



**TEK YÜZEYLİ VE ÇİFT YÜZEYLİ FOTOVOLTAİK PANELLERİN
PERFORMANS ANALİZİ**

Aslıhan BAYYİĞİT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri 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.

Aslıhan BAYYİĞİT

22/06/2023

TEK YÜZEYLİ VE ÇİFT YÜZEYLİ FOTOVOLTAİK PANELLERİN PERFORMANS ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Aslıhan BAYYIĞIT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2023

ÖZET

Günümüzde enerji talebinin artmasıyla birlikte, fotovoltaik panellerin performansının artırılması önem kazanmaktadır. Bu nedenle, tek yüzeyli ve çift yüzeyli fotovoltaik panellerin (FV) performanslarının karşılaştırılması ve değerlendirilmesi önemli bir araştırma konusudur. Bu çalışmada, PVsyst yazılımı kullanılarak tek yüzeyli ve çift yüzeyli panellerin performansları karşılaştırılmıştır. Çalışma, hesaplamaların hem tek taraflı hem de çift taraflı paneller için aynı koşullar altında yapılmasını sağlamak için Ankara ilinde aynı model tek yüzeyli ve çift yüzeyli FV paneller ile iki farklı güneş enerji santrali tasarlanmıştır. Bu iki tasarımın verimlilikleri kıyaslanmış, albedo etkisi incelenmiş, CO₂ emisyon analizi ve teknik analizleri yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları, tek yüzeyli panellerin ortalama %82,21 performans oranıyla 1537 kWh/yıl ve çift yüzeyli panellerin ortalama %93,06 performans oranıyla 1740 kWh/yıl üretim potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Çift yüzeyli panellerin tek yüzeyli panellere göre daha yüksek performans gösterdiği ve yıllık ortalama enerji üretiminin %13 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, çift yüzeyli güneş paneli sistemlerinin verimliliği ve çevresel faydaları nedeniyle tek yüzeyli sistemlere göre daha yaygın hale getirilmesi, sürdürülebilir enerji üretimi için önemli bir adım olabilir.

Bilim Kodu : 93008

Anahtar Kelimeler : Fotovoltaik (FV), Çift yüzeyli FV, Tek yüzeyli FV, PVsyst, Albedo.

Sayfa Adedi : 57

Danışman : Prof. Dr. Adem ACIR

PERFORMANCE ANALYSIS OF MONOFACIAL AND BIFACIAL SURFACE
PHOTOVOLTAIC PANELS

(M. Sc. Thesis)

Aslıhan BAYYIĞİT

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2023

ABSTRACT

With the increase in energy demand, it is important to increase the performance of photovoltaic panels. Therefore, comparing and evaluating the performances of monofacial and bifacial photovoltaic panels (PV) is an important research topic. In this study, the performances of monofacial and bifacial PV panels were compared using the PVsyst software. In the study, two different solar power plants were designed with the same model of monofacial and bifacial PV panels in Ankara to ensure that the calculations were made under the same conditions for both monofacial and bifacial PV panels. The efficiencies of these two designs were compared, the albedo effect was examined, and CO₂ emission analysis and technical analysis were made. The results of the study show that monofacial panels have a production potential of 1537 kWh/year with an average performance rate of 82.21%, and bifacial panels have a production potential of 1740 kWh/year with an average performance of 93.06%. It has been determined that bifacial panels perform higher than monofacial panels and the annual average energy production is 13% higher. These results, making bifacial solar panel systems more common than monofacial systems due to their efficiency and environmental benefits, could be an important step for sustainable energy production.

Science Code : 93008

Key Words : Photovoltaic (FV), Monofacial FV, Bifacial FV, PVsyst, Albedo.

Page Number : 57

Supervisor : Prof. Dr. Adem ACIR

TEŞEKKÜR

Tez alıőmam s¼recinde bana yol g¼steren ve tecr¼belerini benden esirgemeyen tez danıőmanım Prof. Dr. Adem ACIR hocama teőekk¼r¼ bir bor bilirim. Çalıőmamda karőılaőtıėım zorluklarda yardımcı olan Arő. G¼r. Oėuz Kaan ÇİNİCİ hocama teőekk¼r¼ ederim. T¼m hayatım boyunca beni maddi ve manevi destekleyen aileme ő¼kranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	7
3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER	11
3.1. Fotovoltaik Sistem Elemanları	11
3.1.1. Fotovoltaik hücreler	12
3.1.2. İnverter (Evirici).....	17
3.1.3. Akü.....	18
3.1.3. Şarj kontrol cihazı	19
3.2. Bağlantı Şekillerine Göre Fotovoltaik Sistemler	20
3.2.1. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem	20
3.2.2. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem	21
3.3. Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları	21
4. PVSYST PROGRAMI	24
5. MATERYAL VE METOD	31
5.1. Ankara'nın Parametreleri	31
5.2. Ges Kurulum Yeri Özellikleri.....	32

	Sayfa
5.3. FV Sistem Tasarımı.....	34
5.3.1. FV modül seçimi.....	34
5.3.2. İnvörtör seçimi	35
5.3.3. Dizi boyutlandırma.....	35
5.3.4. Yerleşim ve zemin parametreleri	36
5.4. Karbon Emisyon Analizi.....	36
5.5. Ekonomik Analiz	37
6. BULGULAR	40
6.1. Enerji Analizi	40
6.2. Çevresel ve Ekonomik Değerlendirme	46
6.3. Literatür ile Karşılaştırma	46
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	54

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Hedeflenen Elektrik Kurulu Gücü Dağılımı (GW)	4
Çizelge 1.2. Birincil kaynaklara göre santral adedi ve kurulu güç	5
Çizelge 5.1. Kurulum için seçilen koordinatların aylık verileri.....	34
Çizelge 5.2. Çift yüzeyli ve tek yüzeyli panellerin özelliklerinin karşılaştırılması.....	35
Çizelge 6.1. Tek yüzeyli FV ve çift yüzeyli FV ile oluşturulan özdeş santrallerden elde edilen simülasyon çıktıları.....	43
Çizelge 6.2. Tek yüzeyli ve çift yüzeyli FV panellerin enerji kaybı oluşturan bileşenleri elde edilen simülasyon çıktıları	43
Çizelge 6.3. Bu çalışma ile elde edilen enerji kazancı sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması	43

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Küresel Yenilenebilir Enerji Kapasitesi (GW)	2
Şekil 1.2. Dünya Güneş Enerji Potansiyeli Atlası	2
Şekil 1.3. Küresel Güneş Enerji Kapasitesi	3
Şekil 1.4. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası	4
Şekil 3.1. Fotovoltaik sistem bileşenleri	11
Şekil 3.2. FV hücrenin yapısı.....	12
Şekil 3.3. FV hücre, modül ve dizi tasarımları	12
Şekil 3.4. Monokristal silikon hücreler.....	13
Şekil 3.5. Polikristal hücreler.....	14
Şekil 3.6. Amorf silikon (a-Si) hücreleri	15
Şekil 3.7. Bir fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi.....	15
Şekil 3.8. İntvertörün yapısı.....	17
Şekil 3.9. Şarj kontrol cihazı.....	19
Şekil 3.10. Şebeke bağlantılı FV sistem şeması	20
Şekil 3.11. Şebekeden bağımsız FV sistem şeması	21
Şekil 4.1. PVsyst açılış ekranı.....	24
Şekil 4.2. PVsyst yeni koordinat giriş yeri	25
Şekil 4.3. PVsyst yönlendirme parametresi	26
Şekil 4.4. FV modül seçimi	27
Şekil 4.5. PVsyst FV modül tanımlaması	27
Şekil 4.6. PVsyst dizi ve zemin parametreleri	28
Şekil 4.7. İntvertör seçimi.....	29
Şekil 4.8. Tasarlanan FV sistemini PVsyst programında görünümü	29

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. Ankara ili sıcaklık ortalamaları	31
Şekil 5.2. Ankara yıllık güneş radyasyon dağılımı	32
Şekil 5.3. a) Ankara global radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün)	32
Şekil 5.3. b) Ankara güneşlenme süreleri (saat)	32
Şekil 5.4. a) Güneş panellerinin kurulumu için seçilen alanın Google Earth görünümü	33
Şekil 5.4. b) Tasarlanan güneş panellerin PVsyst programında görünümü.....	33
Şekil 6.1. Tek yüzeyli ve çift yüzeyli FV panelin sıcaklığa bağlı olarak güç değişimi..	40
Şekil 6.2. Tek yüzeyli ve çift yüzeyli FV panelin ışıınım şiddetine bağlı olarak güç değişimi	42
Şekil 6.3. a) Tek yüzeyli FV panelin aylık enerji üretimi ve performans oranı	44
Şekil 6.3. b) Çift yüzeyli FV panelin aylık enerji üretimi ve performans oranı	44
Şekil 6.4. Tek yüzeyli FV panelin yıllık enerji üretimi ve önlenen yıllık karbon emisyonu miktarları.....	45
Şekil 6.5. Çift yüzeyli FV panelin yıllık enerji üretimi ve önlenen yıllık karbon emisyonu miktarları.....	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

°C	Santigrat derece
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
MW	Megawatt
MWh	Megawatt saat
m	Metre
m ²	Metrekare
W	Watt
V	Volt

Kısaltmalar

Açıklamalar

BOS	Sistem içi bağlantı bileşenleri maliyeti (USD/kW)
Ccost	Yatırım maliyeti
CPV	FV paneli maliyeti (USD/Wp)
Cinv	İnvertör maliyeti (USD/kW)
Ctransformer	Yükseltici transformatör maliyeti (USD/kVA)
Cc	FV güç santralının toplam sermaye maliyeti
Cm	İşletme ve bakım maliyetleri
Crep	Onarım ve yenileme maliyetleri
CC&i	Yatırım maliyeti (USD/kW)
Cland	Arazi maliyeti (USD/m ²)
EF	Emisyon Faktörü
Eplant, tot	FV santralının toplam ürettiği enerji
EArray	DC enerji üretimi
EGrid	AC enerjisi miktarı

Kısaltmalar**Açıklamalar**

Eplant	FV santralının ömrü boyunca üreteceği toplam elektrik enerjisi (kWh)
FV	Fotovoltaik
GlobInc	Kolektöre yansıyan küresel ışınımı
GlobEff	Etkin küresel ışınımı
Gt	Güneş ışınlarının santrale ulaşan toplam enerjisi
IPCC	Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli
LCOE	Seviyelendirilmiş enerji maliyeti
Ni	FV dizisi sayısı
Ns	Her bir FV dizisindeki panel sayısı
Np	Her bir FV panelindeki seri bağlantı sayısı
nland	FV sistemine tahsis edilen arazi alanı (m ²)
n	Tüm projenin ömür yılı
Pelectricity	Elektrik fiyatı x Projenin ömür yılı
Pplant, nom	Santralin nominal gücü
PR	Santralin performans oranı
Pplant, nom	Santralin nominal gücü
PV	Photovoltaic
PM,STC	STC koşullarında her bir panelin maksimum gücü (W _p)
Prated	İnvertörün nominal çıkış gücü (kW)
Pplant,nom	FV sisteminin nominal gücü (kW)
R	İskonto oranı
Revenuet	Nakit akışı
Rgross	Brüt gelirler
T	Sistemin ömür yılı
t	Faaliyet yılı

1. GİRİŞ

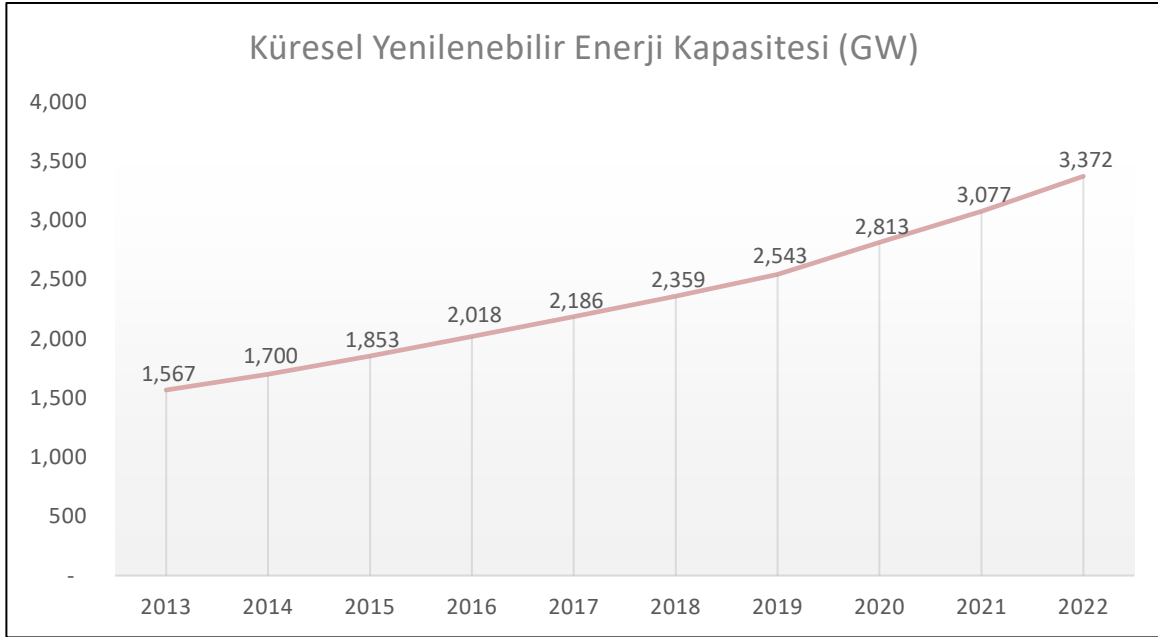
Artan nüfus ve sanayileşme ile birlikte enerjiye olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu talebin karşılanması için geleneksel olarak kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, fosil yakıtların kullanımı iklim krizi ve çevresel sorunlara yol açmaktadır. Fosil yakıtların yanması, sera gazı emisyonlarının ana kaynaklarından biridir. Özellikle kömür ve petrol gibi yakıtların yanması sonucunda atmosfere büyük miktarda CO₂ ve diğer sera gazları salınır. Bu sera gazları, atmosferdeki sera etkisini artırarak iklim değişikliğine katkıda bulunur. İklim değişikliği, küresel ısınma, deniz seviyesi yükselmesi, ekstrem hava olayları gibi olumsuz etkilere yol açar ve ekosistemlere zarar verir.

Yaşanan olumsuzlukların etkilerini en aza indirmek için Paris İklim Anlaşması ve Yeşil Mutabakat gibi uluslararası iklim değişikliği anlaşmaları ortaya çıkmıştır. Paris İklim Anlaşması, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) kapsamında 2015 yılında kabul edilen bir uluslararası iklim değişikliği anlaşmasıdır. Anlaşma, küresel sıcaklık artışının 2°C'nin altında tutulması ve mümkünse 1.5°C'ye kadar sınırlanması hedefini taşımaktadır. Ülkelerin emisyon azaltma taahhütlerini belirlemelerini, ulusal katkılarını raporlamalarını ve düzenli olarak ilerlemelerini gözden geçirmelerini talep eder [1-2]. 2019 yılında gündeme gelen Yeşil Mutabakat terimi genellikle Avrupa Birliği (AB) tarafından kullanılan bir kavramdır ve AB'nin sürdürülebilirlik, iklim değişikliğiyle mücadele ve yeşil ekonomi gibi konularda ortaya koyduğu bir stratejik planı ifade eder [3].

2020 yılında Avrupa Komisyonu tarafından imzalanan bu mutabakat 2050 yılına kadar net sıfır emisyonla geçmek için birtakım hedefler içermektedir. Bu kapsamda, enerji kaynaklarında yenilenebilir enerjiye daha fazla yatırım yapılması ve enerji verimliliğinin artırılması, karbon emisyonlarının azaltılması için çevre dostu teknolojilere geçilmesi, yüksek emisyonlu endüstri sektörlerinde karbon emisyonlarının azaltılması için yenilikçi çözümler geliştirilmesi, sürdürülebilir bir tarım ve orman yönetimi ile karbon emisyonlarının azaltılması, ulaşımda daha çevre dostu yakıtların kullanımı ve çevre dostu ulaşım seçeneklerinin yaygınlaştırılması gibi önlemler alınması planlanmaktadır [4].

Ülkemizde de enerji verimliliği ile ilgili önemli düzenlemeler yapılmaktadır. Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (NSEB) kapsamında yapılan düzenlemelere göre, 1 Ocak 2023 tarihinden itibaren ilk aşamada toplam inşaat alanı 5000 m²'nin üzerinde olan binaların NSEB şartlarını karşılaması zorunlu hale getirilmiştir. Ancak, 1 Ocak 2025 tarihinden itibaren bu şartlar 2000 m²'ye düşürülecektir. Yönetmelikte, NSEB olarak tanımlanan binaların enerji sınıfının en az B olması ve toplam enerji ihtiyacının en az %5'inin yenilenebilir enerjiden karşılanması gerekmektedir. Ancak, 1 Ocak 2025 tarihinden itibaren bu oran %10'a yükseltilecektir [5].

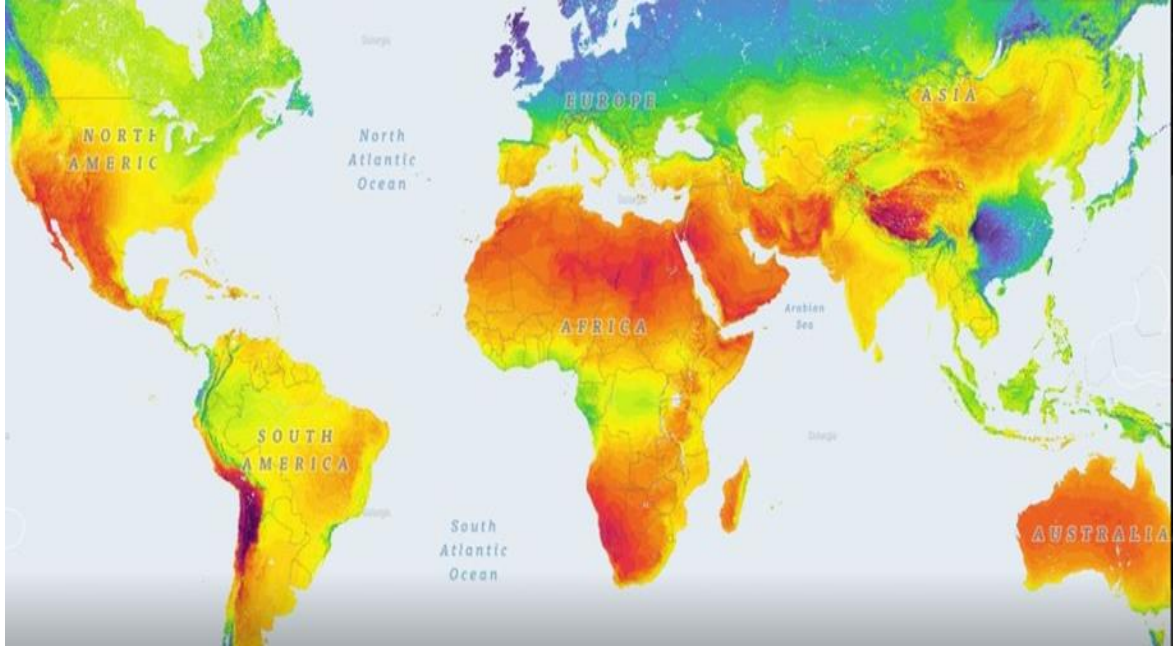
Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların bir göstergesi, kurulu güçtür. Kurulu güç, enerji üretiminde kullanılan tesislerin toplam kapasitesini ifade eder. Uluslararası Enerji Ajansı'na göre, küresel yenilenebilir enerji kapasitesi, 2022'de bir önceki seneye göre yüzde 9,6 artışla 3.372 GW'a (gigawatt) yükseldi. Şekil 1.1'de bu yükselişin yıllara göre değişimi gösterilmiştir [6]. Dünya genelinde yenilenebilir enerjinin, toplam enerji kapasite artışındaki payı % 83 oldu.



Şekil 1.1. Küresel Yenilenebilir Enerji Kapasitesi (GW)

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi en hızlı gelişen yenilenebilir kaynaktır [7]. Güneş enerjisi, dünya genelinde her yerde kullanılabilen, yenilenebilir ve sınırsız bir kaynaktır. Sadece evlerde değil, endüstriyel alanlarda da kullanılmaktadır. Tarımsal faaliyetlerde kullanılan pompalarda, sulama sistemlerinde ve sera ısıtma

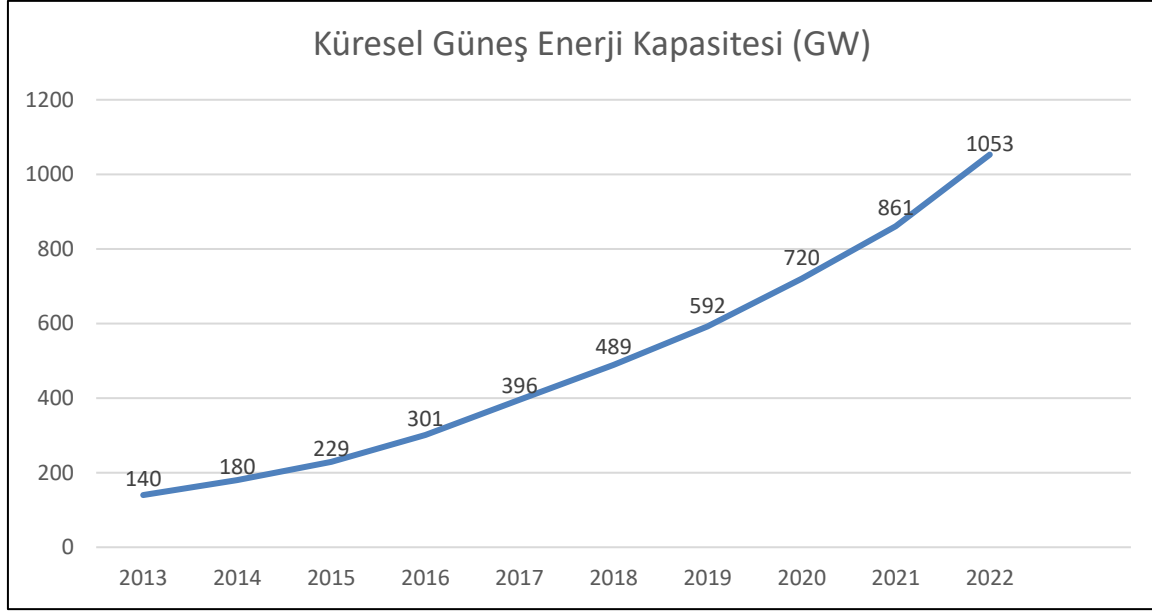
sistemlerinde de güneş enerjisi kullanılması, çiftçilere ve üreticilere maliyet avantajı sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı gelişen güneş enerjisi, enerji sektöründe önemli bir yere sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, nötr karbon ekonomisi hedefine ulaşmak için büyük bir adımdır. Şekil 1.2’de Dünya Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Dünya Güneş Enerji Potansiyeli Atlası [8]

Dünya Güneş Enerji Potansiyeli Atlasları, güneş enerjisi potansiyelini, güneş ışınımını ve dağılımını farklı bölgelerde analiz eder. Bu atlaslar, yatırımcılar, enerji planlamacıları ve politika yapıcılar için değerli bir kaynak olabilir. Atlaslar, güneş enerjisi projelerinin planlanması, güneş enerjisi santrallerinin kurulması ve enerji politikalarının oluşturulması süreçlerinde kullanılabilir.

Güneş enerjisi, dünya genelindeki toplam kurulu güçte önemli bir paya sahiptir. Şekil 1.3’te Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı’nın küresel güneş enerji kapasitesi değerleri gösterilmiştir. 2022 yılında dünya genelinde güneş enerjisi kurulu gücü 1.053 gigawatt (GW) seviyesine ulaşmıştır [6]. Bu, geçen yıla kıyasla yaklaşık 192 GW’lık bir artışı temsil etmektedir.



Şekil 1.3. Küresel Güneş Enerji Kapasitesi [6]

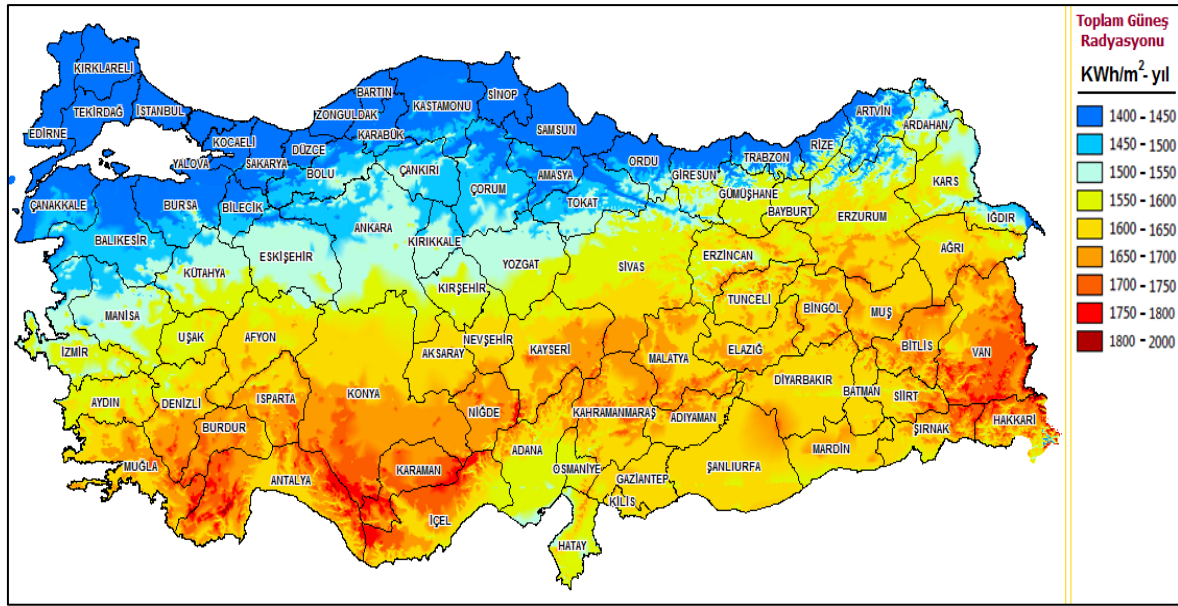
Ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynaklarına talep giderek artmaktadır. Türkiye Ulusal Enerji Planında yenilenebilir enerji ile ilgili hedefler yayınlanmıştır. Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının 2053 yılına kadar kademeli olarak % 61,4'e yükseleceği öngörülmektedir. Enerji planında 2025, 2030 ve 2035 yılları için hedeflenen Elektrik Kurulu Gücü (GW) dağılımlarına da yer verilmiştir. Hedeflenen dağılım Çizelge 1.1'de gösterilmiştir [9].

Çizelge 1.1. Hedeflenen Elektrik Kurulu Gücü Dağılımı (GW)

	2025	2030	2035
Kömür	21,1	22,8	24,3
Gaz	24,2	30,3	35,5
Nükleer	2,4	4,8	7,2
Hidrolik	33	35,1	35,1
Rüzgar	13,1	18,1	29,6
Güneş	17,9	32,9	52,9
Diğer	4,5	5,1	5,1
Toplam	116,2	149,1	189,7

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini ve güneş enerjisi kaynaklarını detaylı bir şekilde inceleyen bir kaynaktır. Bu atlas, ülkenin farklı bölgelerinde güneş enerjisi potansiyelinin nasıl değiştiğini, güneş ışınımının miktarını ve dağılımını gösteren haritalar ve veriler sunar.

Atlas, güneş enerjisi projeleri geliştiren, yatırım yapmak isteyen veya enerji planlaması yapan kişi ve kuruluşlar için son derece değerli bir kaynaktır. İşletmeler ve hükümetler, güneş enerjisi yatırımlarını planlarken, atlasın sağladığı verileri kullanarak projelerini en uygun bölgelere yönlendirebilirler. Bu, projelerin daha verimli ve ekonomik olmasını sağlayabilir. Şekil 1.4. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası [10]

Yenilenebilir kaynaklar arasında güneş enerjisi giderek yaygın hale gelmektedir. Ülkemizin bol güneşi ve artan enerji ihtiyacıyla birlikte, daha fazla kişi ve işletme, maliyet etkili ve sürdürülebilir bir çözüm olarak güneş enerjisine yönelmektedir. Ayrıca, güneş enerjisi kullanımı, enerji bağımsızlığımızı artırır. Güneş enerjisi, yerli bir kaynak olduğu için, enerji ithalatına olan bağımlılığı azaltır ve ülkemizin enerji güvenliğini artırır.

Ülkemizde 2022 sonu itibariyle birincil kaynaklara göre santral adetleri ve kurulu güç Çizelge 1.2'de gösterilmiştir [11]. Toplam 9.353 adet güneş santrali bulunmaktadır. Ayrıca güneş enerjisine dayalı kurulu güç 9.425,4 MW'tır. Diğer kurulu güç kaynakları içerisinde güneşin enerjisinin payı % 9,08 dir.

Çizelge 1.2. Birincil kaynaklara göre santral adedi ve kurulu güç

BİRİNCİL KAYNAK	SANTRAL ADEDİ	KURULU GÜÇ(MW)
Akarsu	610	8.296,3
Asfaltit kömür	1	405
Atık ısı	94	387,5
Barajlı	141	23.275,2
Biyokütle	384	1.921,3
Doğalgaz	345	25.345,3
Fuel oil	9	251,9
Güneş	9.353	9.425,4
İthal kömür	16	10.373,8
Jeotermal	63	1.691,3
Linyit	46	10.191,5
LNG	1	2
Motorin	1	1
Nafta	1	4,7
Rüzgar	358	11.396,2
Taş kömür	4	840,8
Toplam	11.427	103.809,3

Kurulacak sistemin tasarımının doğruluğunu ve performansını optimize etmek için kurulum öncesi simülasyon programı kullanmak önemlidir. Çünkü simülasyon programları, güneş radyasyonu, panel, inverter performansı ve enerji üretimi gibi birçok faktörü hesaba katarak GES'in tasarım ve performans özelliklerini modelleyebilir [12]. Gerçek koşullara en yakın sonuçları sağlamak için çeşitli parametreleri ve koşulları kullanır. FV sistemleri ile enerji üretimi PVsyst, PVsol, Matlab/Simulink, Helioscope, PVcase vb. gibi simülasyon yazılım programları kullanılarak hesaplanabilmektedir. Literatürde bu programların incelenmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır [13–14]. Bu programlardan biri olan PVsyst, farklı FV panel tiplerinin modellerini içerir ve sistem bileşenleri için tasarım ve performans parametreleri sağlar.

Güneş enerjisi üretiminde kullanılan paneller, tek yüzeyli veya çift yüzeyli olarak üretilir. Çift yüzeyli fotovoltaik paneller, güneş ışığının hem ön yüzeyden hem de arka yüzeyden absorbe edilmesine izin verir. Bu, tek yüzeyli panellere kıyasla daha yüksek bir toplam enerji verimliliği sağlar. Bu nedenle, çift yüzeyli FV teknolojisi son yıllarda giderek daha yaygın hale gelmiştir ve ilgi artmıştır ve araştırma konusu olmuştur [15–16].

Bu çalışmada Ankara ilinde belirlenen koordinatlarda, çift yüzeyli ve tek yüzeyli güneş enerji santrallerinin tasarım ve analizi PVsyst simülasyon programının 7.2.4 sürümü

kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aynı koordinatlar kullanıldığı için, programın hesaplamaları her iki santral için de aynı koşullar dikkate alarak gerçekleştirilmiştir. Bu, tasarım ve analiz sonuçlarının daha doğru ve karşılaştırılabilir olmasını sağlar. Ayrıca, zeminin albedo etkisi de incelenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

1839 yılında Edmand Becquerel tarafından fotovoltaik etkinin bulunmasından sonra fotovoltaik sistemler ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır [17]. Günümüzde de bu çalışmalar aynı hızla devam etmektedir. Güneş enerji sistemlerini tasarlamak ve analizini yapmak için birçok simülasyon programı geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında Ankara iline kurulacak çift yüzeyli ve tek yüzeyli fotovoltaik sistemlerin tasarım ve analizini yapmak için PVsyst programı kullanılmıştır. Ayrıca PVsyst programı ve diğer simülasyon programları kullanılarak yapılan modellemelerle ilgili makale ve tezler incelenmiştir.

Demiryürek, Siirt ilindeki Lebit Enerji Santralinin üretim verileri ile PVsyst programında santralle aynı özelliklerde oluşturulan modellemenin verilerini kıyaslamıştır. Gerçek üretim değerleri ve simülasyon üretim değerlerinin kıyaslanmasının sonucunda % 0,56 lık fark oluşmuştur. Bu farklılığın nedenleri incelenmiş ve böyle bir modelleme yapmanın tasarım aşamasındaki sistemler için büyük yarar sağlayacağı düşünülmüştür [18].

Aksangör çalışmasında, Ankara şehrindeki bir kampüse ait bazı binaların elektrik ihtiyacının güneşten elektrik elde edilerek karşılanması istendiğinde modellenecek sistemden üretilebilecek enerji miktarının ve sistemin performans oranının ölçülmesini hedeflemiştir. Bu çalışmayı yapmak için PVsyst simülasyon aracını kullanmıştır. Sistemin performans oranını %84,1 olarak bulmuştur [19].

Gündüz yaptığı çalışmada, ülkemizdeki enerji üretim tekniklerini ve güneş enerjisinin üretimdeki yerini incelemiştir. Örnek bir santral üzerinden santralin kurulum aşamalarını anlatmış ve maliyet analizini yapmıştır. Bu gerçek santral ile PVsyst programında santralle aynı özelliklerde oluşturulan modellemenin verilerini kıyaslamıştır. Programın %89,42 oranında doğru sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir [20].

Kilit çalışmasında, İzmir Büyükşehir Belediyesindeki kamu binalarının güneş enerji santrali kurulumuna uygunluğunu araştırmıştır. Uygun olan binaların PVsyst programı ile analizini yapmış ve güneş enerji potansiyellerini belirlemiştir. Böyle bir kurulum yapıldığında santralin 7 yılda tüm maliyetlerini çıkaracağı sonucuna ulaşmıştır. Bu projenin karlı bir yatırım olduğu sonucuna ulaşmıştır [21].

Taşkın, Şırnak Belediyesi'nin elektrik ihtiyacını güneşten karşılamak amacıyla 10 MW'lık fotovoltaik sistem tasarlamıştır. Bu çalışmayı yapmak için PVsyst programını kullanmıştır. Sistem için 4 farklı maliyet analizi yapmış ve en uygun olanı seçmiştir. Güneş Enerji Santrali ekonomik ömrünün 20 yıl olduğu düşünülmüş 5 yılda tüm maliyetini çıkarması karlı bir yatırım olarak görülmüştür [22].

Özcan ve Ersöz yaptıkları çalışmalarında, İstanbul, İzmir ve Ankara şehirlerinin sosyo-ekonomik gelişmişliklerini kıyaslamıştır. Bu 3 şehir için PVsyst programı kullanılarak güneş enerji santrali modellemesini ve üretim analizlerini gerçekleştirmiştir. Şehirlerin yıllık enerji üretimlerini ve yatırımın kendini amorti etme sürelerini hesaplamıştır. Ankara ve İzmir'in yatırım getirisinin benzer ve yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Ancak İstanbul'un yatırım yapmak için riskli bir yer olduğunu ve getirisinin düşük olacağını düşünmüştür [23].

Gu, Ma ve Ahmed çalışmalarında, çift yözlü panellerin, çalışma prensibi, temel yapısı, hücre kategorileri, enerji kayıpları gibi özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında SAM ve PVsyst programlarından yardım almışlardır. Çift yözlü panellerin, tek yözlü panellere kıyasla %5-30 daha fazla güç üretimi ve %2-6 daha düşük enerji maliyeti sağladığı sonucuna ulaşılmışlardır. Çift yözlü fotovoltaik sistem teknolojisinin daha etkin hale getirilmesi için hücrelerin, modüllerin ve sistemlerin optimizasyonu gibi bazı potansiyel yaklaşımlar da önerilmişlerdir [24].

Kılıcı çalışmasında, Kayseri ilinde 5 farklı güneş enerji sisteminin modellemesini ve üretim analizlerini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmayı yapmak için PVsyst programını kullanmıştır. Ayrıca Kayseri ilindeki 500 kW güneş enerji santralinin üretim verileri ile PVsyst programında santralle aynı özelliklerde oluşturulan modellemenin verilerini kıyaslamıştır. Bütün bu bilgiler ışığında güneş enerji santrallerinin kurulmadan önce analizlerinin yapılması üretimin öngörülmesi için büyük yarar sağlayacağı düşünülmüştür [25].

Akcan, Kuncan ve Minaz çalışmalarında Batman ilinin güneş enerjisi potansiyelini araştırmışlardır. Burada bulunan bir okulun çatısının üzerine kurmak üzere güneş enerji santrali tasarlamışlar ve bunun için PVsyst programını kullanmışlardır. Güneş enerji santralinden elde edilen enerjiyi şebeye satarak okulun gelir elde etmesini amaçlamışlardır. Bu yapılan çalışmaların sonucunda Batman ilinin güneş enerji santrali kurulumu için uygun bir yer olduğuna karar vermişlerdir [26].

Gu, Lie, Liu ve Chen, benzer yapıya sahip tek ve çift yüzeyli fotovoltaik modüllerin performansını karşılaştırmışlardır. Bu amaçla, daha önce geliştirilen birleştirilmiş bir model kullanarak çift yüzeyli sistemin performansını tahmin etmiş ve yerinde ölçümlerle doğrulamışlardır. Çift yüzeyli sistem performansının uzun vadeli tahminlerini yapmışlardır. Yıllık olarak elde edilen verilere göre, çift yüzeyli sistem için iki yüzeyli kazanç %14,77, dizi verimi 3,76 saat/d, üretim faktörü %87,23 ve enerji verimliliği %17,20 olarak hesaplamışlardır [27].

Çınaroğlu yaptığı çalışmada, Kilis ilindeki üç adet güneş enerji santralinin, son üç yıldaki enerji üretim değerleri ile PVsyst programında santrallerle aynı özelliklerde oluşturulan sistemlerin verilerini kıyaslamıştır. Buradaki amaç PVsyst programının doğruluk oranını test etmektir. Aynı zamanda Kilis 7 Aralık Üniversitesinin elektrik ihtiyacının bir kısmının güneş enerji sistemleri ile karşılanması için PVsyst programında modelleme yapmıştır. Bu modelleme böyle bir sistemin hayata geçirilmesinin kamunun elektrik giderlerinin azalacağını göstermiştir [28].

Raina ve Sinha'nın hazırladıkları derleme makale, çift yüzeyli fotovoltaik teknolojisi hakkında kapsamlı bir bilgi akışı sunmayı amaçlamaktadır. İnceleme, farklı çift yüzeyli hücre tasarımlarını ve bunların avantajlarını ve dezavantajlarını ele alarak başlamıştır. Endüstriyel senaryolarda kullanılan çeşitli tasarım seçenekleri üzerine bir tartışma sunarak, çift yüzeyli modüllerin üretimi sırasında dikkate alınan faktörler ele almışlardır. Bu derleme makalesi, iki yüzeyli fotovoltaik teknolojisi hakkında geniş kapsamlı bir bakış sunarak, bu teknolojinin mevcut durumunu ve gelecekteki potansiyelini anlamamıza yardımcı olmayı amaçlamaktadır [29].

Etçi çalışmasında, Van ve Konya şehirlerine kurulacak olan güneş enerjisi santrallerinin tasarlanmasını, sistemlerin üretim verilerinin kıyaslamasını yapmıştır. Bu iki şehirde tasarlanan güneş enerji santrallerinin sabit ve iki eksen güneş izleme sistemli olarak modellendiğinde üretimlerinin şehir bazında değişip değişmediğini gözlemlemiştir. Bütün bilgiler ışığında Van şehrinde kurulan sistemlerin Konya şehrinde kurulan sistemlere göre daha fazla elektrik üretimi yaptığı sonucuna varmıştır [30].

Ghenai, Ahmed ve Rejeb çalışmalarında, kontrollü yüzey albedosuna sahip düz çatılı binalara kurulan çift yüzeyli güneş FV sistemlerinin performansını değerlendirmeyi ve

yüzeyin iyileştirilmesiyle ilgili olarak çift yüzeyli güneş FV sistemlerinden güç çıkışını tahmin etmek için tahmin modelleri geliştirmeyi amaçlamışlardır. Araştırmanın önemli bulguları, yüzey albedosundaki artışın (0.2'den 0.5'e ve 0.2'den 0.8'e), yıllık çift yüzeyli güneş FV enerji üretimini sırasıyla %7.75 ve %14.96 artırmaya yardımcı olduğunu göstermiştir [31].

Erken çalışmasında, System Advisor Model ve Retscreen4 yazılımını kullanarak Edirne Keşan'da kurulması planlanan 1 MW'lık güneş enerji santralini simülasyonunu yapmıştır. Çift yüzeyli ve tek yüzeyli panellerin yıllık enerji üretim miktarlarını ve ekonomik açıdan cazipliğini kıyaslamıştır. Sistemlerin modül yüksekliğini, dizi aralığını ve albedo etkilerini değiştirerek sonuçlarını incelemiştir. Çalışma çift yüzeyli panellerin veriminin modül yüksekliği, dizi aralığı ve albedo etkilerinin doğru kombinasyonunda daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ancak tek yüzeyli panel kullanılarak simüle edilen sistemin maliyetinin daha uygun olduğu belirlenmiştir. Gelecekte çift yüzeyli panel maliyetinin azaltılması ile birlikte çift yüzeyli panellerin farklı senaryolara açık olması sebebiyle üstünlüğü ele alacağı düşünülmektedir [32].

Türkdoğru çalışmasında, Manisa Salihli'de kurulması planlanan 30 kW'lık güneş enerji santralini PVsyst yazılımını kullanarak tasarım ve analizini yapmıştır. Çift yüzeyli panelde 0,65 albedo değeri referans alındığında sağlanan güç ile çift yüzeyli panel özellikleri kapatıldığında sağlanan güç kıyaslanmıştır. 0,65 albedo değerinin beyaz beton veya beyaz boya ile elde edilebileceği belirtilmiştir. Çift yüzeyli panelin albedo değeri etkisiyle %15,25 kazanç sağladığı hesaplanmıştır. Çift yüzeyli panellerden elde edilen bu güç kazancının kurulum maliyetlerinin de düşürülmesiyle birlikte büyük fayda sağlayacağı düşünülmektedir [33].

Çalık, 5 farklı bölge seçip çift yüzeyli ve tek yüzeyli FV panellerin beyaz zemin, kum zemin ve asfalt zemin koşullarında modellemesini yapmıştır. Çift yüzeyli ve tek yüzeyli panellerin performanslarını kıyaslamayı amaçlayan bu çalışmada PVsyst programını kullanmıştır. Çalışmadan elde edilen bilgiler ışığında bütün bölgelerde çift yüzeyli panellerin veriminin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çift yüzeyli panelin geri ödeme süresinin tek yüzeyli panele göre 0,4 yıl daha erken olduğu belirlenmiştir [34].

NSS Mohamed ve diğeri, PVsyst simülasyon programını kullanarak tek ve çift yüzeyli panellerin tasarımını, simülasyonunu ve ekonomik analizini yapmıştır. Sonuçlar, 0,25'lik düşük albedo değeri ile çift yüzeyli FV modüllerinin arka tarafı, tek yüzeyli FV sistemine kıyasla %4,48 ek enerji üretimi yapabileceğini göstermektedir. Çift yüzeyli FV sisteminin, tek yüzeyli FV modüllerine sahip sisteme kıyasla daha düşük elektrik maliyetiyle daha yüksek enerji çıkışı üretim yapabileceğine ulaşılmıştır [35].

Prasad, Batı Viti Levu, Fiji'de çift yüzeyli ve tek yüzeyli güneş enerjisi panellerinin karşılaştırmalı tekno-ekonomik analizini gerçekleştirmiştir. PVsyst simülasyon programını kullanarak oluşturduğu modellerin sonucunda çift yüzeyli güneş enerjisi santralının %93,13'lük daha iyi bir performans oranıyla yıllık 22.149 MWh enerji üretim potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Çift yüzeyli güneş enerji santrallerinin, tek yüzeyli güneş enerji santrallerine kıyasla daha fazla enerji üretme potansiyeline sahip olduğu ve aynı zamanda daha yüksek sera gazı azaltma potansiyeline sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır [36].

Rodriguez-Pastor ve Ildefonso-Sanchez çalışmalarında, fotovoltaik sistemlerin hızla genişlemesi ve sınırlı bir kaynak olan arazi kullanımını arasında denge bulma ihtiyacını ele almışlardır. Güney İspanya'da bulunan bir çift yüzümlü fotovoltaik santralde yaz aylarında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, farklı türlerde bitkiler iki ayrı bölümde ekilmiş ve her bölümün performansı izlenmiştir. Çalışmanın bulguları, fotovoltaik sistemleri tarım arazi kullanımıyla entegre etmenin modül sıcaklığı düzenlemesi ve artan güç üretimi açısından faydalı olabileceğini göstermiştir [37].

Raina ve Sinha, çift yüzümlü bir modülün her bir tarafının kirlenme kayıplarının ve hızının deneyler aracılığıyla ölçüldüğü bir çalışma sunmuşlardır. Çalışmada, çift yüzümlü modül için günlük olarak kirlenme hızı % 0.328, arka tarafın kirlenme hızı % 0.031 olarak ölçülmüştür. Çalışmanın sonuçları, yaygın tozun bulunduğu bölgelerde çift yüzümlü modüllerin uygulanabilirliğine işaret etmiş ve çift yüzümlü modülün farklı tarafları için hangi tür azaltma stratejilerinin keşfedilebileceği konusunda yol gösterici olacağı düşünülmüştür [38].

Longares, García-Jimenez ve García-Polanco çalışmalarında, çift yüzümlü sistemlerin performansını etkileyen yer albedosu, eğim açısı, paneller arası mesafe ve yerden yükseklik değişimi parametrelerini incelemiştir. Bu çalışmada PVsyst ve COMSOL simülasyon programlarını kullanmışlardır. PVSyst programının hesaplamada daha doğrudan olduğunu,

bileşenlerin ve kurulum yerinin seçildikten sonra bazı parametreleri değiştirmeden doğrudan sonuçlar elde ettiğini, COMSOL programının ise panel üzerinde daha ayrıntılı çalışmalar ve daha hassas termal çalışmalar yapılmasına izin verdiğini belirlemişlerdir [39].

Alam, Gul ve Muneer, Birleşik Krallık'taki Heriot-Watt Üniversitesi'nde güneş panellerinin farklı yansıtıcı yüzeylerdeki performansını incelemiş ve beton, beyaz fayans, toprak ve beyaz çakıl gibi dört farklı yüzey üzerinde deneyler yapmışlardır. Açıklık indeksi ile arka ışınlama kazancı, arka ışınlama kazancı ile çift yüzü enerji kazancı ve toplam ışınlama ile güç çıkışı arasındaki ilişkileri belirlemek için korelasyon çalışmaları yapmışlardır. Makalenin sonuçlarına göre, beyaz çakıl ve beyaz fayans gibi yüzeylerde çift yüzü enerji kazancının diğer yüzeylere göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir [40].

Al-Masri, Dawagreh ve Magableh çalışmalarında, Ürdün'deki yük talebini karşılamak için optimal enerji yönetimi ve tek yüzeyli ve çift yüzeyli fotovoltaik sistemler arasında enerji üretimi, güvenilirlik, ekonomik uygunluk, ekolojik etki, ayak izi alanı ve diğer performans göstergeleri açısından kapsamlı bir karşılaştırma sunmuşlardır. Çalışma, çift yüzü panellerin maksimum güç çıkışının tek yüzü panellere kıyasla daha yüksek olduğunu tespit etmiştir [41].

İncelenen çalışmalar ışığında, bir güneş enerji santrali tasarlamak için PVsyst simülasyon programından alınan verilerin doğruluk oranının yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle Ankara ilinde kurulması planlanan güneş enerji santrali analizi için PVsyst simülasyon programının kullanılmasına karar verilmiştir.

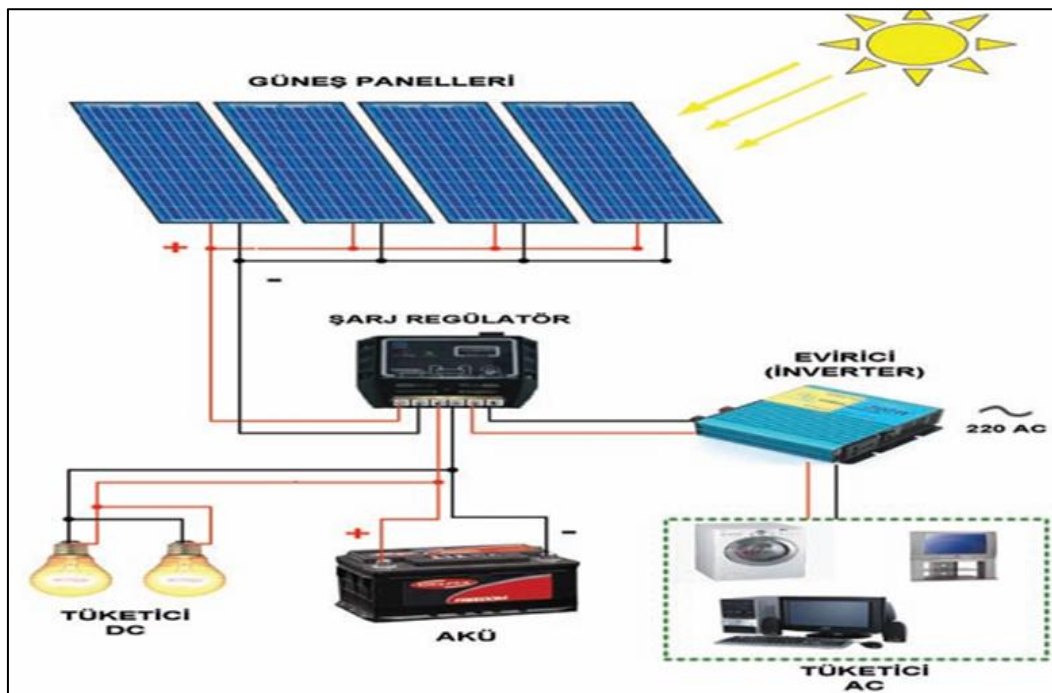
3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Fotovoltaik sistemler, genellikle kısaca FV olarak adlandırılır. "Foto" kelimesi Yunanca'da "ışık" anlamına gelirken, "voltaic" kelimesi ise Alessandro Volta'nın isminin birleşimiyle oluşturulmuş bir kelimedir ve "voltaj" anlamına gelir. Bu terim, Alessandro Volta'nın elektrik akımını geliştiren makinayı tasarlamasıyla ilişkilendirilerek kullanılmıştır [42].

Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren, sürdürülebilir ve çevre dostu bir teknolojidir. Güneş panelleri aracılığıyla güneş ışığından elektrik üretilir ve elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanılabilir. FV sistemleri, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılması ve enerji maliyetlerinin düşürülmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

3.1. Fotovoltaik Sistem Elemanları

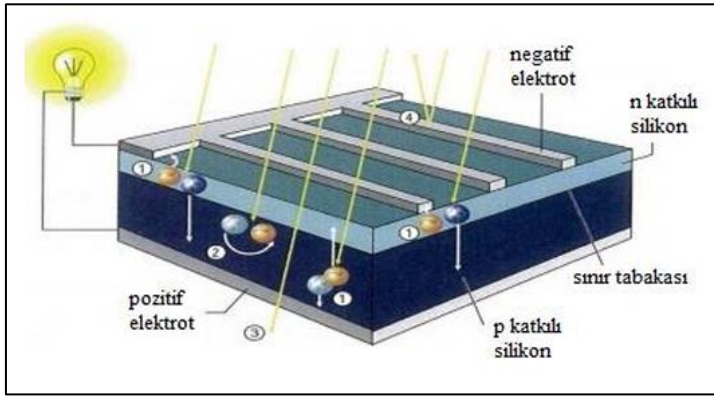
Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan fotovoltaik sistemlerin bileşenleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Güneş panelleri, inverter, akü ve şarj kontrol cihazı başlıca fotovoltaik sistem bileşenleridir.



Şekil 3.1. Fotovoltaik sistem bileşenler [43]

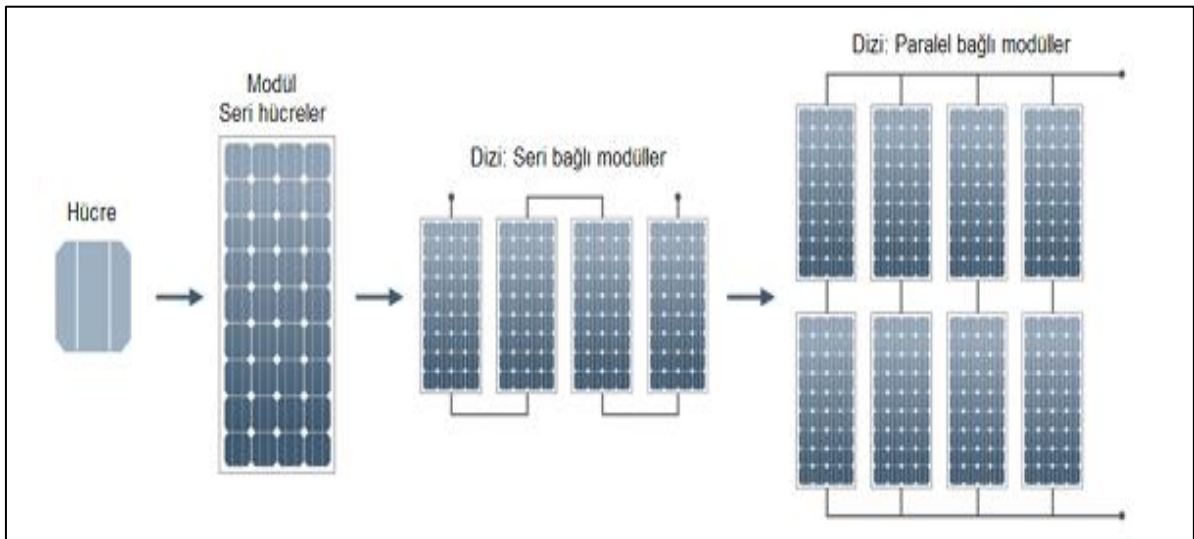
3.1.1. Fotovoltaik hücreler

Fotovoltaik hücreler, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren temel bileşenlerdir. Bu hücreler, genellikle ince tabakalar halinde yapılan yarıiletken malzemelerden oluşur. Şekil 3.2’de FV hücrenin yapısı gösterilmiştir. En yaygın kullanılan malzeme silikon olsa da, çeşitli diğer malzemeler de kullanılmaktadır



Şekil 3.2. FV hücrenin yapısı [44]

Fotovoltaik hücrelerin seri ve paralel bağlantısıyla güneş panelleri, diziler ve dizeler meydana getirilebilir [16]. Bu bağlantı şekilleri, güneş enerjisi sistemlerinde istenen voltaj ve akım düzeylerini elde etmek için kullanılır. FV hücre, modül ve dizi tasarımları Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. FV hücre, modül ve dizi tasarımları [43]

Fotovoltaik hücre çeşitleri

Fotovoltaik hücreler kristal silikon hücreler ve ince film hücreler olarak 2 ana gruba ayrılmaktadır:

Kristal silikon yapıya sahip güneş hücreleri, silisyum yarı iletken özellikleri tipik olarak gösteren ve fotovoltaik teknolojide en yaygın kullanılan hücre çeşididir. Fotovoltaik özellikleri daha üstün olan başka maddeler de olmasına rağmen, silisyum hem teknolojisinin üstünlüğü nedeniyle hem de ekonomik nedenlerle tercih edilmektedir [45]. Kristal silikon hücreler, monokristal silikon ve polikristal silikon olmak üzere iki ana alt kategoride bulunur:

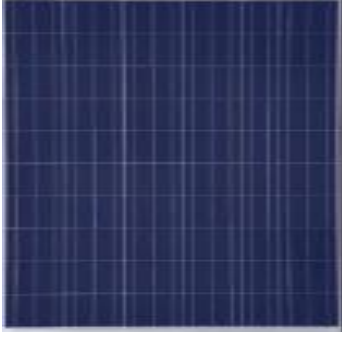
- **Monokristal Silikon Hücreler:** Monokristal silikon hücreler, tek kristal silikon bloklarından yapılmıştır. Şekil 3.4'te monokristal silikon hücreler gösterilmiştir. Bu bloklar, yüksek saflıkta silikon kristallerinin büyütülmesiyle elde edilir. Monokristal silikon hücreler, diğer hücre tiplerine göre daha yüksek verimlilik sunarlar (%20 ila %22 arasında). Bunun nedeni, tek kristal yapılarının daha düzenli atom düzenine sahip olmasıdır. Ancak, üretim süreçleri daha pahalıdır ve monokristal silikon hücreler daha yüksek maliyetlidir [45].



Şekil 3.4. Monokristal Silikon Hücreler [46]

- **Polikristal Silikon Hücreler:** Polikristal silikon hücreler, birden çok kristal silikonun birleştirilmesiyle oluşur. Bu hücreler, monokristal silikon hücrelere göre daha düşük maliyetli ve üretimi daha kolaydır. Polikristal hücrelerin verimlilikleri genellikle monokristale göre daha düşüktür (%14 ila %17 arasında). Polikristal hücrelerin yüzeyi

daha koyu ve daha kırılıgandır, bu nedenle ışık yansıması daha yüksek olabilir. Ancak, daha geniş bir işletme sıcaklık aralığında iyi performans gösterirler ve daha az enerji yoğun bir üretim sürecine sahiptirler [45]. Şekil 3.5'te polikristal hücreler gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Polikristal hücreler [46]

İnce Film Hücreler: İnce film hücreler, fotovoltaik malzemenin ince tabakalar halinde bir alt tabakaya uygulanmasıyla oluşturulurlar. Bu tabakalar genellikle yarıiletken malzemelerden yapılmıştır ve kristal silikon hücrelerinden farklı bir yapıya sahiptir. İnce film hücreler, düşük maliyetli üretim süreçleri ve esnek substratlar üzerinde çalışma yetenekleri gibi avantajlara sahiptir. Bununla birlikte, verimlilik genellikle kristal silikon hücrelerine kıyasla daha düşüktür [45]. İnce film hücrelerin amorf silikon (a-Si), kadmium telurit (CdTe), bakır indiyum galyum diselenid (CIGS), organik (Polimer) hücreler gibi alt katagorileri bulunmaktadır:

- **Amorf Silikon (a-Si) Hücreleri:** Amorf silikon hücreler, düşük maliyetli ve büyük yüzey alanına sahip olmaları nedeniyle popülerdir. Silikonun kristal yapısına kıyasla daha düzensiz bir yapıya sahip olan amorf silikon tabakaları kullanılır. Şekil 3.6'da Amorf Silikon (a-Si) hücreleri gösterilmiştir.

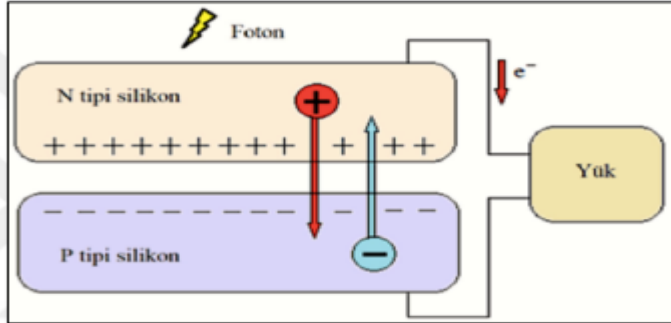


Şekil 3.6. Amorf Silikon (a-Si) Hücreleri [43]

- Kadmium Telurit (CdTe) Hücreleri: CdTe hücreleri, ticari olarak en yaygın kullanılan ince film hücre tipidir. Kadmium telurit tabakası kullanılarak üretilir ve yüksek verimlilik ve düşük maliyet avantajlarına sahiptir.
- CIGS (Bakır İndiyum Galyum Diselenid) Hücreleri: CIGS hücreleri, bakır, indiyum, galyum ve selenyum gibi elementlerden oluşan ince film tabakaları kullanır. CIGS hücreleri, yüksek verimlilik potansiyeline sahip olup esnek substratlara uygulanabilir.
- Organik (Polimer) Hücreleri: Organik hücreler, karbon bazlı polimer malzemelerden oluşur. Düşük maliyet, esneklik ve çeşitli substratlara uygulanabilme gibi avantajları vardır. Ancak şu anda ticari olarak kullanılan diğer ince film hücrelere kıyasla daha düşük verimliliklere sahiptir.

Fotovoltaik hücrelerin çalışma prensibi

Fotovoltaik hücreler, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren bu prensip üzerine çalışır. Şekil 3.7’de bir fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Bir fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi [47]

Fotovoltaik hücrelerin çalışma prensibi adımları [47]:

- Işık Emilimi: Fotovoltaik hücrelerin temel bileşeni, genellikle silikon veya diğer yarı iletken malzemelerden yapılan bir p-n birleşimi ya da ince film tabakasıdır. Güneş ışığı hücreye düşerken, hücrenin aktif bölgesindeki yarı iletken malzeme tarafından emilir.
- Elektron çiftlerin oluşumu: Güneş ışığındaki fotonlar, emilim sırasında yarı iletken malzemenin atomlarında bulunan elektronları uyarır. Bu uyarılmış elektronlar, yarı iletken malzemenin valans bandından ayrılarak serbest elektronlar oluşturur. Aynı zamanda, uyarılan elektron eksikliğiyle birlikte bir elektron-boşluk çifti yaratır.

- Elektronların hareketi: Serbest elektronlar, p-n birleşiminde veya ince film tabakasında elektriksel alana doğru hareket ederler. Bu alan, bir tarafında artı yüklerin (p-tipi yarı iletken) ve diğer tarafında eksi yüklerin (n-tipi yarı iletken) birikmesini sağlayan bir iç elektrik alanıdır.
- Elektrik akımının oluşumu: Elektronlar, p-n birleşiminde veya ince film tabakasında bir akım devresine bağlı olarak hareket ederler. Bu hareket, elektrik akımının oluşmasına neden olur. Akım devresine bağlı bir yük direnci olduğunda, elektronlar bu devreye çalışma gerilimi sağlamak için elektronları yerine koymak üzere hareket ederler.
- Elektrik enerjisi üretimi: Akım devresindeki elektron hareketi, elektrik enerjisi üretimini sağlar. Bu elektrik enerjisi, doğrudan kullanılabilir elektrik enerjisi olarak kullanılabilir veya bir pilde depolanabilir.

Tek yüzeyli ve çift yüzeyli fotovoltajik hücrelerin karşılaştırılması

Tek yüzeyli ve çift yüzeyli fotovoltajik hücreler, güneş enerjisini elektriğe dönüştüren güneş hücrelerinin farklı tasarımlarını ifade eder.

Tek Yüzeyli FV Hücreler: Yalnızca bir tarafı güneş ışığına maruz kalacak şekilde tasarlanan hücrelerdir. Bu hücreler genellikle düzlemsel bir yapıya sahiptir ve genellikle tek taraftan gelen güneş ışığı ile çalışır. Tek yüzeyli FV hücrelerinde, genellikle bir aktif yarıiletken tabaka kullanılır ve bu tabaka üzerine bir veya daha fazla katmanlı bir yapı inşa edilir. Bu tabaka, güneş ışığını absorbe eder ve elektriğe dönüştürür.

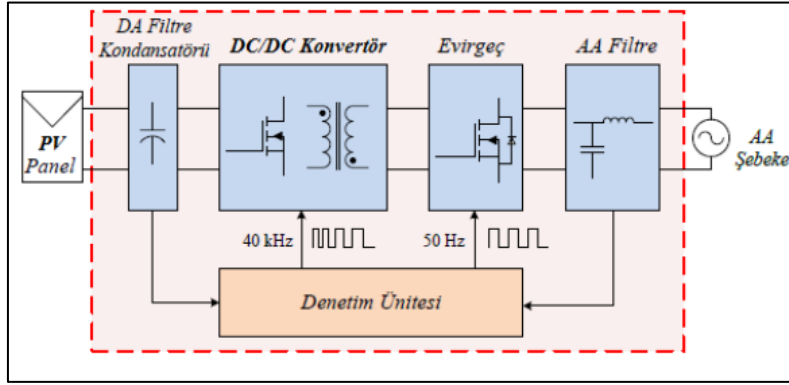
Albedo, bir yüzeyin ışığı yansıtma yeteneğini ifade eder. Tek yüzeyli panellerde albedo etkisi, yalnızca ön yüzeyden gelen güneş ışığı üzerinde etkilidir. Ön yüzeyden gelen ışık, panellerin yüzeyinde absorbe edilir ve elektrik enerjisine dönüştürülürken, geri kalanı yüzeyden yansır veya dağılır [28].

Çift Yüzeyli FV Hücreler: Her iki taraf da güneş ışığına maruz kalacak şekilde tasarlanmıştır. Yani, hem ön yüzey hem de arka yüzey güneş ışığı alacak şekilde hücre yapılmıştır. Çift yüzeyli FV hücrelerinde, hem ön yüzeyden hem de arka yüzeyden gelen güneş ışığından yararlanır. Bu, daha fazla ışık emilimi ve dolayısıyla daha yüksek bir verimlilik sağlayabilir. Çift yüzeyli FV hücrelerinde çift taraflı aktif yarıiletken tabakalar, arka yüzey reflektörleri veya ayna gibi çeşitli yapılar kullanılabilir.

Çift yüzeyli panellerde, güneş ışığı yüzeylere çarptığında bir kısmı ön yüzeyde emilirken bir kısmı da yüzeyden yansır. Yansıyan ışık, arka yüzeydeki hücrelere ulaşabilir ve bu hücreler tarafından da absorbe edilebilir. Böylece, albedo etkisiyle, yansıyan ışığın tekrar kullanılması sağlanır ve panellerin toplam enerji verimliliği artar [28].

3.1.2. İnverter (Evirici)

Fotovoltaik modüllerden üretilen elektrik enerjisi doğru akım (DC) formundadır. Ancak evlerde ve işyerlerinde kullanılan elektrik enerjisi genellikle alternatif akım (AC) formundadır. İnvertörler, fotovoltaik modüllerden gelen DC enerjiyi AC enerjiye dönüştürerek evlerde ve işyerlerinde kullanılabilir hale getirir. Tipik bir invertör sistemi Şekil 3.8’de gösterilen temel devre bileşenlerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.8. İnvertörün yapısı [48]

İnvertörler, fotovoltaik panellerden elde edilen enerjiyi en verimli şekilde kullanmak için güç optimizasyonu sağlar. MPPT (Maximum Power Point Tracking) teknolojisi kullanarak, invertörler güç çıkışını panellerin maksimum güç noktasına (MPPT) getirir [34]. Bu sayede sistemden elde edilen güç miktarı maksimize edilir. İnvertörler, fotovoltaik sistemin performansını izler ve veri kaydı yapar. Günlük, haftalık, aylık veya yıllık olarak enerji üretim verilerini kaydedebilirler. Bu veriler, sistemin ne kadar enerji ürettiğini, performansını değerlendirmek için kullanılabilir.

İnvertörler, güvenlik önlemlerini sağlamak için çeşitli koruma sistemlerine sahiptir. Aşırı gerilim, aşırı sıcaklık, aşırı akım ve kısa devre gibi durumları izler ve gerektiğinde sistemi koruma altına alır. Bu sayede fotovoltaik sistemin güvenli ve güvenilir bir şekilde çalışması

sağlanır. FV sistemlerinde inverter seçilirken; verim, minimum ve maksimum çalışma gerilimi, çalışma sıcaklığı, nominal çıkış gerilimi gibi özellikler dikkate alınır [16].

3.1.3. Akü

Fotovoltaik panellerden üretilen elektrik enerjisi, anlık olarak tüketilemez veya ağa geri verilemez. Aküler, bu enerjinin depolanması için kullanılır. Özellikle ağ bağlantılı sistemlerde, enerji kesildiğinde akülerden depolanan enerji kullanılarak güç sağlanır. Bu, enerji güvenliği ve sürekliliği sağlamak için önemlidir. Bazı elektrik tarifelerinde, enerji tüketiminin yoğun olduğu saatlerde daha yüksek fiyatlar uygulanır. Fotovoltaik sistemlerde aküler, güneş enerjisinin depolanarak bu saatlerde kullanılmasıyla enerji maliyetlerini düşürmeye yardımcı olur. Bazı uygulamalarda da elektrik ağına bağlı olmadan tamamen bağımsız çalışan izole fotovoltaik sistemler kullanılır. Bu durumlarda aküler, fotovoltaik panellerden üretilen enerjinin depolanmasını ve kullanılmasını sağlar. Örneğin, uzak bölgelerde veya mobil uygulamalarda (karavanlar, tekneler vb.) akülerin kullanımı yaygındır [46].

Kurşun asit aküler, FV sistemlerinde en yaygın olarak kullanılan akü türüdür. İki temel tipi bulunur: Kuru Hücreli (VRLA) ve Sıvı Elektrolitli. Kurşun asit aküler, uygun maliyetleri, geniş kullanım alanları ve düşük self-deşarj oranlarıyla bilinir. Ancak ağırlık ve boyutları büyük olabilir ve bakım gerektirebilirler. Jel aküler, elektrolit olarak jel halindeki bir madde kullanır. Jel, akü içindeki asidik elektroliti bir tutma matriksi olarak görev yapar. Bu aküler, daha derin deşarj edilebilme özelliğine sahiptir ve titreşime karşı daha dayanıklıdır. Uygun şartlarda 10-12 yıl çalışabilmektedirler. Jel aküler, kurşun asit akülere göre daha yüksek maliyetli olabilir [46].

Fotovoltaik sistemlerde akü seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken faktörler;

- Maliyet/performans oranının yüksek olması,
- Bakım ihtiyacının az olması,
- Kullanım ömrünün uygun olması,
- Şarj/Deşarj Verimliliği,
- Düşük şarj akımlarıyla da güç doldurulabilme,

- Dış darbelerle karşı direnç [47]

3.1.4. Şarj kontrol cihazı

Fotovoltaik sistemlerde şarj kontrol cihazı, güneş panellerinden gelen enerjinin akülere doğru bir şekilde şarj edilmesini sağlayan önemli bir bileşendir. Şekil 3.10'da fotovoltaik sistemlerde kullanılan şarj kontrol cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Şarj kontrol cihazı [48]

Şarj kontrol cihazı, güneş panellerinden gelen enerjinin akülere şarj edilmesini yönetir. PWM ve MPPT olmak üzere iki çeşit şarj kontrol cihazı bulunur [17]. Bu cihazlar, aküler optimum şarj seviyesine ulaştığında şarj işlemini durdurur ve aşırı şarjdan kaynaklanan zararları önler. Akülerin doğru şarj gerilimine ulaşmasını sağlar. Şarj kontrol cihazı, akülerin aşırı deşarj olmasını da önler. Akülerin düşük şarj seviyelerinde çalıştırılması, akü performansını azaltabilir ve ömrünü kısaltabilir. Şarj kontrol cihazı, akülerin güvenli deşarj seviyelerini korur ve aşırı deşarjı önler.

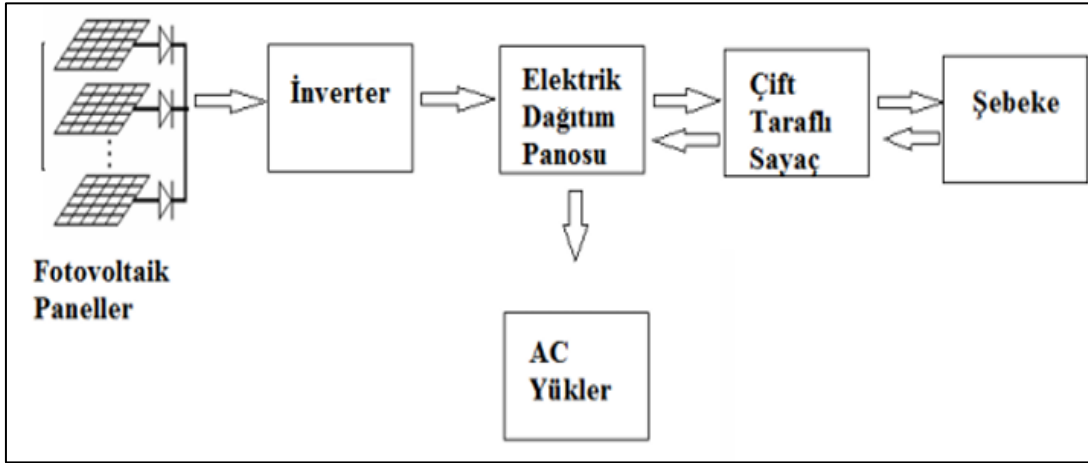
Bazı şarj kontrol cihazları, fotovoltaik sistemlerin performansını izler ve korur. Bu cihazlar, güneş paneli verimliliği, akü durumu, şarj/drain akımı, sıcaklık gibi parametrelerin takip edilmesi, verilerin analiz edilmesi ve gerektiğinde ayarlamaların yapılması için faydalı olabilir.

Şarj kontrol cihazının seçimi, FV sisteminin ihtiyaçlarına bağlı olarak yapılmalıdır. Şarj kontrol cihazının doğru seçimi, sistemin verimliliği, batarya ömrü ve güvenliği açısından kritik bir faktördür. Akü tipi, akü kapasitesi, maksimum güç, giriş gerilimi aralığı ve diğer özellikler dikkate alınmalıdır. Şarj kontrol cihazının doğru seçimi, akülerin verimli ve güvenli bir şekilde şarj edilmesini sağlar ve sistem performansını artırır [49].

3.2. Bağlantı Şekillerine Göre Fotovoltaik Sistemler

3.2.1. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler

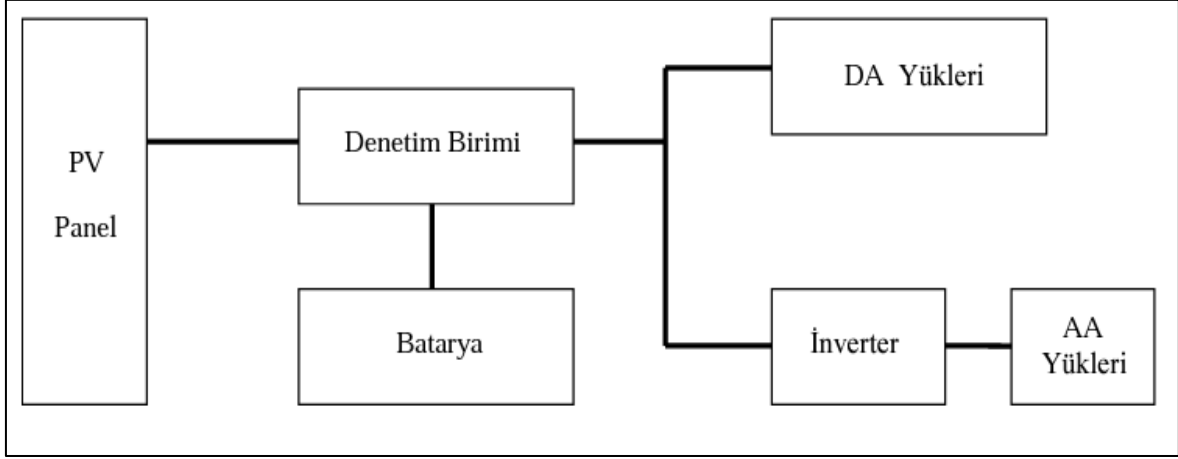
Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler, üretilen elektriğin şebekeye bağlandığı sistemlerdir. Şekil 3.11’de şebeke bağlantılı FV sistem şeması gösterilmiştir. Bu sistemlerde, örneğin bir konutun elektrik ihtiyacı, fotovoltaik panellerden üretilen enerji ile karşılanır. Fazla üretilen enerji çift yönlü sayaç kullanılarak şebekeye satılır ve tüketici gelir elde edebilir. Enerji üretiminin yetersiz olduğu durumlarda ise enerji tüketimi şebekeden karşılanır. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerde, şebeke depo aracı olarak işlev gördüğü için genellikle ekstra akü veya depolama birimlerine ihtiyaç duyulmaz [50].



Şekil 3.10. Şebeke Bağlantılı FV sistem şeması[34]

3.2.2. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler

Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler genellikle elektrik altyapısının bulunmadığı veya elektrik kesintilerinin sık yaşandığı kırsal alanlar, dağ evleri, kamp alanları, çiftlikler ve uzak bölgelerde kullanılır. Şekil 3.12’de şebekeden bağımsız FV sistem şeması gösterilmiştir. Bu sistemlerde, bataryadan gelen DC elektriği AC elektriğe dönüştürerek, evlerde veya uygulamalarda kullanılan elektrikle uyumlu hale getirir. Bu sayede, bağımsız bir enerji kaynağı sağlanmış olur ve elektrik ihtiyaçları karşılanır. Güneş panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisi doğrudan kullanılabilir veya bir akü sistemi aracılığıyla depolanabilir [51].



Şekil 3.11. Şebekeden Bağımsız FV sistem şeması [44]

3.3. Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

Fotovoltaik sistemlerin, birçok avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir [52-53]:

Avantajları

- Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisini kullanarak elektrik üretir. Güneş enerjisi yenilenebilir bir kaynaktır ve sınırsız bir şekilde mevcuttur. Bu nedenle, fotovoltaik sistemler çevre dostu bir enerji üretimi sağlar ve fosil yakıtların kullanımına bağımlılığı azaltır.
- Güneş enerjisi ücretsizdir ve güneş panellerinin kurulumu dışında sürekli bir yakıt maliyeti gerektirmez. Bu, uzun vadede elektrik maliyetlerini düşürür ve enerji bağımsızlığı sağlar.
- Fotovoltaik sistemlerin kurulumu, farklı boyutlarda ve çeşitli alanlarda gerçekleştirilebilir. Evlerde, işyerlerinde, çiftliklerde, kamu binalarında ve hatta uzay araçlarında bile kullanılabilirler. Ayrıca, modüler yapıları sayesinde sistem büyütülebilir veya daha fazla güç elde etmek için birden fazla güneş paneli eklenebilir.
- Fotovoltaik sistemler genellikle bakım gerektirmez. Güneş panelleri, genellikle temizlenmeleri ve düzenli olarak gözden geçirilmeleri gereken birkaç yılda bir bakım gerektirebilir. Bunun dışında, sistemler genellikle otomatik olarak çalışır ve düşük bakım maliyetleri sağlar.

Dezavantajları

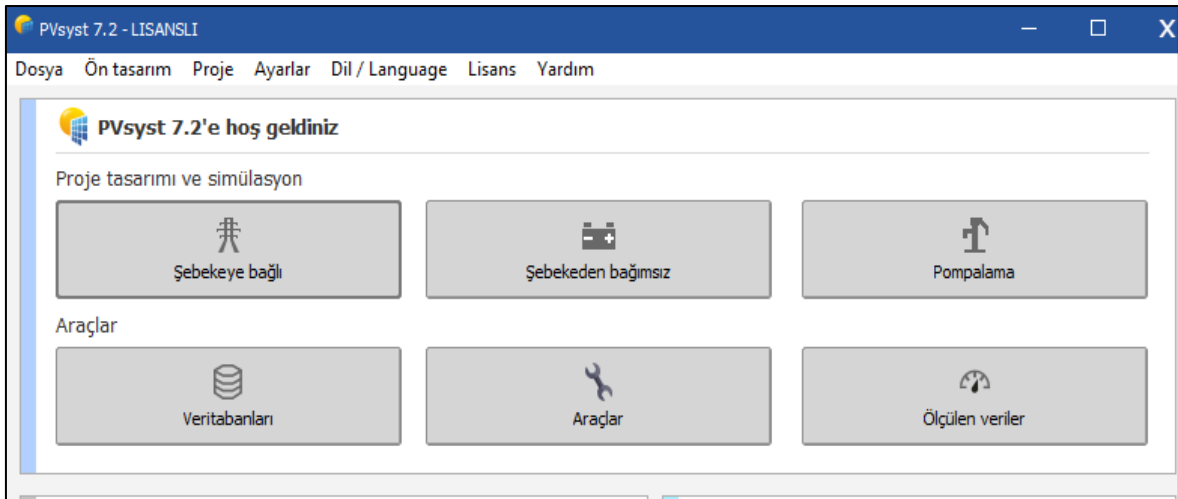
- Fotovoltaik sistemlerin başlangıç yatırım maliyeti yüksek olabilir. Güneş panelleri, invertörler, batarya bankaları ve diğer bileşenlerin maliyetleri dikkate alındığında, sistemin kurulumu için önemli bir yatırım gerekebilir. Ancak, bu maliyetler son yıllarda düşmekte ve fotovoltaik sistemlerin daha erişilebilir hale gelmesini sağlamaktadır.
- Fotovoltaik sistemlerin performansı, güneş ışığına ve hava koşullarına bağlıdır. Bulutlu veya yağmurlu günlerde, sistemlerin ürettiği enerji miktarı azalabilir. Ayrıca, gece veya karanlık saatlerde güneş panelleri enerji üretmez ve bağımsız sistemlerde depolanan enerji kullanılır.
- Şebekeden bağımsız sistemlerde enerji depolama gereklidir. Batarya bankaları, enerjinin depolanmasını sağlar, ancak bataryaların ömrü sınırlıdır ve düzenli olarak değiştirilmeleri gerekebilir. Ayrıca, fotovoltaik sistemlerin verimliliği, güneş paneli teknolojisi, yerleşim ve hava koşullarına bağlı olarak değişebilir.
- Fotovoltaik sistemlerin kurulumu için yeterli alan gereklidir. Evlerde veya işyerlerinde sınırlı bir alana sahipseniz, güneş panellerini yerleştirmek için yeterli alana ihtiyaç duyabilirsiniz. Bu, bazı uygulamalarda bir kısıtlama olabilir.

4. PVSYST PROGRAMI

İsviçre Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen PVsyst programı, fotovoltaik sistemlerin performansını simüle etmek için özel olarak tasarlanmış bir yazılımdır. Bu program, farklı çevresel parametreleri, özellikle güneş ışınımı, hava sıcaklığı, rüzgar hızı, bulutluluk ve diğer atmosferik koşulları dikkate alarak fotovoltaik sistemlerin performansını daha doğru bir şekilde simüle edebilir. PVsyst, fotovoltaik sistemlerin tasarımı ve optimize edilmesi gibi bir dizi farklı görevde kullanılabilir. Program, özellikle fotovoltaik panellerin optimum konumunu, eğim açısını ve modül sayısını belirlemek için kullanılır. Ayrıca, fotovoltaik panellerin performansını artırmak için uygun invertör seçimine yardımcı olabilir [54].

PVsyst programı aynı zamanda finansal analizler için de kullanılabilir. Bu program, fotovoltaik sistemlerin maliyetlerini ve enerji üretimini hesaplamak için kullanılır. Bu hesaplamalar, fotovoltaik projelerin karlılığını ve geri ödeme sürelerini belirlemek için kullanılabilir. PVsyst programı, farklı çevresel koşulları ve detaylı hesaplamaları dikkate alabilmesi nedeniyle, benzer programlara kıyasla daha etkili bir araçtır [55].

İlk olarak PVsyst programı açıldığında Şekil 4.1’de görülen ekranla karşılaşmaktayız.



Şekil 4.1. PVsyst açılış ekranı

PVsyst, şebekeye bağlı, bağımsız ve pompa sistemleri için tasarım ve analiz yapmak için kullanabileceğiniz çeşitli seçenekler sunar [56]:

- Şebekeye bağlı sistemler: Bu seçenek, bir fotovoltaik sistemin elektrik şebekesine bağlı olduğu durumları kapsar. Bu sistemler, evler, işletmeler ve diğer yerlerde kullanılan şebekeye bağlı inverterler kullanır. PVsyst, şebekenin güç kalitesi ve gerilim dalgalanmaları gibi faktörleri dikkate alarak, sistemin güç çıkışını ve performansını analiz edebilir.
- Bağımsız sistemler: Bu seçenek, bir fotovoltaik sisteminin şebekeye bağlı olmadığı ve enerjinin pillere depolandığı durumları kapsar. Bu sistemler, uzak bölgelerde, çiftliklerde, arazilerde veya taşınabilir uygulamalarda kullanılabilir. PVsyst, batarya bankının boyutlandırılması ve performansını analiz ederek, sistemin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için gereken güç çıkışını belirleyebilir.
- Pompa sistemleri: Bu seçenek, güneş enerjisiyle çalışan pompa sistemlerinin tasarımı ve analizi için kullanılır. Bu sistemler, su pompalama, sulama, havuz ve diğer uygulamalarda kullanılabilir. PVsyst, pompa sisteminin boyutlandırılması, güneş panellerinin dizilimi ve pompanın performansının analiz edilmesi gibi faktörleri dikkate alarak, sistemin performansını optimize edebilir.

Çalışmada elektrik şebekesine bağlı bir sistem tasarlanacağı için “Şebekeye bağlı” opsiyonu seçilmiştir. Bu opsiyon seçildikten sonra Şekil 4.2’de görülen ekranla karşılaşmaktayız. Bu sayfada projeye ait temel bilgiler girilir. Projenin kurulacağı konum coğrafi olarak bu sayfada seçilir ve bölgeye ait meteorolojik veriler programın veri tabanından çekilir [57].

Proje Konum Varyant

Proje

Yeni Yükle Kaydet Proje ayarları Sil Müşteri

Proje adı ANKARA Tek yüzü Müşteri ismi Tanımsız

Konum dosyası Ankara_PVGIS_API_TMY.SIT PVGIS TMY: SARAH, COSMO or NSRDB Türkiye

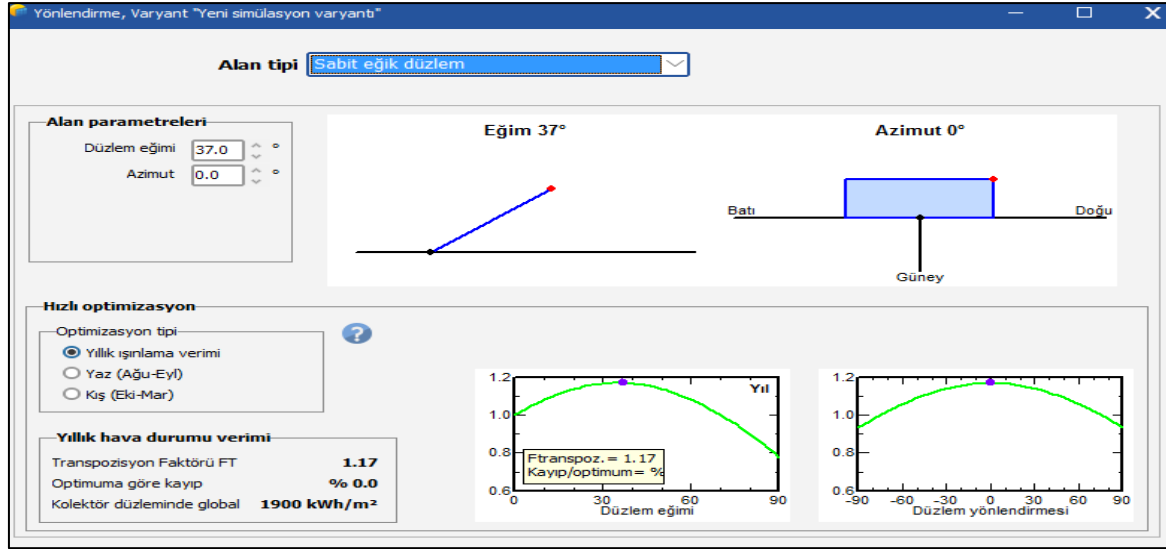
Hava durumu dosyası Ankara_PVGIS_API_TMY.MET PVGIS api TMY TMY 04

Simülasyon tamamlandı
(sürüm 7.2.4, tarih 25/03/23)

Şekil 4.2. PVsyst yeni koordinat giriş yeri

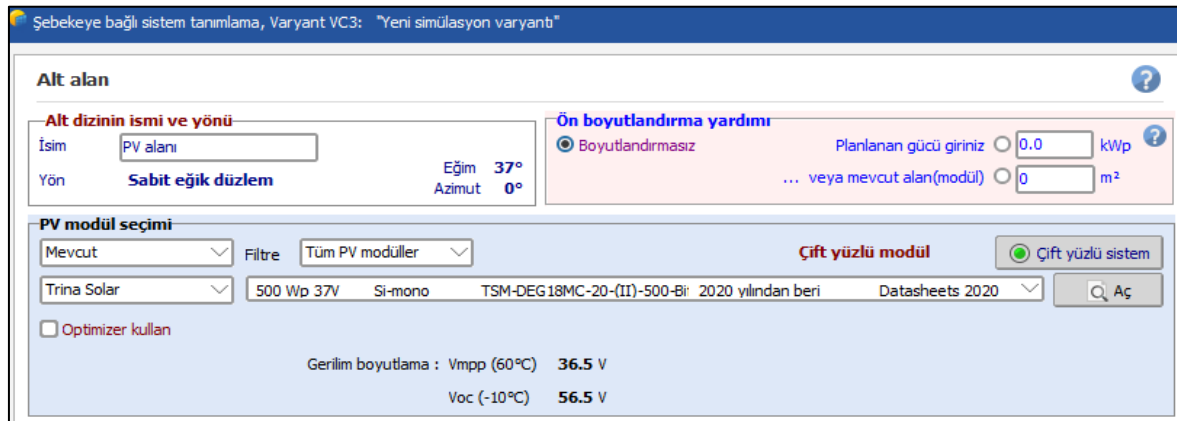
Programın “yönlendirme” parametresi seçildiğinde Şekil 4.3’te görülen ekran çıkmaktadır. Yönlendirme parametresi, güneş panellerinin en iyi performansı elde etmek için en uygun

yöne doğru hizalanmasını sağlar. FV panellerinin ideal yönlendirme, güneşin maksimum miktarda ışığına maruz kalmasını sağlar ve dolayısıyla maksimum enerji üretimini elde etmek için önemlidir. Projenin coğrafi konumuna ve sistem tasarımına bağlı olarak kullanıcının belirlediği değerlere göre ayarlanır. Bu parametre, FV panellerinin güneşe en iyi şekilde maruz kalmasını sağlayarak sistem performansını optimize etmeye yardımcı olur.



Şekil 4.3. PVsyst yönlendirme parametresi

PVsyst programı, FV modüllerin yerleştirileceği alanın veya planlanmış gücün üzerinden hesaplama yapabilen bir programdır. Bu programı kullanarak, istediğimiz durumlara uygun FV sistemi için panel seçimi yapabiliriz. Programın veri tabanında farklı panel markaları ve modelleri bulunur. Bu panel verilerini kullanarak, sistem tasarımınızı optimize edebilir ve en uygun paneli seçebilirsiniz. Şekil 4.4'te panel seçimi için kullanılan ekran gösterilmiştir.



Şekil 4.4. FV modül seçimi

Panel için seçim yapmadan önce FV modül tanımlaması özelliğini kullanarak panellerin boyut, teknoloji, nominal güç, çalışma gerilimi, modül verimliliği, sertifikalar ve standartları incelenebilir. Şekil 4.5'te örnek olarak seçilen panelin boyu ve teknoloji özellikleri görülmektedir.

The screenshot shows the 'PV modül tanımlaması' (PV Module Configuration) window. The 'Boyutlar ve Teknoloji' (Dimensions and Technology) tab is active. The module name is 'Trina Solar, TSM-DEG18MC-20-(II)-500-Bifacial'. The configuration is divided into several sections:

- Modül (Module):**
 - Boy: 2187 mm
 - En: 1102 mm
 - Kalınlık: 35.0 mm
 - Ağırlık: 30.10 kg
 - Modül yüzeyi: 2.410 m²
- Hücre (Cell):**
 - Seri: 75
 - Paralel: 2
 - Hücre yüzeyi: N/A cm²
 - Toplam hücre sayısı: 150
 - Hücre yüzeyi: Yok m²
- Maksimum dizi gerilimi (Maximum string voltage):**
 - Herhangi bir koşulda dizinin mutlak maksimum gerilimi (en düşük ortam sıcaklığındaki Voc).
 - Maksimum IEC gerilimi: 1500 V
 - Maksimum UL gerilimi (ABD): N/A V
- Koruma by-pass diyotu (Protection by-pass diode):**
 - Alt modül sayısı (etkin by pass diyot): 3 /modül
 - Alt modül bölünmesi:
 - Boyuna
 - Çift yarım hücre
 - Enine
 - Kiremit şekli hücreler
 - Diğer
- Teknolojisi ve modül özellikleri (Technology and module features):**
 - Çerçeve: anodized alu
 - Yapı: 2 mm, High transmission
 - Bağlantılar: TS4
 - Encapsulant material : POE / EVA
- Diğer (Other):**
 - Kiremit modül
 - CPV: konsantrasyon modülü
 - Çift yüzlü modül
- Çift yüzlü modül (Bifacial module):**
 - Bifaciality faktörü: 0.690
 - STC'lerde ön yüzle kıyasla arka yüzdeki nominal verimlilik arasındaki oran.

Şekil 4.5. PVsyst FV modül tanımlaması

PVsyst'te ayarlayabileceğimiz dizi ve zemin parametrelerinden bazıları şunlardır:

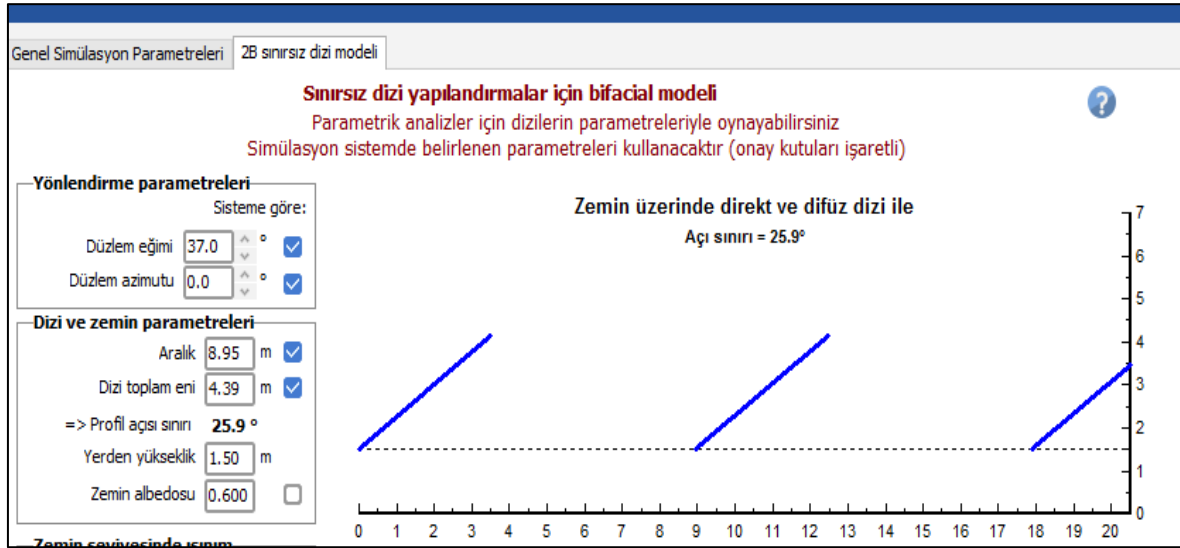
Yerleşim Tipi: Dizi zemin parametrelerinden biri, güneş enerjisi sistemlerinin yerleştirileceği zeminin tipini belirlemektir. Örneğin, tarla, çatı üstü veya gölgeleme yapısı gibi seçenekler arasından uygun olanı seçilebilir.

Yön: Dizi zemin sistemlerinin yönlendirilme parametresi de belirlenmelidir. Bu parametre, FV modüllerinin hangi yöne doğru hizalanacağını ifade eder. Kuzeyi referans olarak derece cinsinden (örneğin, 180 derece güney) veya yön adı olarak (örneğin, güney veya doğu) belirtilebilir.

Zemin Albedosu: Zeminin albedo değeri, güneş ışığının yansım oranını ifade eder. Dizi zemin sistemlerinde, zeminin albedo etkisi enerji üretimi üzerinde önemli bir rol oynayabilir. Bu parametre, zeminin yansıtma özelliğini dikkate alarak belirlenmelidir.

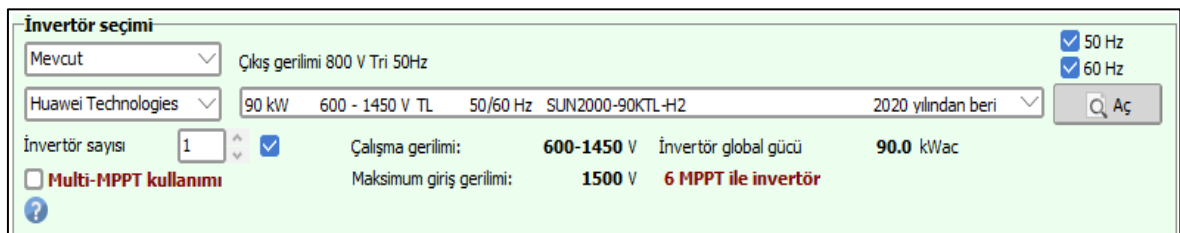
Temel Yükseklik: Dizi zemin sistemlerinin zemine olan yüksekliği, sistemin tasarımı ve montajı için önemlidir. Bu parametre, FV modüllerinin yerleştirileceği yüksekliği ifade eder ve yükseklik metrekare cinsinden belirtilir

Şekil 4.6'da PVsyst programında dizi ve zemin parametrelerinin ayarlanabileceği ekran gösterilmiştir.



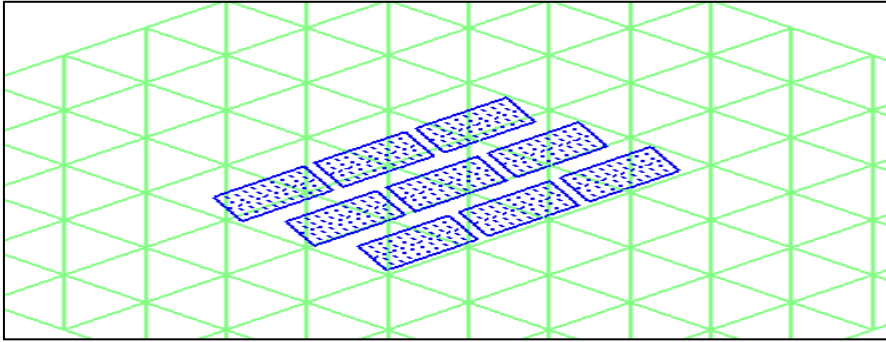
Şekil 4.6. PVsyst dizi ve zemin parametreleri

Şekil 4.7'de invertör seçimi için kullanılan ekran görülmektedir. İnverterler panel üretiminin verimli bir şekilde ağa aktarılmasını sağlar. Yanlış veya uyumsuz bir inverter seçimi, sistem performansını olumsuz yönde etkileyebilir ve verimsiz çalışmaya neden olabilir.



Şekil 4.7. İnvertör seçimi

PVsyst programının "Gölgelendirme sahnesi" özelliği güneş panellerinin üzerine düşen gölgelerin analiz edilmesine yardımcı olur [58]. Güneş panelleri üzerine düşen gölgeler, panelin verimliliğini etkileyebilir ve dolayısıyla sistem performansını olumsuz yönde etkileyebilir. Gölgelendirme sahnesi, güneş panellerinin çevresindeki engellerin (binalar, ağaçlar, yapılar vb.) ve bu engellerin panel üzerindeki gölgelerin oluşumunu simüle eder. Bu özellik kullanılarak, güneş panellerinin 3 boyutlu bir modeli oluşturulabilir ve panellerin arasındaki mesafeler, eğim açıları, dizi sayısı ve konumu gibi parametreler ayarlanabilir. Daha sonra, program, belirtilen tarih ve saatlerde güneşin ışınlarının panellere nasıl düştüğünü simüle eder ve panellerin gölgelendirme risklerini belirler. Şekil 4.8'de PVsyst programında tasarlanan güneş enerji santralının görünümü gösterilmiştir. Bu özellik sayesinde, güneş panellerinin tasarımı ve konumlandırılması optimize edilerek, enerji üretim potansiyelinin artırılması ve gölgelendirme kaynaklı performans kayıplarının en aza indirgenmesi sağlanabilir.



Şekil 4.8. Tasarlanan FV sisteminin PVsyst programında görünümü

PVsyst programının maliyetler, enerji geliri, geri ödeme süresi, net bugünkü değer (NPV) ve dahili getiri oranı (IRR) gibi finansal metrikleri hesaplamak için kullanılabilen özellikleriyle finansal analiz de gerçekleştirilebilir. Bu analizler, projenin ekonomik getirisini değerlendirmenize ve yatırımın ne kadar sürede geri döneceğini tahmin etmenize yardımcı olur.

Son olarak, PVsyst'in raporlama özelliği, projenin tasarım detaylarını, performans analizini, finansal sonuçları ve diğer önemli verileri içeren ayrıntılı raporlar oluşturmanıza olanak tanır. Bu raporlar, projenin paydaşlarına, müşterilere veya yatırımcılara sunulabilir ve güneş enerjisi sisteminin performansını, ekonomik getirilerini ve teknik ayrıntılarını göstermek için kullanılabilir.

5. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, tek yüzeyli ve çift yüzeyli FV panellerin performansı PVsyst yazılımı kullanılarak karşılaştırılmıştır. Tek yüzeyli paneller, sadece bir taraftan güneş ışığı alabilirken, çift yüzümlü paneller hem üst hem de alt taraflarından güneş ışığı alabilirler. Bu çalışmada, aynı boyuttaki ve aynı verimlilik sınıfına sahip iki farklı FV paneli kullanılmıştır. Öncelikle, tek yüzeyli ve çift yüzeyli panellerin aynı şartlarda test edilebilmesi için, her iki panel aynı güç çıkışına sahip olarak seçilmiştir. Ardından, PVsyst yazılımı kullanılarak her iki panelin performansı simüle edilmiştir.

5.1. Ankara'nın Parametreleri

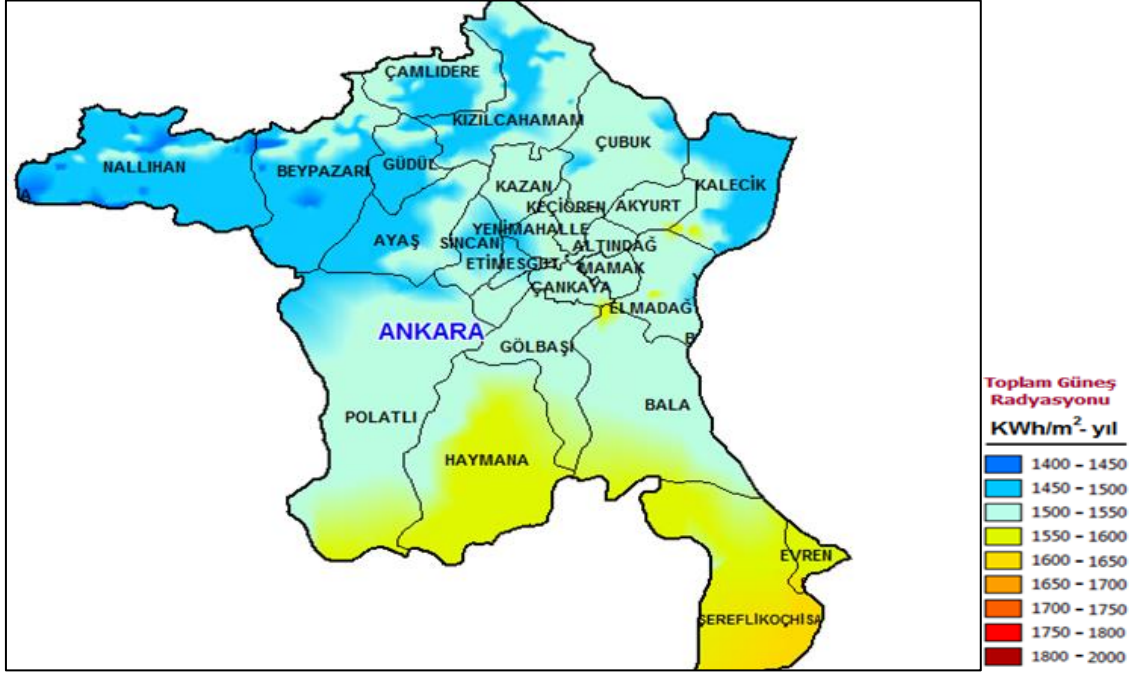
Ankara yüzölçümü olarak Konya ve Sivas'tan sonra, Türkiye'nin en büyük üçüncü ilidir. İlin genel yüzölçümü 24.521 km²'dir. Ankara ilinin 25 ilçesi vardır. Ankara'nın güneyinde İç Anadolu ikliminin belirgin karasal iklimi, kuzey tarafında ise Karadeniz ikliminin ılıman ve yağışlı halleri görülür. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi yıl içerisinde ortalama en düşük sıcaklık Ocak ayında -3.2 °C, ortalama en yüksek sıcaklık Ağustos ayında 30.5 °C olarak gerçekleşmiştir [59].

ANKARA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1927 - 2021)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.2	1.7	5.7	11.2	16.1	20.0	23.4	23.4	18.9	13.2	7.3	2.5	12.0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.2	6.5	11.5	17.4	22.4	26.7	30.3	30.5	26.1	20.0	13.1	6.5	17.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.2	-2.3	0.7	5.3	9.7	12.9	15.9	16.0	11.8	7.1	2.5	-0.8	6.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.6	3.8	5.1	6.5	8.4	10.0	11.2	10.6	9.1	6.7	4.6	2.5	6.8
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.29	10.53	11.82	10.35	12.24	10.06	3.53	3.59	4.29	7.47	6.76	11.06	103.0
Ortalama Kar Örtülü Gün Sayısı	4.5	3.6	1.6	0.1							0.3	2.1	12.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	40.5	35.3	39.3	42.2	51.3	35.2	14.1	12.5	18.0	27.5	31.5	44.6	392.0

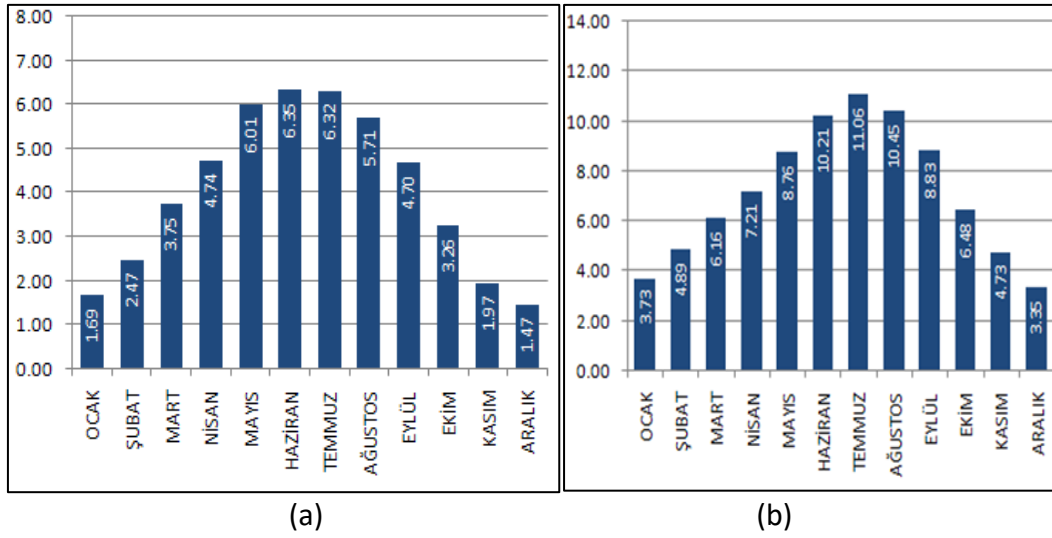
Şekil 5.1. Ankara ili sıcaklık ortalamaları

Şekil 5.2'de Ankara ili için yıllık güneş radyasyon dağılımı verilmiştir [60]. İlin güney kısmında güneş radyasyon değerleri daha yüksektir. Şekil 5.3.a'da Ankara global radyasyon değerleri (kwh/m²-gün), Şekil 5.3.b'de Ankara güneşlenme süreleri (saat) verilmiştir. Ankara'da yaz aylarında global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri diğer aylara göre

daha yüksektir. Yıllık ortalama güneşlenme süresi 2506 saat ve yıllık ortalama güneş ışınımı 1389 Wh/m²'dir.



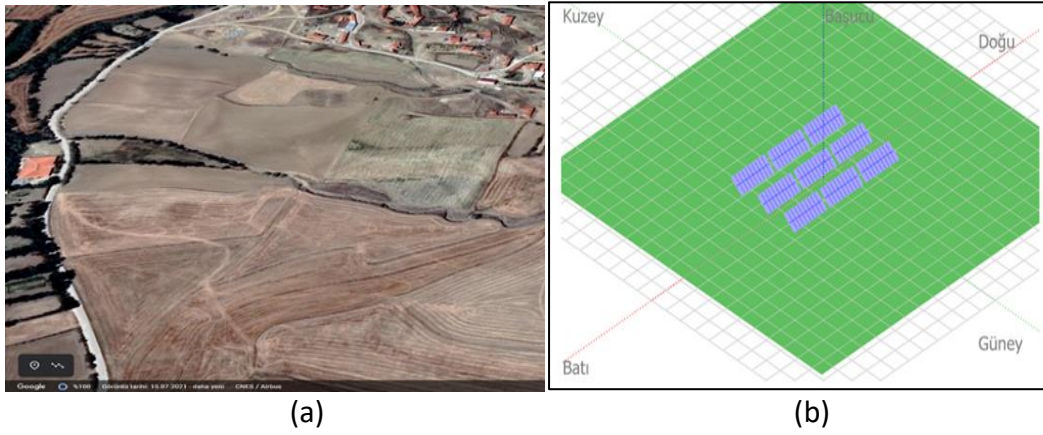
Şekil 5.2. Ankara yıllık güneş radyasyon dağılımı



Şekil 5.3. a) Ankara global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) b) Ankara güneşlenme süreleri (saat)

5.2. GES Kurulum Yeri Özellikleri

Güneş panellerinin kurulumu için seçilen koordinatlar 39.55°K , 32.51°D ve rakım 859 m'dir. Şekil 5.4.a'da Google Earth görünümü gösterilmiştir [61]. Seçilen bölgenin çevresinde yapı ve bitki örtüsü olmadığı için gölgeleme riski bulunmamaktadır. PVsyst programında tasarlanan güneş enerji santralının görünümü Şekil 5.4.b'de gösterilmektedir.



Şekil 5.4. a) Güneş panellerinin kurulumu için seçilen alanın Google Earth görünümü
b) Tasarlanan güneş panellerin PVsyst programında görünümü

PVsyst hava durumu verileri Meteonorm veri tabanından elde edilmiştir. Meteonorm, dünya genelindeki meteoroloji istasyonlarından toplanan uzun yıllar boyunca ölçülen hava durumu verilerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan bir veri tabanıdır. Bu veriler, güneş ışınımı, hava sıcaklığı, rüzgar hızı, nem oranı gibi hava koşullarını içerir [62]. PVsyst gibi yazılımların doğru bir şekilde güneş enerjisi sistemlerinin performansını modellenmesine yardımcı olur. Seçilen koordinatlar için bu değerler Çizelge 5.1'de gösterilmiştir. Güneş panellerinin kurulumu için seçilen sahanın ortalama global yatay ışınlaması $1626,5 \text{ kWh/m}^2$ 'dir ve en yüksek değer Temmuz ayında, minimum değer ise Aralık ayında kaydedilmiştir. Aylık ortalama yatay dağınık ışınlama 641 kWh/m^2 dir ve en yüksek değer Haziran ayında, minimum değer ise Aralık ayında kaydedilmiştir. Aylık ortalama sıcaklık $11,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olurken, en yüksek değer Ağustos ayında, en düşük değer ise Şubat ayında kaydedilmiştir.

Çizelge 5.1. Kurulum için seçilen koordinatların aylık veriler

	Global Yatay Işınlama (kWh/m ²)	Yatay Difüz Işınlama (kWh/m ²)	Sıcaklık (°C)	Rüzgar Hızı (m/s)	Bağıl Nem (%)
Ocak	55.8	35.8	-3.1	1.44	63.9
Şubat	73.9	39.7	-3.7	1.69	79.3
Mart	128.3	54.3	6.8	2.31	63.7
Nisan	162	70.7	10.1	2.10	60.5
Mayıs	190.1	74.2	15.6	1.98	57.2
Haziran	186	82.1	19.7	2	59.4
Temmuz	217.1	72	21.9	2.46	48.2
Ağustos	212.4	59.6	24.5	2.15	42.8
Eylül	163.8	51.3	22.3	1.72	43.1
Ekim	115.5	42.5	15.7	1.59	53.2
Kasım	69.8	31.8	5.6	2.17	70.4
Aralık	51.8	27	0.7	1.42	76.5
Toplam	1626.5	641	11.3	1.9	59.9

5.3. FV Sistem Tasarımı

PVsyst programında seçilen sahanın koordinatları girilmiştir. Güneş ışınlama verileri Meteonorm veri tabanından elde edilmiştir. Tek yüzeyli ve çift yüzeyli FV sistemleri için FV modülü yönlendirmesi, sabit eğik düzlem olarak seçilmiştir. Tek yüzeyli ve çift yüzeyli panellerin performanslarını karşılaştırmak için aynı koordinatlar kullanılmış ve düzlem eğimi 37° olarak seçilmiş, azimut açısı ise 0° olarak belirlenmiş. Bu, panellerin optimum açıda ve pozisyonda olmasını sağlayarak, enerji verimliliğini artırmayı hedefler.

5.3.1. FV Modül seçimi

Karşılaştırmalı bir çalışma yapabilmek için benzer özelliklerde tek yüzeyli ve çift yüzeyli modüller seçilmiştir. Marka olarak Trina Solar tercih edilmiştir. Çizelge 5.2'de seçilen modüllerin PVsyst programından alınan özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Çift yüzeyli ve tek yüzeyli panellerin özelliklerinin karşılaştırılması

	Tek yüzeyli modül	Çift yüzeyli modül
Üretici	Trina Solar	Trina Solar
Model	TSM-DE18M-(II)-500	TSM-DEG18MC-20-(II)-500 Bifacial
Nominal güç	500 Wp	500 Wp
Hücre	75x2	75x2
Uzunluk	2176 mm	2256 mm
Genişlik	1098 mm	1133 mm
Kalınlık	35 mm	30 mm
Ağırlık	26,3 kg	32,3 kg
Modül alanı	2.389 m ²	2.556 m ²
Kısa devre akımı (Isc)	12.28 A	13.92 A
Açık devre voltajı (Voc)	51.7 V	50.3 V
Maksimum güç noktası akımı (Impp)	11.69 A	13.04 A
Maksimum güç noktası voltajı (Vmpp)	42.8 V	41.8 V
Sıcaklık katsayısı	- 0.35 %/°C	- 0.34 %/°C
Diyot doyma akımı	0.023 nA	0.021 nA
Diyot kalite faktörü	0.99 /K	1.00 /K

5.3.2. İntertör seçimi

İntertör için güneş enerjisi sektöründe geniş bir ürün yelpazesine sahip olan Huawei Technologies marka tercih edilmiştir. İntertörün boyutu, panel sayısı ve panel tipi ile doğrudan ilişkilidir. Bu durumlar göz önüne alınarak 90 kW AC çıkış gücüne sahip ve çalışma gerilimi 600 ile 1450 V aralığında olan SUN2000-90KTL-H2 modeli tercih edilmiştir. Tek yüzeyli ve çift yüzeyli iki model için de aynı intertör kullanılmıştır.

5.3.3. Dizi boyutlandırma

Dizi boyutlandırmada bulunan modül sayısı ve zincir sayısı, PVsyst simülasyonunda tasarımınızı belirleyen önemli parametrelerdir. Bu parametreler, birbiriyle ilişkili ve tasarımın optimum performansını elde etmek için doğru şekilde seçilmelidir. Seri modül sayısı, modüllerin seri olarak bağlandığı dizi sayısını ifade eder. PVsyst'te, modüllerin çalışma gerilimi ve intertörün çalışma gerilimi arasındaki uyumluluğa dikkat ederek seri modül sayısı belirlenir. Seri modül sayısını artırmak, güç çıkışını artırabilir, ancak intertör çalışma gerilimi aşılmamalıdır. Zincir sayısı, paralel olarak bağlanan dizi sayısını ifade eder.

Zincir sayısı arttıkça, toplam güç çıkışı artar, ancak toplam akım da artar. Bu nedenle, invertörün giriş akımını sınırlarına dikkat etmek önemlidir. Ayrıca, özellikle gölgeleme gibi olumsuz koşullar altında, zincir sayısının azaltılması, modüllerin performansını artırabilir. Bu bilgiler ışığında seri modül sayısı 20, zincir sayısı 9 olarak belirlenmiştir.

5.3.4. Yerleşim ve zemin parametreleri

Dizi parametreleri, güneş panellerinin konumlandırılması ile ilgilidir ve panellerin birbirine olan mesafesi, yüksekliği, açısı gibi faktörleri içerir. Bu parametreler, panellerin arasında gölgeleme olmamasını, güneş ışınlarının eşit olarak dağılmasını ve panellerin güneş ışınlarından en fazla yararlanmasını sağlamak için optimize edilmelidir. Zemin parametreleri ise, güneş panellerinin altındaki zemine ilişkindir. Bu parametreler, zeminin rengi, yüzeyi, eğimi gibi faktörleri içerir. Zemin parametreleri, güneş ışınlarının yansımaları ve emilimi üzerinde etkili olabilir.

$$d_{row} = w_m \cdot \cos \beta_z + w_m \left(\frac{\sin \beta_m \cdot \cos(\gamma_s - \gamma_m)}{\tan \alpha} \right) \quad (1)$$

Eş. (1) kullanılarak diziler arasındaki boşluklar hesaplanmıştır. Tek yüzeyli panellerin aralıkları 8,95 m, dizi toplam eni 4,39; çift yüzeyli panellerin ise aralıkları 8,88 m, dizi toplam eni 4,36 m olarak belirlenmiştir. Her iki panelin yerden yüksekliği 1,5 olarak ayarlanmıştır. Çift yüzeyli panel için zemin albedosu 0,6 olarak belirlenmiştir. Bu değer beyaz boya veya çimento ile rahatlıkla elde edilebilir [27].

5.4. Karbon Emisyon Analizi

IPCC (Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli) 2006 Yönergeleri, karbon azaltımını hesaplamak için yaygın olarak kullanılan bir kaynaktır. Tier 1 hesaplama yöntemi, CO₂ emisyonlarını hesaplamak için kullanılan basit bir formüldür [63]. Eş. (2)'de gösterilen bu yöntemde, faaliyet verileri, kütle ve kalori değeri kullanılarak belirlenir. Kütle, bir sürecin veya ürünün ağırlığını ifade ederken, kalori değeri, yakıtın ne kadar enerji ürettiğini ifade eder.

$$\text{Faaliyet Verileri} = \text{Kütle (kg)} \times \text{Kalori Değeri (CV)} \quad (2)$$

Daha sonra, Eş. (3)'deki gibi emisyonlar/yıl hesaplaması, faaliyet verileri ile CO₂ emisyon faktörü (EF) çarpılarak yapılır. CO₂ emisyon faktörü, birim başına salınan CO₂ miktarını ifade eder ve yanma için varsayılan CO₂ emisyon faktörleri, bu faktörü hesaplamak için kullanılan bir yöntemdir.

$$\text{Emisyonlar/yıl} = \text{Faaliyet Verileri} \times \text{EF} \quad (3)$$

5.5. Ekonomik Analiz

FV sistemi yatırımı yaparken, yatırımcılar, sistemin sağlayacağı gelirlerin, maliyetlerin ve karların tahmin edildiği bir ekonomik değerlendirme yaparak, makul bir kar oranı elde etmek isterler. Bu değerlendirme, FV sisteminin yatırım maliyeti, yıllık enerji üretimi, enerji satış fiyatı, işletme ve bakım maliyetleri ve vergi avantajları gibi faktörlerin dikkate alınmasıyla yapılır. Bu hesaplamalar, yatırımın geri ödeme süresi, yatırım getirisi, net bugünkü değer ve iç verim oranı gibi finansal göstergelerin hesaplanmasına olanak tanır. Böylece yatırımcı, sistemin karlılığına ve yatırımın geri dönüş süresine ilişkin bir karar verebilir. FV güç santralının toplam maliyetinin hesaplanması aşağıdaki gibi yapılır [64].

$$\begin{aligned} C_c = & (N_i \times N_s \times N_p \times (P_{M,STC}/1000) \times C_{PV}) \\ & + (N_i \times (P_{rated}/1000) \times C_{inv}) \\ & + (C_{transformer} \times P_{plant, nom} \times 1000) \\ & + (BOS \times P_{plant, nom} \times 1000) \\ & + (C_i \times P_{plant, nom} \times 1000) + (C_{land} \times n_{land}) \end{aligned} \quad (4)$$

Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE), ömür boyunca tüm maliyetlerin toplamının, bir enerji santralının ömrü boyunca ürettiği toplam elektrik enerjisiyle bölünmesiyle hesaplanır. Böylece, birim başına enerji maliyetini belirlemeye yardımcı olan standart bir ölçüt oluşturulur. LCOE, farklı enerji üretim teknolojilerinin maliyetlerini karşılaştırmak için kullanılan önemli bir araçtır. LCOE, ömür boyunca maliyetlerin toplamının ömür boyunca üretilen elektrik enerjisinin toplamına oranıdır ve Eş. (5) ile hesaplanır [12,26,60].

$$\text{LCOE} = (C_c + C_m + C_{rep}) / (E_{PLANT} \times 1000) \quad (5)$$

Brüt gelirler (R_{gross}), projenin ömrü boyunca FV santrali tarafından üretilen tüm gelirlerin miktarını ifade eder. Hesaplama, FV santralinin işlevsel ömrü boyunca üretilen elektrik enerjisi miktarının elektrik piyasası fiyatı ile çarpımı ile yapılır. Bu oran, seçilen yerin elektrik piyasasına bağlı olarak ve mevcut yardım planları dikkate alınarak değişebilir. Brüt gelirler için kullanılan formül Eş. (6)'da verilmiştir [12,26]:

$$R_{gross} = P_{electricity} \times E_{PLANT, TOT} \times n \quad (6)$$

Performans oranı (PR), FV güneş enerjisi santralının gerçek performansı ile nominal kapasitesi arasındaki ilişkiyi gösteren bir parametredir. Kullanılan formül Eş. (7)'de verilmiştir [10-11]:

$$PR (\%) = (E_{PLANT, TOT} / P_{plant, nom} \times G_t \times 10^{-6}) \times 100 \quad (7)$$

Geri ödeme süresi, bir projenin sermayeyi geri kazanması için geçen süreyi hesaplamak için kullanılan bir ölçüttür. Bu süre, projenin başlangıç yatırımının, yıllık gelirlere oranıdır ve Eş. (8) ile hesaplanır.

$$\text{Geri ödeme süresi} = \text{Toplam yatırım} / \text{Yıllık gelir} \quad (8)$$

Net bugünkü değer (NBD) yöntemi, bir projenin bugünkü değerini hesaplamak için kullanılan bir finansal analiz yöntemidir. Bu yöntem, bir projenin gelecekteki nakit akışlarının bugünkü değerini hesaplayarak, yatırımın toplam getirisini tahmin etmeye çalışır. Eğer NBD, yatırımın bugünkü değerinin pozitif olduğunu gösterirse, proje karlı kabul edilir [18]. Geri ödeme süresi, yatırımın geri kazanılması için geçen süreyi gösterirken, NBD yatırımın toplam getirisini gösterir. Bu nedenle, NBD, bir yatırımın gerçek getirisini belirlemek için kullanışlı bir ölçüt olarak kabul edilir ve Eş. (9) ile hesaplanır. Yaşam döngüsü maliyetlerinin bugünkü değeri ise, bir yatırımın tüm yaşam döngüsü boyunca tahmini tüm maliyetlerini hesaplamak için kullanılır. Bu maliyetler, yatırımın inşası, işletilmesi ve bakımı süresince ortaya çıkan tüm maliyetleri içerir [10,11,18].

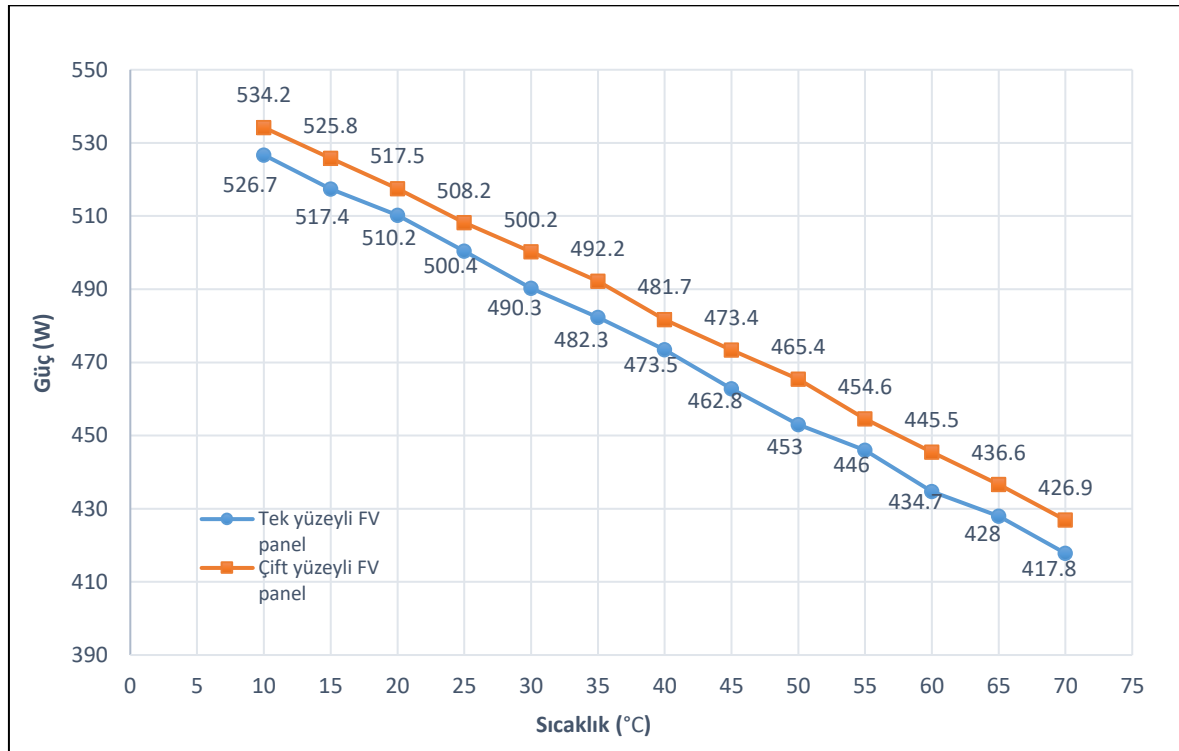
$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{Revenue_t - Costs_t}{(1+r)^t} \quad (9)$$

6. BULGULAR

Ankara iline kurulması için tasarlanan tek yüzeyli ve çift yüzeyli panellerin PVsyst programından elde edilen sonuçları bu bölümde verilmiştir.

6.1. Enerji Analizi

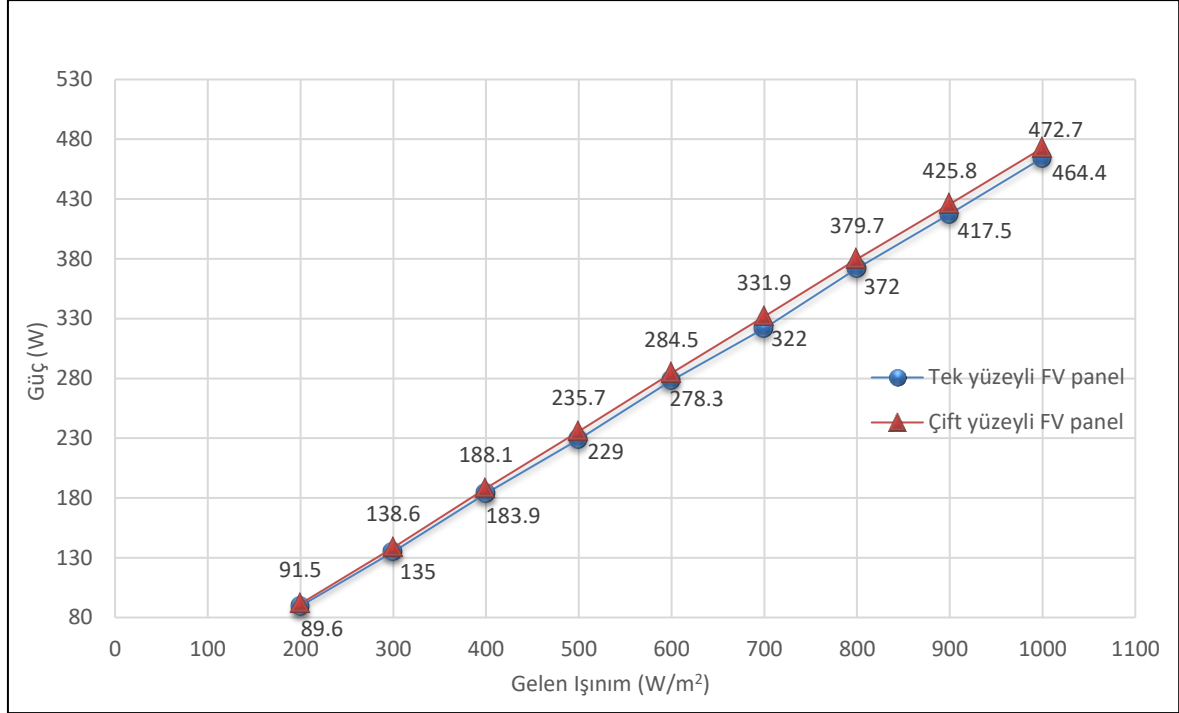
Tek yüzeyli ve çift yüzeyli FV panellerinin enerji analizi, PVsyst yazılımı kullanılarak yapılmıştır ve aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.



Şekil 6.1. Tek yüzeyli ve çift yüzeyli FV panelin sıcaklığa bağlı olarak güç değişimi

Şekil 6.1’de tek yüzeyli ve çift yüzeyli modüller için çeşitli hücre sıcaklıklarına dayalı güneş modüllerinin güç çıkışları gösterilmiştir. Tek yüzeyli panelde hücre sıcaklığı 10 °C’den 70 °C’ye yükseldiğinde, güç çıkışı 526,7 W’tan 417,8 W’a düşmüştür. Çift yüzeyli panelde ise hücre sıcaklığı 10 °C’den 70 °C’ye yükseldiğinde, güç çıkışı 534,2 W’tan 426,9 W’a düşmüştür. Çift yüzeyli FV panelin maksimum güç çıkışı tek yüzeyli panele göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, her iki panelin de hücre sıcaklığı arttıkça maksimum güç çıkışı azalır. Hücre sıcaklığı 25°C’de iken, her iki panelin de maksimum güç çıkışı

benzerdir. Ancak, hücre sıcaklığı arttıkça çift yüzeyli panelin maksimum güç çıkışı tek yüzeyli panele göre daha yüksektir. Sonuç olarak, hücre sıcaklığı arttıkça, her iki panelin de maksimum güç çıkışı azalırken, çift yüzeyli panelin maksimum güç çıkışı tek yüzeyli panele göre daha yüksektir. Ayrıca, çift yüzeyli panelin daha yüksek bir açık devre gerilimine ve daha yüksek bir kısa devre akımına sahip olduğu görülür [12,27].



Şekil 6.2. Tek yüzeyli ve çift yüzeyli FV panelin ışınım şiddetine bağlı olarak güç değişimi

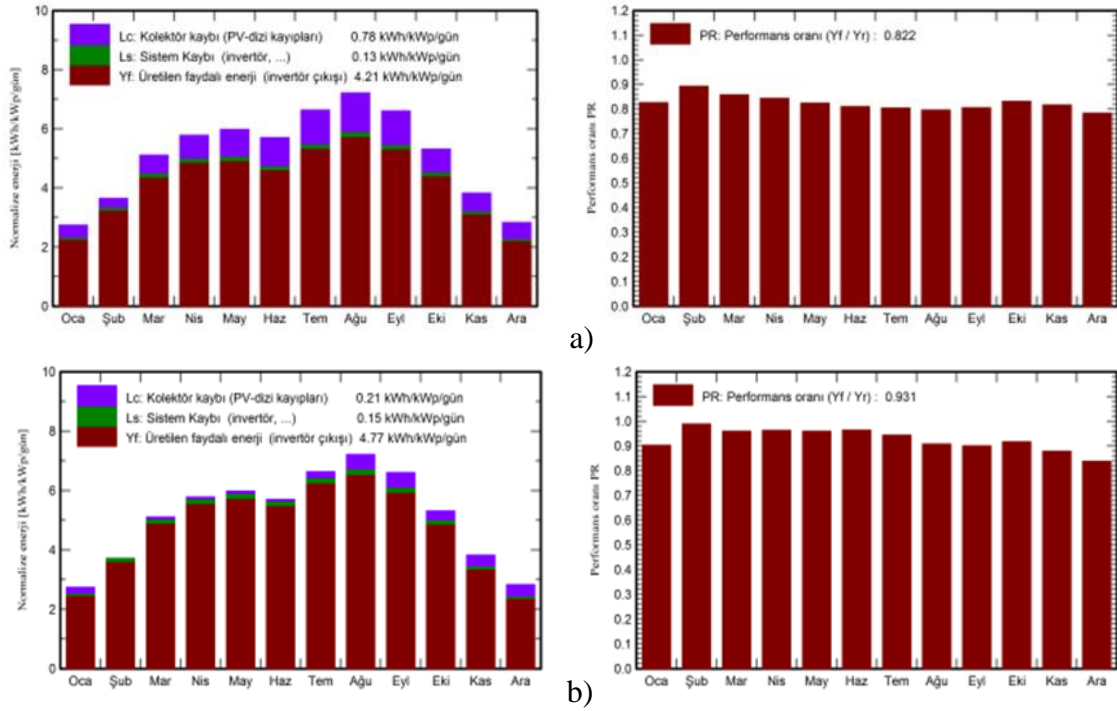
Şekil 6.2'de tek yüzeyli ve çift yüzeyli modüller için ışınım şiddetine dayalı güneş modüllerinin güç çıkışları gösterilmiştir. Tek yüzeyli panelde gelen ışınım 200 W/m^2 'den 1000 W/m^2 'ye çıktığında, güç çıkışı $89,6 \text{ W}$ 'tan $464,4 \text{ W}$ 'a çıkmıştır. Çift yüzeyli panelde gelen ışınım 200 W/m^2 'den 1000 W/m^2 'ye çıkarken, güç çıkışı $91,5 \text{ W}$ 'tan $472,7 \text{ W}$ 'a çıkmıştır. Çift yüzeyli FV panelin maksimum güç çıkışı tek yüzeyli panele göre yine daha yüksektir. Ayrıca, her iki panelin de ışınım şiddeti arttıkça maksimum güç çıkışı artar. Işınım şiddeti 1000 W/m^2 'de iken, her iki panelin de maksimum güç çıkışı değerleri yakındır. Ancak, ışınım şiddeti azaldıkça çift yüzeyli panelin maksimum güç çıkışı tek yüzeyli panele göre daha yüksektir. Sonuç olarak, ışınım şiddeti arttıkça, her iki panelin de maksimum güç çıkışı artar ve çift yüzeyli panelin maksimum güç çıkışı tek yüzeyli panele göre daha yüksektir. Ayrıca, çift yüzeyli panelin daha yüksek bir açık devre gerilimine ve daha yüksek bir kısa devre akımına sahip olduğu görülür [12,27].

Çizelge 6.1. Tek yüzeyli FV ve çift yüzeyli FV ile oluşturulan özdeş santrallerden elde edilen simülasyon çıktıları

Ay	Glob _{Inc} (kWh/m ²)	Glob _{Eff} (kWh/m ²)	E _{Array} (MWh)	E _{Grid} (MWh)	PR	Glob _{Inc} (kWh/m ²)	Glob _{Eff} (kWh/m ²)	E _{Array} (MWh)	E _{Grid} (MWh)	PR
Ocak	85	77	6,52	6,32	0,826	85	77,6	7,12	6,90	0,902
Şubat	102,2	95,4	8,48	8,21	0,893	102,2	96,2	9,38	9,09	0,989
Mart	158,3	148,2	12,59	12,21	0,857	158,3	149,7	14,10	13,67	0,959
Nisan	173,3	161,4	13,55	13,16	0,843	173,3	163,6	15,49	15,03	0,963
Mayıs	185,5	172,5	14,17	13,75	0,824	185,5	175,5	16,51	16,02	0,960
Haziran	171	158,1	12,84	12,48	0,810	171	161,3	15,27	14,84	0,964
Temmuz	205,6	191,2	15,33	14,90	0,805	205,6	194,8	17,99	17,47	0,944
Ağustos	223,7	209,3	16,49	16,02	0,796	223,7	212,3	18,82	18,27	0,908
Eylül	198,1	185,9	14,79	14,37	0,806	198,1	187,8	16,54	16,05	0,900
Ekim	164,8	155,2	12,71	12,34	0,832	164,8	156,3	14,02	13,60	0,917
Kasım	114,8	105,9	8,7	8,43	0,816	114,8	106,5	9,36	9,07	0,878
Aralık	87,8	78,9	6,4	6,19	0,783	87,8	79,3	6,84	6,62	0,838
Toplam	1870	1739	142,58	138,36	0,822	1870	1760,8	161,43	156,62	0,931

Çizelge 6.1'de, tek ve çift yüzeyli güneş panellerinin yıllık ortalama DC enerji üretimi ve şebekeye enjekte edilen AC enerjisi miktarları verilmiştir. Bu enerji üretimi, panel yüzeyine düşen güneş ışınımına bağlıdır ve panel yüzeyine düşen etkin küresel ışınım miktarı hesaba katılarak hesaplanmıştır.

Tek yüzeyli panelin kolektöre yansıyan küresel ışınımı (Glob_{Inc}), 1870 kWh/m² ve etkin küresel ışınımı (Glob_{Eff}) 1739 kWh/m²'dir. Bu ışınım miktarına bağlı olarak, tek yüzeyli panelin yıllık ortalama DC enerji üretimi (E_{Array}) 142,58 MWh ve şebekeye enjekte edilen AC enerjisi miktarı (E_{Grid}) 138,36 MWh'dir. Çift yüzeyli panelin kolektöre yansıyan küresel ışınımı, 1870 kWh/m² ve etkin küresel ışınımı 1760,8 kWh/m²'dir. Bu ışınım miktarına bağlı olarak, çift yüzeyli panelin yıllık ortalama DC enerji üretimi 161,43 MWh ve şebekeye enjekte edilen AC enerjisi miktarı 156,62 MWh'dir. Ayrıca, tek yüzeyli panelin yıllık ortalama performans oranı (PR) 0,822 ve çift yüzeyli panelin PR'si 0,931 olarak hesaplanmıştır. Çift yüzeyli panelin tek yüzeyli panele göre daha yüksek bir performans gösterdiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, güneş panellerinin performansını etkileyen faktörlerin anlaşılması açısından önemlidir.



Şekil 6.3. a) Tek yüzeyli FV panelin aylık enerji üretimi ve performans oranı b) Çift yüzeyli FV panelin aylık enerji üretimi ve performans oranı

PVsyst programı tarafından elde edilen veriler arasında aylık enerji üretimleri ve sistemin performans oranları gibi kayıpların da belirtildiği önemli veriler bulunmaktadır. Şekil 6.3. a ve Şekil 6.3.b, bu verilerin görsel olarak sunulduğu grafiklerdir. Grafiklerde, sistem kayıpları yeşil renk ile, kolektör kayıpları mor renk ile ve üretilen faydalı enerji bordo renk ile gösterilmiştir. Tek yüzeyli panellerde kolektör kaybı, sistem kaybı ve üretilen faydalı enerji sırasıyla 0,78 kWh/kWp/gün, 0,13 kWh/kWp/gün ve 4,21 kWh/kWp/gün olarak ölçülmüştür. Çift yüzeyli panellerde ise, kolektör kaybı, sistem kaybı ve üretilen faydalı enerji sırasıyla 0,21 kWh/kWp/gün, 0,15 kWh/kWp/gün ve 4,77 kWh/kWp/gün olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, çift yüzeyli panellerin tek yüzeyli panellere kıyasla daha yüksek performans ve daha az kayıp sağladığını göstermektedir. Her iki panel türünde de, modüllerin verimli çalıştığı aylar benzer olduğu için aylık artışlar ve azalmalar da benzer şekildedir. Performans oranları, tek yüzeyli panellerde 0,822 ve çift yüzeyli panellerde 0,931 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, çift yüzeyli panellerin daha yüksek performans oranlarına sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu bilgi, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve performansının optimize edilmesi için kullanılabilir.

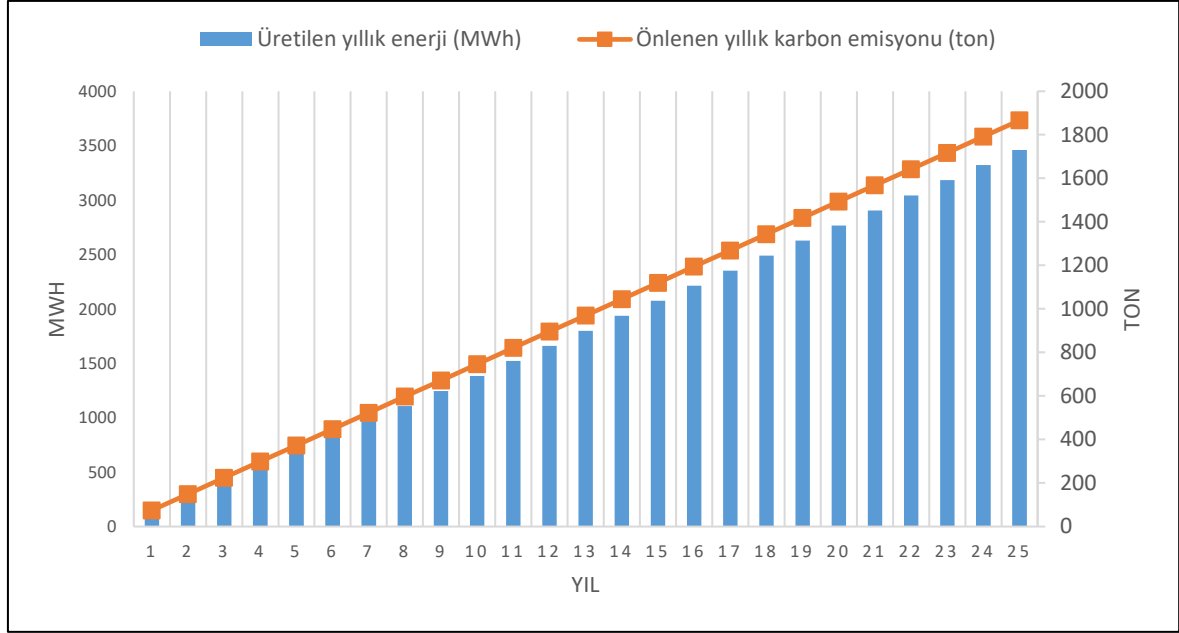
Çizelge 6.2. Tek yüzeyli ve çift yüzeyli FV panellerin enerji kaybı oluşturan bileşenleri

	Tek Yüzeyli	Çift Yüzeyli
Yakın Gölgelemeler: Işınım Kaybı	-2,24%	-2,22%
Global'e göre IAM faktörü	-1,94%	-1,94%
Kirlenme kaybı faktörü	-3,00%	-3,00%
Zeminden ön yüze yansıma	-	1,24%
Zemine yansıma kaybı	-	-40,00%
Arka yüzde görüntüleme faktörü	-	-68,52%
Arka yüzde gökyüzü difüzyonu	-	7,57%
Arka yüzde etkin direkt	-	0,30%
Arka yüzde gölgeleme kaybı	-	-5,00%
Işınım seviyesi nedeniyle FV kaybı	-0,65%	-0,51%
Sıcaklık nedeniyle FV kaybı	-3,21%	-3,09%
Gölgeleme: Elektrik kayıp mod zincir. göre	-1,05%	-0,96%
Modül kalite kaybı	0,75%	0,75%
Işık kaynaklı bozulma	-2,00%	-2,00%
Uyumsuzluk kayıpları, modül ve diziler	-2,10%	-2,10%
Arka ışınım için uyumsuzluk	-	-1,50%
Omik kablolama kaybı	-1,02%	-1,13%
Çalışan invertör kaybı (verim)	-1,16%	-1,12%
İnvertör kaybı, aşırı güç	0,00%	-0,04%
Gece Tüketimi	-0,01%	-0,01%
AC omik kayıpları	-0,54%	-0,60%
Orta gerilim trafo kaybı	-1,15%	-1,15%
OG hattı omik kaybı	-0,11%	-0,12%

Kayıp diyagramı, güneş panellerinin güç çıkışını etkileyen faktörlerin analiz edildiği bir araçtır. Bu faktörler arasında güneş ışınlarının yoğunluğu, panel sıcaklığı, panel yüzey alanı ve özellikleri gibi çeşitli parametreler yer alır. Çizelge 6.2'de tek yüzeyli ve çift yüzeyli panellerin enerji kaybı oluşturan bileşenleri verilmiştir. Çift yüzeyli FV panellerde bazı bileşenler tek yüzeyli panellere göre farklılık gösterebilir. Örneğin, zeminden ön yüze yansıma, zeminin panelin ön yüzeyine yansıttığı ışık nedeniyle enerji kaybına yol açar. Çift yüzeyli FV panellerin ön yüzeyi, güneş ışığını yakalayıp elektrik enerjisine dönüştürür. Ancak, zeminin panelin altında veya yakınında olması durumunda, zemin yüzeyi güneş ışığını yansıtabilir ve bu yansıma panelin ön yüzeyinde enerji kaybına neden olabilir. Tek yüzeyli panellerde bu durum söz konusu olmadığından bu kayıp bileşeni sadece çift yüzeyli panellerde görülür.

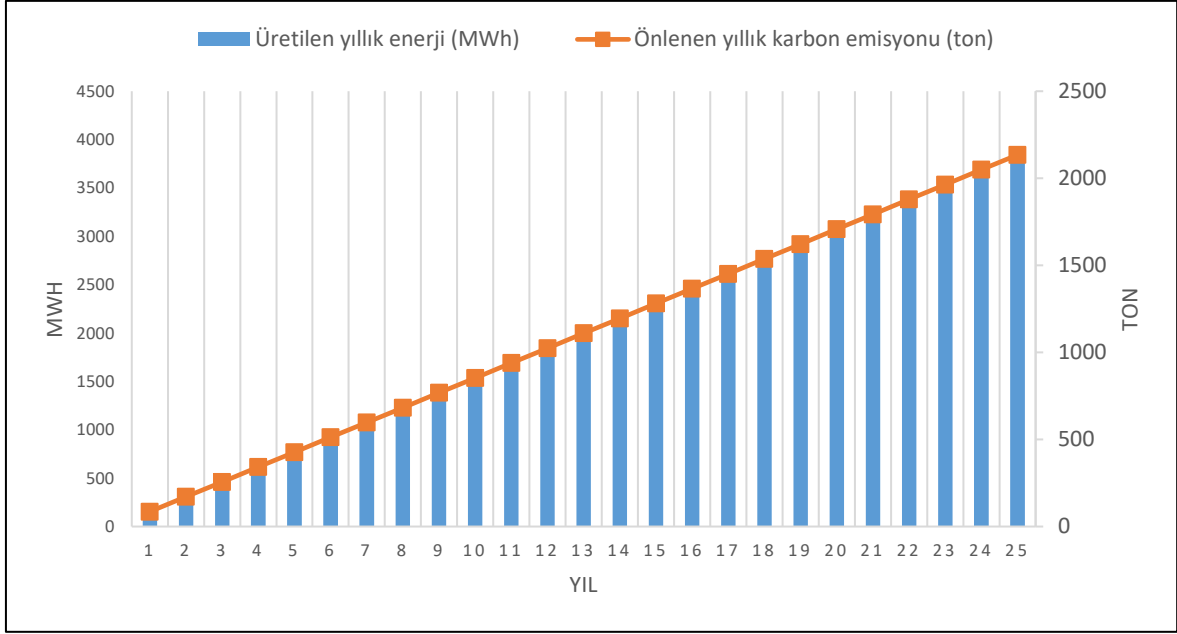
6.2. Çevresel ve Ekonomik Değerlendirme

Tek yüzeyli ve çift yüzeyli FV panellerinin çevresel ve ekonomik analizi, PVsyst yazılımı kullanılarak yapılmıştır ve aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.



Şekil 6.4. Tek yüzeyli FV panelin yıllık enerji üretimi ve önlenecek yıllık karbon emisyonu miktarları

PVsyst programı tarafından yapılan hesaplamalar sonucunda, tek yüzeyli bir FV panelin yıllık enerji üretimi 138,36 MWh olarak belirlenmiştir. Bu yıllık enerji üretimi kullanılarak kümülatif toplam hesaplanmış ve sonuç olarak 25 yıllık enerji üretimi elde edilmiştir. Ayrıca, aynı hesaplamalar sonucunda 25 yıllık proje süresince bu FV panelin önlediği karbon emisyonu miktarınının 1866,462 ton olduğu tespit edilmiştir. Bu 25 yıllık karbon emisyonu miktarı kullanılarak yıllık karbon emisyonu miktarı hesaplanmıştır. Verilen bilgiler Şekil 6.5'te gösterilmiştir. W başına önlenecek karbon emisyonu miktarı 0,54 ton olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.5. Çift yüzeyli FV panelin yıllık enerji üretimi ve önlenecek yıllık karbon emisyonu miktarları

PVsyst programı tarafından yapılan hesaplamalar sonucunda, tek yüzeyli bir FV panelin yıllık enerji üretimi 156,6 MWh olarak belirlenmiştir. Bu yıllık enerji üretimi kullanılarak kümülatif toplam hesaplanmış ve sonuç olarak 25 yıllık enerji üretimi elde edilmiştir. Ayrıca, aynı hesaplamalar sonucunda 25 yıllık proje süresince bu FV panelin önlediği karbon emisyonu miktarının 2134,25 ton olduğu tespit edilmiştir. Bu 25 yıllık karbon emisyonu miktarı kullanılarak yıllık karbon emisyonu miktarı hesaplanmıştır. Verilen bilgiler Şekil 6.6'da gösterilmiştir. W başına önlenecek karbon emisyonu miktarı 0,55 ton olarak hesaplanmıştır.

FV panellerinin kurulumu için 570.400 TL öz kaynak bulunmakta ve kalan tutar eşit taksitli 5 yıl ödemeli kredi kullanılarak tamamlanmaktadır. Kurulum maliyetleri, paneller, invertör, arazi bedeli, işçilik ve sigorta bedelleri gibi faktörler dikkate alınarak hesaplanmıştır ve tek yüzeyli paneller için toplam kurulum maliyeti 2.411.223 TL çift yüzeyli paneller için ise 3.007.462 TL olarak bulunmuştur. Çift yüzeyli bir sistemin kurulum maliyeti, tek yüzeyli bir sistemin kurulum maliyetine göre yaklaşık % 20 daha yüksektir. Ayrıca, geri ödeme süresi hesaplanırken kurulum maliyetleri ve yıllık işletme maliyetleri dikkate alınmıştır. İki sistem için de çalışma ömrü 25 yıl olarak belirlenmiş ve geri ödeme süreleri, tek yüzeyli sistem için 5,8 yıl, çift yüzeyli sistem için ise 5,4 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, çift yüzeyli sistemin kurulum maliyetinin daha yüksek olmasına rağmen, daha kısa bir geri

ödeme süresine sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, yatırımcılar uzun vadede daha karlı bir seçenek için çift yüzeyli panelleri tercih edebilirler.

6.3. Literatür ile Karşılaştırma

Bu bölümde, çift yüzeyli FV panellerin enerji kazancı önceki literatür çalışmaları ile karşılaştırılmıştır. Daha önceki çalışmalarda, deneysel ve sayısal çalışmalara dayalı olarak farklı FV panel tasarımları kullanılarak enerji kazanım oranları araştırılmıştır. Literatür çalışmalarında, farklı FV tasarımları ve albedo oranlarına göre enerji kazanımları Çizelge 6.3'de sunulmuştur. Çizelge 6.3'de görüldüğü gibi, bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatür çalışmaları ile uyumludur.

Çizelge 6.3. Bu çalışma ile elde edilen enerji kazancı sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması

Referans	Araştırma	Konu	Albedo	Eğim (°)/Yön	Enerji kazancı (%)
Bu çalışma	Simülasyon	Ankara, Türkiye	0,6	37/güney	13
Shoukry vd. [65]	Sayısal	Konstanz, Almanya	0,5	37/güney	15,98
Janssen vd. [66]	Simülasyon	Amsterdam, Hollanda	0,5	90/doğu	10,4
Pelaez vd. [67]	Deneysel	Richmond, VA, ABD	0,62	5-40/güney	10-20
Seo vd. [68]	Deneysel	Güney Kore	0,82	30/güney	14,47
Shoukry vd. [69]	Sayısal	Kasese, Uganda	0,5	-/-	17,93
Yusufoglu vd. [70]	Simülasyon	Oslo, Norveç	0,8	46/güney	16,4

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, özdeş model tek yüzeyli ve çift yüzeyli güneş panelleri kullanılarak iki ayrı güneş enerjisi santralının PVsyst simülasyon programı ile enerji analizi yapılmış ve sonrasında çevresel ve ekonomik değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, panel tiplerinin hücre sıcaklığı ve ışınım şiddetine göre maksimum güç çıkışı, I-V eğrileri, açık devre gerilimi ve kısa devre akımı gibi özelliklerini karşılaştırmaktadır.

- Tek yüzeyli panelde hücre sıcaklığı 10 °C'den 70 °C'ye yükseldiğinde, güç çıkışı 526,7 W'tan 417,8 W'a düşmüştür. Çift yüzeyli panelde ise hücre sıcaklığı 10 °C'den 70 °C'ye yükseldiğinde, güç çıkışı 534,2 W'tan 426,9 W'a düşmüştür. Çift yüzeyli panellerin maksimum güç çıkışının tek yüzeyli panellere göre daha yüksek olduğu bulunmuştur.
- Çift yüzeyli panellerin yıllık ortalama enerji üretiminin, tek yüzeyli panellere göre %13 daha yüksek olarak hesaplanmıştır. Bir güneş enerjisi projesi için, çift yüzeyli panellerin tercih edilmesinin daha verimli olabileceği düşünülebilir.
- Tek yüzeyli ve çift yüzeyli FV sistemlerinin kurulmasıyla 25 yıllık proje süresince önlenecek karbon emisyonu miktarları sırasıyla 1866,462 ton ve 2134,123 ton olarak belirlenmiştir. Bu sayede, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının çevre dostu ve sürdürülebilir bir enerji üretimi için önemli olduğunu vurgulamaktadır.
- İki sistem için de çalışma ömrü 25 yıl olarak belirlenmiş ve geri ödeme süreleri, tek yüzeyli sistem için 5,8 yıl, çift yüzeyli sistem için ise 5,4 yıl olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçlar, çift yüzeyli panel kullanmanın Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (NSEB) kapsamında ve Paris Anlaşması hedefleri doğrultusunda önemli yararlar sağlayabileceğini göstermektedir. Çift yüzeyli paneller, tek yüzeyli panellere göre daha fazla güç üretebilir ve bu da NSEB'lerin enerji ihtiyacını karşılama kapasitesini artırır. Daha yüksek enerji üretimi, binanın elektrik ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayabilir ve böylece binanın dış kaynaklardan daha az enerji tüketmesi sağlanabilir.

Paris Anlaşması ise küresel iklim değişikliğiyle mücadele için atılan bir adımdır. Anlaşmanın hedefleri arasında sera gazı emisyonlarının azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması yer almaktadır. Çift yüzeyli panellerin kullanımının, proje süresince önlenecek karbon emisyonu miktarını artırarak çevresel etkiyi azaltabileceği ve

sürdürülebilir enerji üretimine katkıda bulunabileceği ortaya çıkmıştır. Bu da Paris Anlaşması'nın hedeflerine uyumlu bir şekilde hareket etmeyi destekler.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Paris Anlaşması. URL: <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2023.
2. Falkner, R. (2016). The Paris Agreement and the new logic of international climate politics. *International Affairs*, 92(5), 1107–1125,
3. Kougias, I. (2021). The role of photovoltaics for the European Green Deal and the recovery plan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144(2021), 108-121.
4. Küçük, G., Yüce Dural B. (2022). Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Yeşil Ekonomiye Geçiş: Enerji Senaryoları Üzerinden Bir Değerlendirme. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 22(1), 137-156.
5. İnternet: Binalarda Yenilenebilir Enerji Zorunluluğu. URL: <https://www.csb.gov.tr/b37361#:~:text=>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2023
6. İnternet: Renewable Capacity Statistics 2023. URL: <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2023.
7. Aksoy, H., Çalık, M. K. (2022). Performance Investigation Of Bifacial Photovoltaic Panels At Different Ground Conditions. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 10(3), 704–718.
8. İnternet: Güneş Haritası. URL: <https://globalsolaratlas.info/>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2023.
9. İnternet: Türkiye Ulusal Enerji Planı. URL: https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf, Son Erişim Tarihi: 01.05.2023.
10. İnternet: Güneş Enerjisi Potansiyeli. URL: <https://gepa.enerji.gov.tr>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2023.
11. İnternet: Kurulu Güç Raporları. URL: <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2023.
12. Varış, Ç. (2017). *Çift eksenli güneş takip sisteminin pilot uygulaması, üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 13-40.
13. Baqir, M., Channi, H. K. (2022). Analysis and design of solar PV system using Pvsyst software. *Mater Today Proc*, 48(5), 1332–1338.

14. Khatib, T., Mohamed, A., Sopian, K. (2012). A software tool for optimal sizing of PV systems in Malaysia. *Modelling and Simulation in Engineering*, 11.
15. Muthu, V., Ramadas, G. (2023). Performance studies of Bifacial solar photovoltaic module installed at different orientations: Energy, Exergy, Enviroeconomic, and Exergo-Enviroeconomic analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(22), 62704–62715
16. Abdalla, S. N. M., Özcan, H. (2021). Design and simulation of a 1-GWp solar photovoltaic power station in Sudan. *Clean Energy*, 5(1), 57–78.
17. İnternet: Yenilenebilir Enerji Kaynakları. URL: <https://enerji.gov.tr/eigm> Son Erişim Tarihi: 01.05.2023.
18. Demiryürek, H.M. (2018). 200 kwp Kurulu Güçteki Lebit Enerji Güneş Santralinin PVsyst İle Tasarımı Ve Üretim Değerleri İle Simulasyon Değerlerinin Karşılaştırılması. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 9(3), 1351-1363.
19. Aksangör, N. N. (2019). *Ankara Şartlarında Bir FV Sistemin PVsyst Programı Yardımı İle Performans Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 33-63.
20. Gündüz, M.S. (2019). *Bir Fotovoltaik Güneş Enerji Santralinin Tekno-Ekonomik Analizi; Kütahya-Simav Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 24-55.
21. Kilit, D. (2019). *İzmir Büyükşehir Belediyesi Örneğinde Fotovoltaik Güneş Enerjisi Potansiyelinin Teknik Ve Ekonomik Açından İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 22-161.
22. Taşkın, H. (2019). *Kamu Binalarında Güneş Enerji Sistemi Dizaynı Ve Maliyet Hesabı*. Yüksek Lisans Tezi. Sinop Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ankara, 20-41.
23. Özcan, O., Ersöz, F. (2019). *Türkiye'nin üç farklı coğrafi bölgesinde güneş enerjisi performansının proje ve maliyet bazlı değerlendirilmesi: Yatırım analizi uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 19-45.
24. Gu, W., Ma, T., Ahmed, S. (2020). A comprehensive review and outlook of bifacial photovoltaic (bPV) technology. *Energy Conversion and Management*, 223, 113283
25. Kılıcı, O. (2020). Değişken Özellikli Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Mevcut Verilerle PVsyst Programında Üretim ve Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 18-44.
26. Akcan, E., Kuncan, M., Minaz M. R. (2020). 2018 PVsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı FV Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu. *Avrupa Araştırma ve Bilim Dergisi*, Sayı 18, 248-261.

27. Gu, W., Li, S., Liu, X., Chen, Z. (2021). Experimental investigation of the bifacial photovoltaic module under real conditions. *Renewable Energy*, 173, 1111-1122.
28. Çınaroğlu, M.S. (2021). *Kilis 7 Aralık Üniversitesinde Kurulacak Bir Ges Projesinin PVsyst Aracılığı İle Tasarım Ve Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, 7 Aralık Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kilis, 25-45.
29. Raina, G., Sinha, S. (2022). A holistic review approach of design considerations, modelling, challenges and future applications for bifacial photovoltaics. *Energy Conversion and Management*, 271, 116290.
30. Etçi, A. (2022). *PVsyst Programı İle Modellenen Konya ve Van İllerinde Ges Santrallerinin Üretim Verilerinin Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir, 30-54.
31. Ghenai, C., Ahmad F.F., Rejep, O. (2022). Artificial neural networks for power output forecasting from bifacial solar PV system with enhanced building roof surface Albedo, *Journal of Building Engineering*, 56, 104799.
32. Erken, C., (2022). *Çift Taraflı Fotovoltaik Güç Santrallerinin Edirne İli İklim Şartları İçin Simülasyonu Ve Ekonomik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 73-104.
33. Türkdoğru, E. (2022). *Kilis 7 Aralık Üniversitesinde Kurulacak Bir Ges Projesinin PVsyst Aracılığı İle Tasarım Ve Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Yaşar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 18-42.
34. Çalık, M.K. (2022). *Çift Yüzlü Fotovoltaik Panellerin Farklı Zemin Koşullarında İncelenmesi*. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(3), 704-718.
35. Mohamed, N. S. S., Sulaiman, S. I., Rahim, S. R. A. (2022). Design of ground-mounted grid-connected photovoltaic system with bifacial modules using PVsyst software. *J Phys Conf Ser*, 2312(1), 12058.
36. Prasad, M., Prasad, R. (2023). Bifacial vs monofacial grid-connected solar photovoltaic for small islands: A case study of Fiji. *Renew Energy*, 203, 686–702.
37. Rodriguez-Pastor, D.A., Idefonso-Sanchez, A.F. (2023). A new predictive model for the design and evaluation of bifacial photovoltaic plants under the influence of vegetation soils. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135701.
38. Raina, G., Sinha S. (2023). Experimental investigations of front and rear side soiling on bifacial PV module under different installations and environmental conditions. *Energy for Sustainable Development*, 72(1), 301-313.
39. Longares, J.M., García-Jiménez, A ve García-Polanco, N. (2023). Multiphysics simulation of bifacial photovoltaic modules and software comparison. *Solar Energy*, 257(1), 155-163.

40. Alam, M., Gul, M.S., Muneer T. (2023). Performance analysis and comparison between bifacial and monofacial solar photovoltaic at various ground albedo conditions. *Renewable Energy Focus*, 44(1), 295-316.
41. Al-Masri, H.M.K, Dawaghreh, O.M., Magableh, S.K. (2023). Realistic performance evaluation and optimal energy management of a large-scale bifacial photovoltaic system. *Energy Conversion and Management*, 286, 117057.
42. Mainar, M.D., Ballestin, V., Busto, F. (2020), Critical Technologies For Islands' Energy Transition, CIRCE, Zaragoza, 45
43. Turhan, S., Çetiner, İ. (2012). *Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi. 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi - Görükle Kampüsü – Bursa.
44. İnternet: FV hücre yapısı. URL: <https://www.emo.org.tr/ekler/>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2023.
45. Gençoğlu, E. (2015). *Güneş Pili İle Çalışan Bir Su Pompalama Sisteminin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 73-106.
46. Eker, B.S. (2019). Güneş Panelleri İçin Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi, Rüzgarın Soğutma Etkisinin Verime Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 36-61.
47. Turmuş, A. (2018). *Düzlemsel Yansıtma Destekli Düzlemsel Güneş Paneli Tasarımı–Elektrik Üretimi ve Verim Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 39.
48. Özdemir, A. T. (2022). Farklı Tipteki Fotovoltaik Sistemlerin Güç Üretimlerinin Analizi Ve Yapay Zekaya Dayalı Tahmini. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* , 11 (1) , 381-398
49. Yılmaz, Ş. (2015). Kahramanmaraş İl Merkezi Koşullarında Optimum Enerji Verimliliğine Sahip Fotovoltaik Temelli Bir Elektrik Jeneratörünün Modellenmesi Ve Gerçekleştirilmesi. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 96-153.
50. Köse, E. (2018). Fotovoltaik Sistemlerin Maksimum Güç Noktasında Çalıştırılması. *Dünya Multidisipliner Araştırmalar Dergisi*, 2018 (1), 8-27.
51. Yetkin, F. (2022). *Binaya Entegre Fotovoltaik Sistemlerin Simülasyon Ve Gerçek Üretim Verilerinin Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, 15.

52. Yılmaz, A. (2018). Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik (PV) Sistemlerin Mevcut Elektrik Şebekesi İle Entegrasyonu Ve Güç Sistemine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 21-25.
53. Atlım, F. (2019). *Balıkesir İlindeki FV Sistemlerin Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 34.
54. Fadel, D.M. (2017). *Design And Implementation Of An Inverter For Low Power Photovoltaic Systems*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 41-43.
55. Haydaroğlu, C. (2016). Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralının PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi. *Mühendislik Dergisi*, 7(3), 491-500.
56. Akcan, E., Kuncan, M., & Minaz, M.R. (2020). Pvsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 248-261.
57. Naziksoy, A.S. (2022). Bilecik İli Akpnar Ve Düzdağ Güneş Enerji Santrallerinin Performanslarının PVSyst Programı Yardımı İle Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Bilecik, 29-33.
58. İnternet: Gölgeleme sahnesi. URL: <https://www.pvsyst.com/features>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2023.
59. İnternet: Veri Değerlendirmeleri. URL: <https://www.mgm.gov.tr>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2023.
60. İnternet: Radyasyon. URL: <https://www.mgm.gov.tr>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2023.
61. İnternet: Google Earth. URL: <https://earth.google.com/web/search>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2023.
62. İnternet: Meteororm Version 8. URL: <https://meteororm.com/meteororm-version-8>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2023.
63. Garg, T. P. A., Kazunari, K. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Kanagawa, 2.
64. Roca, A. (2018). *Design and Modelling of a Large-Scale PV Plant*, Yüksek Lisans Tezi Barcelona Endüstri Mühendisliği Yüksek Teknik Okulu, Barcelona 95.
65. Shoukry, I., Libal, J., Kopecek, R., Wefringhaus, E., & Werner, J. (2016). Modelling of Bifacial Gain for Stand-alone and in-field Installed Bifacial PV Modules. *Energy Procedia*, 92, 600-608.

66. Janssen, G. J., Van Aken, B. B., Carr, A. J., & Mewe, A. A. (2015). Outdoor Performance of Bifacial Modules by Measurements and Modelling. *Energy Procedia*, 77, 364-373.
67. Pelaez, S. A. Deline, C. MacAlpine, S. M. Marion, B. Stein, J. S. Kostuk, R.K. (2019). Comparison of Bifacial Solar Irradiance Model Predictions With Field Validation. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 9(1), 82-88.
68. Seo, Y.et al. (2019). *Effect of Front Irradiance and Albedo on Bifacial Gain in 1.8kW Bifacial Silicon Photovoltaic System*. IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), Chicago, IL, ABD, 1298-1301.
69. Shoukry, I., Libal, J., Kopecek, R., Wefringhaus, E., Werner, J. (2016). Modelling of Bifacial Gain for Stand-alone and in-field Installed Bifacial PV Modules. *Energy Procedia*, 92, 600-608.
70. Yusufoglu, U. A., Pletzer, T. M., Koduvelikulathu, L. Comparotto, J.C., Kopecek, R. and H. Kurz. (2015). Analysis of the Annual Performance of Bifacial Modules and Optimization Methods. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 5(1), 320-328.



Gazili olmak ayrıcalıktır