyeli

Doğu Avrupa ile Batı Asya'nın kavşağında bulunan Güney Kafkasya bölgesinde yer alan Azerbaycan, coğrafi konumu ve iklimi nedeniyle önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel etkili bir şekilde kullanıldığında ülkenin enerji talebinin karşılanmasında önemli bir rol oynayabilir ve sürdürülebilirliğine ve ekonomik kalkınmasına katkıda bulunabilir. Azerbaycan, ülke topraklarının çoğunun yarı kurak bir iklim ve bol güneş ışığı ile karakterize edilen Güney Kafkasya'da yer almasıyla avantajlı bir coğrafi konuma sahiptir. Ülke yılda yaklaşık 2.200 ila 2.600 saat güneş ışığı alıyor ve bu da onu güneş enerjisi üretimi için çok uygun hale getiriyor. Nahçıvan Özerk Cumhuriyeti ve Abşeron Yarımadası gibi bölgeler özellikle yüksek güneş ışıınımına sahip olup, ülkenin güneş enerjisi potansiyelini daha da artırmaktadır.

Azerbaycandaki potansiyel gözönüne alındığında kurulu gücü 230 MW'lık güneş enerjisi santralinin inşasına ilişkin pilot projenin uygulanmasına başlanmıştır. Bu doğrultuda 6 Nisan 2021 tarihinde Azerbaycan Cumhuriyeti Enerji Bakanlığı ile Birleşik Arap Emirlikleri'nin "Azerenergy" OJSC ve "Masdar" Şirketi arasında "Yatırım Anlaşması", "Enerji Satın Alma Anlaşması" ve "İletim Anlaşması" imzalanmıştır. Emirates ile 230 MW'lık güneş enerjisi santrali projesi ağ bağlantı anlaşması imzalanmıştır (21).

2.5 Fotovoltaik Sistemler

Güneş enerjisini yakalayabilmek ve elektrik üretebilmek için çeşitli teknolojiler gelişmektedir. Bazıları güneşin ışık enerjisinden, bazıları ise ısı enerjisinden elektrik üretmektedir. Güneş enerjisi, fotovoltaik sistemler aracılığıyla elektrik enerjisi üretmek için yaygın bir kaynaktır. PV sistemlerinin ileri teknoloji olarak geliştirilmesi, 1950'lerden sonra hız kazandı ve bu sistemlerin gelişmiş ve yaygın olarak kullanılan bir ürün olarak konumlandırılması sağlandı.

Güneşin ışıınımından enerji üretimi ilk kez Fransız bilim adamı Antoine-Ce'sar Becquerel'in çalışmalarında, fotovoltaik etkiyi keşfetmesiyle görülmektedir. Ardından ilk gerçek güneş pili 19.yy sonlarında Charles Fritts tarafından üretildi (22).



Şekil 2.2. Fotovoltaik Panel (23)

Fotovoltaik (PV) sistemler, güneşten gelen ışık enerjisini yakalayıp doğrudan elektriğe dönüştürmek için tasarlanmıştır. Bu sistemler tipik olarak güneş ışığına maruz kaldığında elektrik akımı üreten yarı iletken malzemelerden oluşan güneş panellerinin kullanımını içerir (Şekil 2.2).

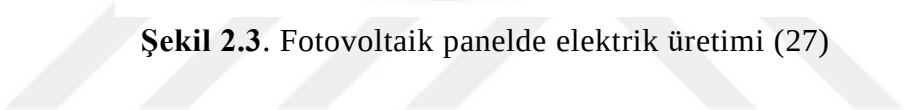
Öte yandan güneş termal teknolojileri, güneşten gelen ısı enerjisini elektrik üretmek için kullanmaya odaklanıyor. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (CSP) sistemleri, güneş ışığını küçük bir alana yoğunlaştırmak için aynalar veya mercekler kullanır ve daha sonra güç üreten bir türbini çalıştırmak için kullanılan yoğun ısı üretir. Bu yöntem özellikle güneş ısınımının yüksek olduğu bölgelerde etkilidir (24).

2.5.1 Fotovoltaik Paneller

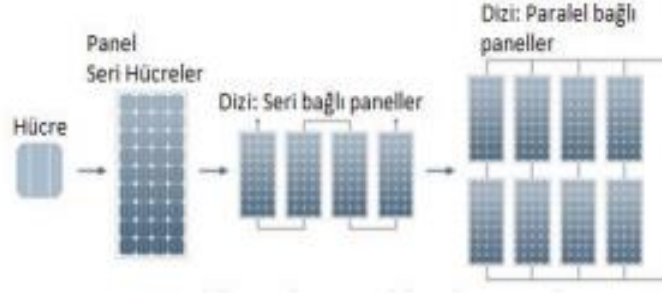
Fotovoltaik hücreler olarak da bilinen FV hücreleri yarı iletken malzemelerden oluşur. Bu hücreler güneş ışığından belirli dalga boylarındaki fotonları emerek elektron akışını kolaylaştırır. Yarı iletken yapıdaki serbest elektronlar bu fotonlardan gelen enerjiyi emerek güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür (25).

Bir fotovoltaik sistemin ömrü ve performansı büyük ölçüde kullanılan güneş panellerine bağlıdır. Bu nedenle güneş paneli garanti belgesi seçimi çok önemlidir ve sertifikalı güneş panellerini tercih etmeniz tavsiye edilir. Çoğu üretici, panellerin 25 yıla kadar %80 verimlilikle çalışacağını garanti etmektedir.

PV panellerin güç toleransının tipik olarak ± 5 gibi bir aralıkla ifade edildiğini belirtmek gerekir. Örneğin, 450 W'lık bir panelin güç toleransı 5 ise, gerçek güç çıkışı 445 W ile 455 W arasında değişebilir. Bu değişkenlik tutarsızlıklar nedeniyle PV sistemindeki kayıplara katkıda bulunabilir.



Şekil 2.3. Fotovoltaik panelde elektrik üretimi (27)



Şekil 2.4. FV hücre, panel, dizi tasarımları (29)

Fotovoltaik hücreler iki ana tipe ayrılabilir: kristalin silikon hücreler (C-Si) ve ince film hücreler. Kristalin silikon hücreler küresel olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Silikon, kararlı optik, elektriksel ve yapısal özellikleri ve doğada bol miktarda bulunması nedeniyle bu hücreler için birincil malzeme olarak ön plana çıkmıştır. Kristal paneller ayrıca farklı üretim yöntemlerine göre monokristal ve polikristal olarak sınıflandırılır.

İnce film üretiminde; amorf silisyum, bakır-indiyum-diselenid (CIS) ve kadmiyum tellürid (CdTe) kullanılır. Bu elementlerin yüksek ışık soğurması nedeniyle 1 mikronluk bir kalınlığın bile enerji üretimi için yeterli olduğu anlaşılmaktadır. Verimlilikleri düşük olması sebebiyle daha az talep görmektedir (30).

2.5.2 Güneş Hücreleri

Güneş hücresi, silikon ve yarı iletken malzemeden oluşan bir cihazdır. Güneş hücresinin en üst katmanı, gelen güneş ışığını dışarıda tutarken yansımayı en aza indirecek şekilde tasarlanmış bir Yansıma Önleyici Kaplamaya (ARC) sahiptir. Bunu takiben koruyucu ön temas bölümü bulunmaktadır. Hemen altında, çok az miktarda fosforun eklenmesiyle oluşturulan n tipi bir katman bulunur. Bu giriş, fosfor ve silikon atomları arasında kasıtlı bir yer değiştirmeye sonuçlanır. En alttaki katman, minimum miktarda bor içeren katkılı p tipi silikon katmandan oluşur. Bor atomları ve silikon arasındaki etkileşim, bu katmanda pozitif yüklerin oluşmasına neden olur. Son katman bir temas şeklini alarak hücrenin dayanıklılığını artırıyor ve aynı zamanda arka bölümü metalle kaplanmaktadır (31).

Güneş pilleri, elektrik üretmek için fotonların gücünden yararlanan, ışıkla çalışan diyotlar olarak işlev görmektedir. Diyot yapısındaki yarı iletken malzemeler ışığın elektrik enerjisine dönüşmesini sağlayarak güneş pillerinin düşük ışık koşullarında bile güç üretmesini mümkün kılmaktadır. Daha da önemlisi, güneş pilleri yalnızca doğrudan güneş ışığına bağlı değildir; kapalı ve soğuk hava ortamlarında da elektrik üretebilmektedirler. Enerji dönüşüm süreci, fotonların güneş pili tarafından emilmesiyle başlar, bu da n-tipi silikondaki zayıf elektronların serbest bırakılmasını kolaylaştırır ve bunların pozitif yüklü p-tipi silikona doğru serbestçe hareket etmelerine olanak tanımaktadır. Bunu takiben hücre voltajı ve akımı belirgin bir hale gelmektedir. Üretilen elektrik enerjisi hücre içindeki arka kontak tarafından yakalanır ve paralel olarak çalışarak diğer tüm hücrelerle seri bağlantı kurar. Her biri benzersiz özelliklere sahip olan çeşitli güneş pili türleri piyasada bulunmaktadır. Bunlar arasında dikkat çekenler monokristal güneş pilleri, çok kristalli güneş pilleri ve ince film güneş pilleridir.

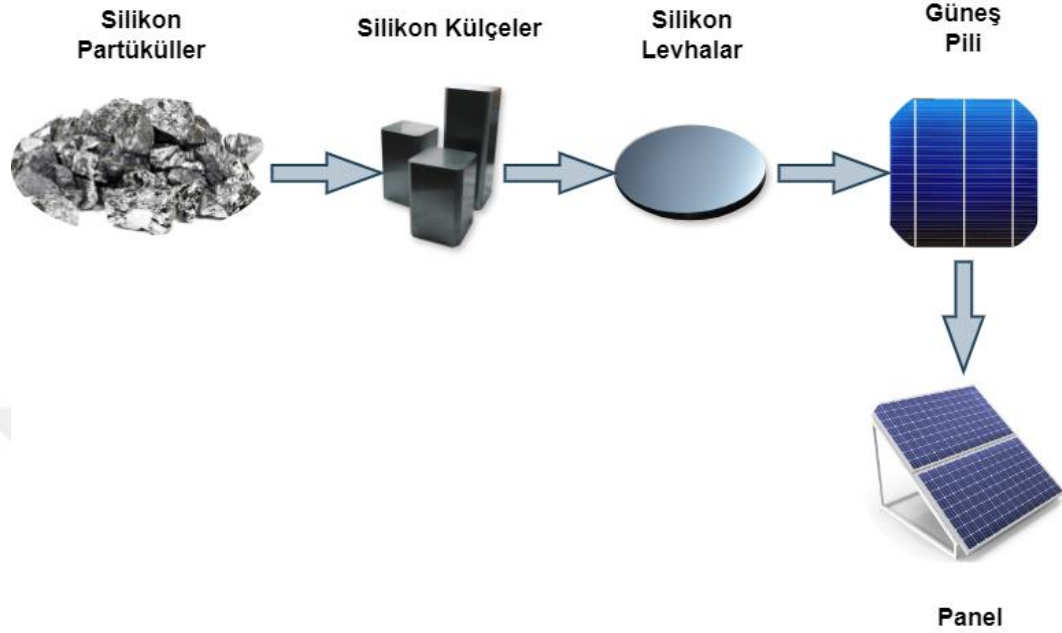
Monokristal hücreler; homojendir ve özelliklerini uzun süre korumaya sahiptir ve bu da olağanüstü verimliliklerine katkıda bulunur. Şu anda piyasada bulunan monokristal hücreler %15 ile %20 arasında değişen ortalama verimlilik sergilemektedir (Şekil 2.5). En son teknolojilerin yardımıyla bu verimlilik seviyeleri artık daha da ileri götürülerek etkileyici bir %26'ya kadar ulaşabiliyor (32).



Şekil 2.5. Monokristal hücre (33)

Şekil 2.5'te gösterildiği gibi renk tonları koyu maviden siyaha kadar değişmektedir. Monokristalin hücreler tekil bir kristal silikon yapısından kaynaklanır. Yüksek saflıkta silikon çubuklar, daha sonra ince parçalara dilimlenen ve dairesel, kare ve yarı köşeli formlara şekillendirilen külçelere dökülerek oluşturuluyor (34).

Polikristal hücreler; birçok monokristal hücrenin bir araya gelmesinden oluşur (Şekil 2.6). Polikristal hücrelerde istenen saflık derecesi de aynı oranlardadır. Monokristalin aksine silikon bloklar halinde dökülmektedir (35).



Şekil 2.6. Polikristal hücre üretim safhaları (36)

İnce film güneş hücreleri; amorf silikon ve kadmiyum tellür gibi elementleri içermektedir (Şekil 2.7). Mükemmel güneş ışığı iletim hızlarına rağmen bu hücreler nispeten düşük çıkış akımlarıyla ilişkilidir. Sonuç olarak, çıkış voltajları, daha küçük akımlarla da olsa, kristalin silikon pillerinkinden yaklaşık 2-3 kat daha yüksek olma eğilimindedir. Bu güneş pilleri her biri 1-4 mm kalınlıkta olan ardışık katmanlardan oluşur. Tipik olarak cam, polimer veya metalden yapılabilen ve çoğunlukla kadmiyum çinko ürünlerini içeren ekonomik bir alt tabakaya yapıştırılırlar. Verimleri %5 ile %8 arasındadır.



Şekil 2.7. İncefilm güneş panelleri (37)

İnce film güneş panellerinin dört ana türü vardır: amorf silikon, bakır indiyum selenit (CIS), kadmiyum tellür (CdTe) ve çok bağlantılı hücreler (Bakır indiyum galyum diselenit CIGS). Verimliliği nedeniyle sıklıkla kadmiyum tellür tercih edilirken, bakır indiyum selenit ise daha hafif olmasıyla öne çıkmaktadır. Amorf silikon hücreler tipik olarak %6 ila %9 arasında bir verimlilik aralığına ulaşır, kadmiyum tellür paneller %9 ila %20 arasında verimlilik sergiler ve çok bağlantılı hücreler %8 ila %19 arasında değişen verimliliklere ulaşabilir (38).



3. FOTOVOLTAİK SİSTEM BİLEŞENLERİ VE PV SİSTEM PERFORMANS PARAMETRELERİ

3.1 IEC 61724 Standartı ve PV Sistem Performans Parametreleri

IEC 61724, fotovoltaik (PV) sistemlerle ilgili bir dizi Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) standarttır. IEC 61724 özellikle PV sistemlerinin izlenmesi ve performans analizine yönelik yönergeler ve gereksinimler sağlar. Bu serideki standartlar, güneş enerjisi üretimiyle ilgili çeşitli parametrelerin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde tutarlılık ve doğruluğu sağlamayı amaçlamaktadır (39).

IEC 61724, her biri PV sistem izlemenin belirli yönlerine odaklanan farklı bölümlerden oluşur. Bu standartların kapsadığı temel alanlardan bazıları şunlardır:

- Ölçüm, veri alışverişi ve analiz için yönergeler - bu bölüm, veri alışverişi ve analizine yönelik öneriler de dahil olmak üzere, PV sistemlerinin performansının izlenmesine yönelik genel kuralları özetlemektedir.
- Akımların ve gerilimlerin ölçümüne ilişkin yönergeler - bu bölüm PV sistemlerdeki akım ve gerilimlerin ölçümüne odaklanmaktadır.
- Çevresel parametrelerin ölçümüne ilişkin yönergeler - bu bölüm, güneş ışıınımı ve sıcaklık gibi PV sistemlerinin performansını etkileyebilecek çevresel parametrelerin ölçümüne değinmektedir.
- Sistem performansının değerlendirilmesine yönelik yönergeler: bu bölüm, PV sistemlerinin performansının genel değerlendirmesi için yönergeler sağlar.

IEC 61724 standart sistemindeki temel parametre, şebeke çıkışında üretilen enerjinin maksimum potansiyel (referans) enerjiye oranını ifade eden Performans Oranıdır (PR). PV güneş enerji santrallerinde bu oranın güneş ışıınımına bakılmaksızın belirlendiği dikkat çekmektedir (40).

3.2 Yerel Koşulların Güneş Enerjisi Üretimi Üzerindeki Etkisinin Analiz Edilmesi.

Yerel koşulların güneş enerjisi üretimi üzerindeki etkisini analiz etmek, güneş enerjisi tesislerinin performansını optimize etmek için çok önemlidir. Belirli bir

yerde güneş enerjisi üretimini çeşitli faktörler etkiler. Bazı önemli hususlar şunlardır:

Enlem ve Boylam: Bir sitenin coğrafi konumu, güneş ışığının güneş panellerine ulaştığı açıyı etkiler. Daha yüksek enlemler daha düşük güneş radyasyonu yoğunluğuna maruz kalabilir.

- **Topografya:** Dağlar, tepeler ve yüksek binalar gölge oluşturarak etkili güneş ışığı saatlerini azaltabilir ve enerji üretimini etkileyebilir.
- **Sıcaklık:** Güneş panelleri genellikle daha düşük sıcaklıklarda daha verimlidir. Yüksek sıcaklıklar verimliliği azaltabilir ve güneş panellerinin ömrünü etkileyebilir.
- **Bulut Örtüsü:** Bulutlu günler panellere ulaşan güneş ışığı miktarını azaltarak enerji üretimini etkiler.
- **Yağış:** Sık yağmur, güneş panellerine ulaşan güneş ışığı miktarını azaltarak güneş panellerinin verimliliğini etkileyebilir.
- **Rüzgar:** Aşırı rüzgar, güneş enerjisi tesislerinin yapısal bütünlüğünü etkileyebilir.
- **Kirlilik:** Hava kirliliği, güneş ışığını güneş panellerine ulaşmadan dağıtarak verimliliklerini azaltabilir.
- **Panel Eğimi:** Güneş panellerinin eğim açısının konumun enlemine uyacak şekilde ayarlanması enerji üretimini optimize edebilir.
- **Yönelim:** Maksimum güneş ışığına maruz kalma için paneller ekvatora bakmalıdır.
- **Daha Yüksek İrtifalar:** Güneş panelleri, atmosferik girişimin azalması nedeniyle daha yüksek irtifalarda daha verimli olabilir.
- **Politika ve Teşvikler:** Yerel düzenlemeler ve teşvikler, güneş enerjisi projelerinin fizibilitesini ve karlılığını önemli ölçüde etkileyebilir.

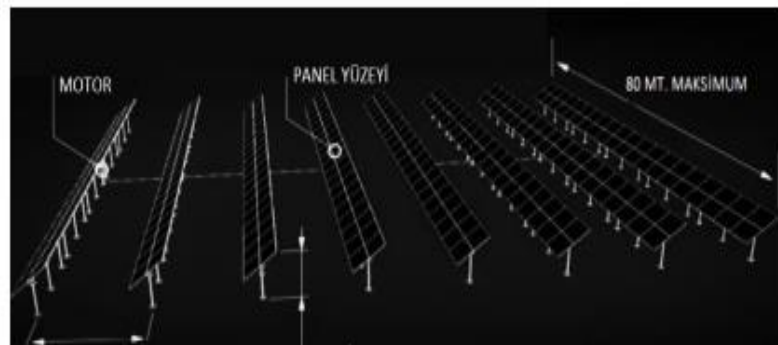
Pil Verimliliği: Enerji depolama sistemlerinin kullanılabilirliği ve verimliliği, özellikle güneş ışığının olmadığı saatlerde güneş enerjisinin kullanımını etkiler. Yerel koşulların kapsamlı bir analizi, güneş enerjisi tesislerinin enerji üretimini ve verimliliğini en üst düzeye çıkaracak şekilde tasarlanmasını ve işletilmesini sağlayarak güneş enerjisi projelerinin genel başarısına ve sürdürülebilirliğine katkıda bulunur (41).

3.3 Konstrüksiyon Elemanları

Geniş açıklık ve yükseklik gerektiren güneş paneli kurulumlarında çelik konstrüksiyon sistemler kullanılmaktadır. Bu yapıların destekleyici çerçeveleri özel olarak çelikten üretilmiştir. Hızlı kurulumlarıyla dikkat çeken bu güneş paneli yapı sistemleri, birden fazla yer değiştirme döngüsüne olanak tanıyacak şekilde kolay sökülüp takılacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca dayanıklılıkları uzun bir kullanım ömrü sağlar.

3.3.1 Taşıyıcı İskelet

Güneş paneli taşıyıcıları, güneş panellerinin bir enerji santrali içinde desteklenmesinde ve konumlandırılmasında çok önemli bir rol oynar ve toplam maliyetin yaklaşık %10'unu oluşturur. Bu sistemin seçimi kurulum yerinin spesifik özelliklerine bağlıdır. Arazinin kayalık olduğu durumlarda beton temel sistemi kullanılırken, toprak açısından zengin alanlarda çekiç ayak tipi kurulumu kullanılır. Güneş panelleri bu yapıya sabitleniyor ve optimum azimut, eğim açıları göre konumlandırılıyor. Enerji üretimini artırmak için tek eksenli veya çift eksenli olarak tasarlanan güneş takip sistemi uygulanabilir. Bu izleme sistemleri, panelleri daha fazla güneş ışınımı yakalayacak şekilde dinamik olarak ayarlayarak enerji verimini maksimuma çıkarabilmektedir (Şekil 3.1). Güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisi miktarı, fotovoltaik (PV) panellere ulaşan radyasyonun yoğunluğuna bağlıdır. Sonuç olarak, PV panellerin kesin konumu enerji üretiminde çok önemli bir faktör haline gelir. Güneş takip sistemleri güç çıkışını önemli ölçüde artırırken, bunların uygulanmasının geleneksel sabit sistemlere kıyasla daha yüksek maliyetlere yol açma eğiliminde olduğu da kabul ediliyor (40).



Şekil 3.1. Hareketli taşıyıcı sistem ((42))

3.3.2 Bağlantı Ekipmanları

Güneş panelleri, çerçevenin arkasına uygun bir şekilde yerleştirilmiş, pozitif ve negatif çıkışlara sahip iki kablolu soketle donatılmıştır. Bu paneller, seri veya paralel konfigürasyonlarda birbirine bağlanır; pozitif ve negatif DC kabloları, diziler oluşturacak şekilde arkalarına gizlice yerleştirilir. Bu diziler, DC kabloları aracılığıyla bir pozitif ve bir negatif ucun invertöre yönlendirilmesini içerir. Bu DC kablolarını korumak için invertör dahili DC sigortalarla donatılmıştır. Fotovoltaik tesislerde kullanılan bağlantı ekipmanlarının standartlara uygun olması zorunludur. Bu bağlantı ekipmanlarının aynı marka menşeli, aynı tipte olması ve TSE EN 50521 (VDE 126-3) standartlarında belirtilen şartlara uygun olması gerekmektedir (43).

3.4 Elektrik- Elektronik Ekipmanlar

3.4.1 Kablolar

Güneş panellerinin oluşturduğu dizilerin uçlarındaki kablolar, DC akımın invertöre iletilmesini kolaylaştırır. Bu DC kabloları, yüksek sıcaklıklar, değişken hava koşulları, zorlu mekanik ortamlar, UV ışınları, yağmur, rüzgar ve kar gibi çeşitli hava koşullarına dayanacak şekilde özel olarak tasarlanmıştır. Güvenilirliklerini ve performanslarını sağlamak için 2017 yılında uygulamaya konulan IEC 62930 standartlarına uygun olarak üretilmelidir. DC akımı invertöre ulaştığında bir dönüşüm sürecinden geçerek AC akıma dönüşür. Daha sonra üretilen AC akımın invertör çıkışından panele iletilmesi için AC kabloları kullanılır. AC akımın voltajı sistemin voltajına bağlı olarak düşük veya yüksek olabilir ve kablo tipi buna göre seçilir. Kablo imalatı TS HD 60364 (IEC 60364) standartlarına uygun olarak seçilmelidir (44).

3.4.2 İnvertörler

İnvertörler, güneş panelleri çıkışında üretilen doğru akımı, alternatif akıma çeviren elemandır. Güneş enerjisi santrallerinde kullanılan en önemli bileşenlerden biridir. İnvertörler genellikle maksimum güç çıkışını dahili yazılımları aracılığıyla düzenler. Ayrıca bu invertörler, gerektiğinde uzaktan izlenebilecek üretim verilerinin toplanmasını da kolaylaştırıyor. Hem AC hem de DC tarafı için aşırı akım ve aşırı gerilim koruması sunarlar ve fotovoltaik (PV) dizilerde ortaya çıkabilecek olası sorunları ve hataları ele alan koruyucu mekanizmalar içerirler (45).

İnvertörler, kullanıldıkları sistemlere uyum açısından On-grid (Şekil 3.1) ve Off-grid (Şekil 3.2) olarak iki kategoriye ayrılabilir.



Resim 3.1. On-grid Fotovoltaik Sistemler İçin İnvertörler (36)



Resim 3.2. Off-grid Fotovoltaik Sistemler İçin İnvertörler (46)

İnvertörlerin optimum performansını sağlamak için panel dizilerinin uyumlu bir şekilde düzenlenmesi çok önemlidir. Bu, dizilen paneller arasında yerleştirme açıları, gölgeleme seviyelerinde, kirlenme direncinde ve sıcaklık özelliklerinde tekdüzelik gerektirir. İnvertörler iki tipe ayrılır: merkezi ve dizi invertörler. Merkezi invertörler, dizi invertörlere kıyasla daha düşük bakım masraflarıyla yüksek verimlilik ve maliyet etkinliğine sahiptir. Avantajlarına rağmen, merkezi invertörler arızalandığında sistemin tamamen kapanmasıyla sonuçlanabilecek potansiyel bir sistem arızası riski oluşturur. Bu riski azaltmak ve sistem sürdürülebilirliğini arttırmak için merkezi invertörler iki veya daha fazla bağımsız sisteme bölünebilir. Bu yaklaşım, invertör arızası durumunda tüm sistemin devre dışı kalmasını önler. Merkezi invertör çıkışlarının genellikle şebekeye yakın konumlandırıldığını ve AC kablo kayıplarının etkili bir şekilde en aza indirildiğini belirtmekte fayda vardır. Bu stratejik yerleşim, güneş enerjisi sisteminin genel verimliliğine ve güvenilirliğine katkıda bulunur.

Gelişen teknolojilerle birlikte invertör verimliliği artık %98'i aşarak bu alanda önemli bir kilometre taşı olmuştur. Şu anda dizi invertörler yaklaşık %42'lik

kullanım oranıyla pazara hakim durumdadır. Bu invertörler genellikle konut projelerinin yanı sıra küçük ve orta ölçekli ticari girişimler için de tercih edilmektedir. Buna paralel olarak, merkezi invertörler %54 civarında pazar payının önemli bir kısmını talep etmekte ve genellikle büyük ticari projelerde uygulama alanı bulmaktadır. Geriye kalan pazar payı mikro invertörler ve diğer gelişen teknolojiler arasında bölünmüş durumdadır (47).

3.4.3 Akü

Aküler, elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek depolayan cihazlar olarak görev yapar. Fotovoltaik kurulumlara entegre edilmiş ada tipi sistemlerde çok önemli bir rol oynarlar. Bu sistemlerde, güneş radyasyonunun belirli periyotlarda ürettiği enerji, pillerde depolanmaktadır. Depolanan bu kimyasal enerji daha sonra gerektiğinde tekrar elektrik enerjisine dönüştürülebilir ve böylece güneş ışınımının bulunmadığı zamanlarda güvenilir bir güç kaynağı sağlanmaktadır. Pillerin fotovoltaik sistemlerde kullanılması, sürekli ve istikrarlı bir güç kaynağı sağlar ve bu da pilleri enerji bağımsızlığını ve sürdürülebilirliği korumak için gerekli bileşenler haline getirir (48).

Fotovoltaik sistemlerde kurşun asitli aküler, kısa süreli enerji depolama için yaygın bir seçenek olarak hizmet vermektedir. Uygun fiyat/performans oranı ve verimliliği nedeniyle tercih edilirler. Kurşun asitli aküler, fotovoltaik kurulumlarda hem küçük hem de büyük şarj akımlarını barındırma konusunda çok yönlülük göstermektedir. Sıvı dolum durumuna göre açık ve kapalı tipe ayrılan bu aküler, kullanıcılara özel ihtiyaç ve tercihlerine uygun seçenekler sunmaktadır.

Açık tip akülerde kimyasal reaksiyonlar meydana geldiğinden zamanla saf suyun varlığı azalır. Bu nedenle bu akülerdeki su seviyesinin periyodik olarak kontrol edilmelidir. Açık tip aküler, uygun şekilde kullanıldığında ve tamamen boşalması önleildiğinde daha uzun bir kullanım ömrü sergileyebilir (49).

Fotovoltaik sistemlerde kullanılmak üzere bir akü seçerken birkaç önemli faktör dikkate alınmalıdır. Bu hususlar arasında akünün destekleyeceği spesifik sistem tipinin belirlenmesi, güç deşarjlarının sıklığının belirlenmesi, deşarj voltajı gereksinimlerinin belirlenmesi ve çekilen akımın sabit mi yoksa değişken mi olacağının değerlendirilmesi yer alıyor.

Fotovoltaik sistemlerde kullanılacak olan akünün seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda özetlenmiştir;

- Yüksek maliyet-performans oranı,
- Minimum bakım gereksinimi,
- Makul uzun ömür,
- Minimum kendi kendine deşarj ve yüksek verimlilik,
- Dış etkilere karşı dayanıklılık,
- Toksik olmayan ve çevre dostu (50).

3.4.4 Transformatör ve Şebeke

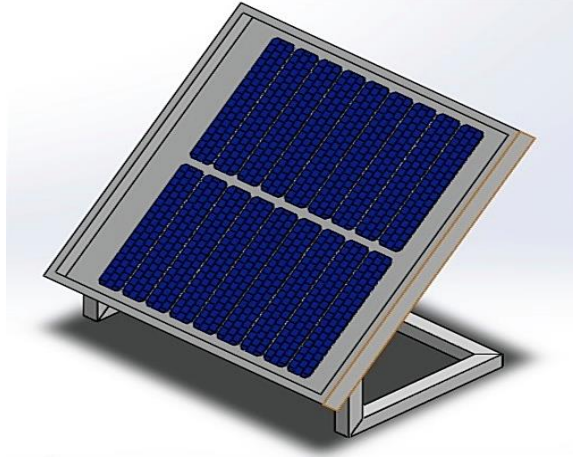
Transformatörler, verimli elektrik akımı aktarımı için voltaj seviyelerinin yönetilmesinde önemli bir rol oynar ve süreçteki güç kaybını en aza indirir. Güneş enerjisi sistemlerinde bu cihazlar güneş panellerinden gelen DC akımın invertör tarafından AC akıma dönüştürülmesinden sonra devreye girmektedir. Transformatör voltaj ve akımı ayarlayarak panellerde üretilen elektriği şebekeye uyumlu hale getirir. Bu adım voltajı arttırmayı ve akımı azaltmayı içerir. Elektrik iletim şebekesi, üretilen elektriğin tüketicilere dağıtılması için tasarlanmış gelişmiş bir altyapıdır. Bu karmaşık ağ, enerji santrallerinden enerji tüketicilerine enerjinin aktarılmasından sorumlu iletim hatlarından oluşur. Ek olarak, karmaşık bir dağıtım hatları sistemi, elektriğin son kullanıcılara taşınmasını kolaylaştırmaktadır. Bu bileşenler bir araya gelerek, elektriğin kaynağından talep eden son kullanıcılara kadar kesintisiz akışını sağlayan kompozit bir ağ oluşturur.

3.5 Güneş Takip Sistemi

Güneş takip sistemi, güneş panellerini güneş ışınını takip edecek şekilde yönlendiren bir mekanizmadır. Güneş takibinin temel amacı, güneş panellerinin gün boyunca güneş ışığına maruz kalmasını en üst düzeye çıkarmak, böylece enerji çıktılarını arttırmaktır (51).

3.5.1 Sabit Sistemler

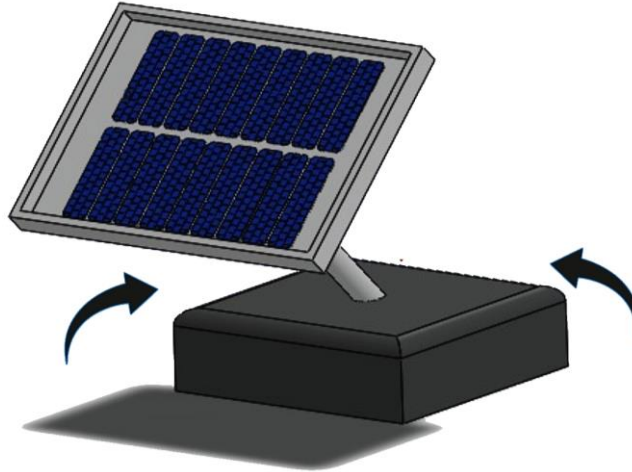
Sabit sistemler, fotovoltaik (PV) panellerin x ve y düzlemlerinde sabit bir açıyla konumlandırıldığı ve sabit kaldığı güneş enerjisi kurulumlarıdır. Tipik olarak verimlilikleri sabah ve akşam saatlerinde daha düşüktür ve öğle saatlerinde en yüksek enerji üretimine ulaşır. Bu sistemler, panellerin belirlenen alana montajının ardından karkas sistemi adı verilen bir çerçeveye sabitlenmesi nedeniyle herhangi bir takip mekanizmasına ihtiyaç duymaz (Şekil 3.2) (52).



Şekil 3.2. Sabit panel sistemi (53)

3.5.2 Tek Eksenli Takip Sistemi

Tek eksenli güneş takip sistemleri, doğu-batı ekseninde tutarlı bir yatay açıyla hareket edecek ve güneşin doğuşundan batışına kadar güneş ışınlarını takip edecek şekilde tasarlanmıştır. Düz bir araziye kurulduğunda sabit yatay açı genellikle sistemin bulunduğu yerin enlemine göre ayarlanır. Sistem, gün boyunca yatay olarak güneş ışınlarına dik açıyı koruyacak şekilde kendini ayarlar ve güneş ışığını en iyi şekilde yakalar (Şekil 3.3). Yıl boyunca değişen güneş ışığı geliş açıları genellikle önceden belirlenen bu sabit açı etrafında $\pm 15^\circ$ aralığındadır.

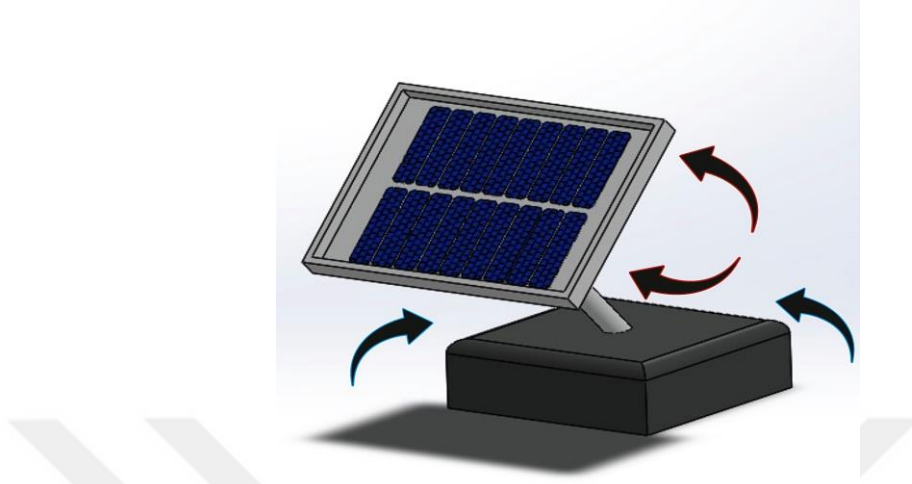


Şekil 3.3. Tek eksenli güneş takip sistemi (44)

3.5.3 Çift Eksenli Takip Sistemi

Çift eksenli güneş takip sistemleri, fotovoltaik paneli hem gün boyunca doğu-batı yönünde hem de yıl boyunca kuzey-güney yönünde güneş ışığı yakalamayı optimize edecek şekilde yönlendirecek şekilde tasarlanmıştır. Hareketi kolaylaştırmak için iki ayrı motora ihtiyaç duyan daha karmaşık yapılarına rağmen,

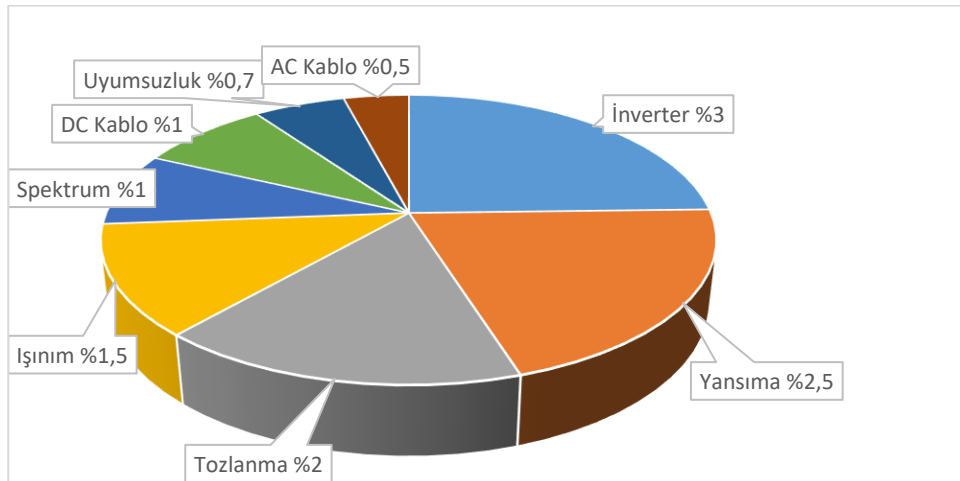
çift eksenli sistemler dikkate değer bir avantaj sunuyor. Belirli senaryolarda enerji üretimini %40'a kadar artırarak tek eksenli takip sistemlerinden daha iyi performans gösterebilirler (Şekil 3.4) (53).



Şekil 3.4. Çift eksenli güneş takip sistemi (16).

3.6 Sistem Kayıpları

Fotovoltaik panellerden elde edilen optimum enerji verimi yalnızca maksimum kârlılığı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliğe de katkıda bulunur. Üretilen fazla enerji, enerji satışı yoluyla ek gelir elde edilmesini sağlayarak tüm sistemin amortisman süresini kısaltır. Tersine, verimliliğin düşük olduğu durumlarda, kaybedilen her birim enerji önemli mali kayıplara neden olur. Bu nedenle, finansal riskleri azaltmak ve genel sistem performansını artırmak için panellerin çıkış gücünün artırılmasına önemli bir ihtiyaç vardır. Şekil 3.5'te bir fotovoltaik panelde oluşan kayıpların dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Bir fotovoltaik paneldeki kayıpların dağılımı (3).

3.6.1 Gölgeleme Kayıpları

Fotovoltaik panellerin verimliliği çeşitli faktörlerden etkilenir ve önemli hususlardan biri de gölge kaybıdır. Gölgeleme doğal veya insan kaynaklı nedenlere bağlanabilir. Doğal gölgeleme genellikle dağların veya yoğun bitki örtüsünün olduğu bölgelerde meydana gelir ve gün içerisinde değişen güneş açısı nedeniyle doğal yapıların gölgeleri panellere düşerek enerji üretiminde azalmaya neden olur. Bu sorunu hafifletmek için, fotovoltaik panel kurulum sahasına yönelik ilk fizibilite çalışması sırasında gölgelemeye yatkın alanların dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi ve bunlardan kaçınılması çok önemlidir. Ek olarak bulutluluk, doğal gölgelemenin başka bir biçimini oluşturur. Fotovoltaik panellerin yerleştirileceği spesifik bölgedeki güneş ışığının süresi, enerji üretimini doğrudan etkilediği için önemli bir husus haline geliyor. Bu nedenle, fotovoltaik sistemin performansını optimize etmek için seçilen konumdaki güneş ışığına maruz kalmanın kapsamlı bir değerlendirmesi önemlidir (54).

3.6.2 Sıcaklık Kayıpları

800 W/m² radyasyon, 1 m/s rüzgar ve 20°C ortam sıcaklığı koşullarında çalışan bir güneş pilinin sıcaklığı, hücrenin Nominal Çalışma Sıcaklığı (NOCT) olarak adlandırılır. Bu önemli parametre genellikle panel veri sayfasında sağlanır. Sıcaklık arttıkça panelin güç çıkışında buna karşılık gelen bir azalma olur, bu da panelin sıcaklığı ile güç çıkışı arasında ters bir ilişki olduğunu gösterir (55).

3.6.3 Kablo kayıpları

Kablo kayıpları hem DC hem de AC kabloları meydana gelen omik kayıpları kapsar. Paneller uygun olmayan kesite veya uzunluğa sahip DC kabloları kullanılarak invertöre bağlandığında voltaj düşüşleri meydana gelebilir. Kablo boyutunun belirlenmesi, hem kablonun akım taşıma kapasitesinin hem de iletken beklenen voltaj düşüşünün dikkate alınmasını içerir. Tipik olarak %1 ila %3 aralığındaki voltaj düşüşleri kabul edilebilir kabul edilir (56).

3.6.4 İnverter Kayıpları

Şebekeye bağlı transformatörsüz invertörlerin verimliliği, giriş voltajı genliğindeki her 150 V DC artış için %0,3 ile %1 arasında bir kayıp meydana getirir. Düşük ışıyım ve yüksek DC giriş voltajlarıyla karakterize edilen durumlarda, bu verimlilik düşüşü, öncelikle kontrol ünitesinin güç tüketimine ve anahtarlama kayıpları da dahil edilerek %5'e kadar çıkabilir. Nominal DC giriş

gerilimlerinde, bu invertörler tipik olarak yaklaşık %98'lik bir maksimum verimliliğe ulaşır ve %2, karşılık gelen verimlilik kaybını temsil etmektedir (33).

3.6.5 Uyumsuzluk Kayıpları

Fotovoltaik panellerde eskime, gölgelenme veya değişen panel sıcaklıkları gibi faktörlerden kaynaklanan çıkış gücündeki farklılıklara genellikle uyumsuzluk kayıpları denir. Bu faktörler arasında kısmi gölgeleme, uyumsuzluk kayıplarının birincil nedeni olarak öne çıkmaktadır. Geniş bir alana yayılan bir güneş enerjisi santralinde, geçen bulutların neden olduğu gölgelenmeler, gölgeli bölgedeki panellerin güç çıkışını önemli ölçüde azaltabilir. Ayrıca, gölgelemeye maruz kalan paneller üzerindeki soğutma etkisi sıcaklık değişimlerine yol açarak çıkış güçlerini daha da etkileyebilir. Sonuç olarak, bu kayıplar üreticiler için zorluklar yaratarak genel enerji verimi ve operasyonel verimlilik üzerinde olumsuz etkiler yaratıyor (57).

Fotovoltaik paneller genellikle gruplar oluşturmak için paralel olarak birbirine bağlanır ve invertörün girişinde uygun voltaj ve akım seviyelerinin korunmasını sağlar. Ancak tüm panellerin toplam gücü invertör giriş kapasitesini aştığında invertör giriş kayıpları meydana gelir. Araştırmalar, başlangıçtaki uyumsuzluk kayıplarının yaklaşık %2 olduğunu, ancak paneller yaşlandıkça zaman içinde %12'ye çıkabileceğini gösteriyor. Bu uyumsuzluk kayıplarına, yetersiz kablo kesitleri, panellerin ayrı ayrı gölgelenmesi ve bir grup içinde hasarlı panellerin varlığı dahil olmak üzere çeşitli faktörler katkıda bulunur. Uyumsuzluk kayıpları öncelikle panelleri bağlayan kabloların yetersiz kesit alanı gibi sorunlara atfedilir. Bu sorunlar toplu olarak genel sistem verimliliğindeki düşüşe katkıda bulunur ve paneller yaşlandıkça invertör giriş kayıpları daha belirgin hale gelir. Bu kayıpları azaltmak için uygun kablo boyutuna, gölgeleme sorunlarının düzenli olarak izlenmesine ve birbirine bağlı gruplar içindeki hasarlı panellerin zamanında değiştirilmesine dikkat edilmelidir. Bu faktörlerin ele alınması, fotovoltaik sistemlerde çalışma ömrü boyunca optimum performansın ve verimliliğin korunmasına yardımcı olabilir (31).

3.6.6 Yansıma Kayıpları

Güneş ışığı fotovoltaik panellere tam olarak nüfuz etmeden önce, bir kısmı yansıtılarak atmosfere geri yansımaktadır. Yansıyan bu ışınlara yansıma kayıpları denir. Doğal durumunda, açık havaya maruz kalan bir silikon numunesi tipik olarak

gelen ışınların yaklaşık %33'ünü yansıtmaktadır. Bu yansımayı azaltmak için üreticiler, fotovoltaik panellerin üretimi sırasında hücreleri kaplamak için çeşitli katmanlar kullanır. Bu geliştirmelerin bir sonucu olarak, gelen ışınların yalnızca minimum %4'ü geri yansıtılarak panellerin Emilimi ve verimliliği maksimuma çıkarılır.

Bina çatılarının ve yan yüzeylerinin güneş panelleri ile kaplanması yoluyla mevcut enerji ihtiyacının karşılanması düşünülebilir. Ancak çatıya yerleştirilen panellerin güneşten yararlanma oranı, azimut açısının düşük olması nedeniyle yan yüzeylerdeki panellere göre daha fazladır. Güneş ışınları tavan panellerine yan yüzeylere göre daha dar bir açıyla çarparak yansımanın azalmasına neden olur. Sonuç olarak, yan yüzeylerdeki paneller nispeten daha düşük bir güneş enerjisi çıkışı sağlar (29).

3.6.7 Tozlanma ve Karlanma Kayıpları

Fotovoltaik paneller, güneş ışığını kullanarak enerji üretir ve gelen güneş ışığı miktarı enerji üretimini doğrudan etkiler. Ancak kışın toz, kar ve buzlanma gibi çeşitli çevresel faktörler panellerin güneş ışığını absorbe etme kabiliyetini engelleyerek enerji kayıplarına neden olabilir. Aşırı çevre koşullarında, özellikle yağışın az olduğu bölgelerde, tozun güneş enerjisi üzerindeki etkisi paneller verimlilikte önemli bir azalmaya yol açabilir. Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'nda yapılan araştırmalar, bu koşullar altında toz birikmesinden kaynaklanan kayıpların %15'e çıkabileceğini, bazı yerlerde bu oranın %25'e kadar çıkabileceğini gösteriyor. Güneş enerjisi santrallerinin yaygın olarak kurulduğu çöller gibi bol güneş ışığına sahip bölgelerde, yüksek radyasyon seviyelerinin avantajı, kum fırtınası riskiyle dengeleniyor. Bu fırtınalar önemli kayıplarla sonuçlanabilir ve bazı durumlarda enerji üretiminde %60'a kadar azalma rapor edilir. Fotovoltaik sistemlerin verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için, çevresel unsurların dikkate alınması ve azaltılması, bakım stratejileri veya teknolojik yeniliklerin kullanılması çok önemlidir. toz, kum ve diğer olumsuz koşulların neden olduğu zorlukların üstesinden gelin (28).

Fotovoltaik paneller cam yüzeylere sahip olduklarından çevre koşulları nedeniyle oluşan toz parçacıklarının birikmesine karşı hassastırlar. Zamanla biriken bu toz, ışınların atmosferden cama geçişini engelleyerek yarı iletken malzemeye

ulaşmalarını engelleyebilir. Bunun sonucunda oluşan bu kayıplara tozlanma kayıpları denir. Özellikle yaz aylarında toz, kış aylarında ise buz ve kar panellerin verimliliğini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Özellikle büyük ölçekli enerji santrallerinde fotovoltaik panellerin günlük olarak temizlenmesi pratik olmasa da, özel olarak tasarlanmış temizleme araçlarının kullanılması veya periyodik manuel temizlik panel verimliliğini artırabilir (58).

3.6.8 Panel Teknik Özelliklerindeki Kayıplar

Güneş panelleri genellikle katalog spesifikasyonları ile gerçek dünya performansı arasındaki farklılıkların neden olduğu verimlilik kayıplarına maruz kalır. Tahmin edilen enerji üretim rakamları ile gerçek enerji verimi arasında farklılıklar ortaya çıkabilir. Ek olarak, ışıınım değerlerindeki farklılıklar, özellikle düşük ışıınım koşulları, panelin veri sayfasında belirtilen değerlerle karşılaştırıldığında güç çıkışı tutarsızlıklarına yol açarak bir tür verimlilik kaybı oluşturabilir (59).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında Azerbaycan / Bakü şartlarında şebeke bağlantılı bir mega ölçekli bir güneş enerji santralinin performans analizi yapılmıştır. Çalışmanın amacı tasarlanan sistemin performansının belirlenmesidir. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde PVsyst simülasyon aracı kullanılmış olup, sistemin performans değerlendirmesi, yazılım tarafından oluşturulan simülasyon çıktılarına dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Simulasyonda sabit eğim açılı sistem, tek eksenli takip sistemi kullanılan güneş enerji santrali ve çift eksenli takip sistemi kullanılan güneş enerji santrali karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Her 3 sistemin performans göstergeleri teknik, ekonomik ve çevresel açıdan incelenmiştir.

4.1 Pvsyst Simülasyon Aracı

PVSyst, İsviçre'nin Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen kapsamlı bir fotovoltaiik sistem simülasyon programıdır. Bu yazılım, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız kurulumlar, PV sulama sistemleri ve DC ağları dahil olmak üzere çeşitli fotovoltaiik sistemlerin tasarımını kolaylaştırırken, derinlemesine hesaplamalar ve farklı parametreleri değiştirme esnekliği sağlar. Alternatif çözümlerle karşılaştırıldığında PVSyst, simülasyon sonuçlarının incelenmesinde daha detaylı ve çok yönlü bir yaklaşım sunmasıyla öne çıkıyor.

Pvsyst simülasyon aracının sunduğu işlevler ve yetenekler şunları içermektedir:

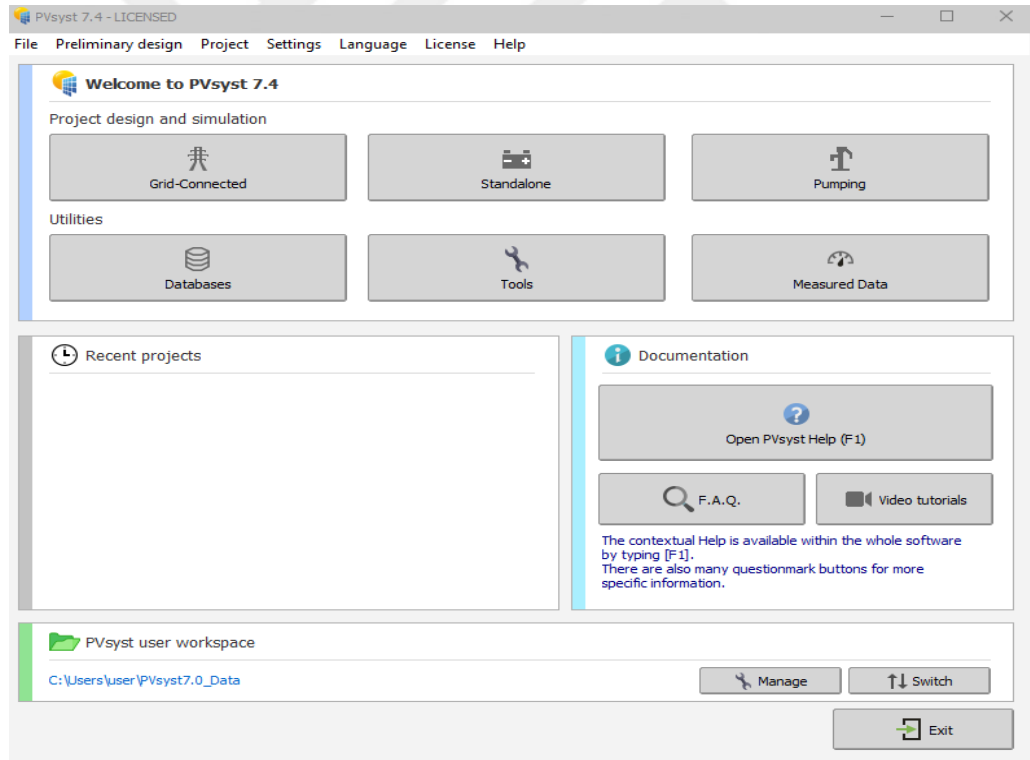
- Şebekeden bağımsız PV sistemlerinin tasarlanması,
- Şebekeye bağlı PV sistemlerinin tasarlanması,
- PV paneller ve invertörler gibi fotovoltaiik sistem bileşenlerinin özelliklerini barındıran kapsamlı bir veritabanı,
- Meteorologik veritabanından alınan meteorolojik verilere kolay erişim,
- 3 boyutlu bir uygulama kullanarak yakındaki gölgeleri modelleme ve simüle etme,
- PVGIS ve NASA gibi veri tabanlarından ışınlama verilerini kullanma yeteneği,
- Ekonomik analiz yapmak,
- Hesaplamaları ve verileri CSV dosya formatında dışa aktarma yeteneği

PVSyst, deposundaki önceden mevcut bileşenlere ek olarak kullanıcıların kendi bileşenlerini manuel olarak tanımlamasına ve simülasyon sürecine dahil

etmesine olanak tanmaktadır. Bu esneklik, kullanıcıların sistemin veri tabanında bulunmayabilecek bileşenleri entegre ederek simülasyonlarını belirli gereksinimlere göre uyarlamasına olanak tanmaktadır (60).

PVSyst, kullanıcılara sistem performansını etkileyen çeşitli faktörleri tanımlama ve yönetme yetkisi verir. Bu, kablolama kayıpları, panel uyumsuzluğu, sıcaklığa bağlı kayıplar, trafo kaybı ve kirlilikle ilgili hususları içerir. Sistem verimliliğini etkileyen kritik bir sistemi olan gölgeleme kayıpları, 3D düzenleyici kullanılarak tam olarak tanımlanabilir. Mesafe gölgelendirme ayarları, coğrafi verileri, harici veritabanlarından veya saha görüntülerinden ufuk gölgelendirmeyi birleştirerek PVSyst tarafından otomatik olarak yapılabilir veya kullanıcı tarafından manuel olarak girilebilir. Bu kapsamlı yaklaşım, fotovoltaik sistemin performansını optimize etmek için kapsamlı ve özelleştirilmiş bir konfigürasyon sağlar.

Pvsyst 7.4 ait kullanıcı ara yüzünün ana sayfası Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. PVSyst 7.4 ana sayfa görüntüsü

Bu tez çalışmasında simülasyon, kapsamlı sonuçlar için panel yerleşimlerinin ayrıntılı 3 boyutlu modellemesini gerektiren şebekeye bağlı bir fotovoltaik sisteme odaklanmaktadır. Şekil 4.1’de gösterildiği gibi, simülasyon aracının ana sayfasında çeşitli sistem başlıkları yer almaktadır ve bu çalışmanın amacı doğrultusunda,

araştırmanın özel gereksinimlerine uyum sağlamak için “Grid Connected” seçilmiştir (61).

Şebeke bağlantılı proje tasarımını tercih ettikten sonra Şekil 4.2’te gösterilen proje yönetimi sayfasına yönlendirilir. Başlangıç proje bilgileri bu sayfanın üst kısmına girilir. Proje kurulumu için coğrafi konum seçilir ve belirlenen bölgeye ait meteorolojik veriler programın veri tabanından çıkarılır. Sayfanın alt kısmına doğru, simülasyon sonuçlarını yöneten sistem değişkenlerini karmaşık ayrıntılarla tanımlamaya ayrılmış bir bölüm bulunmaktadır. Bu ayrıntılı konfigürasyonların örnekleri, fotovoltaiik panellerin ve invertörlerin seçimini, panellerin ve invertörlerin miktarının belirlenmesini, panellerin ve invertörlerin düzenlenmesini, gölgelemenin dikkate alınmasını ve elektrik bağlantılarının spesifikasyonunu kapsar.

Sistem tipi	Dizi, tek sıra
Sistem üretimi	104 MWh/yıl
Üretilebilir	692 kWh/kWp/yıl
Performans oranı	0.416
Normalize üretim	1.90 kWh/kWp/gün
Dizi kayıpları	2.61 kWh/kWp/gün
Sistem kayıpları	0.06 kWh/kWp/gün

Şekil 4.2. PVSyst şebeke bağlantılı proje yönetim sayfası

Pvsyst üzerinden bir proje geliştirilirken, aşağıdaki adımların takip edilmesi önerilmektedir (62).

- Coğrafi koordinatları belirleyerek ve meteorolojik verileri toplayarak projeye başlayın,
- PV panellerin yönünü, istenen kurulu gücü veya tasarımdaki uygun alanı ve seçilen panel ve invertör türlerini kapsayan temel bir sistem değişkenini tanımlayın. Program bu başlangıç değişkenleri için öneriler sunacak ve ilk

hesaplamalar için geçerli değerler atayacaktır. Tanımlandıktan sonra bu değişken kaydedilebilir ve sonuçlar elde edilebilir

- Başlangıç değişkeni, yakın ve uzak gölgelemeler, kayıp parametreleri, ekonomik değerlendirmeler vb. faktörleri kapsar. Özelleştirmeler aracılığıyla daha özelleştirilmiş değişkenler sunarak sistemi geliştirin. Eklenen ayrıntıların sistem üzerindeki etkisini gözlemlemek ve karşılaştırmak için her değişkenin simülasyondan ve kayıttan geçmesi gerekir. Bu yinelemeli süreç daha etkili değişkenlerin yaratılmasına katkıda bulunur (63).

4.2 Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistemin PVsyst ile Tasarımı

Şebeke bağlantılı PV sistemleri yerel elektrik şebekesine bağlanarak çalışır. Üretilen enerji anlık talebi aştığında fazlalık şebekeye verilir. Bunun tersine, üretilen enerji yetersizse, gerekli miktarı karşılayacak güç şebekeden çekilir. Bu çift yönlü enerji değişimi, sürekli ve sürdürülebilir bir enerji tedariği sağlar. Fotovoltaik prensiple çalışan fotovoltaik paneller DC enerji üretir. AC enerji şebekesine sorunsuz bir şekilde entegre olmak için, DC enerjiyi AC enerjisine dönüştürmek üzere invertörler kullanılır. Özellikle şebekeye bağlı sistemlerde elektrik şebekesi, aküler gibi ek enerji depolama çözümlerine olan ihtiyacı ortadan kaldıran doğal bir depolama mekanizması görevi görüyor. Çift yönlü sayaçlar, şebeke ile PV sistemi arasındaki enerji alışverişini kolaylaştırmada önemli bir rol oynayarak verimli ve dengeli enerji yönetimi sağlamaktadır (64).

Fotovoltaik sistemler aracılığıyla enerji üretimi alanında, performansı optimize etmek için çok sayıda faktörün hesaplanması ve dikkate alınması gerekmektedir. Bu faktörler arasında kurulum sahasındaki coğrafi konum ve güneş radyasyonu seviyeleri, seçilen güneş panelleri ve invertörlerin özellikleri ile gölgelemenin gelen radyasyon üzerindeki etkisi yer alır. Bu yazılımlar yalnızca bir fotovoltaik sistemin potansiyel enerji çıkışının değerlendirilmesini kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda çok sayıda etkileyici faktörü hesaba katarak tasarım sürecinin hassasiyetini de artırır (65).

Bu tez çalışmasında, Azerbaycan/Bakü'de bulunan şebekeye bağlı bir fotovoltaik sistemin sistem tasarımı, yıllık enerji üretimi ve genel performansı üzerine derinlemesine bir inceleme yapılmıştır. Analiz, bulguların güvenilirliğini

ve doğruluğunu sağlamak amacıyla Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) standartları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir (66). Literatürde yer alan çalışmalar, PVSyst yazılımından elde edilen veriler ile gerçek zamanlı verilerin yüksek oranda uyum sağladığını göstermiştir (67).

4.3 PVSYST SİMÜLASYON ARACINDA COĞRAFI KONUMUN VE METEOROLOJİK VERİLERİN BELİRLENMESİ

PVSyst yazılımı üzerinden güneş enerji santralinin konumu işaretlenmiş ve meteorolojik veriler sistem üzerinden elde edilmiştir. Tasarım için konum işaretlendikten sonra meteorolojik veriler PVSyst içinde veritabanı bulunan Metenorm 7.4 üzerinden sentetik olarak üretilmiştir. Belirlenen konumda yatay düzleme düşen aylık küresel ışınlam ve sıcaklık değerleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir (68).

Konum	Ramana (Azerbaycan)		
Veri kaynağı	NASA-SSE satellite data 1983-2005		
	Global yatay ışınlama	Yatay difüz ışınlama	Sıcaklık
	kWh/m ² /ay	kWh/m ² /ay	°C
Ocak	50.8	24.8	6.9
Şubat	67.2	30.5	6.2
Mart	109.7	46.8	7.6
Nisan	167.7	52.8	11.5
Mayıs	214.8	58.9	16.0
Haziran	218.1	61.5	21.4
Temmuz	216.7	62.3	24.8
Ağustos	204.9	49.3	25.4
Eylül	156.3	40.2	21.9
Ekim	96.4	36.9	16.8
Kasım	52.5	26.1	12.1
Aralık	43.4	22.0	8.7
Yıl	1598.5	512.1	14.9
	Yapıştır	Yapıştır	Yapıştır
	Global yatay ışınlama yıldan yıla değişkenlik 4%		

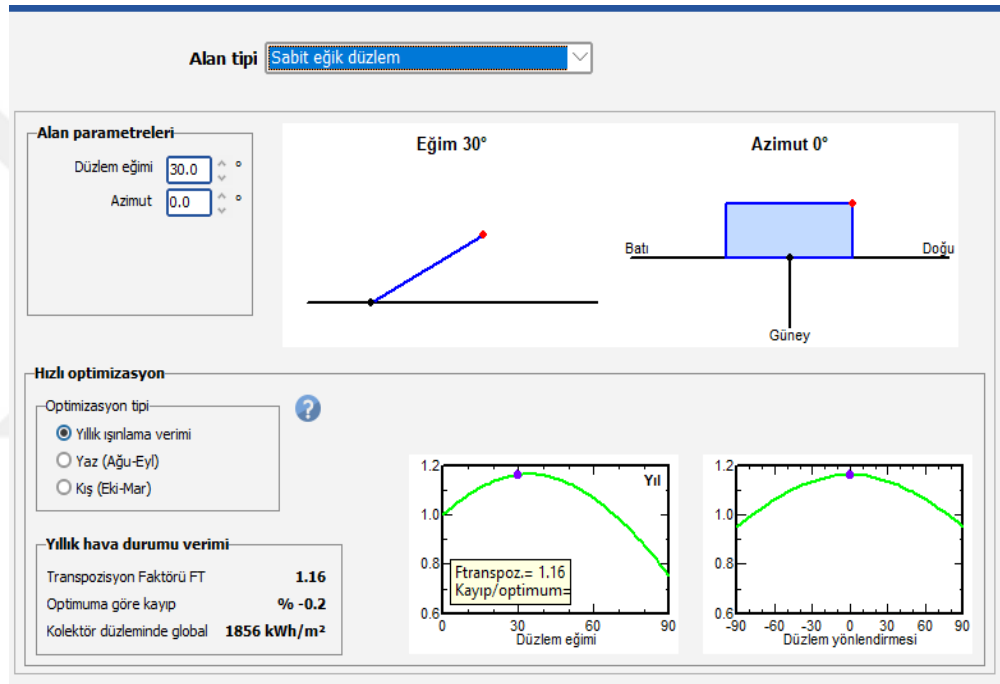
Şekil 4.3. PVSyst üzerinden alınan, meteorolojik veriler

4.4 PANEL YÖNELİMLERİNİN, EĞİM AÇISININ VE AZİMUT AÇILARININ BELİRLENMESİ

Fotovoltaik panellerden enerji elde etme alanında, geliş açıları, panellerin yatay düzlemdeki açısall yönelimi ve azimut açıları gibi faktörler dikkate alınarak bu panellerin güneşe göre en uygun şekilde konumlandırılması çok önemlidir. PVSyst simülasyon aracının "Orientation" modülünde, planlanan sistem için panel dizilerinin özelliklerini tanımlanmaktadır. Bu bölüm, sabit

eğimli yüzeyler, güneş takip sistemleri, çok yönlü kurulumlar dahil olmak üzere dizi konfigürasyonları için çeşitli seçenekler sunmaktadır (69).

Yapılan bu çalışmada tasarlanan sistem için sabit eğim açılı güneş enerji santrali, tek eksenli takip sistemi kullanılan güneş enerji santrali ve çift eksenli takip sistemi kullanılan güneş enerji santrali için analizler gerçekleştirilmiştir. Sabit eğim açılı sistem için yaz ve kış dönemi için 30° eğim açısı belirlenmiştir (Şekil 4.4). Tek eksenli takip sistemlerinde güneş ışınlamalarını Doğu-Batı yönünde takip edecek şekilde; Çift eksen takip sistemlerinde ise Doğu-Batı yönü ve Kuzey-Güney eksenlerinde güneş ışınlamını takip edecek şekilde tasarım yapılmıştır.



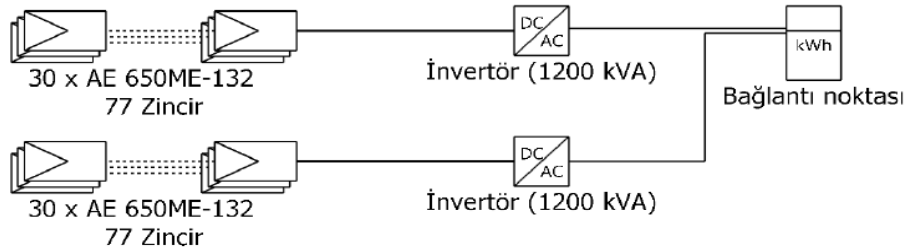
Şekil 4.4. Sabit eksenli güneş enerji santralinin eğim ve azimut açısı

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışma, PVsyst simülasyon aracı kullanılarak 3 MW kapasiteli güneş enerjisi santrallerini teknik, ekonomik ve çevresel faktörler açısından analiz etmektedir. Simülasyon aracının sisteme ait bulguları IEC 61724 standartlarına göre değerlendirilerek performans analizi yapılmıştır. Analizler sabit eğim açılı güneş enerji santrali, tek eksen takip sistemi olan güneş enerji santrali ve çift eksen takip sistemi olan güneş enerji santrali için ayrı bir şekilde yapılmış olup, sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. (70).

5.1 PVSYST SİMÜLASYON ARACI BULGULARINA GÖRE ŞEBEKE BAĞLANTILI PV SİSTEMİN PERFORMANS ANALİZİ

PVsyst'te tek eksenli, sabit eksenli ve çift eksenli güneş fotovoltaik (PV) sistemleri için elde edilen ekonomik, çevresel ve teknik sonuçların yorumlanması, çeşitli parametrelerin ve ölçümlerin anlaşılmasını içerir.



Şekil 5.1. Şebeke bağlantılı PV sistem şeması

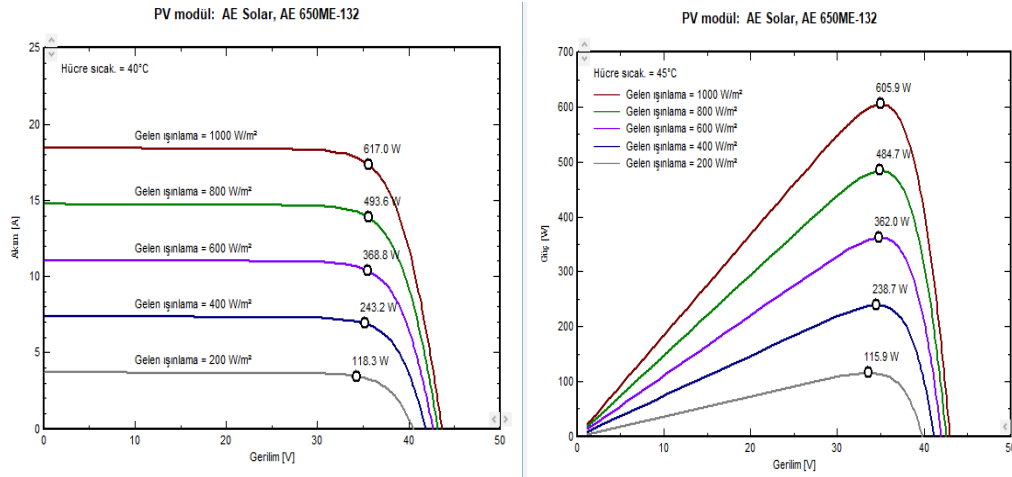
Şekil 5.1, PVsyst simülasyon aracında modellenen şebekeye bağlı PV sisteminin şematik diyagramını göstermektedir. Sistemin çalışması için temel bileşenler paneller ve invertörler birincil bileşenlerdir. Fotovoltaik paneller, akım ve voltajın dönüştürülmesi yoluyla DC güç üretir. Invertör, paneller tarafından üretilen DC gücünü AC gücüne dönüştürerek çok önemli bir rol oynar. Özellikle şebekeye bağlı PV sistemlerinde invertör, kusursuz entegrasyon sağlayacak şekilde şebeke fazıyla senkronize olacak şekilde tasarlanmıştır. Invertörden gelen güç çıkışının anlık talebi aştığı durumlarda, fazla güç sorunsuz bir şekilde şebekeye aktarılır (71). Güneş enerjisi santrallerinde kullanılan fotovoltaik panellerin teknik özellikleri Tablo 5.1'de sunulmuştur.

Tablo 5.1. Panel Teknik Özellikleri

Teknik Özellikler	Değer
Nominal Güç (P_{max})	650 W
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	45,50 V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	18,32 A
Nominal Gerilim (V_{mpp})	37,5 V
Nominal Akım (I_{mpp})	12,81 A
Hücre Verimi (%)	22,87 %
Hücre Sayısı	4620 ad
Hücre Teknolojisi	Si – mono
Panel Uzunluğu	2384 mm
Panel Genişliği	1303mm
Panel Kalınlığı	35mm
Ağırlık	33.90 kg
Çerçeve	Aluminum
Sıcaklık kasayısı	-0.34 %/°C
Modül	154 Zincir x 30 Seri

Bu çalışmada kullanılmak üzere yerel bir firma tarafından üretilen 650 W gücünde mono-Si PV panel seçilmiştir. Paneller, hedeflenen 3 MW'lık güç çıkışına ulaşmak için diziler halinde düzenlenecektir. 3 MW güç kapasitesine ulaşmak için toplam 4620 panel gerekmektedir. Bu durumda her biri 650W'lık 30 modül seri olarak dizi oluşturacak şekilde bağlanır ve gerilim akımın eşleşmesini sağlamak için bu tür 154 dizi paralel olarak bağlanır. Dolayısıyla bu tesis için 4620 panele ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışmada kullanılan PV panelin karakteristik eğrileri Şekil 5.2'de sunulmuştur. Eğriler incelendiğinde PV panelin maksimum 1000 W/m² ışıınım değerinde 605,9W güce ulaştığı görülmektedir. Bu değerler hücre sıcaklığı 45°C olduğunda elde edilmiştir. PV panel sıcaklıklarının artmasıyla birlikte güç çıkışında bir azalma meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 5.2. Enerji'ye dayalı PV panelinin karakteristik eğrisi

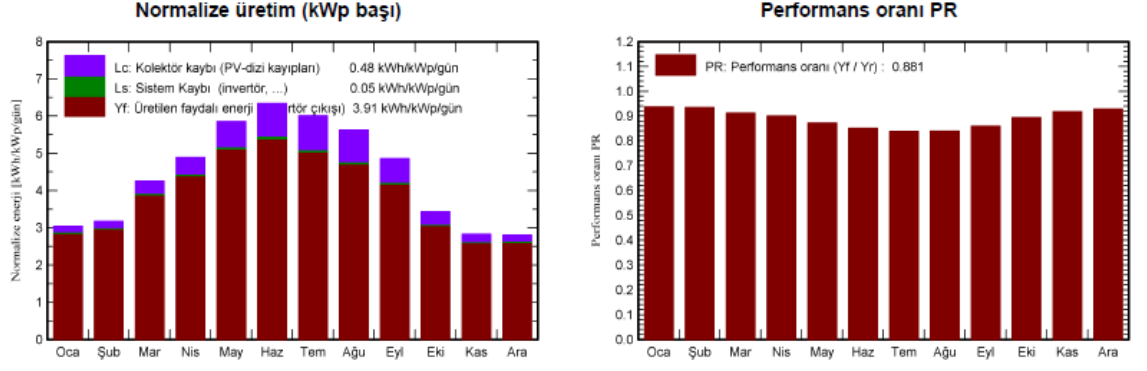
İnvertör

Bu tesis için Siemens tarafından üretilen Sinacon PV1200 markalı invertör tercih edilmiştir. Seçilen invertörün toplam gücü 2400 kW'tır. Çalışma giriş voltajı 962-1500V aralığındadır. Tablo 5.2'de invertörün teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.2. Seçilen İnvertörün özellikleri

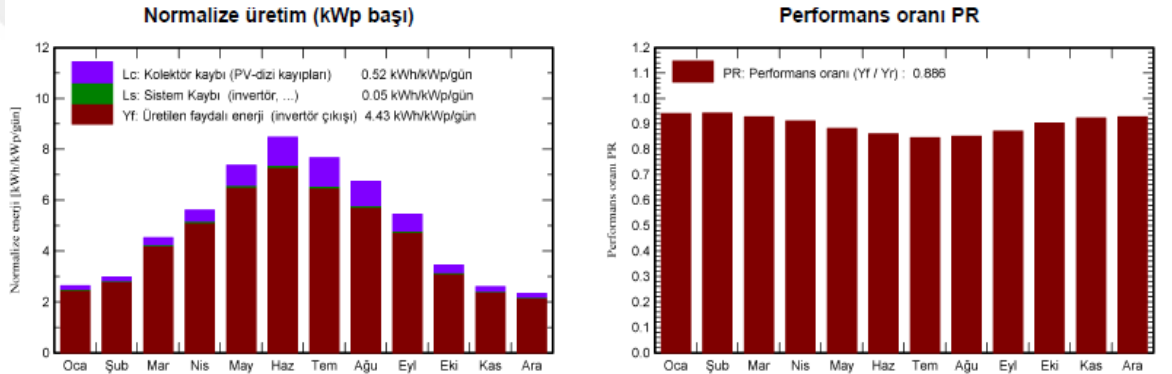
Teknik Özellikler	Değer
Model	Sinacon PV1200
Çalışma gerilimi	962 -1500 V
Nominal Güç	2400 kWAC
Birim gücü	1200 kWAC
Nom. güç oranı	1.25
Minimum MPP gerilimi	802 V
Maksimum MPP gerilimi	1500 V

Performansı karşılaştırmak için en önemli parametreler farklı sistemler normalleştirilmiş üretim ve performans oranıdır. Şekil 5.3'te çalışmada incelenen sistemler için Normalize Üretim sonuçları ve Performans oranları sunulmuştur.



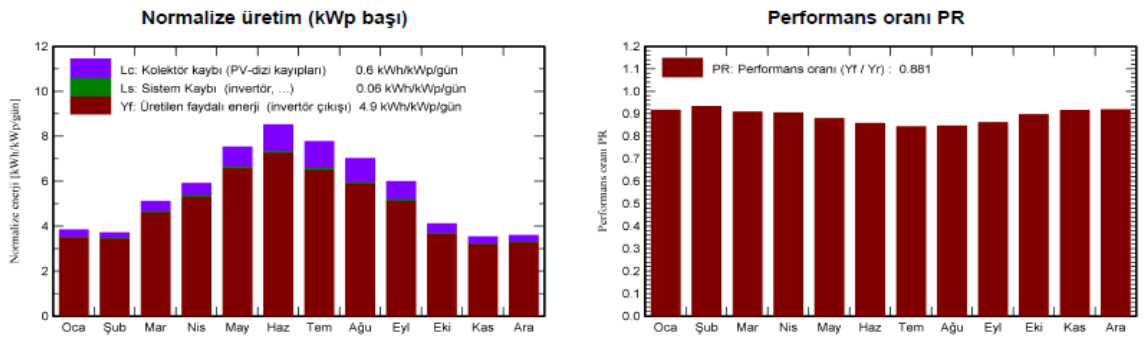
(a)

a) Sabit eksenli güneş enerji santrali için Normalize üretim ve Performans Oranı



(b)

b) Tek eksenli takip sistemi kullanılan güneş enerji santrali için Normalize üretim ve Performans Oranı

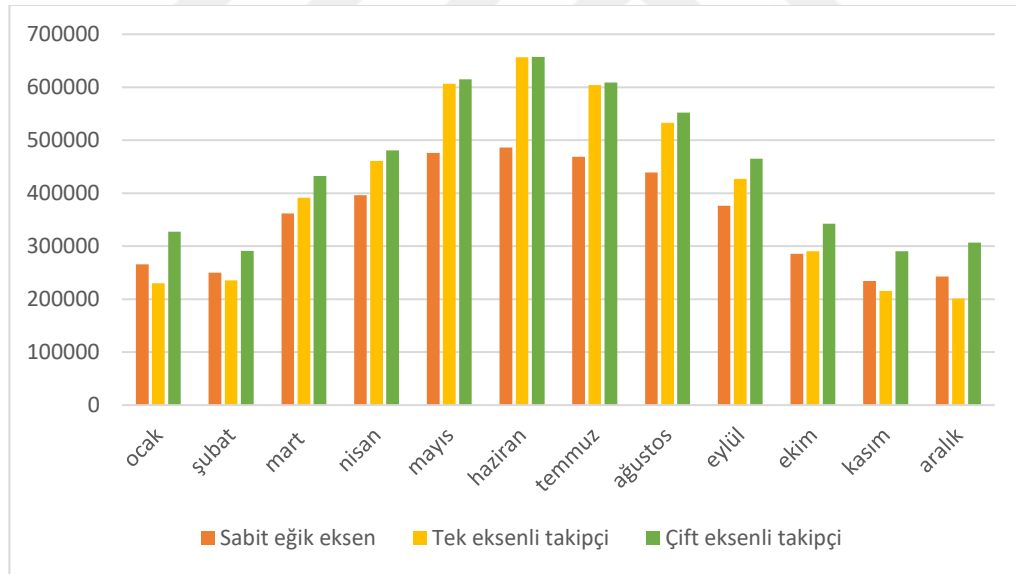


(c)

c) Çift eksenli takip sistemi kullanılan güneş enerji santrali için Normalize üretim ve Performans Oranı

Şekil 5.3. Çalışıda incelenen sistemler için Normalize Üretim ve Performans Oranı Grafikleri

Şekil 5.3'te yer alan grafikler incelendiğinde en yüksek performans oranının tek eksenli takip sistemi kullanılan güneş enerji santralinden elde edildiği görülmüştür. Tek eksenli takip sisteminin performans oranı %88,6 olarak; sabit eğim açılı sistem ve çift eksen takip sistemi kullanılan güneş enerji santrallerinin performans oranları %88,1 olduğu görülmüştür. Sistemlerdeki elektrik üretimleri karşılaştırıldığında çift eksenli takip sistemlerinde en yüksek enerji üretiminin olduğu görülmüştür. Çift eksenli takip sistemi kullanılan güneş enerji santrallerinde 4,9 kWh/kWp/gün enerji üretimi olduğu görülmüştür. Kayıplar açısından incelendiğinde tek eksen takip sistemi ve sabit eksenli güneş enerji santrallerinin sistem kayıplarının çift eksenli takip sistemlerindeki kayıplara göre daha az olduğu görülmüştür. Kollektör kayıpları incelendiğinde en düşük kollektör kaybı sabit eğim açılı güneş enerji santralinde en yüksek kollektör kaybı ise çift eksenli takip sistemi kullanılan güneş enerji santralinde elde edilmiştir. Genel olarak sistemler incelendiğinde çift eksenli güneş enerji sistemi kullanılan santralin daha iyi bir sonuç elde ettiği görülmüştür



Şekil 5.4. Aylık ortalama enerji üretimi

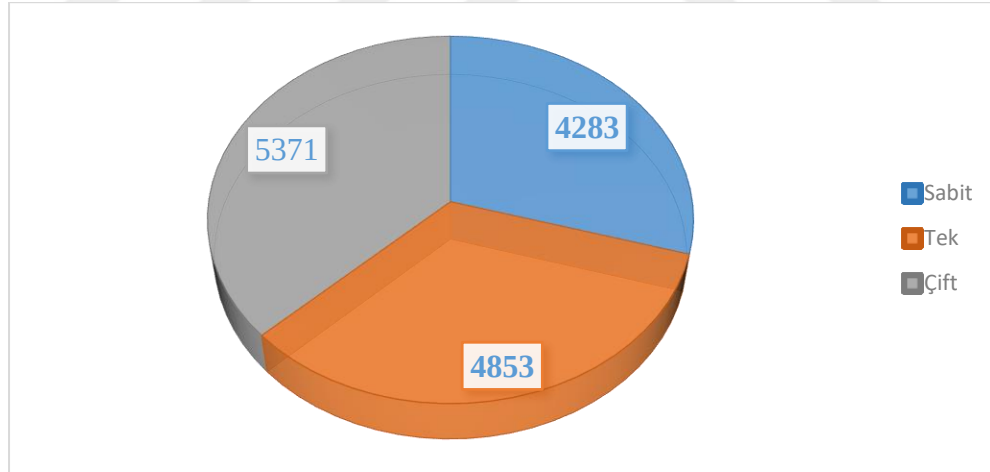
Şekil 5.4'de incelenen bölgelerdeki 3 MW PV santralinin aylık ortalama ürettiği enerjiyi göstermektedir. Genel olarak sistemler incelendiğinde takip sistemi bulunan güneş enerji santrallerinin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Özellikle yaz aylarında çift eksenli takip sistemi bulunan santrallerin, tek eksenli takip sistemleri ile hemen hemen aynı enerji üretimi sağladığı görülmektedir. Kış

aylarında ise çift eksenli takip sistemi kullanılan güneş enerji santrallerinin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Tablo 5.3. Her sistem için ana performans değerleri.

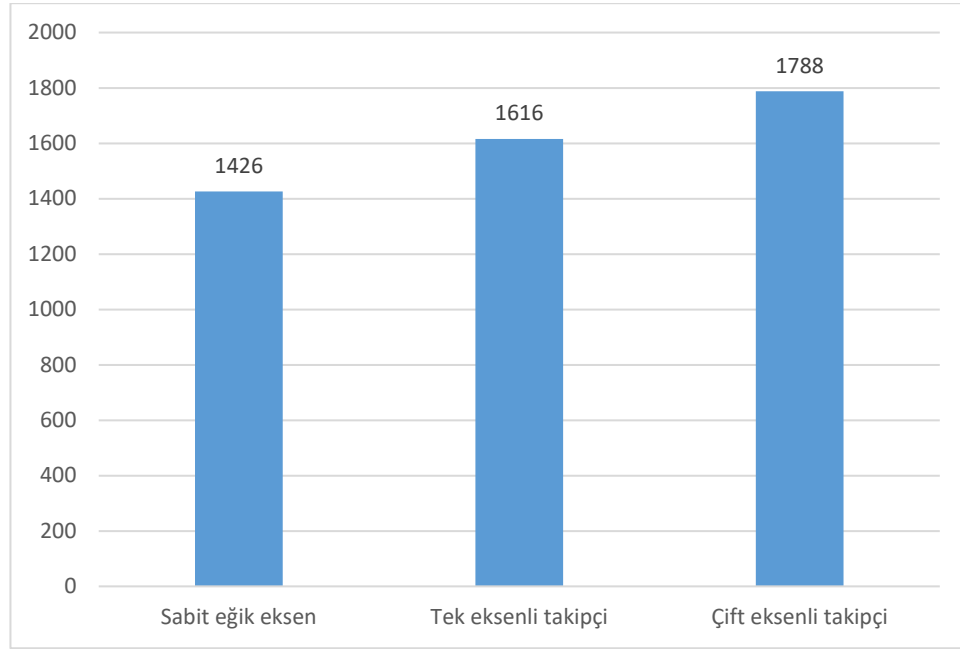
Başlıca Performans Parametreleri	Sabit eksenli GES	Tek eksen takip sistemli GES	Çift eksen takip sistemli GES
Sistem üretimi (MWh/yıl)	4283	4853	5370
Spesifik üretim (kWh/kWp/yıl)	1426	1616	1788
Ortalama PR (%)	88,09	88.60	88,1
Normalleştirilmiş üretim (kWh/kWp/gün)	3,82	4,41	4,88
Dizi kayıpları (kWh/kWp/gün)	0,47	0,51	0,57
Sistem kayıpları (kWh/kWp/gün)	0,05	0,05	0,06

Performansı karşılaştırmak için en önemli parametreler normalleştirilmiş üretim ve performans oranıdır. Tablo 5.3'te elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 5.5 Yıllık enerji üretimi

Şekil 5.5'te güneş enerji santrallerinin yıllık enerji üretimi sunulmuştur. Yıllık enerji üretimleri açısından incelendiğinden en düşük enerji üretimi sabit eksenli GES'te en yüksek enerji üretiminin ise çift eksenli GES'te olduğu görülmüştür.



Şekil 5.6. Yıllık spesifik üretim (kWh/kWp/yıl)

Şekil 5.6’da güneş enerji santrallerinin değerlendirilmesinde kullanılan Spesifik Üretimler karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Spesifik üretimler açısından incelendiğinde Çift eksenli güneş ışıını takip sistemi GES’in diğerlerine oranlar daha yüksek üretime sahip olduğu görülmüştür. Diğer veriler ile karşılaştırıldığında sonuçların birbirleri ile uyum içinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

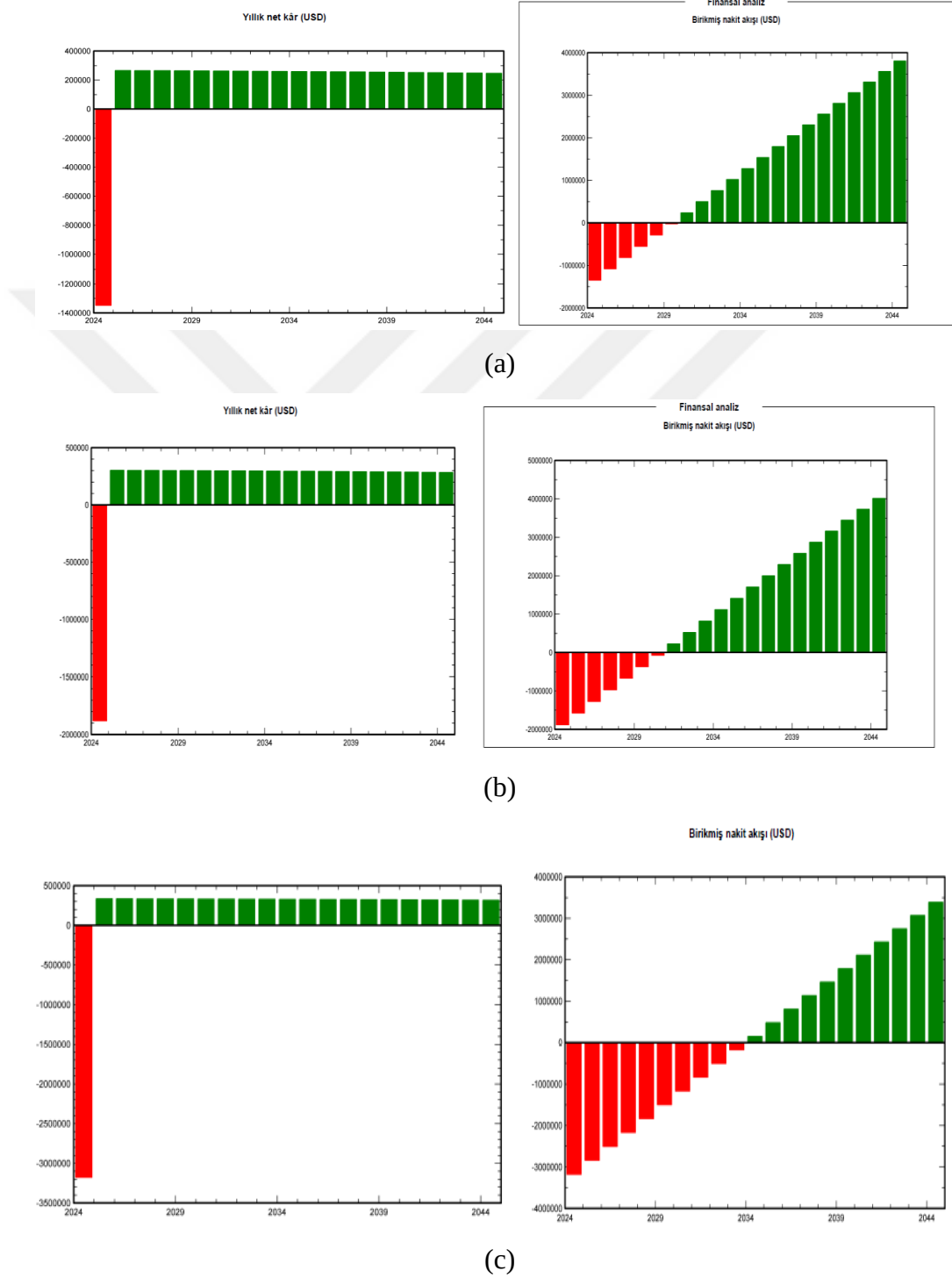
Maliyet analizi

PV güç sistemlerine yatırımın faydalarını değerlendirmek için ekonomik yönler dikkate alınmalıdır. Yaşam döngüsü maliyeti (LCC), enerji maliyeti (COE) ve geri ödeme süresi gibi uygun ekonomik analizler, PV sistemlerine yapılan yatırımın karlılığını garanti edebilir. Tablo 5.4’de sistem bileşenlerinin (güneş panelleri, invertör, kablolar vb.) fiyatları, kurulum ve arazi maliyetleri ayrıntılı olarak listelenmektedir. Tablolarda yer alan veriler pazar araştırması ve literatür taramalarından yola çıkılarak hazırlanmıştır.

Tablo 5.4. Sistem kurulum maliyetleri

Öğeler	Tek eksenli güneş ışınımı takip sistemine sahip GES			Sabit eğim açılı GES			Çift eksenli güneş ışınımı takip sistemine sahip GES		
	Miktar	Birim fiyatı	Toplam fiyat	Miktar	Birim fiyatı	Toplam fiyat	Miktar	Birim fiyatı	Toplam fiyat
PV modül	4620	176	813,120	4620	176	813,120	4620	176	813,120
Takipçi	4620	139,32	643,658.40	4620	26,32	121,598.40	4620	417,97	78,800.43
İnvertör	2	31,250	62,500	2	31,250	62,500	2	31,250	62,500
Birleştirici kutu	15	406.55	6,098	15	406.55	6,098	15	406.55	6,098
Kablolama	1	187,620.08	187,620.08	1	187,620.08	187,620.08	1	187,620.08	187,620.08
İzleme sistemi	1	15,009.61	15,009.61	1	15,009.61	15,009.61	1	15,009.61	15,009.61
Ölçü sistemi	1	65,668.83	65,668.83	1	65,668.83	65,668.83	1	65,668.83	65,668.83
Arazi maliyeti	1	20,000.00	20,000.00		20,000.00	20,000.00	1	20,000.00	20,000.00
Kurulum maliyeti	1	67,543.23	67,543.23	1	56,286.02	56,286.02	1	78,800.43	78,800.43

Geri ödeme sürelerinin belirlenmesi adına üretilen enerjinin şebekeye satış tarife fiyatı önem arz etmektedir. Azerbaycan genelindeki fiyatlar değerlendirildiğinde 0,65 USD/kWh olarak seçilmiştir. Farklı sistemlerden oluşan GES'lerin yıllık net kar ve birikmiş nakit akışı Şekil 5.10'da gösterilmektedir.



Şekil 5.7. Farklı sistemler için yıllık net kar ve nakit akışı

Tablo 5.5 Enerji maliyeti ve geri ödeme süresi.

Paneller	Üretilen enerji (MWh/yıl)	Üretilen enerji maliyeti (LCOE)	Geri ödeme süresi (yıl)	Yatırımın geri dönüşü (%)
Tek eksen takip sistemli GES	4853	0.030	7.0	133.9
Sabit eksenli GES	4283	0.026	5.6	185.6
Çift eksen takip sistemli GES	5371	0.043	11.4	54.1

Şekil 5.10 ve Tablo 5.5 incelendiğinde çift eksenli takip sisteminin enerji üretiminin fazla olmasına rağmen geri ödeme sürelerinin diğer sistemlerin olduğu GES sistemlerine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca yatırımın geri dönüş oranının daha düşük olduğu görülmüştür. Genel olarak sistemler ekonomik açıdan incelendiğinde sabit eksenli GES'in bulunan konum için daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilmektedir.

Karbon Salınımları Analizleri

Güneş enerji santrallerinin kullanılması artan enerji talebini karşılama potansiyeline sahip olmasına rağmen tamamen sıfır emisyonlu enerji üreten sistemler değildir. Yapılan çalışmalarda sistemlerin bileşenlerinin enerji miktarıyla ilişkili CO₂ emisyonları, Yaşam Döngüsü Emisyonları(LCE) ile hesaplanmaktadır. Bu değerler üretim, işletme, bakım ve transfer gibi bileşenleri içermektedir. Literatürde yer alan çalışmalardan yola çıkılarak Sabit eksenli GES için 3000 LCE, tek eksenli takip sistemine sahip GES için 4200 LCE ve çift eksenli takip sistemine sahip GES için 5500 değerleri alınmıştır. Buradan yola çıkılarak yapılan hesaplamalar sonucunda önlenen emisyon değeri Tablo 5.6'da verilmiştir. Emisyonlar açısından değerlendirildiğinde çift eksenli takip sistemine sahip GES'in daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Tablo 5.6 Seçilen sistemler için emisyon dengesi

	Önlenen emisyon (tCO₂)
Sabit eksenli GES	42056,5
Tek eksenli takip sistemine sahip GES	47652,3
Çift eksen takip sistemine sahip GES	52733,9

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 SONUÇ

Bu tez, mega ölçekli şebeke bağlantılı bir güneş enerji santrali sisteminin Azerbaycan/Bakü'nün özel koşulları altında performans durumunun incelenmesini içermektedir. Bu tezin temel amacı, bu koşullar için tasarlanmış bir sistemin potansiyel enerji çıktısını ve performansını değerlendirmektir. Bu hedefe ulaşmak için, şebekeye bağlı PV sistem tasarımı PVsyst 7.4 simülasyon aracı kullanılmıştır. Tez kapsamında seçilen bölgenin coğrafi konumu PVsyst programında işaretlenmiş ve bölgenin meteoroloji verileri, simülasyon aracının sunduğu Meteororm 7.4 veritabanından sentetik olarak üretilmiştir. Sistemin enerji performansının değerlendirilmesi haricinde; teknik, ekonomik ve çevresel analizlerde yapılmıştır. Sabit eğimli, tek eksenli izleme sistemi ve çift eksenli izleme sistemi konfigürasyonlarını simüle edilmiştir.

Sabit-eğimli (FT) sistem en yüksek performans oranlarına sahip olmasına rağmen genel performans oranı %88 ve üzerinde olan tüm sistemlerin uygulanabilir olduğu görülmüştür. Ancak çift eksenli sisteminin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, geri ödeme sürelerinin daha uzun olmasına neden olmaktadır. Sistem seçimi, yatırımcının yüksek yatırım getirisi değeri veya düşük geri ödeme süresi tercihlerine göre yapılmalıdır. Bu tez kapsamında, fiyatlandırmalar mevcut internet sitelerindeki satış fiyatları, alınan proformalar ve literatür taramalarındaki fiyatlar baz alınarak belirlenmiştir. Üretilen teknolojilerindeki değişim ve fiyatlardaki çeşitli değişiklikler geri ödeme sürelerinin ve ekonomik değerlendirmenin değişmesine sebep olabilmektedir. Mevcut tezde sunulan değerlendirmeler güncel fiyatlandırma politikalarını ve Azerbaycan/Bakü koşulları için elde edilmiştir.

Çalışmanın sonucuna baktığımızda en yüksek sistem üretimi (5371 MWh), spesifik üretim (1788 kWh/kWp/yıl) çift eksenli ve en yüksek PR (88,6) tek eksenli sistemde, en yüksek normleştirilmiş üretim çift eksenli gözlemlenmektedir. Yine en yüksek dizi kayıpları (0,57 kWh/kWp/gün) ve sistem kayıpları (0,06 kWh/kWp/gün) çift eksenli gözlemlenmektedir. Geri ödeme sürelerine baktığımızda ise en düşük geri ödeme süresi sabit eksenli (5.6 yıl) en yüksek ise çift eksenli (11,4 yıl) görülmektedir. Aynı zamanda en yüksek önlenen emisyon 52733,9 tCO₂, en düşük önlenen emisyon ise sabit eksenli 42065,5 tCO₂ olmuştur.

Çalışmada tek eksenli takip sistemlerinin çevresel etki açısından daha olumlu etkilerinin olduğu görülmektedir. Sabit ve çift eksenli sistemler yerine tek eksenli takip sistemlerinin kullanılması, karbon emisyonlarında %35'e kadar azalma sağlamıştır.

Enflasyonun, sübvansiyonların ve değişen enerji fiyatlarının geri ödeme ve yatırım getirisi hesaplamaları üzerindeki potansiyel etkisi önemlidir. Yenilenebilir enerjiye küresel yatırımların arttığı günümüz dünyasında dış etkenli ekonomik değişkenlerin kapsamlı bir şekilde incelenmesi, bu tür sistemlerin derinlemesine araştırmalara yönelik sağlamlığını artıracaktır. Bu çalışma, ekonomik faktörler ile yenilenebilir enerji yatırımları arasındaki dinamik etkileşimin derinlemesine incelenmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Çalışma, paydaşların ve politika yapıcılarının, yüksek ön maliyetlere sahip enerji sistemleri yatırımlarının karmaşıklığını yönetmek için kapsamlı çalışmalar yürütmesi gerekliliğini değerlendirmektedir. Mevcut elektrik satış politikaları, teşvik mekanizmaları, güneş enerji sistemlerinde kullanılan komponentlerin maliyetleri ve eksen takip sistemlerinde kullanılan teknolojilerin geliştirilerek birim fiyatların düşürülmesi ile tezde sunulan mali konularda değişkenlikler olacağı aşıkardır.

Fotovoltaik teknolojileri ve enerji pazarındaki trendler hakkında somut öngörülerde bulunmak zor olsa da mevcut durumu ve sektör trendlerini analiz ederek potansiyel trendlere dair bazı öngörülerde bulunmak mümkündür. Fotovoltaik teknolojilerindeki ilerlemelerin devam etmesi ve potansiyel olarak güneş enerjisi sistemlerinde verimliliğin artmasına ve maliyetlerin azalmasına yol açması beklenmektedir. Bu gelişmeler ışığında eksen takip sistemlerinin uygulanabilirliği ve geri ödeme sürelerinin azalması ihtimali bulunmaktadır. Malzeme seçimi , tasarım ve üretim süreçlerindeki yenilikler güneş enerjisi sistemlerinin ekonomik süreçlerini etkilemektedir. Teknolojiler gelişmeye devam ettikçe maliyet-fayda analizi değişebilmektedir. Bu durum, bu çalışmada sunulan ekonomik değerlendirmelerde değişikliklere yol açabilir. Farklı güneş enerjisi sistemi konfigürasyonlarının karşılaştırmalı performansı, politika değişikliklerinden ve sürdürülebilirliğin artan önemi ve değişen tüketici tercihleri gibi faktörlerden etkilenebilmektedir. Güneş enerjisi yatırımının ekonomisi gelişen politika teşvikleri ve sübvansiyonlardan etkilenebilir. Ayrıca, daha sürdürülebilir üretim süreçlerinin ve geliştirilmiş kullanım ömrü sonu imha uygulamalarının uygulamaya konması,

çevresel etkilerde değişikliklere yol açabilir. Sonuç olarak, spesifik öngörülerde bulunmak zor olsa da teknolojiye ilerlemelerin, enerji piyasasındaki değişikliklerin ve dış ekonomik değişkenlerdeki değişikliklerin önümüzdeki süreçte bu çalışmanın bulgularını etkilemesi beklenmektedir. Düzenli güncellemeler ve takip çalışmaları, bu gelişen eğilimleri yakalamak ve analiz etmek ve dinamik yenilenebilir enerji sektöründeki paydaşlara, politika yapıcılara ve yatırımcılara değerli rehberlik sağlamak açısından çok önemli olacaktır.

Kapsamlı bir teknik, performans, ekonomik ve çevresel analize dayanan bu çalışma, belirli bölge veya koşullarda güneş enerjisi santrali kurmayı düşünen politika yapıcılara ve yatırımcılara net tavsiyeler verebilecek değerli bilgiler sunmaktadır. Teknik Fizibilite: Teknik analiz, güneş enerjisi santrali konfigürasyon seçiminin enerji üretimini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Ekonomik Uygulanabilirlik: Maliyet analizi, karar verme sürecinde ekonomik hususların önemini vurgulamaktadır.

6.2 ÖNERİLER

Bu çalışmanın bulgularına dayalı yıllık enerji üretimi ve mali getiriler dikkate alındığında, eksen takip sistemlerinin seçiminin önemi ortaya çıkmaktadır. Bir PV sisteminin düşük performansı, yüksek kayıplar, hatalı bileşenler veya öğeler arasındaki uyumsuzluklarla karakterize edilen öğelere atfedilebilir. Sistemi geliştirmek için bu faktörlerin ele alınması ve ortadan kaldırılması, dolayısıyla performans değerlerinin yükseltilmesi mühendislik yaklaşımı açısından önemlidir.

Bu çalışmada özetlenen yöntem ve uygulamalar model olarak kullanılarak, tasarlanan bir fotovoltaik sistemin performans değerlendirmeleri yapılabilir ve enerji üretimi tahmin edilebilir. Sistem, bu tezde ayrıntıları verilen yaklaşımı takip ederek değerlendirmelerden geçebilir ve uygulamadan çok önce optimal ve uygun maliyetli tasarımların oluşturulmasına olanak tanır.

Artan çalışmalar ve fotovoltaik sistemlerin elektrik üretimi için yaygın olarak benimsenmesi yoluyla güneşin sağladığı bol ve yenilenebilir enerji kaynağından yararlanmaya yönelik çabaların genişletilmesi, fosil yakıtların çevresel etkilerinin azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunabilir. Bu girişim, yenilenemeyen enerji kaynaklarına bağımlılığın yol açtığı zararları azaltma konusunda önemli adımlar atma potansiyeli taşımaktadır.

7 KAYNAKLAR

(Bu tezde Vancouver referans sistemi kullanılmıştır.)

1. Shirmohammadi R, Aslani A, Ghasempour R, Romeo LM, Petrakopoulou F. Techno-economic assessment and optimization of a solar-assisted industrial post-combustion CO2 capture and utilization plant. *Energy Reports* [Internet]. 2021;7:7390–404. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.10.091>
2. Khan MA, Islam N, Abdul Mateen Khan M, Irshad K, Hanzala M, Ali Pasha A, et al. Experimental and simulation analysis of grid-connected rooftop photovoltaic system for a large-scale facility. *Sustain Energy Technol Assessments* [Internet]. 2022;53(PD):102773. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102773>
3. AKCAN E, KUNCAN M, MİNAZ MR. PVsyst Yazılımı İle 30 Kw Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu. *Eur J Sci Technol*. 2020;(18):248–61.
4. Ghazi A.J. Irak çöl bölgesinde bulunan bir çiftlik için güneş enerjisi ile beslenen yeraltı suyu sulama sisteminin tasarımı ve değerlendirilmesi. Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi; 2021.
5. Kuzucu U. Edirne ilinde tarımsal sulamada güneş enerjisi kullanımı. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi; 2021.
6. Alıcı H. Çukurova bölgesi için yeni güneş takip sistemi tasarımı ve uygulaması. Adana Alparslan Türkeş Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi; 2021.
7. Beyarslan S. Yenilenebilir enerji kaynakları ile mikro şebeke tasarımı ve optimum çözümünün HOMER ile. İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi; 2021.
8. Öztürk A. Ve Dursun M. 2, 10 ve 20 KVA'lık PV sistem tasarımı. In Elazığ: 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11); 2011. p. 16–8.
9. Nann S. Potential for tracking PV systems and V-troughs in moderate climates. *Güneş Energy*. 1998;45(6):385–93.
10. Bingol O, Altıntaş A ÖY. Microcontroller based güneş-tracking system and its implementation. *J Eng Sci*. 2006;12(2):243–8.
11. P. Karki BA ve KS. Katmandu ve Berlin'deki şebekeye bağlı fotovoltaik (PV) sistemin PVsyst kullanılarak karşılaştırmalı incelenmesi. 2012 IEEE Üçüncü Uluslararası Sürdürülebilir Enerji Teknoloji Konferansı (ICSET), Katmandu Bildir. 2012;196–9.
12. K. Matiyali AA. Şebekeye bağlı güneş enerjisi santralının performans değerlendirmesi. In Bareilly: 2016 2. Uluslararası Bilgisayar, İletişim ve Otomasyondaki Gelişmeler Konferansı (ICACCA) (sonbahar); 2016. p. 1–5.
13. ÖZDEMİR T, TÜZÜN ÖZMEN Ö. Farklı Tipteki Fotovoltaik Güneş Panellerinin Düzce için 2014-2019 Yılları Arası Yaz Ayları Performans ve Verimlilik Analizi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Derg*. 2023;11(1):381–98.
14. Duhis AH, Aljanabi M, Al-Kafaji MSS. Increasing photovoltaic system power output with white paint albedo – a scenario in Al-Mausaib City using PVSyst. software. *Int J Power Electron Drive Syst*. 2023;14(2):1149–59.
15. Uzunok S. PV Modüllerin Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Takip Sisteminin Etkisinin İncelenmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi; 2007.
16. Tiwari, V., & Pal K. Techno-Economic Assessment And Choice Of Battery For Hybrid Energy Using Homer Software. *Advanced Control & Optimization Paradigms for Energy System Operation and Management*; 2023. 61 p.
17. Smiles MJ, Law AM, Urwick AN, Thomas L, Irvine LAD, Pilot MT, et al. Next steps in the footprint project: A feasibility study of installing solar panels on Bath Abbey. *Energy Sci Eng*. 2022;10(3):892–902.
18. Mohammed A, Ghaithan A, Al-Hanbali A, Attia AM, Saleh H, Alsawafy O. Performance evaluation and feasibility analysis of 10 kWp PV system for residential buildings in Saudi Arabia. *Sustain Energy Technol Assessments* [Internet]. 2022;51(July 2021):101920. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101920>
19. LIMEM F, SEZEN S. Comparative Analysis of Different Photovoltaic Simulation Software: Case Study on Analyzing the Performance of a 5,1 kWp Grid Connected Photovoltaic

- System. Eur J Sci Technol. 2022;(32):816–26.
20. Ledmaoui, Y., El Mahraoui, A., & Chebak A. Solar Charging Station for Electric Vehicles with IoT Solution for Monitoring Energy Production. International Conference on Smart Applications and Data Analysis (SADASC); 2022. 63–77 p.
21. <https://area.gov.az/az/page/layiheler/cari-layiheler/230-mvt-gunes-elektrik-stansiyasi> [Internet]. Available from: <https://area.gov.az/az/page/layiheler/cari-layiheler/230-mvt-gunes-elektrik-stansiyasi>
22. Towler BF. The Future of Energy, (1. Baskı). In Brisbane, Avustralya: Akademik Press Yayınevi; 2014. p. 161–85.
23. Abamor S. Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Enerji Santrallerinin Elektrik Güç Kalite Parametrelerinin İzlenmesi ve Analizi. 2016;111.
24. Kurz D, Nowak A. Analysis of the Impact of the Level of Self-Consumption of Electricity from a Prosumer Photovoltaic Installation on Its Profitability under Different Energy Billing Scenarios in Poland. Energies. 2023;16(2).
25. Karuniawan Eriko Arvin, Sugiono Friska Ayu Fitriani, Larasati Pangestuningtyas Diah, Pramurti Adeguna Ridlo. Analisis Potensi Daya Listrik PLTS Atap di Gedung Direktorat Politeknik Negeri Semarang Dengan Perangkat Lunak PVSYST. J Energy Electr Eng. 2023;4(2):75–80.
26. Boztepe M. Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler. Elektr Mühendisleri Odası Derg. 2017;13–7.
27. Öztürk HH. Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler. Elektr Tesisat Ulus Kongre ve Sergisi Bildir. 2017;1:1–14.
28. Çınaroğlu, H., & Önal Y. Performance Analysis Of Different Solar Tracking System For Off-Grid Photovoltaic Power System İn Bilecik, Turkey Using Pvsyst Software. In Bilecik: Journal of Scientific Reports-A, 51,; 2023. p. 192–210.
29. Bosman LB, Leon-Salas WD, Hutzl W, Soto EA. PV system predictive maintenance: Challenges, current approaches, and opportunities. Energies. 2020;16(3).
30. Tanış Z. Elazığ İlinde Yer Alan Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Performans Analizi. Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.; 2019.
31. BİLHAN A, EMİKÖNEL S. Nevşehir İli Güneş Enerji Potansiyelinin Analizi ve Kurulu Güneş Enerji Santralleri. Eur J Sci Technol. 2021;(24):289–94.
32. Erkul A. Monokristal, Polikristal ve Amorf-Silisyum güneş panellerinin verimliliğinin incelenmesi ve aydınlatma sistemi uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.; 2010.
33. Baqir M, Channi HK. Analysis and design of solar PV system using Pvsyst software. Mater Today Proc [Internet]. 2021;48:1332–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.029>
34. Dimmler B. CIGS and CdTe based thin film PV modules, an industrial r/evolution. Conf Rec IEEE Photovolt Spec Conf. 2012;2494–9.
35. Haydaroğlu C, Gümüş B. Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin PVsyst ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Derg. 2016;7(3):491–500.
36. Deniz E. Güneş enerjisi santrallerinde kayıplar. Türkiye Elektr Mühendisleri Odası [Internet]. 2013;1(1):1–14. Available from: www.emo.org.tr/ekler/38f0038bf09a40b_ek.pdf
37. Schlindwein SL, Ison R, Estudiante IDEL, Cauca VDEL, et al. No Title. [Internet]. 2018; (تقني) (تقني). Available from: [https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396%0Ahttps://www.uam.es/gruposinv/meva/publicaciones/jesus/capitulos_espanyol_jesus/2005_motivacion para el aprendizaje Perspectiva alumnos.pdf%0Ahttps://www.researchgate.net/profile/Juan_Aparicio7/publication/253571379](https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396%0Ahttps://www.uam.es/gruposinv/meva/publicaciones/jesus/capitulos_espanyol_jesus/2005_motivacion%0Ahttps://www.researchgate.net/profile/Juan_Aparicio7/publication/253571379)
38. Uba, F. A. ve Sarsah EA. Optimization of tilt angle for solar collectors in WA, Ghana. Pelagia Res Libr Adv Appl Sci Res. 2013;4(4):108–14.
39. Öncin F. Çatı Tipi Güneş Enerji Santralleri Ve Dağıtım Tesislerine Bağlantı Kriterleri. Gazi Üniversitesi İleri Teknolojiler Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi; 2018.
40. Tekkale G. Türkiye'nin Çeşitli İllerinde Yapılacak Arazi Tipi Lisanssız Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Teknik Ve Finansal Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü İstanbul; 2018.
41. Leblebicioğlu E. Fotovoltaik (PV) Solar Sistem ve Bileşenleri-İnverterler. [Internet]. Available from: muhendistan.com

42. Turmuş A. Düzlemsel Yansıtma Destekli Düzlemsel Güneş Paneli Tasarımı– Elektrik Üretimi ve Verim Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ; 2018.
43. Song J, Zhu Y, Xia D, Yang Y. A photovoltaic solar tracking system with bidirectional sliding axle for building integration. *Energy Procedia* [Internet]. 2014;61:1638–41. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.315>
44. Gasparotto J, Da Boit Martinello K. Coal as an energy source and its impacts on human health. *Energy Geosci.* 2021;2(2):113–20.
45. Turhan S. Gölgeleme Bileşeni Olarak Kullanılan Fotovoltaik Panellerin Enerji Etkinliğinin Değerlendirilmesi İstanbul. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.; 2015.
46. Mermoud A. Modeling Systems Losses in PVsyst. 2013;1–15.
47. Giesler B. String vs. Central inverters: Dimension of the inverter. In tuttgart, Germany: Photon's 1st PV Inverter Conference; 2010. p. 1–23.
48. Lappalainen K, Valkealahti S. Photovoltaic mismatch losses caused by moving clouds. *Sol Energy* [Internet]. 2017;158(August):455–61. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.10.001>
49. Haddad S, Lekouaghet B, Benghanem M, Soukkou A, Rabhi A. Parameter Estimation of Solar Modules Operating Under Outdoor Operational Conditions Using Artificial Hummingbird Algorithm. *IEEE Access.* 2022;10:51299–314.
50. Karaca ÜB, Uçar S. Konut Çatı ve Cephelerinde Farklı Fotovoltaik Sistem Uygulamalarının Değerlendirilmesi. *Trak Univ J Eng Sci* [Internet]. 2018;19(2):65–76. Available from: <http://dergipark.gov.tr/tujes>
51. Gürbüz D. Kir Ve Tozlanmanın Fotovoltaik Sistem Verimi Üzerindeki Etkisi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ; 2018.
52. Sancar M. Fotovoltaik Panelin Performansına Etki Eden Faktörlerin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta; 2018.
53. Jamroen C, Fongkerd C, Krongpha W, Komkum P, Pirayawaraporn A, Chindakham N. A novel UV sensor-based dual-axis solar tracking system: Implementation and performance analysis. *Appl Energy* [Internet]. 2021;299(February):117295. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117295>
54. Akkaş ÖP, Çam E. Optimal operation of a virtual power plant in a day-ahead market considering uncertainties of renewable generation and risk evaluation. *El-Cezeri J Sci Eng.* 2020;7(2):448–60.
55. AKYÜREK EF, GELİŞ K, YOLADI M. Farklı gölgeleme durumlarının fotovoltaik panel karakteristiği üzerine etkisi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilim Enstitüsü Derg.* 2020;11:161–8.
56. Alahmad, H., Taşkesen, E., Bilen E. Şırnak Üniversitesi Yerleşkesinde Bulunan Mühendislik Fakültesi Bina Çatılarının Örnek Şebekeye Bağlı (On-Grid) Bir Fotovoltaik Sistem Tasarımı. In Konya, Türkiye: 1st International Conference on Scientific and Innovative Studie; 2023. p. 245–57.
57. BİBERCİ MA. Techno-economic analysis of a solar-powered agricultural irrigation system using PV*Sol software: A case study in Konya. *Int J Agric Environ Food Sci.* 2023;7(1):156–62.
58. Dey D, Subudhi B. Design, simulation and economic evaluation of 90 kW grid connected Photovoltaic system. *Energy Reports* [Internet]. 2020;6:1778–87. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.04.027>
59. Garner, R., Jansen, G., & Dehouche Z. Renewable Energy Community VPP Concept Design and Modelling for Sustainable Islands. 1st Edition.; 2022.
60. Idoko JA, Bamgbade OB, Abubakar IN, Onyechokwa TI, Adegboye BA, Mustapha BM. Design of Automatic Solar Tracking System Prototype to Maximize Solar Energy Extraction. 2020 IEEE PES/IAS PowerAfrica, PowerAfrica 2020. 2020;
61. The International Energy Agency (IEA). Turkey 2021 Energy Policy Review; 2021.
62. Sokolov M, Shmilovitz D. Photovoltaic maximum power point tracking based on an adjustable matched virtual load. *Conf Proc - IEEE Appl Power Electron Conf Expo - APEC.* 2007;1480–4.
63. Özdemir Ş. Fotovoltaik sistemler için mikrodnetleyicili en yüksek güç noktasını izleyen bir konvertörün gerçekleştirilmesi, YüksekLisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. YüksekLisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara; 2007.

64. Vokas GA, Zoridis GC, Lagogiannis K V. Single and Dual Axis PV Energy Production over Greece: Comparison between Measured and Predicted Data. *Energy Procedia* [Internet]. 2015;74:1490–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.798>
65. Yilmaz S, Riza Ozcalik H, Dogmus O, Dincer F, Akgol O, Karaaslan M. Design of two axes sun tracking controller with analytically solar radiation calculations. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2015;43:997–1005. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.090>
66. Sidek MHM, Azis N, Hasan WZW, Ab Kadir MZA, Shafie S, Radzi MAM. Automated positioning dual-axis solar tracking system with precision elevation and azimuth angle control. *Energy*. 2017;124:160–70.
67. A.T K. Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Fizibilitesi, Kıbrıs Bölgesinde 1.6 MWp'lik Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi Ve Ekonomik Analizi. In İstanbul; 2016. p. 6–15.
68. Kivrak S, Gunduzalp M, Dincer F. Theoretical and experimental performance investigation of a twoaxis solar tracker under the climatic condition of Denizli, Turkey. *Prz Elektrotechniczny*. 2012;88(2):332–6.
69. Çamur, S., Arifoğlu, B., Beşer, E. ve Kandemir Beşer E. Design and application of a 3kW sun tracking photovoltaic energy conversion unit. In *Electrical, Electronics and Computer Engineering (ELECO)*, 2010 National Conference on; 2010. p. 53–7.
70. Huang BJ, Ding WL, Huang YC. Long-term field test of solar PV power generation using one-axis 3-position sun tracker. *Sol Energy* [Internet]. 2011;85(9):1935–44. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2011.05.001>
71. Ozcelik S, Prakash H, Chaloo R. Two-axis solar tracker analysis and control for maximum power generation. *Procedia Comput Sci* [Internet]. 2011;6:457–62. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2011.08.085>