

**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇATI TİPİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN
ÜRETİM VE SİMÜLASYON VERİLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI: ANTALYA İLİ ÖRNEĞİ**

Emre AKARSU

Danışman: Doç. Dr. Sertaç GÖRGÜLÜ

BURDUR, 2025

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Çatı Tipi Güneş Enerji Santralinin Üretim ve Simülasyon Verilerinin Karşılaştırılması: Antalya İli Örneği**” başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, belge, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

14/05/2025

(İmza)

Emre AKARSU

ÖNSÖZ

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışmanım **Doç. Dr. Sertaç GÖRGÜLÜ**'ye teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte mesleki anlamda bana her zaman güven duyan, esnek çalışma ortamı sağlayarak akademik ilerlememi destekleyen ve ayrıca bu çalışmada kullandığım araştırma verilerinin temininde doğrudan katkı sunan değerli yöneticim Sayın Muzaffer SEMİZ'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim, sabırla ve sevgisiyle beni motive eden sevgili eşim Rûmeysa AKARSU'ya sonsuz teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her aşamasında beni her anlamda destekleyen aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Mayıs, 2025

Emre AKARSU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	6
ÖZET.....	7
ABSTRACT.....	8
1. GİRİŞ.....	9
2. GENEL BİLGİLER.....	12
2.1. Güneş Enerjisi.....	12
2.2. Dünyada Güneş Enerjisi	12
2.3. Ülkemizde Güneş Enerjisi	14
2.4. Antalya İli Güneş Enerji Potansiyeli	17
2.5. Güneş Hücresinin Yapısı	18
2.6. TopCon hücreler	21
2.7. Fotovoltaik Sistem Ekipmanları	21
2.7.1. Fotovoltaik Modül.....	21
2.7.2. Eviriciler.....	23
2.7.3. Solar Kablolar	24
2.7.4. Taşıyıcı Konstrüksiyon	24
2.8. Fotovoltaik Sistem Verimine Etki Eden Faktörler	25
2.8.1. Kablo Kayıpları	25
2.8.2. MPPT Kayıpları	26
2.8.3. Kar ve Tozlanma Kayıpları	26
2.8.4. Sıcaklık Kaybı	27
2.8.5. Uyumsuzluk Kayıpları	28
2.8.6. Gölge Kayıpları	28
2.9. Literatür Taraması	29
3. MATERYAL VE YÖNTEM	33
3.1. Simülasyon Programları	33
3.1.1. PV*SOL Programı	33
3.1.2. PVsyst Programı.....	38
3.2. Karşılaştırma Yapılan Santral Bilgileri	43
3.2.1. Kimya Fabrikası Güneş Enerji Santrali.....	44
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	50
4.1. PV*SOL ile Tesisin Simülasyonu	50
4.2. PV*SOL Simülasyon Sonuçları	53
4.3. PVsyst ile Tesisin Simülasyonu.....	54
4.4. PVsyst Simülasyon Sonuçları.....	58
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Dünyada PV kurulu gücü değişimi.....	13
Şekil 2.2. Kıtaların PV kurulu gücündeki değişim	13
Şekil 2.3. Güneş enerjisi potansiyel atlası	14
Şekil 2.4. Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün).....	15
Şekil 2.5. Türkiye’de güneşlenme süresi (saat)	15
Şekil 2.6. Antalya güneş radyasyon haritası	18
Şekil 2.7. Güneş hücresi iç yapısı	19
Şekil 2.8. Fotovoltaik hücre	20
Şekil 2.9. Fotovoltaik hücrelerden modül ve dizi oluşturma	20
Şekil 2.10. Dizi inverter	23
Şekil 2.11. Fotovoltaik güneş enerji santrallerinde kullanılan montaj aparatları	25
Şekil 2.12. Temizlenmiş ve tozlu panellerin görüntüsü.....	27
Şekil 2.13. Temizlenmiş ve tozlu panellerin görüntüsü.....	27
Şekil 2.14. Gölgelemeye maruz kalmış panel grubu	29
Şekil 3.1. Proje bilgileri sayfası	34
Şekil 3.2. Proje sistem türü, iklim ve şebeke sayfası	34
Şekil 3.3. 3D tasarım sayfası.....	35
Şekil 3.4. Gölgeleme analizi sonucu.....	36
Şekil 3.5. Kablo kayıpları sayfası	36
Şekil 3.6. Planlar sayfası.....	37
Şekil 3.7. Finansal analiz sayfası	37
Şekil 3.8. Sonuçlar sayfası	38
Şekil 3.9. PVsyst giriş ekranı.....	39
Şekil 3.10. Şebekeye bağlı proje ekranı.....	39
Şekil 3.11. Yönlendirme sekmesi ekranı	40
Şekil 3.12. Sistem sekmesi ekranı	41
Şekil 3.13. Detaylı kayıplar sekmesi ekranı	41
Şekil 3.14. Ufuk çizgisi (uzak gölgelemeler) ekranı.....	42
Şekil 3.15. Yakın gölgelemeler ekranı.....	42
Şekil 3.16. Simülasyon sonuçları ekranı.....	43
Şekil 3.17. Kimya fabrikası güneş enerji santrali uydu görüntüsü	44

Şekil 3.18. Kimya fabrikası güneş enerji santrali genel yerleşim planı.....	45
Şekil 3.19. Kimya fabrikası güneş enerji santrali tek hat şeması.....	47
Şekil 4.1. Tesisin PV*SOL programında 3 boyutlu çizilmiş görüntüsü.....	50
Şekil 4.2. Gölgeleme kayıpları	51
Şekil 4.3. Gölgeleme kayıpları-2.....	51
Şekil 4.4. İnverter dizi dağılımları	52
Şekil 4.5. Panel-İnverter konfigürasyonu	52
Şekil 4.6. Simülasyon sonuçları grafiği	53
Şekil 4.7. Simülasyon sonuçları kayıplar tablosu	54
Şekil 4.8. Meteonorm veri tabanı meteorolojik verileri.....	55
Şekil 4.9. Tesisin sistem tasarımı.....	55
Şekil 4.10. Tesisin sistem tasarımı-2	56
Şekil 4.11. Tesisin PVSyst programında 3 boyutlu çizilmiş görüntüsü	56
Şekil 4.12. AC ve DC kablo gerilim düşümü tanımlaması.....	57
Şekil 4.13. Kirlenme kaybının tanımlaması.....	58
Şekil 4.14. Aylık üretim tahminleri	59
Şekil 4.15. Kayıplar diyagramı	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Ülkemizde bölgelere göre ışıınım ve güneşlenme süreleri.....	16
Çizelge 2.2. Antalya ili güneş enerjisi değerleri	17
Çizelge 2.3. PV panellerin karşılaştırılması.....	22
Çizelge 3.1. Araştırma yapılan santral bilgileri	43
Çizelge 3.2. Kimya fabrikası güneş enerji santrali teknik bilgiler.....	46
Çizelge 3.3. Kimya fabrikası güneş enerji santrali güç bilgileri.....	48
Çizelge 3.4. Kimya fabrikası güneş enerji santrali kullanılan PV modül bilgileri	48
Çizelge 3.5. Kimya fabrikası güneş enerji santrali kullanılan inverter katalog bilgileri	49
Çizelge 3.6. Kimya fabrikası güneş enerji santrali gerçekleşen üretim verileri	49
Çizelge 4.1. Simülasyon sonuçlarının üretim değerleri	53
Çizelge 4.2. Üretim tahminleri ve gerçek üretim verileri	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Amper
AC	: Alternatif Akım
ADP	: Ana Dağıtım Panosu
DC	: Doğru Akım
GES	: Güneş Enerji Santrali
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GW	: Gigawatt
IRENA	: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
kVA	: Kilovolt-Amper
kW	: Kilowatt
kWe	: Kilowatt-elektrik
kWh	: Kilowatt-saat
kWp	: Kilowatt-peak
LID	: Işık Kaynaklı Bozulma
MGN	: Maksimum Güç Noktası
mm	: milimetre
MPPT	: Maksimum Güç Noktası İzleme
MW	: Megawatt
MWe	: Megawatt-elektrik
MWp	: Megawatt-peak
PV	: Fotovoltaik
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
V	: Volt
Wp	: Watt-peak

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Çatı Tipi Güneş Enerji Santralinin Üretim ve Simülasyon Verilerinin Karşılaştırılması: Antalya İli Örneği

Emre AKARSU

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sertaç GÖRGÜLÜ

Mayıs, 2025

Fosil yakıtlar, özellikle kömür, petrol ve doğalgaz, uzun yıllardır dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılamaktadır. Ancak bu kaynaklar, sınırlıdır ve çevresel sorunlara neden olan emisyonlarla ilişkilidir. Bu nedenle, sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelme ihtiyacı gün geçtikçe daha da acil hale gelmektedir. Günümüzde, birçok ülke, enerji portföylerini çeşitlendirmek ve karbon ayak izlerini azaltmak amacıyla yenilenebilir enerjiye yatırım yapmaktadır. Bunlardan biri ise güneş enerjisidir. Güneş, diğer enerji kaynaklarına göre daha temiz ve daha az maliyetlidir. Ancak verimlilik anlamında geliştirmeler devam etmektedir.

Bu tezde ise verimliliği arttırmak adına bir çalışma yapılması planlanmıştır. Bu çalışmada Antalya ilinde şebekeye bağlı bir çatı güneş enerji santralinin simülasyon programında tasarımı yapıp, 1 yıllık gerçek üretim değerleri ve simülasyon verileri PV*SOL ve PVSyst programları ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Gerçekleşen ve simülasyon çalışmaları sonucu elde edilen santral sistem performans oranları karşılaştırıldığında gerçek değerlere en yakın sonuçlar %4,95 hata payıyla PVSyst simülasyon programında Meteonorm veri tabanı kullanılarak yapılan simülasyon sonucunda elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, PV*SOL, Simülasyon, PVSyst, Yenilenebilir Enerji

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Comparison of Production and Simulation Data of a Rooftop Solar Power Plant: A Case Study of Antalya Province

Emre AKARSU

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical Electronics Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sertaç GÖRGÜLÜ

May, 2025

Fossil fuels, especially coal, oil, and natural gas, have been meeting a large portion of global energy needs for many years. However, these resources are finite and are associated with emissions that cause environmental issues. Therefore, the need to transition to sustainable energy sources has become increasingly urgent. Today, many countries are investing in renewable energy to diversify their energy portfolios and reduce their carbon footprints. One such source is solar energy. Compared to other energy sources, solar power is cleaner and less costly. However, improvements in efficiency are still ongoing.

This thesis aims to conduct a study to increase efficiency. In this study, the design of a grid-connected rooftop solar power plant in Antalya province was simulated using software, and the actual production values over one year were compared with the simulation results from the PV*SOL and PVsyst programs.

When comparing the actual and simulation-based system performance ratios, the closest results to the actual values were obtained with a 4.95% error margin from the simulation using the Meteonorm database in the PVsyst program.

Keywords: Solar Energy, PV*SOL, Simulation, PVsyst, Renewable Energy.

1. GİRİŞ

Dünyadaki gelişmelere paralel olarak, gelişmekte olan ülkemizin genel enerji ihtiyacı da sürekli bir artış göstermektedir. Petrol, doğalgaz gibi enerji kaynakları yurtdışından ithal edilmektedir. Fosil yakıtlardan olan linyit ise ülkemizdeki kaynaklardan çıkarılarak termik santrallerde elektrik üretimi yapılmaktadır. Ancak bu da çevreye olumsuz etkileri sebebiyle son yıllarda daha temiz olan enerji kaynaklarına yönelme olmuştur (Dinçer, 2011).

Fosil yakıtlar, enerji ihtiyacımızın büyük bir kısmını karşılarken, hızla azalmalarına rağmen yoğun bir şekilde kullanılmaya devam edilmektedir. Bu durum, ozon tabakasının incilmesi, asit yağmurlarının oluşması ve küresel ısınmanın artması gibi ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır. Bu sorunlar, dünyamızı geri dönüşü zor bir çevre kirliliğine sürüklemektedir. Artan tüketim oranları, fosil yakıtların önümüzdeki dönemde tamamen tükenmesinin kaçınılmaz bir gerçek olduğunu da göstermektedir (Bayram, 2000).

Fosil yakıtların yol açtığı sera gazı emisyonları ve küresel ısınma, çevreye verdikleri zararlar birlikte düşünüldüğünde, gelecekte çevre ve insan sağlığı üzerinde daha da büyük olumsuz etkileri olacağı açıktır. Dünya, sera gazı emisyonlarını ve iklim değişikliğinin etkilerini azaltmanın yollarını ararken, yenilenebilir enerjinin önemi giderek artmaktadır (Dip, 2023).

Bu nedenlerle yenilenebilir enerjiye ihtiyaç her zamankinden daha fazladır. Yenilenebilir enerji, doğada sürekli olarak varlığını koruyan ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen bir enerji türüdür. Ülkemizde yenilenebilir enerji dendiğinde başta hidroelektrik santraller, rüzgâr santralleri ve güneş enerji santralleri akla gelmektedir. Doğal olarak kendini yenileyen bu kaynaklar, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmada kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca biyokütle, jeotermal, hidrolik, hidrojen ve okyanus enerjisi (dalga ve gel-git) gibi çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları da bulunmaktadır (Ceylan, 2016).

Güneş enerjisinin sürekli olarak erişilebilir olması, doğaya neredeyse hiçbir zarar vermemesi ve yakıt maliyetinin olmaması, bu enerji türünü diğer yenilenebilir kaynaklardan ayrıcalıklı bir konuma taşımaktadır (Ceylan, 2016). Ülkemizin coğrafi konumu sayesinde de güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında özel bir öneme sahiptir. Son yıllarda hızla gelişen hücre teknolojisi ve bununla beraber güneş panellerinin verimlerinin artmasıyla birlikte güneş enerjisine yatırımlar daha da artmıştır.

Monokristal, polikristal ve ince film gibi farklı türlerde güneş panelleri bulunmaktadır. PV enerji sistemlerinin performansı ise coğrafi konum, güneş ışınım miktarı ve kullanılan panellerin özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre kurulumlarından sonra en az bakım isteyen santraller güneş enerji santralleridir. Kurulduktan sonra az bir maliyetle uzun yıllar çalışmaya devam edebilmektedir. Doğru ve zamanında yapılan bakım sayesinde yaklaşık 25 yıl boyunca verimli bir şekilde çalışabilen güneş panelleri, uzun vadede enerji maliyetlerini düşürür ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak sürdürülebilirliği destekler (Akcan vd., 2020).

Her yenilenebilir enerji kaynağında olduğu gibi verim konusu güneş enerjisi için de en önemli konulardan biridir. Fotovoltaik panellerin en fazla %24 verimle çalışabildiği bilinmektedir. Ülkemizdeki güneş enerjisi santrallerinde kullanılan monokristal ve polikristal hücreler nedeniyle bu verim oranı %20'nin altına düşmektedir. Yani güneşten gelen radyasyonun %80'den fazlası elektrik enerjisine dönüşmemektedir. Ayrıca, sıcaklık her 1°C arttığında enerji dönüşümünde %0,4-0,5 civarında bir kayıp meydana gelmektedir. Bu nedenle, sıcaklık ile verim arasındaki ilişki panel verimliliği açısından büyük önem taşır (Karakaya ve Şen, 2019).

Enerji yatırımlarının artışı, bu yatırımların fizibilitesinin önemini artırmıştır. Yatırımcılar, projelerini hayata geçirmeden önce hangi bölgelerde kurulum yapmanın sistem verimini artıracağını, yıllık enerji üretim tahminlerini, amortisman sürelerini, sistemdeki olası kayıpları ve nakit akışlarını incelemek istemektedir (Arslan, 2022). Bu nedenle güneş enerjisini daha verimli halde kullanmak için bazı simülasyon programları geliştirilmiştir. Bu programlarda güneş enerji santralinin 3 boyutlu çizim sayesinde öngörüler yapılabilmektedir. Yatırımcılar, yatırıma başlamadan önce yıllık enerji üretimlerini, amortisman süresini, nakit akışının nasıl olacağı ve sistemde bulunan kayıpları yapılan çizimlerde görmektedirler. Yatırımcıların yanında uygulama yapan firmalar için de fizibilite yapma imkânı da vardır. Bu talepler PV*SOL, PVsyst vb. programlar aracılığıyla gerçekleştirilir.

Bu tez kapsamında Antalya ilinde bulunan bir çatı güneş enerji santralinin PV*SOL ve PVsyst programlarında simüle edilip, gerçek üretim değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde; tezin önemi ve amacı hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde; tez konusuyla ilgili genel bir bilgi verilmiş olup dünyada ve ülkemizdeki güneş enerjisinin kullanımı, santrallerde kullanılan temel bileşenler ve

sistem verimi ve performansını etkileyen faktörler ile ilgili veriler aktarılmıştır. Konuyla ilgili çalışma yapılmış olan farklı bölgeleri inceleyen bir literatür taraması gerçekleştirilmiş ve bu çalışmalarla ilgili bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde; simülasyon programlarına dair özet bilgiler ve güneş enerji santrali hakkında bilgi sunulmuştur.

Dördüncü bölümde; tez çalışmasında incelenen güneş enerji santralinin simülasyon çalışmalarının sonuçları ve gerçek üretim değerleri grafikler ve tablolarla detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Beşinci bölümde; tez çalışmasında elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve gelecekte bu alanda çalışma yapacak araştırmacılar için önerilerde bulunulmuştur.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Güneş Enerjisi

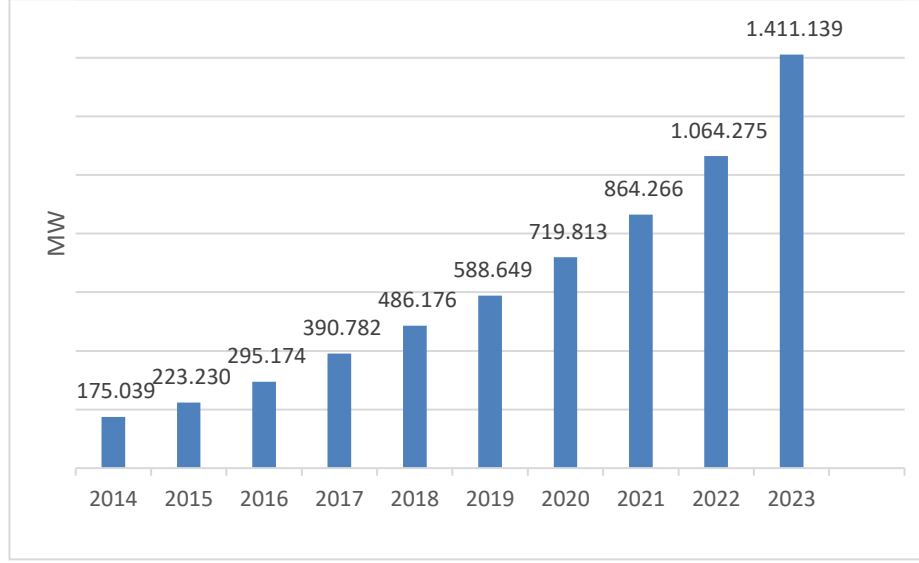
Teorik olarak güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde gerçekleşen füzyon süreci sonucu ortaya çıkan ışıma enerjisi olarak tanımlanabilir. Güneş enerjisi, güneş ışınlarının özel paneller aracılığıyla toplanarak elektriğe veya ısıya dönüştürüldüğü yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Çevreye zarar vermemesi, sürdürülebilir olması ve kullanım maliyetlerinin düşük olması nedeniyle giderek yaygınlaşmaktadır. Güneş enerjisi, elektrik üretiminin yanı sıra su ısıtma, aydınlatma ve tarımsal sulama gibi alanlarda da kullanılır (Çubukçu, 2011).

Özellikle 1970 yılından sonra gelişen teknoloji ve bununla beraber maliyetlerin azalması güneş enerjisinin kullanımı hızla artmıştır. Kurulumundan sonra az bakım gerektiren ve temiz bir enerji kaynağı olması en büyük tercih sebeplerinden biri olmuştur. Güneş enerjisi teknolojileri, kullanılan yöntemler, malzemeler ve teknolojik gelişmişlik düzeyine göre oldukça çeşitlilik gösterir ve temel olarak ısı güneş teknolojileri ile fotovoltaik güneş teknolojileri olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır (Yalçın, 2010).

En yaygın kullanım amacı yapıların çatılarına yerleştirilen güneş kolektörleri sayesinde su ısıtma olarak kullanılmasıdır. Güneş kolektörleri, güneş ışıınıyla taşınan enerjiyi toplayarak bir akışkana ısı şeklinde aktaran farklı tür ve şekillerde tasarlanmış yapılardır. Isıtma amaçlı güneş enerjisi teknolojileri ise genellikle sıcak su ısıtma sistemlerinde tercih edilmektedir. İkinci olarak ise arazi ve çatılarda güneş panelleri kullanılarak elektrik üretmektir. Bu uygulamada güneş panellerinin üzerine düşen güneş ışıınıını direkt olarak elektrik enerjisine çevrilir (Yalçın, 2010).

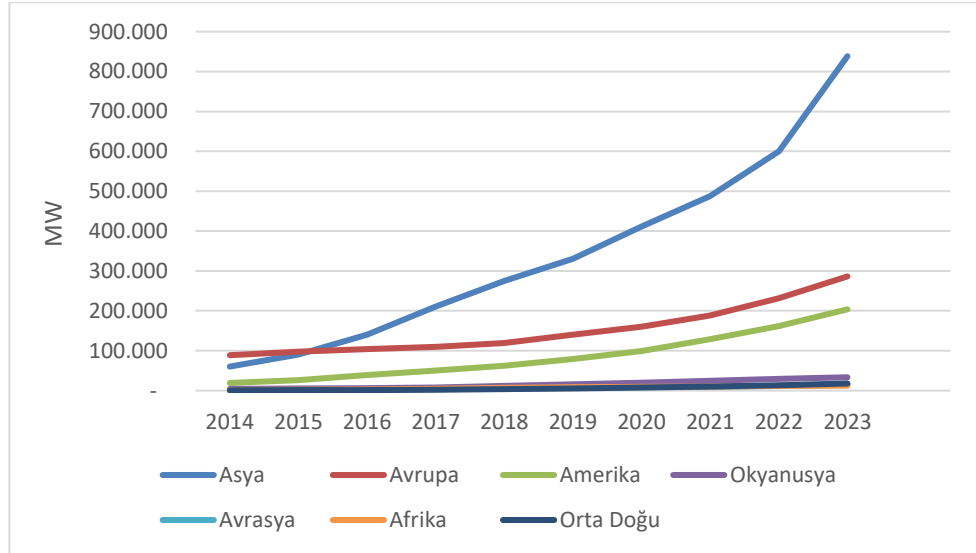
2.2. Dünyada Güneş Enerjisi

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) web sitesinde yer alan güncel verilere göre, dünya genelinde fotovoltaik (PV) panellerle elektrik üretim kapasitesinin hızlı bir artış gösterdiği gözlemlenmektedir (Şekil 2.1). 2014 yılında PV panel kurulu gücü, 175,03 GW iken bu güç 2023 yılında 1411,13 GW'a ulaşmıştır. Özellikle 2022 yılından sonra yaklaşık olarak 347 GW'lık artış yıllar arasındaki en büyük artış olarak göze çarpmaktadır (IRENA, 2024).



Şekil 2.1. Dünyada PV kurulu gücü değişimi (IRENA, 2024)

2023 yılı sonunda 49 ülkede PV kurulu güç kapasitesi 1 GW'ı aşmıştır. Avrupa, 2003'ten bu yana sürdürdüğü yıllık PV kurulu güç artışındaki liderliğini Asya'ya bırakmıştır ve Asya pazarındaki bu büyümenin ana aktörü Çin olmuştur. Daha önce ürettiği hücre ve panelleri dış pazara satan Çin, artık iç piyasada da kullanıma yönelmiş ve yıllık kurulu gücünü hızla artırmıştır. 2022 yılında Çin, PV kurulu gücüne 217 GW eklemiş ve dünya toplam PV kurulu gücünün %43'ünü sağlamıştır (IRENA, 2024).

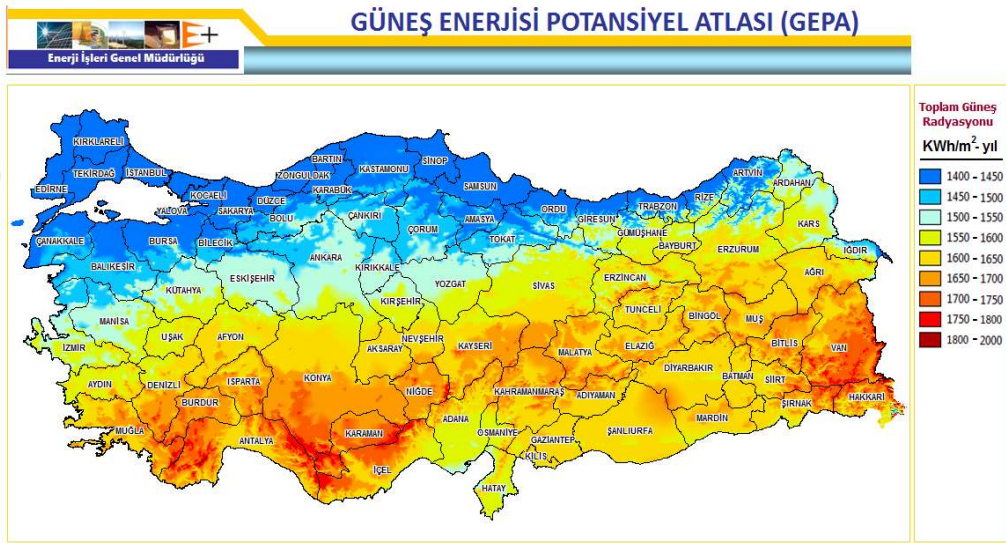


Şekil 2.2. Kıtaların PV kurulu gücündeki değişim (IRENA, 2024)

2014 yılındaki kıtalar arası kurulu güç seviyelerine göre yapılan yıllık kurulu güç artış endeksi incelemesine (Şekil 2.2) bakıldığında, Avrupa’da PV sektörünün küçüldüğü ve yatırım miktarlarının önemli ölçüde azaldığı anlaşılmaktadır. Buna karşın, Asya ve Orta Doğu’da her yıl artan PV enerji yatırımları, bu bölgelerin PV sektörü için yeni birer pazar haline geldiğini göstermektedir. Asya’daki PV kurulu güç artışının bölgenin PV teknolojisi üretimiyle ilgili olduğu, Orta Doğu’daki artışın ise bölgedeki elverişli iklim koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir (Arslan, 2022).

2.3. Ülkemizde Güneş Enerjisi

Ülkemiz ise coğrafi konumu sayesinde birçok ülkeye kıyasla avantajlı bir konumda olup yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ülkenin yıllık ortalama güneşlenme süresi 2741,07 saat olarak belirlenmiş ve yıllık ortalama ışıınım değeri ise 1527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. GEPA’daki genel potansiyel durumu ise Şekil 2.3’te gösterilmiştir (GEPA, 2024).

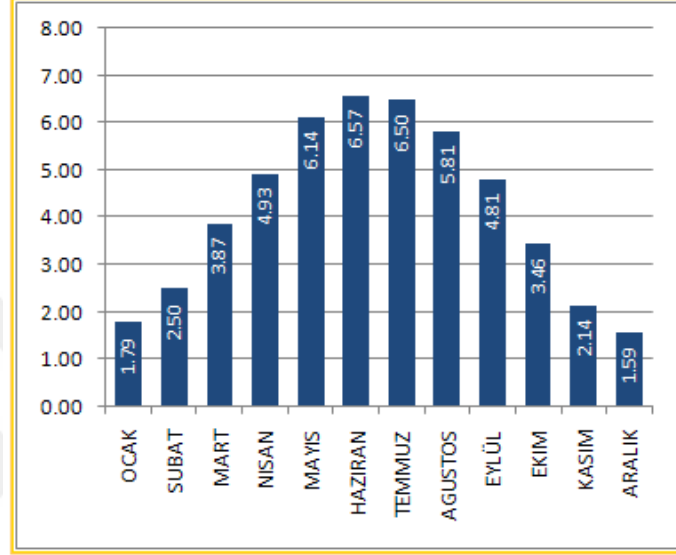


Şekil 2.3. Güneş enerjisi potansiyel atlası

Türkiye’de elektrik şebekesine bağlı güneş enerji santralleri (ON-GRID GES) ile ilgili kurulu güç verileri, Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) tarafından kaydedilmektedir. Bu verilere göre, GES yatırımları 2015 yılından itibaren hız kazanmaya başlamıştır. 2017 yılı ise Türkiye’deki GES yatırımlarında en büyük artışın yaşandığı yıl olarak öne çıkmıştır; ülkemizde gerçekleştirilen toplam GES yatırımlarının neredeyse yarısı (%48,7) bu dönemde yapılmıştır. 2017 yılındaki bu yoğun yatırımların en büyük nedeni, 26 Aralık 2016 tarihli ve 6808 sayılı Kurul Kararı ile, 29 Aralık 2016

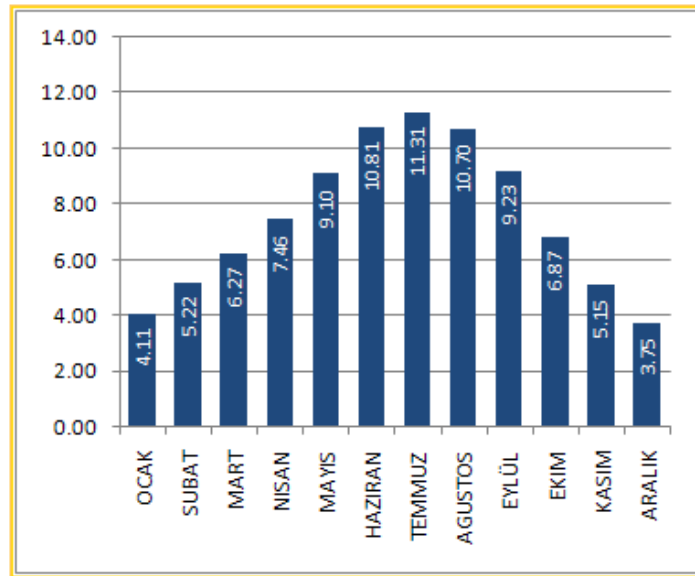
tarihli 29933 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan ve Dağıtım Lisansı sahibi Tüzel Kişiler ve Görevli Tedarik Şirketleri için Tarife Uygulamasına İlişkin Usul ve Esaslarda yapılan düzenlemelerdir. Bu değişikliklerle, 31 Aralık 2017'den sonra geçici kabul alacak GES'ler için tarifelerde değişiklik yapılmış ve dağıtım bedelleri artırılmıştır (Kınalı,2019).

Ülkemize ait aylık olarak global radyasyon değerleri Şekil 2.4'te yer almaktadır (GEPA, 2024).



Şekil 2.4. Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün)

Ülkemize ait aylık olarak güneşlenme süreleri Şekil 2.5'te yer almaktadır (GEPA, 2024).



Şekil 2.5. Türkiye'de güneşlenme süresi (saat)

Şekil 2.5'e göre, Türkiye'de güneşlenme süresi en yüksek seviyesine ise 11,31 saat ile temmuz ayında, en düşük seviyesine günlük ortalama 3,75 saat ile aralık ayında ulaşmaktadır. Ülkemizde yıllık ortalama toplam ışıınım değeri 1527,46 kWh/m², toplam güneşlenme süresi ise 2741,07 saat olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2.1. Ülkemizde bölgelere göre ışıınım ve güneşlenme süreleri

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m²-yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Çizelge 2.1'e göre, Türkiye'de en düşük ışıınım değeri ve güneşlenme süresine sahip bölge Karadeniz Bölgesi olarak öne çıkmaktadır. Güneşlenme süreleri açısından ilk sırayı 2993 saat/yıl ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi alırken, ikinci sırada Akdeniz Bölgesi, üçüncü sırada ise Ege Bölgesi bulunmaktadır. Işıınım değerleri incelendiğinde, yıllık 1460 kWh/m² ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi en yüksek seviyeyi gösterirken, bu bölgeyi Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgeleri takip etmektedir. Ayrıca, Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgelerinin, Ege Bölgesi'nden daha fazla güneş enerjisi aldığı gözlemlenmektedir (Karamanav, 2007).

Aralık 2024 tarihinde Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından yayınlanan rapora göre güneş enerjisinden elektrik üretilen toplam santral adedi ve kurulu gücü yer almıştır. Buna göre ülkemizde 44 adet serbest üretim şirketi santralleri, 30.549 adet lisanssız santral olmak üzere toplam 30.593 adet güneş enerji santrali bulunmaktadır. Serbest üretim şirketine ait santrallerin kurulu gücü 1.874 MW iken lisanssız santrallerin kurulu gücü 17.467 MW'tir. Toplam kurulu güç 2024 Aralık ayı itibariyle 19.341 MW'a ulaşmıştır (TEİAŞ, 2024).

TEİAŞ Aralık 2024 değerlerine göre olan ülkemizin toplam kurulu güç değeri 2024 Aralık itibariyle toplam 115.104 MW'a ulaşmıştır. Bu gücün %16,8'ini yani 19.341 MW güç ile güneş enerji santralleri oluşturmaktadır (TEİAŞ, 2024).

2.4. Antalya İli Güneş Enerji Potansiyeli

GEPA (Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası) verilerine göre, Antalya, güneşten elektrik üretimi konusunda Türkiye'nin en avantajlı illeri arasında bulunmaktadır. Antalya'nın yıl boyunca yüksek güneş radyasyonu ve uzun güneşlenme süresine sahip olması, güneş enerjisi potansiyelini artırmaktadır. İl genelinde arazinin eğiminin genellikle uygun olması, sıcaklık ortalamalarının enerji üretimi için ideal seviyelerde bulunması ve nem oranının kontrol edilebilir seviyelerde olması gibi faktörler avantaj sağlamaktadır. Yaz aylarında sıcaklığın olumsuz etkileri olmasına karşın yıl boyu güneşlenme süresinin uzun olması bu olumsuz etkiyi en aza indirmektedir. Ayrıca, Akdeniz ikliminin etkisiyle rüzgâr ve fırtına kaynaklı tozlanma kayıplarının düşük olması Antalya'yı güneş enerjisinden elektrik üretimi için cazip bir bölge haline getirmektedir.

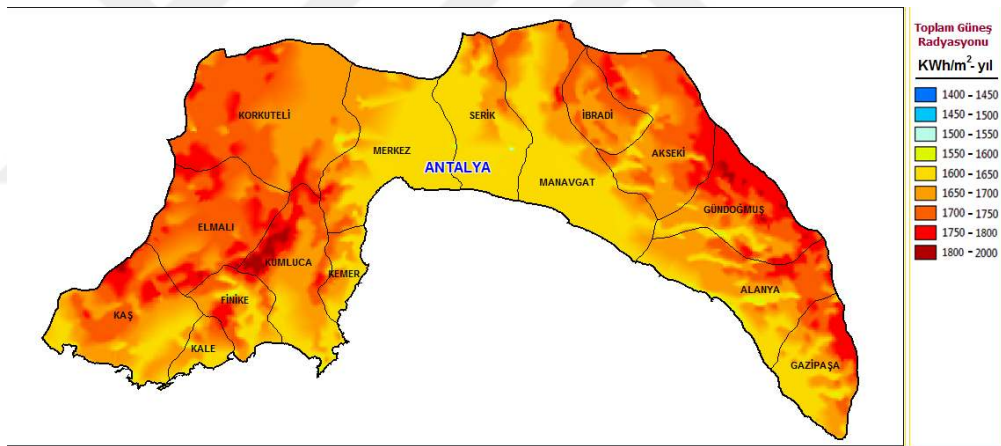
Çizelge 2.2. Antalya ili güneş enerjisi değerleri

Aylar	Radyasyon Değeri (kWh/m ² -gün)		Güneşlenme Saati (Saat)	
	Türkiye	Antalya	Türkiye	Antalya
Ocak	1,79	2,12	4,11	4,95
Şubat	2,5	2,57	5,22	6,1
Mart	3,87	4,37	6,27	7,24
Nisan	4,93	5,47	7,46	8,29
Mayıs	6,14	6,36	9,1	9,7
Haziran	6,57	6,93	10,81	11,55
Temmuz	6,5	6,65	11,31	11,84
Ağustos	5,81	6,14	10,7	11,29
Eylül	4,81	5,16	9,23	9,8
Ekim	3,46	3,93	6,87	7,68
Kasım	2,14	5,51	5,15	5,97
Aralık	1,59	1,92	3,75	4,55
Ortalama	4,176	4,7608	7,49833	8,24667

Çizelge 2.2'de yer alan verilere göre, Antalya'nın günlük güneşlenme değeri 4,76 kWh/m² olup, bu değer Türkiye ortalaması olan 4,176 kWh/m²-gün düzeyinin üzerindedir. Güneşlenme süreleri açısından da Türkiye'nin yıllık ortalaması olan 7,49 saati aşan Antalya, yıllık ortalama 8,24 saat güneşlenme süresi ile güneş enerjisinden elektrik üretimi için oldukça elverişli bir iklim ve coğrafyaya sahiptir (GEPA, 2022).

Antalya ilinin güneşlenme süreleri incelendiğinde en fazla güneşlenme süresi 11,84 saat ile temmuz ayında olup, en düşük güneşlenme süresine 4,55 saat ile aralık ayıdır. Üretilecek olan enerji miktarının, radyasyon değeri ve güneşlenme süresi ile orantılı artacağı göz önüne alınırsa özellikle yaz aylarında en fazla üretim görülmektedir. Ancak sıcaklığın da olumsuz etki yapabileceği unutulmamalıdır. Kış aylarında sıcaklık ortalaması azalsa da radyasyon değerlerinin ve güneşlenme sürelerinin azalması nedeniyle üretilmek istenilen enerji miktarına erişememe gibi sorunlar yaşanabilmektedir.

Antalya ili Türkiye'nin güneybatısında 29° 20'-32°35' doğu boylamları ile 36° 07'-37° 29' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Şekil 1.6 ve Çizelge 1.3'e göre GEPA verilerine göre Antalya'nın yıllık toplam gelen güneş enerjisi miktarı 1640 kWh/m²-yıl ve yıllık toplam güneşlenme süresi 3011 saat civarındadır. Günlük değerlere bakıldığında bu rakamlar, yaklaşık yıllık ortalama 4,76 kWh/m²'lik güneş enerjisi gücüne ve 8,24 saatlik güneşlenme süresine karşılık gelmektedir (GEPA, 2022).



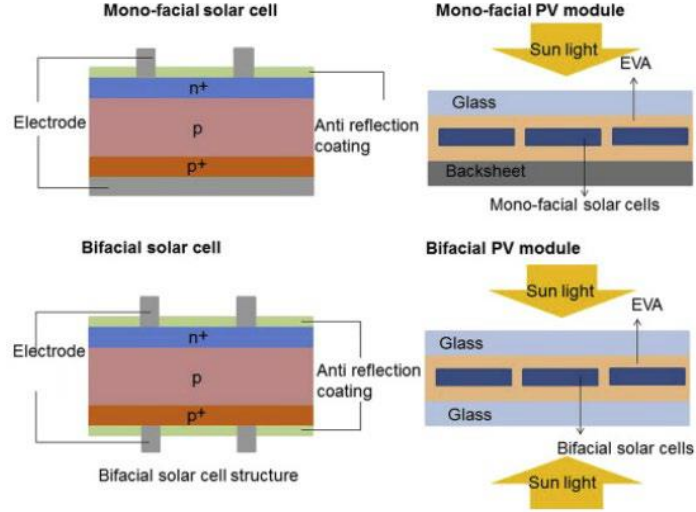
Şekil 2.6. Antalya güneş radyasyon haritası

Şekil 2.6'daki haritadan da anlaşılacağı üzere, Antalya ilinin doğu ve batı kesimleri, merkezine kıyasla daha yüksek güneş radyasyon değerlerine sahiptir. En fazla radyasyona sahip olan ilçeler ise Elmalı, Korkuteli ve Gündoğmuş olarak görülmektedir (GEPA, 2024).

2.5. Güneş Hücresinin Yapısı

Fotovoltaik enerjiye sahip olan fotovoltaik hücreler ilk defa 1839 yılında Besquerel tarafından tanımlanmıştır. Fotovoltaik hücreler (PV) hiçbir müdahale olmadan döner ekipman ya da ısı motoruna ihtiyaç duymadan üzerine gelen güneş ışınlarını elektrik

enerjisine dönüştürebilir. Güneş ışığı geldiği zaman elektronlar, içinde bulundukları atomlardan koparak serbest hale geçer ve bu sayede madde içerisinde bir elektrik akımı meydana gelir. Buna fotovoltaik efekt adı verilmiştir (Çıtanak, 2014).



Şekil 2.7. Güneş hücresi iç yapısı

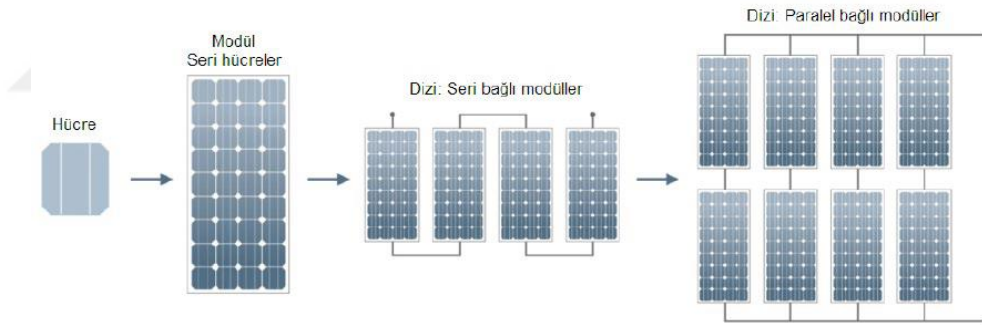
Şekil 2.7’de görüldüğü üzere bir fotovoltaik hücre p ve n olarak iki elektrondan oluşmaktadır (Çıtanak, 2014). N tipi yarı iletkenin üzerindeki metal tabaka, en yüksek yüzey iletkenliğini ve en az yüzey kaplamasını sağlayan ince yapıllı bir iletken ağ şeklindedir. P-tipi malzeme üzerindeki metal arka levha ise temas yüzeyi görevini üstlenir. Güneş ışığı bu elektrotlardan birine ulaştığında potansiyel fark oluşur. Elektrik, elektronların hareketiyle oluştuğundan, güneş ışınları çarptığında elektronların enerjisi ve düzeni değişerek elektrik akımını tetikler. Pilin içerisine giren milyonlarca foton, elektronlara enerji kazandırarak daha yüksek bir enerji seviyesine çıkarır. Bu elektronlar elektrostatik bölgeden geçerek pilin dışına akar ve bu hareket sonucunda elektrik akımı meydana gelir (Çıtanak, 2014).

Şekil 2.8’de gösterildiği gibi, tek kristalli silisyum güneş hücresinin koyu mavi bir renge sahip olduğu ve ağırlığı yaklaşık olarak 10 gramdan azdır. Hücrenin üst yüzeyinde, genellikle bakırdan yapılan ve pilin ürettiği akımı toplamakla görevli ön kontaklar bulunur. Bu kontaklar negatif yük taşır. Kontakların altında, 150 mm kalınlığında bir yansımaya önleyici kaplama tabakası yer alır. Bu tabaka sayesinde silisyum yüzeyinin, üzerine düşen ışınımın yaklaşık üçte birini yansıtması engellenir. Yansımaya önleyici kaplama, hücre yüzeyindeki ışık kaybını minimize eder (Uçar,2018).



Şekil 2.8. Fotovoltaik hücre

Üretilen hücreler, standart test ortamlarında denendikten sonra kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır. Bu testler, 25 °C ortam sıcaklığı, 1000 W/m² ışınım şiddeti ve 1,5 Hava-Kütle oranı değerlerinde gerçekleştirilir. Hava-Kütle oranı, güneş ışınımının atmosferden geçiş oranını belirleyen atmosfer kalınlığına işaret eder. Hücrenin üretebileceği elektrik miktarı ise ışınım şiddeti ve ortam sıcaklığı gibi değişkenlere bağlı olarak farklılık göstermektedir (Çıtanak, 2014).



Şekil 2.9. Fotovoltaik hücrelerden modül ve dizi oluşturma

Daha çok elektriksel güç elde etmek için birçok sayıda fotovoltaik hücre birbirlerine paralel veya seri bağlanır. Buna fotovoltaik modül denmektedir. Şekil 2.9'da gösterilen hücreler seri ve paralel bağlanarak bir modül haline getirilir. Daha sonra bu modüller kendi aralarında paralel veya seri bağlanarak bir dizi oluşturulur ve daha fazla güç elde edilir. Uygulama da daha çok seri bağlantılı modüller tercih edilir. Bu sayede yüksek DC gerilimler elde edilir. Diziler sayesinde birkaç MW seviyelerinde sistemler oluşturulabilmektedir (Kıyanççık, 2013).

Fotovoltaik hücrelerden daha fazla enerji kazanımı için, güneş pillerinin elektriksel özellikleri iyi olmalı, güneş ışınlarının hücrelere 90° açı ile gelmesi sağlanmalı ve hava

sıcaklığının düşük olması gereklidir. Bu şartlarda fotovoltaik hücrelerden maksimum verim alınabilmektedir (Kıyançık, 2013).

2.6. TopCon hücreler

TopCon, İngilizce “Tunnel Oxide Passivated Contact” yani tünel oksit pasifleştirilmiş temas sözcüklerinin kısaltmasıdır. TOPCon güneş panelleri, güneş enerjisi sektöründe üstün hücre verimliliğiyle öne çıkmaktadır. TOPCon hücreler, P-tipi hücrelere kıyasla daha fazla güneş ışığını elektriğe çevirerek yüksek performans sunar. PERC hücrelerinin maksimum verimliliği yaklaşık %24 seviyesindeyken, TOPCon hücreleri %28’e kadar ulaşabilen verimlilik değerleriyle dikkat çeker. N-TOPCon güneş hücreleri, normal silikondan daha fazla elektron veren özel bir silikon plaka türünden yapılmış, fosfor katkılı bir güneş hücresi tipidir. P tipi ve N tipi olmak üzere 2 ana tip güneş hücresi vardır. TOPCon gibi N tipi hücreler, yüksek sıcaklıklarda daha iyi performans gösterirken zamanla daha az bozulma sergilerler. Bunun yanında düşük ışık koşullarında, P tipi hücrelere göre daha iyi performans gösterirler (Poweron, 2025).

2.7. Fotovoltaik Sistem Ekipmanları

Bir fotovoltaik sistemde güneş panelleri tek başına yeterli değildir. Güneş panellerini uygun taşıyıcı sistemlerle sabitlenmesi gerekmektedir. Güneş panellerinden doğru akım elde edildiği bu akımın alternatif akıma dönüştürülmesi gerekir. Bu akımın dönüşümü için ara ekipman olarak ise PV kablolar kullanılmaktadır. Bir fotovoltaik sistemde kullanılan ana ekipmanlar şu şekilde sıralanabilir;

- Fotovoltaik hücreler
- Eviriciler (İnverter)
- Kablo (AC ve DC)
- Taşıyıcı konstrüksiyon (Boztepe, 2017)

2.7.1. Fotovoltaik Modül

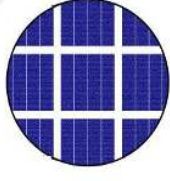
Fotovoltaik modüller hücre tiplerine ve yapılarına göre kendi arasında çeşitlere ayrılmaktadır. Bunlar polikristal, monokristal, ince film hücreler, çift yüzeyli modüller ve half-cut modüller olarak gruplandırılmaktadır.

Polikristal güneş panelleri, verimlilikleri %13-16 arasında olan çok sayıda silisyum kristali içeren panellerdir. Diğer panel çeşitlerine göre daha ucuzdur ve verimliliği düşüktür. Monokristal paneller, polikristal panellere göre yüksek saflıkta silisyum içerir.

Üretim aşamasındaki zorlukları sebebiyle daha pahalıdır. Verimlilikleri günümüzde %20’ler üzerindedir. İnce film güneş panelleri, yarı iletken malzemelerin cam, metal veya plastik yüzeylere ince bir tabaka halinde kaplanmasıyla üretilir. Bu paneller, mikrometre veya nanometre ölçeğinde ince olabilir ve uygulandıkları yüzeyin formunu alarak hafif ve esnek bir yapı kazanır. Ticari kullanıma yönelik modüllerde ince film güneş panellerinin verimlilikleri %11 ile %14 arasında iken, laboratuvar koşullarında bu oran %18’e kadar varabilmektedir (Pickerel, 2018).

Çizelge 2.3’te görüldüğü gibi maliyeti yüksek olmasına karşın monokristal hücreli panellerin daha uzun yıllar yüksek verimlilikte çalışabildiği anlaşılmaktadır. Ancak monokristal panellerin üretim sürecinin zorluğu ve maliyetinin yüksek olması, ayrıca esnek bir yapıya sahip olmamaları, diğer güneş pili türlerinin de yaygın şekilde tercih edilmesine yol açmıştır.

Çizelge 2.3. PV panellerin karşılaştırılması (Solarsena, 2024)

Özellikleri	Monokristal silikon güneş panelleri	Polikristal silikon güneş panelleri	İnce film güneş panelleri
			
Maliyet	Yüksek	Orta	Düşük
Verim	Yüksek %17-%24	Orta %14-%20	Düşük <%15
Ömür	Uzun > 25 yıl	Uzun > 25 yıl	Orta <20 yıl
Ağırlık	Ağır	Ağır	Hafif

Half-Cut ifadesi, Türkçede “yarı kesim” anlamına gelir. Normal boyuttaki hücreler, özel bir lazer kullanılarak hassas bir şekilde iki eşit parçaya ayrılır. Bu yöntemle standart güneş panellerine kıyasla daha fazla hücre içeren paneller üretilir. Panelde bulunan bypass diyotları, üst ve alt katmanları birbirinden ayıracak şekilde ortada konumlandırılmıştır. Bu tasarım, alt ve üst bölümlerin bağımsız çalışmasını sağlar. Sonuç olarak, iç direnç azalır, enerji üretimi artar ve gölgelenmeden kaynaklanan verim kaybı minimum düzeye indirilir. Hücreyi ikiye bölerken her bir yarı hücre, tüm hücre tarafından üretilen aynı voltajı üretir. Çünkü voltaj iki nokta arasında oluşan potansiyel farktır. Ve bu sayede güneş panelinden üretilen voltajın artmasına neden olur (Shukir, 2021).

Güneş enerjisini hem ön hem de arka yüzeyinden toplayarak daha yüksek verimlilik sunan gelişmiş cihazlardır. Bu paneller, saf silisyum olan monokristal silisyumdan üretilmektedir. Monokristal çift yüzeyli panellerin tasarımı, her iki yüzeyin de güneş ışığını etkin bir şekilde kullanmasını gerektirdiği için diğer panellere göre daha karmaşıktır. Bu durum, tasarım sırasında dikkate alınması gereken ek faktörlerin oluşmasına yol açar. Monokristal çift yüzeyli paneller, diğer seçeneklere göre daha yüksek bir maliyete sahiptir. Ancak, sağladıkları yüksek verimlilik sayesinde uzun vadede daha fazla enerji üretirler ve toplamda daha düşük bir maliyet sunabilirler (Smith vd., 2021).

2.7.2. Eviriciler

PV sistemlerde kullanılan eviriciler, güneş panellerinden gelen DC elektriği istenilen genlik ve frekansta AC elektriğe dönüştürür. Dönüştürülen akımın kalitesi ve sürekliliği açısından kritik bir rol oynayan eviriciler, panellerden gelen değişken gücü sabit tutarak maksimum güç çıkışı sağlar. Ayrıca, arıza tespiti ve üretilen DC güç miktarının kontrolü gibi işlemlerde de önemli bir yere sahiptir. Eviriciler, giriş kaynağı, şebeke bağlantısı, kontrol yöntemi ve çıkış gerilim seviyesi gibi kriterlere göre sınıflandırılmakta ve dağıtık üretimde farklı türleri kullanılmaktadır (Avcı, 2019).

İnverterler, şebekeye bağlı olup olmamalarına ve tek fazlı ya da üç fazlı olmalarına göre sınıflandırılır. Şebeke bağlantılı inverterler; merkezi, dizi (string) ve mikro inverter olarak üç gruba ayrılır. Merkezi inverterler, genellikle büyük güçlü santrallerde kullanılan ve güçleri megawatt (MW) seviyesinde ifade edilen inverterlerdir. Dizi inverterler, panellerin dizi bazında ayrı ayrı elektrik üretmesini sağlamak amacıyla kullanılan ve orta ölçekli arazi santralleri ile çatı uygulamalarında tercih edilen inverterlerdir. Mikro inverterler ise her panele ayrı monte edilen, küçük güçlü inverterlerdir. Şekil 2.10'da bir dizi inverter görseli bulunmaktadır (Sağlam, 2018).



Şekil 2.10. Dizi inverter

2.7.3. Solar Kablolar

PV sistem tasarımında önemli bir bileşen de kablolardır. Sistemin kablolama işlemi yapılırken, enerji kayıplarının minimize edilmesi ve olası elektrik kaçağı, kısa devre veya yangın gibi tehlikelerin önlenmesi için kabloların dikkatle seçilmesi gerekmektedir. Kabloların güvenlik standartlarına uygun olması için ulusal ve uluslararası bazı standartlar bulunmaktadır. PV sistemlerde üretilen DC elektrik, kablolar aracılığıyla eviriciye iletilir ve eviriciden (inverter) binanın elektrik şebekesine aktarılır. Ayrıca, PV sistemlerde kullanılacak kabloların güneş ışığına dayanıklı olması gerekir. Kablo seçimi yapılırken, üzerinden geçecek akıma uygun bir kesit hesaplaması yapılmalıdır (Küçükgoze, 2016).

Solar kablolama yapılırken inverter panel arası mesafelerin olabildiğince kısa tutulması gerekmektedir. Çünkü mesafe uzadıkça gerilim düşümü artar, bu da kayıplara neden olur. Bir diğer dikkat edilmesi gereken husus ise invertere bağlanan güneş panellerinin yerleşimi indüklemenin minimuma indirilmesi için (+) ve (-) polaritelerinin birbirine yakın metrajlar olacak şekilde tasarlanması büyük önem arz etmektedir (Pakma, 2010).

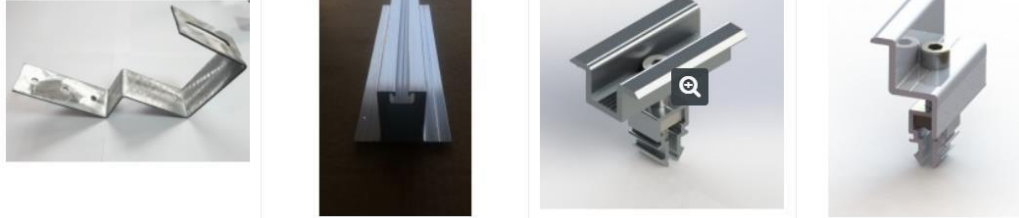
2.7.4. Taşıyıcı Konstrüksiyon

Güneş enerjisi sistemlerinde, güneş paneli ve inverterin ardından konstrüksiyonlar temel bileşenler arasında yer alır. Güneş enerji santralleri, bina, arazi ve sanayi gibi farklı alanlara kurulduğundan, çeşitli konstrüksiyon tiplerine ihtiyaç duyulur. Konstrüksiyonlar, kurulacağı bölgenin coğrafi koşullarına ve en yüksek radyasyonu alacak şekilde belirlenen eğim açısına göre tasarlanır ve monte edilir (Arslan, 2022).

Çatı tipi konstrüksiyon sistemlerinde, 6000 serisi alüminyum malzeme ve korozyona dayanıklı paslanmaz çelik bağlantı elemanları tercih edilir. Sistem, çatının tipine ve şekline göre farklılık gösterir. Düz çatılarda hafif üçgen konstrüksiyonlar, eğimli trapez ve kiremit çatılarda ise paneller doğrudan çatıya monte edilir. Kiremit çatılarda montaj, çatı kiremidinin altındaki ahşap yapıya kancalarla yapılırken, trapez çatılarda direkt çatı yüzeyine sabitlenir. Statik hesaplamalar binanın yapısına uygun şekilde yapılmalı, düz çatılarda betonun zarar görmemesi için ankraj yerine ağırlık kullanılarak sabitleme yapılmalıdır (Güneş, 2021).

Fotovoltaik güneş enerji santrallerinde kullanılan konstrüksiyon profilleri, genellikle alüminyum veya çelikten üretilmektedir. Ancak, tutucular, orta tutucular ve

sonlandırıcılar gibi aksesuarlar alüminyum malzemeden yapılır. Bunun nedeni, alüminyumun hem esnek bir yapıya sahip olması hem de korozyona karşı yüksek dayanıklılık göstermesidir. Şekil 2.11’de çatı güneş enerji santrali kurulumunda kullanılan bağlantı ve sabitleme aparatları görülmektedir (Güneş, 2021).



Şekil 2.11. Fotovoltaik güneş enerji santrallerinde kullanılan montaj aparatları

2.8. Fotovoltaik Sistem Verimine Etki Eden Faktörler

Bu bölümde fotovoltaik sistemine etki eden faktörler incelenecektir.

2.8.1. Kablo Kayıpları

PV santrallerde DC ve AC kablolar olmak üzere iki tür kablolama yapılır. Bu kabloların omik dirençlerinden kaynaklı enerji kayıpları oluşabilir. Kablolama sırasında, iletkenlerin panel güçlerine ve akım taşıma kapasitelerine uygun şekilde seçilmesi gerekir. Bir iletkenin boyu uzadıkça ve kesiti küçüldükçe direncinin arttığı bilinmektedir. Bu nedenle, kablolar üzerinden geçen akıma uygun kesitte seçilmelidir. Yanlış seçilen kesitler gerilim düşümüne yol açabilir ve küçük kesitli kablolar ısınarak yangın riski oluşturabilir. Ayrıca, gereksiz uzun kablolamalar gerilim kayıplarını ve maliyetleri artıracığı için önlenmelidir (Deniz, 2013). DC kablo kayıpları,

R : Ortalama direnç
 I_{mppt} : Maksimum güç noktası akımı
L : Kablo uzunluğu
K : İletkenlik katsayısı
S : İletken kesiti
 $P_{DCkayıp}$: DC güç kaybı
 $\%P_{Loss}$: Yüzde güç kaybı

$$P_{DCkayıp} = I_{mppt}^2 \times R \quad (2.1)$$

$$R = \frac{l}{k \times s} \quad (2.2)$$

$$\%P_{loss} = P_{DCkayıp} \times P_{Dizi} \quad (2.3)$$

2.8.2. MPPT Kayıpları

İnverter verimi, AC çıkış gücünün DC giriş gücüne oranı olarak tanımlanır. İnverter üreticileri, teknik belgelerinde yer alan verim değerlerini hesaplarken, fotovoltaik dizilerin Akım-Gerilim (I-V) eğrisinin Maksimum Güç Noktasında (MPPT) çalıştığını varsayarlar. Ancak, santral devreye alındıktan sonra, gerçek çalışma noktası çeşitli nedenlerle MPPT'den sapabilir. Örneğin, MPPT'yi tarayan cihazlar, genellikle optimum noktanın çevresinde sürekli bir salınım yapar. Bu durum, MPPT hataları ve kayıplarına yol açarak inverterin genel çevrim veriminin düşmesine neden olur. Bu kayıpları en aza indirmek için inverterlerin son derece hassas bir MPPT izleme sistemine sahip olması önemlidir (Sülü, 2019).

MPPT kayıplarını minimize etmek için özellikle çatı yerleşimlerinde aynı yöne ve güneş ışığı açısına sahip olan paneller birbirine seri bağlanmalıdır. Aynı zamanda çift veya üç girişli MPPT izleme noktalı inverterlere eşit sayıda seri paneller bağlanmalıdır.

2.8.3. Kar ve Tozlanma Kayıpları

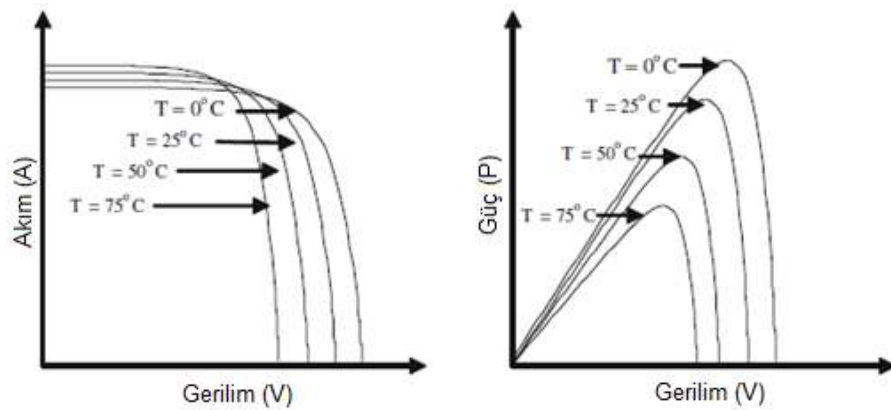
Fotovoltaik modüllerin yüzeyinde toz birikimi veya kar örtüsü nedeniyle modüllere ulaşan güneş ışıyım miktarında azalma yaşanır ve bu durum enerji kayıplarına yol açar. Şekil 2.12'de görülen fotovoltaik güneş panellerinin üst yüzeyinin kirlenmesi ya da toz tabakasıyla kaplanması, tozlanma kayıplarına neden olur (Keskin, 2019). Enerji kaybına yol açan tozlanma; yüzeyde biriken kir, toz, baca dumanları, kuş pislikleri ve modül yüzeyini kaplayan diğer maddelerden kaynaklanmaktadır. Tozlanma durumunda panelin performansı düşer, çünkü yüzeydeki toz tabakası, güneş ışıyımının panel yüzeyine ulaşmasını engelleyerek ışıyım oranını azaltır. Bu durum, panelin daha az ışıyım soğurmasına ve güç üretiminde azalmaya yol açar. Güç kaybı ise tozun yoğunluğu, türü, yağmur miktarı ve panellerin düzenli temizlenme sıklığı gibi faktörlere bağlıdır (Keskin, 2019).



Şekil 2.12. Kirli ve yeni temizlenmiş görüntüsü

2.8.4. Sıcaklık Kaybı

Sıcaklık, PV modülün açık devre ve çalışma gerilimini önemli ölçüde etkilerken, kısa devre akımı üzerinde ihmal edilebilir düzeyde bir etkisi vardır. Sıcaklık arttıkça açık devre ve çalışma gerilimi azalırken, kısa devre akımı hafif bir artış gösterir. Ancak, kısa devre akımındaki değişim açık devre gerilimine kıyasla oldukça düşük olduğu için, sıcaklık artışı modülün maksimum gücünde ters orantılı bir azalmaya neden olur. Şekil 2.13'te sıcaklığın etkisinin grafiği verilmektedir (Bilgin, 2021).



Şekil 2.13. Temizlenmiş ve tozlu panellerin görüntüsü

PV modüllerinin gerilimleri ışınlama ile doğru orantılı, sıcaklıkla ters orantılı olarak değişir. PV modüller düşük sıcaklıklarda yüksek gerilim yüksek sıcaklıklarda düşük

gerilim üretirler. Eviricinin aşırı düşük veya düşük sıcaklıklardan ya da yetersiz ışıınımdan kaynaklı olarak kapanması durumunda, evirici tekrar devreye girerken yüksek açık devre gerilimi meydana gelebilir. Eviricinin zarar görmemesi için maksimum açık devre gerilimi kontrol edilir. Herhangi bir sıcaklık değerine ait bir gerilim (2.4) formülü ile bulunur.

V_{oc} : Panel kataloğunda verilen açık devre gerilim değeri
 βV_{oc} : panel kataloğunda verilen P_{mpp} sıcaklık katsayısı
 T_a : İstenilen sıcaklık değeri
 T_{stc} : Standart sıcaklık değeri (25°C)

$$V_a = V_{oc} \times \left(1 + \beta V_{oc} \times \frac{(T_a - T_{stc})}{100} \right) \quad (2.4)$$

2.8.5. Uyumsuzluk Kayıpları

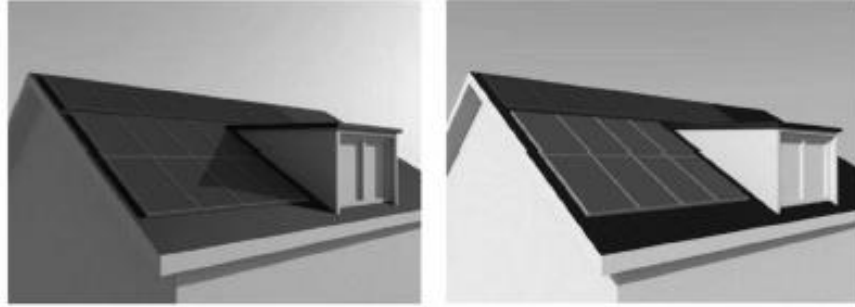
Fotovoltaik (PV) paneller, seri bağlanmış hücrelerden oluşur. Şebekeye bağlı bir PV sistemde, eviricinin çalışması için gerekli gerilim seviyesine ulaşmak amacıyla birçok PV panel seri bağlanır. Bu, yüzlerce hücrenin birbirine seri bağlı şekilde aynı DC akımda çalıştığı anlamına gelir. Ancak, tüm hücrelerin Maksimum Güç Noktası (MGN) akımının aynı olması, uyumsuzluk kayıplarını önlemek için gereklidir. Pratikte ise panellerin farklı çalışma koşullarında bulunması ve üretim toleransları nedeniyle bu durum mümkün olmaz ve kaçınılmaz olarak uyumsuzluk kayıpları meydana gelir.

Fotovoltaik (PV) bir sistemde uyumsuzluk etkisi, güç-gerilim eğrisinde küçük yerel maksimumlar oluşturarak sistemi etkileyebilir. Bu durum, Maksimum Güç Noktası (MGN) izleyici algoritmasının bu yerel maksimumlara takılmasına ve gerçek maksimum güce ulaşamamasına neden olur. Bunun sonucunda ise MGN izleme kayıpları meydana gelir. Bu nedenle, PV sistem tasarımında uyumsuzluk etkisi mutlaka dikkate alınmalıdır. Bazı sistemlerde, PV paneller MGN akımlarına göre sınıflandırılarak, birbirine yakın MGN akımlarına sahip paneller aynı dizi içinde seri bağlanır. Bu yöntemle uyumsuzluk kayıpları en aza indirilmektedir (Boztepe, 2017).

2.8.6. Gölge Kayıpları

PV sistemlerin çalışma performansı üzerinde en fazla etkisi olan etkenlerden biri de gölge etkisidir. Panel çevresindeki baca, parapet gibi yapılar veya panel grubu masaları birbirine gölge yaparak enerji kaybına neden olabilir. Güneşin konumu yıl boyunca, gün içinde ve saatlik olarak değiştiği için gölgelerin boyutu ve pozisyonu da sürekli değişir. Bir panel veya panel grubunun üzerine gölge düşmesi, sistemin çıkış gücünü ciddi şekilde

etkileyebilir. Gölgeleme kaynaklı kayıpları en aza indirmek için fotovoltaik sistem tasarımı sırasında, tasarımcı bu unsurları simülasyon programlarıyla modelleyerek analiz eder. Şekil 2.14'te gölge etkisine maruz kalmış panel grubu görülmektedir (Alaçam, 2022).



Şekil 2.14. Gölgelemeye maruz kalmış panel grubu

Herhangi bir gölge durumunda birbirine seri bağlı olan panel grubunun etkileneceği için yapılan yerleşimler bu duruma göre değerlendirilmelidir. Bu yüzden simülasyon programları tasarımcıya büyük kolaylıklar sağlayarak etkili ve verimli yerleşim yapmasını sağlar.

2.9. Literatür Taraması

Arslan, (2022) yaptığı çalışmada, Uşak ve Kayseri’de bulunan, ikisi çatı tipi ve biri arazi tipi olmak üzere toplam üç güneş enerjisi santrali, PVsyst, PV*SOL ve PVGIS simülasyon programlarını kullanarak simüle etmiştir. Bu simülasyonlardan elde edilen veriler, gerçek ölçüm sonuçları ile karşılaştırarak yazılımların doğruluk oranlarını değerlendirmiştir. Simülasyon çalışmalarının sonuçları incelendiğinde, aynı yazılımda farklı veri tabanları kullandığı zaman benzer sonuçlar elde ettiğini görmüştür. Gerçek değerlerle simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında, en yakın sonuç %3,83 hata payıyla, PVsyst yazılımı ve Meteonorm veri tabanı kullanılarak yapılan simülasyonla elde etmiştir (Arslan, 2022).

Alaçam, (2022) yapmış olduğu çalışmada, Amasya’nın Gümüşhacıköy ilçesindeki bir okulun yemekhane çatısına kurulu 10 kWp gücünde bir fotovoltaik sistemi, PVsyst V7.1.0 DEMO ve PV*SOL Premium 2022 DEMO yazılımları ile modellemiştir. Sistemin gerçek elektrik üretim verilerini ve yazılımlar tarafından hesaplanan üretim değerlerini karşılaştırmıştır. 2021 yılı için bu fotovoltaik sistemin gerçek toplam elektrik üretimi

12.473 kWh olarak kaydedilirken, PVsyst yazılımı ile bu değer 12.912 kWh, PV*SOL yazılımı ile ise 13.556 kWh olarak hesaplamıştır (Alaçam, 2022).

Gençgönül, (2023) çalışmasında, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nin mevcut kapasitesini en uygun sistem ve ekipmanlarla kullanarak maksimum elektrik enerjisi üretimini hedefleyen bir örnek güneş enerjisi santrali tasarlamıştır. Bu amaçla, öncelikli olarak en uygun panelin seçimini yapmıştır. Üniversitenin çatı alanları hesaplayarak AutoCAD yazılımı ile yerleşim planı oluşturmuştur. Bu yerleşimin görselleştirilmesi ve gölge analizi için SketchUp yazılımını kullanmıştır. Sonraki aşamalarda, üç farklı analiz programında üretim değerleri karşılaştırılarak panel seçimi, sistem düzeni ve yazılımların doğruluk oranlarını değerlendirmiştir. Bu analizlerde kullanılan programlar PVsyst, SAM ve PV*SOL'dür. En yüksek üretim değeri SAM ile elde edilirken, en düşük değeri PV*SOL ile bulmuştur. PVsyst ve SAM arasında %1,98, PVsyst ve PV*SOL arasında ise %1,21 oranında sapma olduğunu gözlemlemiştir (Gençgönül, 2023)

Aksangör, (2019) yaptığı çalışmasında, Ankara ilinde bulunan 604,8 kWp gücünde bir güneş enerji santralinin PVsyst simülasyon programıyla tasarımını yapmıştır. Yapılan tasarımda 2160 adet 280 Wp gücünde paneller ve 16 adet 32 kW gücünde evirici kullanmıştır. Yapılan simülasyon sonucunda sistemin şebekeye verdiği yıllık enerji miktarı, 712,3 MWh'tir. Sistemin performans oranı %84,1 olarak bulmuştur. Elektrik perakende satış tarifesi uyarınca bu tezin yazıldığı tarihlerde geçerli olan fiyat 0,41 TL/kWh ve sistemin yıllık ürettiği enerjinin direkt olarak kampüs binalarında kullanıldığı şebekeye aktarılmadığı durumda, sistemin getireceği katkı yıllık elektrik faturasında yaklaşık olarak 290.000 TL indirim olacağını öngörmüştür (Aksangör, 2019).

Eke, (2000) yapmış olduğu çalışmasında, Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından Didim'de kurulumu yapılan 3,8 kWp gücündeki bir santralin simülasyon ve gerçek verilerini karşılaştırmıştır. Hesaplamış olduğu değerler ile 3,8 kWp gücündeki sistemin, sabit eğim açısı için optimum hale getirildiğinde yıllık %1,25 ve sezonluk eğim açısı uygulaması yapıldığında %6,7 oranında daha fazla elektrik enerjisi elde edilebileceğini ortaya koymuştur. Simülasyon sonuçlarına göre sistemden daha fazla enerji üretilmesi için sabit eğim uygulanması durumunda eğim açısının 30° ye düşürülmesi gerektiğini tespit etmiştir (Eke, 2000).

Çekirdek, (2017) yaptığı çalışmada, Konya ili Selçuklu kasabasında ve Balıkesir ili Dursunbey kasabasında yer alan şebeke bağlantılı, fotovoltaik panel ve invertör özelliklerine sahip ve 0,883 MWe gücündeki güneş enerji santrallerinin tasarım

aşamalarını teknik ve ekonomik açıdan incelemiştir. Yapılan incelemeler sonrasında Konya’da sabit eksenli tasarım 6,4 yılda geri dönüş gerçekleştirirken Balıkesir’de bu süre 7,2 yıldır. Tek eksenli takip sistemli tasarımda Konya için geri dönüş süresi 6 yıl iken Balıkesir için bu süre 6,8 yıldır. Çift eksenli takip sistemli tasarımda Konya için geri dönüş süresini 6,5 yıl olarak hesaplamışken Balıkesir için bu süre 7,2 yıl olarak hesaplamıştır (Çekirdek, 2017).

Pietruszko ve Gradzki’nin gerçekleştirdiği 2000 yılındaki çalışmada, 1 kW kurulu güce sahip şebekeye bağlı bir fotovoltaik sistemin, IEC 61724 standartlarına uygun olarak 12 ay süresince performansı izlenmiştir. Çalışma sonucunda, sistemin 830 kWh enerji ürettiği, bu üretimin IEC 61724 standartlarına göre beklenen değerlerin üzerinde olduğu, performans oranının 0,8 seviyelerine ulaştığı ve sistem verimliliğinin %4 ila %5 arasında gerçekleştiği tespit edilmiştir (Pietruszko ve Gradzki, 2003).

Sadıkoglu, (2018) çalışmasında, Türkiye’deki lisanslı ve lisanssız güneş enerjisi santrali süreçlerini ele almış, 1 MW kapasiteli örnek bir tesis üzerinden tozlanmanın performans üzerindeki etkileri ve ekonomik analizlerini incelemiştir. Ayrıca, güneş enerjisi projelerinde kullanılan simülasyon programlarının hata oranları ve doğruluklarını değerlendirmiş, projelerde dikkate alınması gereken hata payını belirlemiştir (Sadıkoglu, 2018).

Sharma ve Gidwani, (2017) Hindistan’ın Kuta şehrindeki Rajasthan Teknik Üniversitesi kampüsünde, toplam 234 kWh güce sahip şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistemin tasarımı ve performans analizini gerçekleştirmiştir. Bu analizde PV*SOL yazılımı kullanılarak, sistemin tasarım aşamaları detaylı şekilde hesaplanmış ve değerlendirilmeler yapılmıştır. Çalışma sonucunda, PV*SOL yazılımının güvenilir sonuçlar sunması ve kapsamlı raporlama özellikleri sayesinde, güneş enerjisi sistemlerinin performansının optimize edilmesi için etkili bir araç olduğu tespit edilmiştir. Araştırmada, sistemin geri ödeme süresinin yaklaşık 11,1 yıl olduğu ve yıllık 1681 kWh enerji verimliliği sağladığı ortaya konulmuştur. Ayrıca, sistemin toplam cihaz verimliliğinin %78,7 olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, fotovoltaik sistemlerin yaygınlaştırılmasının çevresel faydalarına dikkat çekilmiş ve söz konusu sistemin yılda 228.988 kg karbondioksit emisyonunu azaltarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eden kritik bir rol oynayabileceği vurgulanmıştır (Sharma ve Gidwani, 2017).

Köçükgöze, (2016) yaptığı çalışmada, Erzincan’da planlanan 50 kW şebeke bağlantılı bir fotovoltaik santral için PVSYST programıyla ekonomik analizini yapmıştır.

Çalışmada, yıllık şebekeye aktarılan enerjinin 70.459 kWh, net gelirin 8.915,5 \$ ve yatırım maliyetinin 76.641 \$ olduğu hesaplanmıştır. Santralin amortisman süresi ise 9-10 yıl olarak belirlemiştir (Köçükgöze, 2016).

Keskinel, (2015) yapmış olduğu çalışmasında, Ankara'nın Kazan ilçesinde, 495,88 kWp kurulu güce sahip bir güneş enerji santraline (GES) ait gerçek ölçüm verileri ile PVsyst simülasyon yazılımından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Aralık 2013 ile Mart 2015 arasındaki üretim verileri analiz edilerek yapılan çalışmada, ölçülen radyasyon değerlerinin PVSYST simülasyonundaki radyasyon verilerinden %9,72 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Keskinel, 2015).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan simülasyon programları hakkında ve olup araştırması yapılan fotovoltaik güneş enerji santrallerinin bilgisi verilmiştir.

3.1. Simülasyon Programları

Yenilenebilir enerji santralleri kurulduğunda veya kurulmadan önce, ilk olarak santral konumuna bağlı olarak yıllık ya da aylık üretim verilerinin ne olacağı değerlendirilir. Bu verilerin hesaplanmasında simülasyon yazılımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, bu yazılımlar, fotovoltaik (PV) santrallerin finansman sürecinde geri dönüş hesaplamaları yapmada ve donanım geliştiricilerinin yeni malzeme verimliliklerini belirlemede de önemli bir rol oynamaktadır. Santral için çeşitli senaryolar test edilerek raporlar hazırlanır ve bu raporlar sayesinde hem yatırımcılar hem de uygulama aşamasında bir yol haritası oluşturulur (Dip, 2023).

Santral çevresinde gölgeye neden olabilecek ağaç, bina gibi çevresel faktörlerin simülasyon programına dahil edilmesi, sonuçların doğruluğunu önemli ölçüde etkiler. Bu programların doğruluk oranlarını artırmaya yönelik iyileştirmeler ve güncellemeler sürekli olarak yapılmaktadır. Doğru verilerin elde edilmesinde, programın kullanıcı deneyimi büyük bir rol oynamaktadır. Santrale özel olarak oluşturulan raporlar, önemli bilgiler sağlayarak yatırımcılara rehberlik etme açısından kritik bir öneme sahiptir.

Güneş enerji sistemlerinin analizi, simülasyonu ve enerji hesabı Homer, PV*SOL, PVsyst, Helioscope, PVWATTS, Polysun, RetScreen, PVDesign, PVGIS, BlueSol gibi programlar yardımı ile yapılabilir. Bu çalışmada ise PV*SOL ve PVsyst programları kullanılmıştır.

3.1.1. PV*SOL Programı

PV*SOL, fotovoltaik sistemlerin tasarımı ve simülasyonu için kullanılan bir yazılımdır. Bu program, cihazlar, batarya sistemleri ve elektrikli araçlar ile bütünleşik şekilde fotovoltaik sistemlerin tasarımını ve optimizasyonunu gerçekleştiren dinamik bir simülasyon aracı olarak öne çıkar. Program içerisinde 1986-2005 yıllarına ait 8.000'e yakın iklim verileri bulunmaktadır. Ayrıca kendi iklim verileriniz de programa aktarılabilir. Panel ve inverter veri tabanında 13.000 panel ve 1.300 adet inverter bulunur. 3 boyutlu çizim sayesinde çatı tipi fotovoltaik santrallerin gölgelenme alanlarını belirleyerek etkili bir yerleşim yapma imkânı sağlar (Çataklı Enerji, 2024).

Proje Verileri

Tedif no.

Proje Tasarımı

Devreye Alma

Proje Başlığı

Proje Resmi

Müşteri Detayları

Müşteri numarası

İlgili Kişi

Şirket

Telefon

Faks

E-Posta

Adres

Proje Tanımı

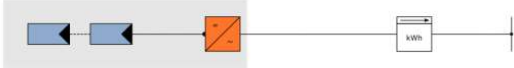
Kurulum adresi

Şekil 3.1. Proje bilgileri sayfası

Şekil 3.1’de görülen ekran programı açınca ilk olarak gelen sayfa proje bilgileri sayfasıdır. Bu sayfada proje numarası, projeyi çizen ismi, müşteri bilgileri, proje resmi ve projenin ismi gibi bilgiler bulunur.

Sistem Türü, İklim ve Şebeke

Ek türü



Tasarım Türü

☒ 3D Tasarım kullan

İklim verileri

Ülke Konum

Enlem	37° 1' 55" (37,03°)	Küresel ışınlamanın yıllık toplamı	1884 kWh/m ²
Boylam	29° 49' 8" (29,82°)	Yıllık Ortalama Sıcaklık	10,5 °C
Saat Dilimi	UTC+3		
Zaman dilimi	1991 - 2010		

[Simülasyon parametreleri](#)

Simülasyonun zaman adımı

☒ 1 Saat (daha hızlı simülasyon)
☐ 1 Dakika (daha hassas simülasyon)

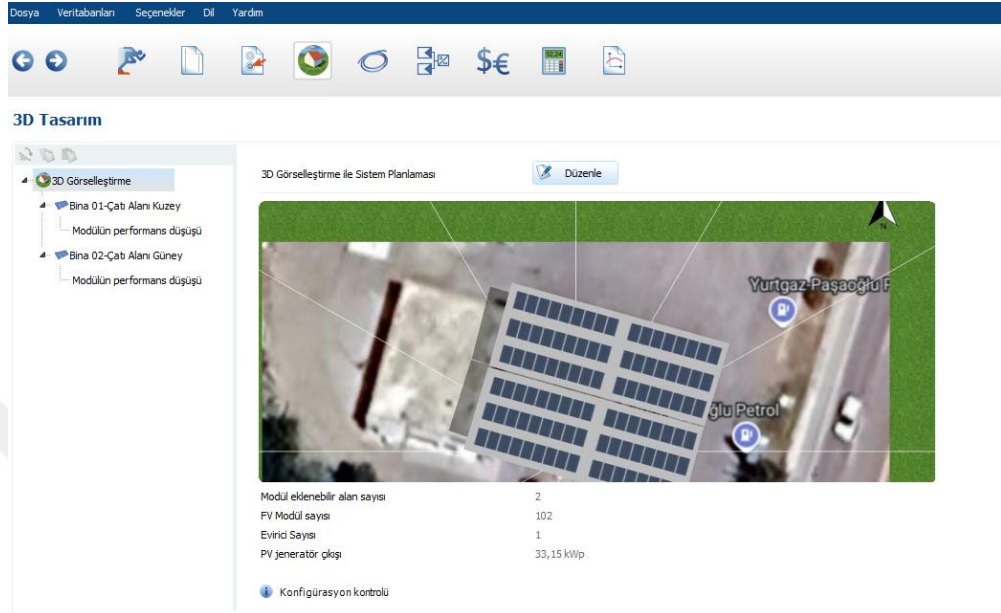
AC Şebekesi

Gerilim (N-L1)	230 V
Faz Adeti	3-fazlı
cos φ	1
Maksimum Güç Sınırlaması	Hayır

Şekil 3.2. Proje sistem türü, iklim ve şebeke sayfası

Şekil 3.2’de görülen ekranda sistem tipi, iklim bilgisi, sistemin şebekeye bağlı olup olmaması ve sistem parametreleri seçilir. Sistem türü çeşitlerinde on-grid, off-grid ve

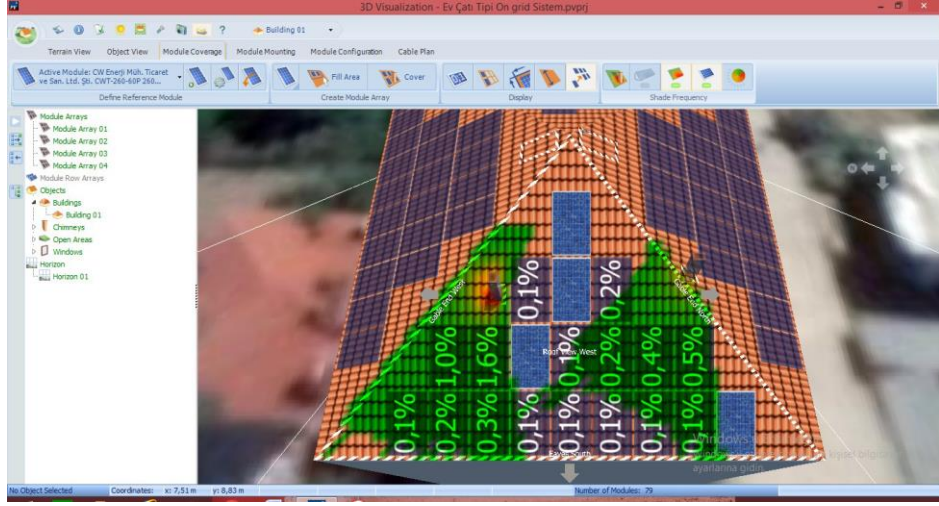
akülü sistemler mevcuttur. Seçilen sistem türüne göre program temsili bir tek hat verir. Bu sayfadan yapılacak olan tasarımın 3 boyutlu görsel içerip içermeyeceği seçilir. İklim verilerinde konuma ait veri varsa seçilir. Eğer yoksa tesisin bulunduğu konum bilgileri girilerek iklim verileri eklenir.



Şekil 3.3. 3D tasarım sayfası

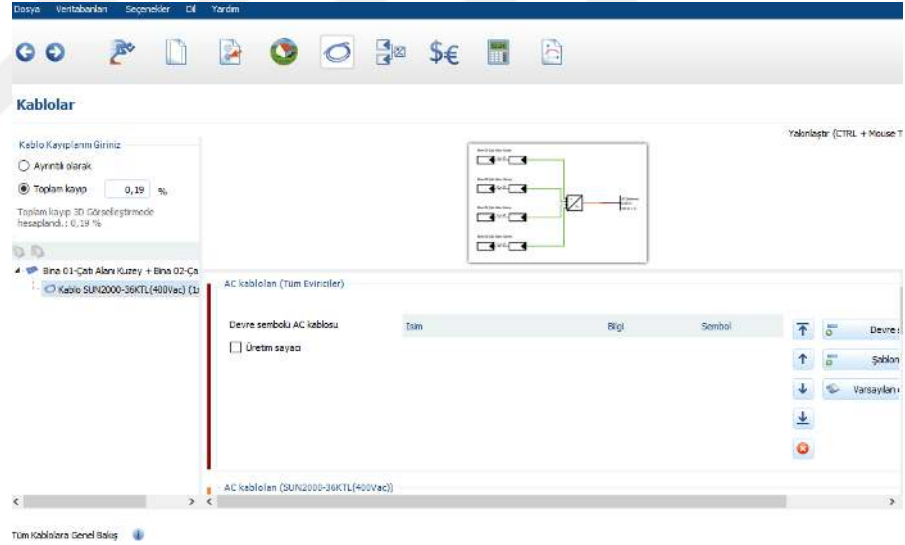
Şekil 3.3'te bulunan sayfada tesisin 3 boyutlu şekli çizilerek gölge analizinin daha iyi yapılması sağlanmaktadır. Harita üzerinden çizim yapılabileceği gibi ölçüler ve çatı şekli belirlenerek de çizim yapılabilir. Çatı çizildikten sonra program veri tabanında kullanılacak olan panel varsa seçilir, yoksa panel ekleme bölümünden kullanılacak olan panel bilgileri eklenebilir. Panel seçimi yapıldıktan sonra yerleşim yapılacak çatı bölmesine ister otomatik bir şekilde veya manuel olarak istenen şekilde yerleşim yapılabilir.

Bu aşamalardan sonra yine panel seçiminde olduğu gibi inverter seçiminde de program veri tabanında bulunan bir inverter veya belirlenen bir inverter eklenerek seçilir. Tüm seçimler tamamlandıktan sonra ayarlanan dizi serileme yöntemine göre program otomatik olarak dizileri belirler ve MPPT dağılımlarını yapar.



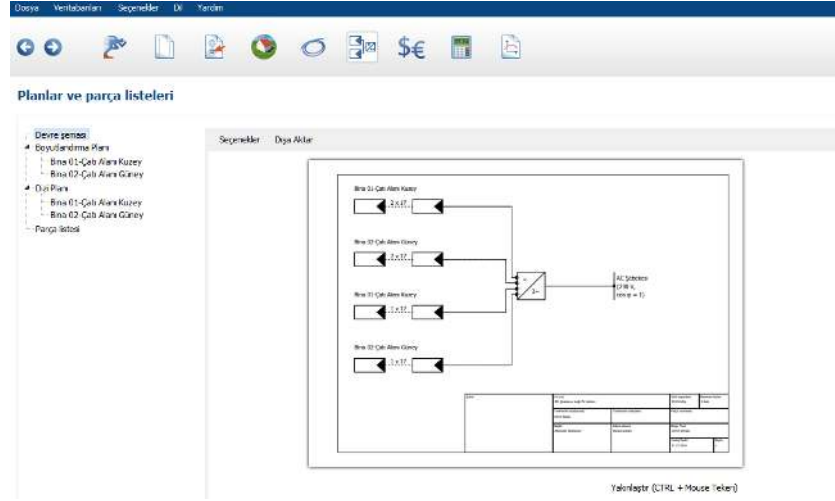
Şekil 3.4. Gölgeleme analizi sonucu

Tüm seçenekler tamamlandığı zaman sistem kaydedilir ve gölgeleme analizi yapılır. Şekil 3.4'te herhangi bir tesise ait gölgeleme analizi sonucu bulunmaktadır. Panellerin üzerinde yazan değerler paneldeki kaybolan enerji miktarını ifade etmektedir.



Şekil 3.5. Kablo kayıpları sayfası

Şekil 3.5'te bulunan sayfada ise kullanılacak olan ekipmanlar ve kablolar belirlenir. Bu sayfada ayrıca kablo metrajına göre bir kayıp da belirlenmektedir.

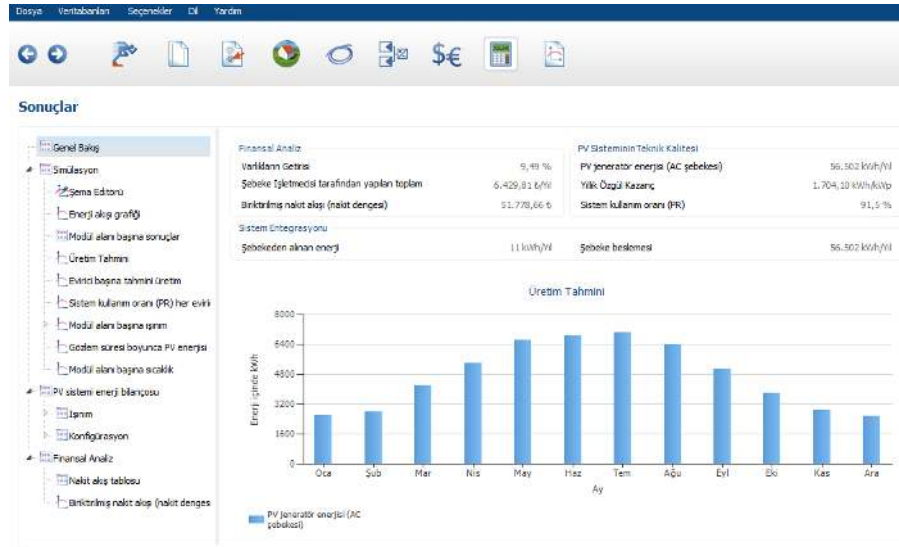


Şekil 3.6. Planlar sayfası

Şekil 3.6’da bulunan sayfada proje ait devre şemaları ve tek hat projesi yer almaktadır. Buradaki bilgiler pdf veya Excel olarak da dışarı aktarılması mümkündür.

Şekil 3.7. Finansal analiz sayfası

Şekil 3.7’de bulunan bölümde kWh başına birim fiyat tarifesi girilebilir, yıllık enerji enflasyon oranı ayarlanabilir, sistemin kaç yılda amorti edeceği görülebilir, sistem kurulurken kredi kullanılacaksa kredi tutarı girilebilir ve elektrik 3.partilere satılacaksa (dağıtım şirketleri gibi) birim fiyat girilebilir.



Şekil 3.8. Sonuçlar sayfası

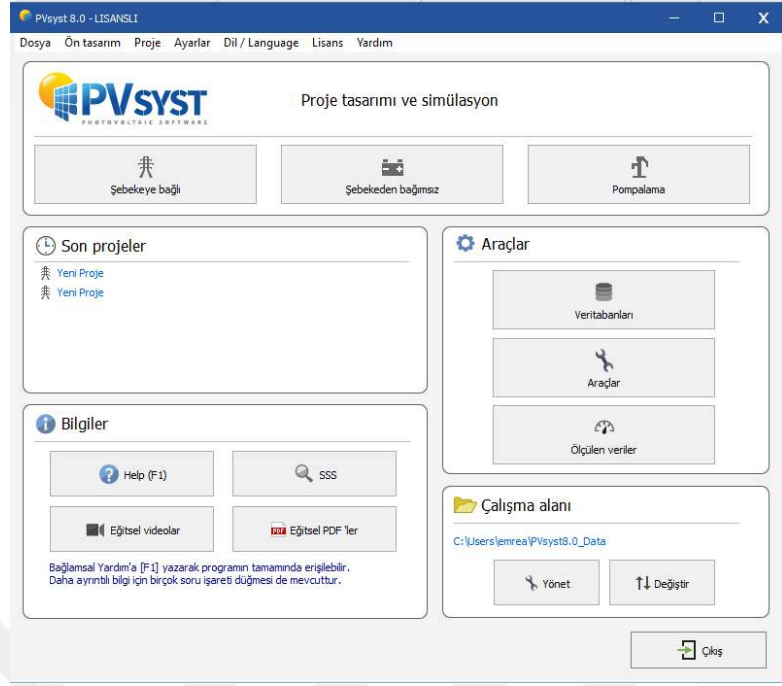
Şekil 3.8’de bulunan sonuçlar sayfasında simülasyonun yapıldığı tesise ait sonuçlar yer almaktadır. Aylara göre ve yıllık üretim tahmini, sistemin kullanım oranı gibi bilgiler bu sayfada yer almaktadır.

Tüm bu sonuçların ardından sunum sayfasında bütün bilgileri içeren bir rapor oluşturulmaktadır. Bu rapor farklı dil seçenekleri seçilerek de oluşturulabilmektedir.

3.1.2. PVsyst Programı

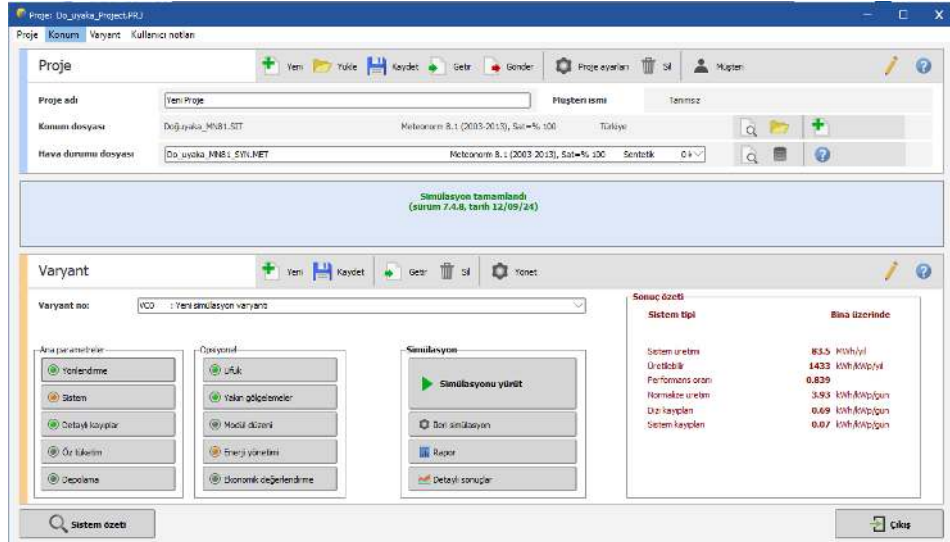
PVsyst, İsviçre Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen bir yazılımdır ve şebekeye bağlı veya bağımsız fotovoltaik sistemlerin, sulama sistemlerinin ve DC şebekelerin projelendirilmesinde kullanılabilir. Program, kullanıcıların ayrıntılı hesaplamalar yapmasına ve çeşitli parametreleri analiz etmesine olanak tanır.

PVsyst programı, saatlik veriler elde etmek için de kullanılabilir. Programın veri tabanında yer alan meteorolojik kaynaklardan biri olan Meteonorm 7.1, küresel ve dağınık ışınlama, sıcaklık ve rüzgâr hızı gibi verileri içeren aylık meteorolojik bilgileri sunmaktadır. Saatlik veriler, PVsyst içinde farklı veri kaynakları kullanılarak da elde edilebilir, ancak Meteonorm veri tabanı sıcaklık ve rüzgâr hızı bilgilerini de içerdiği için daha güvenilir sonuçlar sağlanmaktadır. (Wittner & Mermoud, 2014).



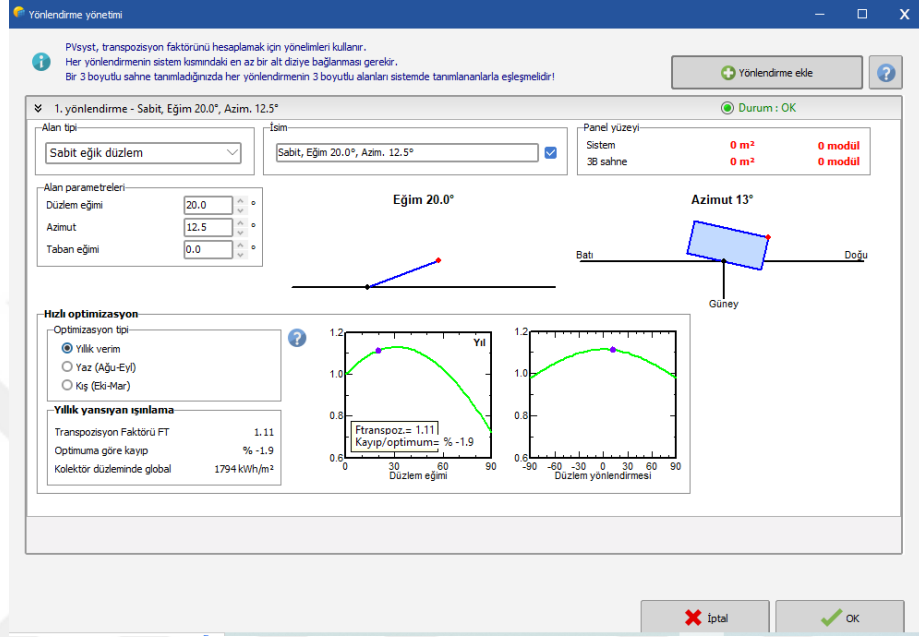
Şekil 3.9. PVsyst giriş ekranı

Şekil 3.9’da görülen ekran PVsyst programının giriş ekranıdır. Bu ekranda şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve pompalama seçeneklerinden biri seçilebilir. Araçlar kısmında ise program veri tabanındaki bilgiler yer almaktadır. Bu bilgiler arasında panellerin ve inverter katalog bilgileri, meteoroloji hava durumu bilgileri, gölgeli panellerin gerilim akım grafikleri gibi değerler bulunmaktadır.



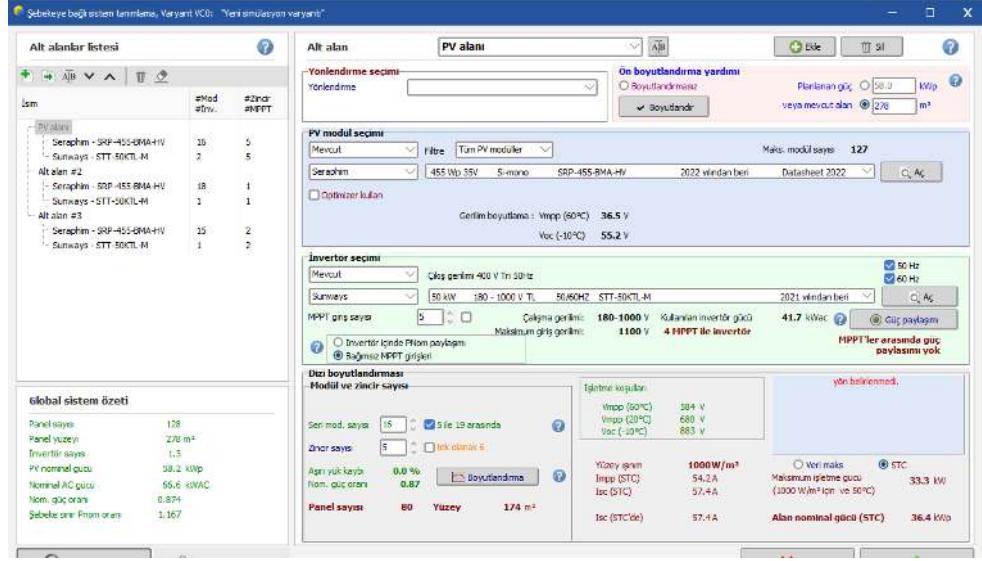
Şekil 3.10. Şebekeye bağlı proje ekranı

Şekil 3.10'da yer alan ekranda projeye ait bilgiler varyant bölümünde yer alan butonlara tıklanarak girilmektedir. Ayrıca proje bölümünden de proje konumu seçilerek konuma ait meteoroloji verileri girilmektedir. Meteoroloji veri tabanında Meteonorm 8.2, NASA-SSE, PVGIS TMY, NSRDB TMY, Solcast TMY, Solar Anywhere TGY, Solargis TMY verileri bulunmaktadır.



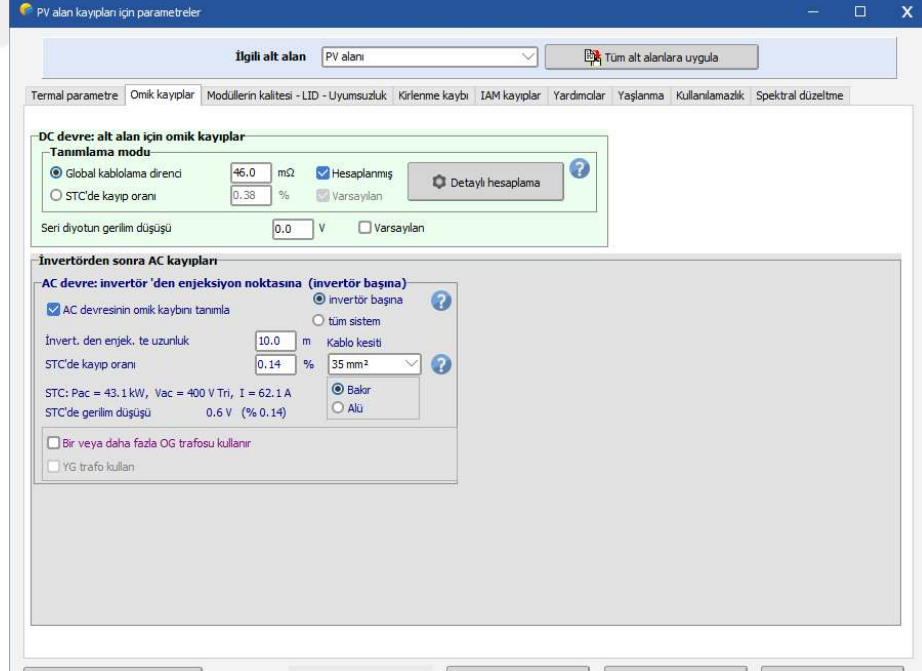
Şekil 3.11. Yönlendirme sekmesi ekranı

Şekil 3.11'de bulunan ekranda sisteme ait panel yerleşim yönleri belirlenmektedir. Alan tipinde sabit eğik düzlem, tek eksenli takipçili veya çok eksenli takipçili gibi seçenekler mevcuttur. Alan parametreleri sekmesinden panel yerleşiminin güneş ışınlam açısı ve azimut değeri girilmektedir.



Şekil 3.12. Sistem sekmesi ekranı

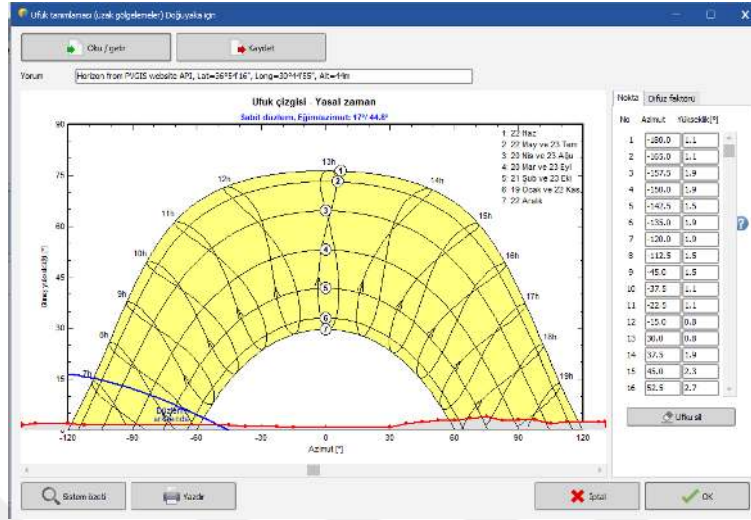
Şekil 3.12’de yer alan ekranda sisteme ait panel ve inverter bilgileri eklenmektedir. Panel bilgileri girildikten sonra planlanan güce göre veya sistemin alanına göre istenirse otomatik boyutlandırma yapılabilir. Bu boyutlandırma program içinde hesaplanan panel inverter uyumluluğuna göre manuel olarak da yapılabilir.



Şekil 3.13. Detaylı kayıplar sekmesi ekranı

Şekil 3.13’te bulunan sekmede sistem kullanılan kablolarla ait metrajlar girilerek kablo kayıpları hesaplanmaktadır. Ayrıca bu ekranda LID ve uyumsuzluk kayıpları,

kirlenme kayıpları ve sistemin kullanılmadığı zamanların kayıpları da bu sekmede tanımlanmaktadır.



Şekil 3.14. Ufuk çizgisi (uzak gölgelemeler) ekranı

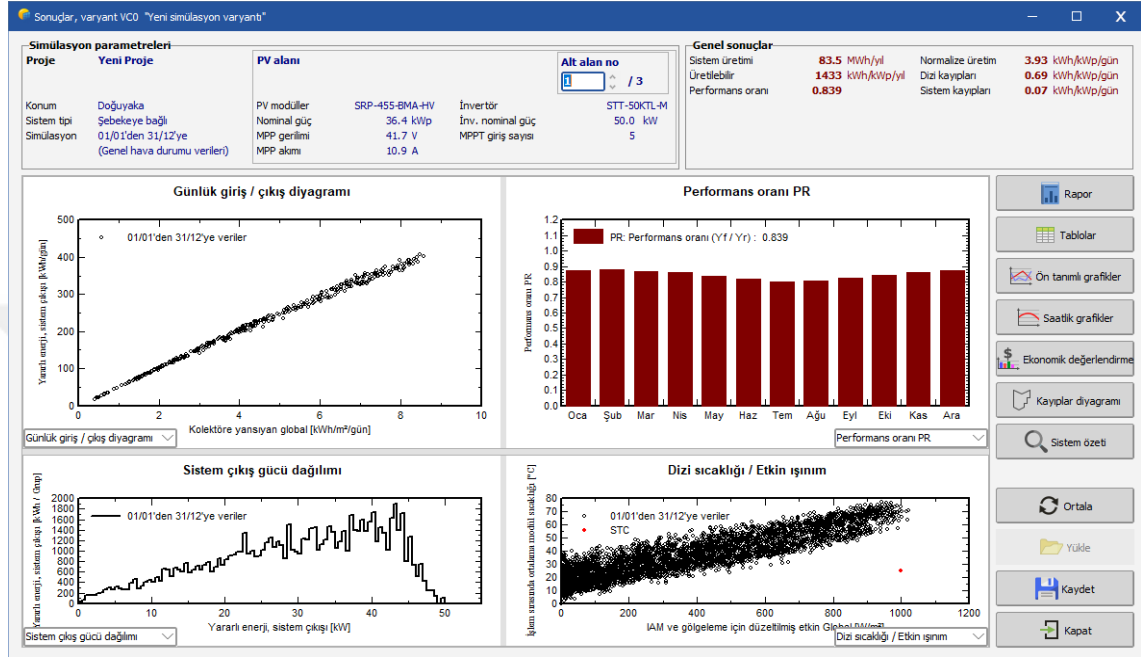
Şekil 3.14'te bulunan ekranda konuma ait ufuk çizgisi yani uzak gölgelemeleri ekleyebildiğimiz sekme görünmektedir. Oku/getir tuşuna basarak dosyadan veya programın veri tabanında bulunan meteoroloji verilerinde bilgi alınarak projeye eklenmektedir.

Şekil 3.15. Yakın gölgelemeler ekranı

Şekil 3.15'te bulunan ekranda sistemin 3 boyutlu görünümü üzerinden gölgeleme analizi yapılmaktadır. Diğer programlara göre 3 boyutlu çizim bu programda zaman alıcı

olduğu için Sketchup gibi programlarda çizim yapıp, çizim PVsyst programına aktarılabilir.

Tüm ayarlamalar yapıldıktan sonra simülasyonu yürüt sekmesine basılarak sistemin simülasyonu yapılır. Şekil 3.16'da simülasyon sonuçlarına ait ekran görüntüsü verilmektedir.



Şekil 3.16. Simülasyon sonuçları ekranı

3.2. Karşılaştırma Yapılan Santral Bilgileri

Bu araştırmada, Antalya ilinde bir yıldan fazla süredir faaliyet gösteren ve Çizelge 3.1'de bilgileri yer alan güneş enerji santralinin gerçek enerji üretim verileri ile simülasyon programlarıyla yapılan simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışma, Antalya ilinde kurulu gücü 560,7 kWp olan bir kimya fabrikası çatı üstü güneş enerji santrali örnek alınarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1. Araştırma yapılan santral bilgileri

Güneş Enerji Santral Adı	Kurulu Güç (kWp)	Kurulu Güç (kWe)	Konum	Kurulum Tipi	Gerçek Veri Aralığı
Kimya Fabrikası Güneş Enerji Santrali	560,7	550	Antalya	Çatı	Ocak 2024-Aralık 2024

3.2.1. Kimya Fabrikası Güneş Enerji Santrali

Kimya fabrikası güneş enerji santrali Antalya ilinde ve 37°04'10.54" Kuzey 30°37'47.73" Doğu koordinatlarında yer almaktadır. Santral kurulu güçleri 560,7 kWp / 550 kWe'dir.



Şekil 3.17. Kimya fabrikası güneş enerji santrali uydu görüntüsü

Şekil 3.18’de gösterildiği gibi, kimya fabrikasında kurulu güneş enerjisi santralinin çatı eğimi 6° ve azimut açısı 10° ’dir. Çatı, bir tarafı kuzeye, diğer tarafı ise güneye bakan iki yönlü olarak tasarlanmıştır. Her bir yön için sırasıyla 468 ve 600 panel bulunmaktadır. Santrale ait detaylar ise Çizelge 3.2’de sunulmaktadır.

Çizelge 3.2. Kimya fabrikası güneş enerji santrali teknik bilgiler

Parametre	Açıklama
İl	Antalya
Uygulama Yeri	Çatı
Kullanılan PV Modül	Kalyon M10-144
Panel Gücü (Wp)	525
Panel Adedi	1068
İnverter Marka-Model	Huawei Sun2000-50KTL-M3
İnverter AC Gücü (kWe)	50
İnverter Adedi	11
Toplam DC Güç (kWp)	560,7
Anlaşma Gücü (kWe)	550

Çizelge 3.3. Kimya fabrikası güneş enerji santrali güç bilgileri

İnverter Numarası	Panel Sayısı	Panel Gücü (Wp)	DC Güç (kWp)
1	108	525	56,7
2	96	525	50,4
3	96	525	50,4
4	96	525	50,4
5	96	525	50,4
6	96	525	50,4
7	96	525	50,4
8	96	525	50,4
9	96	525	50,4
10	96	525	50,4
11	96	525	50,4

Şekil 3.19 ve Çizelge 3.3'teki verilere göre, fabrikanın güneş enerji santralinde 11 adet 50 kW gücünde dizi inverter ve 1068 adet 525 Wp gücünde güneş paneli kullanılmıştır. İlk inverter dışında, her invertere 8 dizi (her biri 8x12=96 panel) bağlanmıştır. İlk inverterin ilk iki dizisinde 18'er panel, diğer dizilerde ise 12'şer panel bulunmaktadır. İlk invertere bağlı DC güç 56,7 kWp olup, DC/AC oranı 1,134'tür. Diğer inverterlerde ise DC güç 50,4 kWp olup, DC/AC oranı 1,008'dir. Santralde kullanılan fotovoltaik panellere dair teknik bilgiler Çizelge 3.4'te, inverterlere ait teknik bilgiler ise Çizelge 3.5'te yer almaktadır.

Çizelge 3.4. Kimya fabrikası güneş enerji santrali kullanılan PV modül bilgileri

Açık Devre Voltajı (V_{oc})	49,05 V
Maksimum Güç Gerilimi (V_{mp})	41,2 V
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	12,75 A
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	13,66 A
V_{oc} Sıcaklık Katsayısı	-0,28 %/°C
P_{max} Sıcaklık Katsayısı	-0,37 %/°C
Boyutlar (mm)	2285x1134x30

Çizelge 3.5. Kimya fabrikası güneş enerji santrali kullanılan inverter katalog bilgileri

Maksimum DC Giriş Gerilimi [V]	1100
MPPT Giriş Gerilim Aralığı [V]	200-1000
Maksimum Giriş Akımı [A]	30
Bağımsız MPPT Sayısı/ Dizi Giriş Sayısı	4/2
Nominal AC Çıkış Gücü (kVA)	50
Nominal AC Şebeke Gerilimi (V)	400
Maksimum AC Çıkış Akımı (A)	79,8

Bu çalışmada, güneş enerji santralinin Ocak 2024 ile Aralık 2024 arasındaki dönemde ürettiği aylık enerji miktarı, spesifik üretim, ısıtım ve performans oranı değerleri Çizelge 3.6’da yer almaktadır.

Çizelge 3.6. Kimya fabrikası güneş enerji santrali gerçekleşen üretim verileri

Ay	Gerçekleşen Üretim (kWh)
Ocak	29.972
Şubat	41.168
Mart	58.133
Nisan	73.063
Mayıs	79.353
Haziran	87.517
Temmuz	85.470
Ağustos	71.891
Eylül	68.308
Ekim	61.090
Kasım	35.573
Aralık	20.384
TOPLAM	711.922

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Antalya ilinde bulunan bir fabrikanın PV*SOL ve PVSyst programları ile simülasyonları yapıp gerçek üretim değerleri karşılaştırılmıştır. Bu bölümde tesise ait güneş enerji santralinin iki farklı programda simülasyon sonuçlarının ve inverter markasına ait izleme sisteminden gerçek üretim değerleri alınmıştır.

4.1. PV*SOL ile Tesisin Simülasyonu

Programa tesis ile ilgili girildikten sonra gölge alanlarının kaybını hesaplaması için 3 boyutlu görseli çizilir. PV*SOL programında tanımlı olmayan güneş paneli bilgileri panelin katalog bilgileri incelenerek programa aktarılmıştır. Tesiste kullanılan inverter modeli programda tanımlı olduğu için aynı şekilde seçilmiştir.

3 boyutlu çizim yapılırken harita kullanılarak tesisin yeri seçildiği için azimut açısı da otomatik olarak tanımlanmıştır. Çizim yapılırken çatı eğimi 6° derece olacak şekilde ayarlanmıştır. Çatı çizimi bittikten sonra modül yerleşimi otomatik yapılabileceği gibi manuel olarak da yapılabilmektedir. Simülasyon sonuçlarının net olması sebebiyle panel yerleşimleri manuel olarak ve projede yapıldığı gibi çizilmiştir.



Şekil 4.1. Tesisin PV*SOL programında 3 boyutlu çizilmiş görüntüsü

İnvertörler

Modül alanlarını birlikte konfigüre ediniz

Bina 01-Çatı Alanı Kuzey + Bina 01-Çatı Alanı Gü...

İNVERTÖRLER 1: ☐ Çoklu Dizi Konfigürasyonu

1 x Huawei Technologies SUN2000-50KTL-M3-400V 56,7 kWp

☐ Güç İyileştiricisi

MPP 1: 2 Diziler x 18 Seri bağlı modüller Bina 01-Çatı Alanı Kuzey

MPP 2: 2 Diziler x 12 Seri bağlı modüller Bina 01-Çatı Alanı Kuzey

MPP 3: 2 Diziler x 12 Seri bağlı modüller Bina 01-Çatı Alanı Kuzey

MPP 4: 2 Diziler x 12 Seri bağlı modüller Bina 01-Çatı Alanı Kuzey

İNVERTÖRLER 2: ☐ Çoklu Dizi Konfigürasyonu

1 x Huawei Technologies SUN2000-50KTL-M3-400V 50,4 kWp

☐ Güç İyileştiricisi

MPP 1: 2 Diziler x 12 Seri bağlı modüller Bina 01-Çatı Alanı Kuzey

MPP 2: 2 Diziler x 12 Seri bağlı modüller Bina 01-Çatı Alanı Kuzey

MPP 3: 2 Diziler x 12 Seri bağlı modüller Bina 01-Çatı Alanı Kuzey

MPP 4: 2 Diziler x 12 Seri bağlı modüller Bina 01-Çatı Alanı Kuzey

İNVERTÖRLER 3: ☐ Çoklu Dizi Konfigürasyonu

1 x Huawei Technologies SUN2000-50KTL-M3-400V 50,4 kWp

☐ Güç İyileştiricisi

MPP 1: 2 Diziler x 12 Seri bağlı modüller Bina 01-Çatı Alanı Kuzey

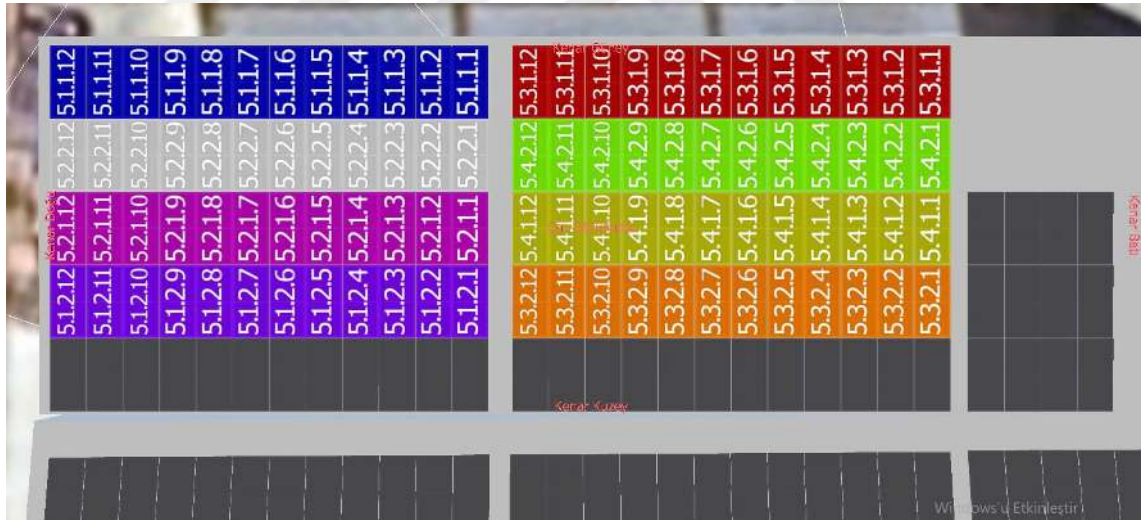
MPP 2: 2 Diziler x 12 Seri bağlı modüller Bina 01-Çatı Alanı Kuzey

MPP 3: 2 Diziler x 12 Seri bağlı modüller Bina 01-Çatı Alanı Kuzey

MPP 4: 2 Diziler x 12 Seri bağlı modüller Bina 01-Çatı Alanı Kuzey

Şekil 4.4. İnverter dizi dağılımları

Şekil 4.4'te bulunan sayfada her bir inverterin projesine göre dizi dağılımının yapıldığı ekran bulunmaktadır. Bu sayfada inverter modeli seçimi ve çatıdaki panellerin dağılımına göre diziler belirlenmektedir.



Şekil 4.5. Panel-İnverter konfigürasyonu

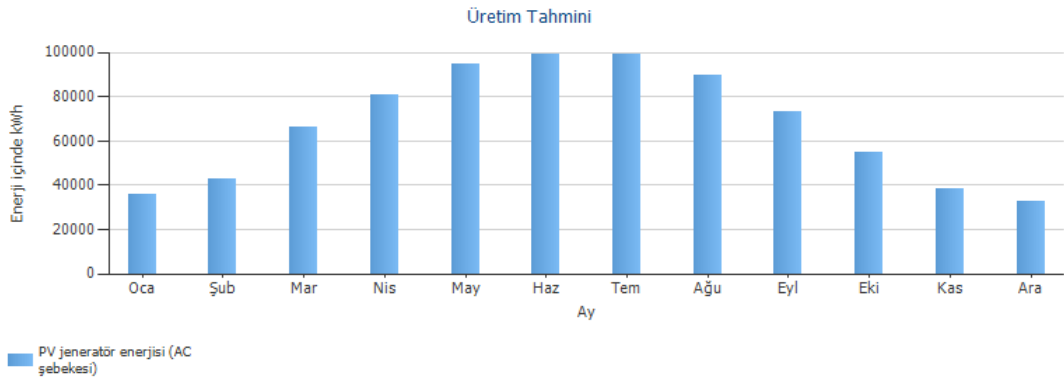
Şekil 4.5'te bulunan görselde inverter-5'e ait panel konfigürasyonu yer almaktadır. Her bir seride panel ve invertere göre kodlama bulunmaktadır. Panelin üzerinde bulunan kodlamada ilk rakam inverter numarasını, ikinci rakam MPPT numarasını, üçüncü rakam MPPT dizi numarasını ve son rakam ise seride bulunan kaçınıcı panel olduğunu göstermektedir.

4.2. PV*SOL Simülasyon Sonuçları

Bütün seçenekler tamamlandıktan sonra proje kaydedilir ve simülasyon değerlerini almak için hesaplama sekmesine basılır. Burada belirlenen hassas veya hızlı hesaplama süresine göre simülasyon yapılır.

Çizelge 4.1. Simülasyon sonuçlarının üretim değerleri

Aylar	Üretilen Enerji (kWh)
Ocak	34.746
Şubat	41.849
Mart	65.469
Nisan	80.324
Mayıs	94.016
Haziran	97.990
Temmuz	98.534
Ağustos	88.890
Eylül	72.027
Ekim	53.533
Kasım	36.979
Aralık	31.160
Toplam	795.522



Şekil 4.6. Simülasyon sonuçları grafiği

Çizelge 4.1’de simülasyon sonuçları incelendiğinde tesisin yıllık olarak toplamda 806.956 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. En yüksek üretimin temmuz ayında 99.362 kWh/ay, en düşük üretimin ise aralık ayında 32.362 kWh/yıl olarak gerçekleşeceği görülmektedir.

Toplam PV Işınımı	4.694.943,80 kWh	
Kirlenme	-140.841,73 kWh	-3,00 %
STC Dönüşümü (Modülün nominal verimliliği 20,35 %)	-3.627.508,67 kWh	-79,65 %
Anma PV Enerjisi	926.593,39 kWh	
modüle özgü kısmı gölgeleme	-4.628,38 kWh	-0,50 %
Düşük ışık performansı	-28.497,19 kWh	-3,09 %
Nominal modül sıcaklığından sapma	-54.868,42 kWh	-6,14 %
Diyotlar	-57,83 kWh	-0,01 %
Uyumsuzluk (üretici bilgisi)	-16.770,83 kWh	-2,00 %
Uyumsuzluk (konfigürasyon / gölgeleme)	-2.333,64 kWh	-0,28 %
Dizi Kablosu	-4.401,47 kWh	-0,54 %
Evirici düzenleyici olmadan PV enerjisi (DC)	815.035,63 kWh	
DC başlangıç çıkışına ulaşamadı	-33,97 kWh	0,00 %
MPP-gerilim aralığı için düzenleme	-1,69 kWh	0,00 %
Maks. DC Akımı için düzenleme	0,00 kWh	0,00 %
Maks. DC Performans için düzenleme	0,00 kWh	0,00 %
Maks. AC Performans/cos phi için düzenleme	0,00 kWh	0,00 %
MPP Eşleme	-100,79 kWh	-0,01 %
PV Enerjisi (DC)	814.899,18 kWh	
Evirici Girişindeki Enerji	814.899,18 kWh	
Giriş gerilimi anma geriliminden sapıyor	-2.347,04 kWh	-0,29 %
DC/AC Dönüştürme	-16.419,78 kWh	-2,02 %
Bekleme Konumundaki Tüketim (İnvertörler)	-263,42 kWh	-0,03 %
AC kabloları	-610,40 kWh	-0,08 %
Bekleme Konumundaki Kullanımı Hariç PV Enerjisi (AC)	795.258,54 kWh	
PV jeneratör enerjisi (AC şebekesi)	795.521,96 kWh	

Şekil 4.7. Simülasyon sonuçları kayıplar tablosu

Şekil 4.7’de bulunan sayfada ise simülasyon sonuçlarının kayıpları gözükmektedir. Buna göre meydana gelen çeşitli kayıplar sıcaklık nedeniyle %6.14, kablo kayıpları %0,62, gölgeleme %0,5 ve mismatch (uyumsuzluk) kayıpları %2’dir.

4.3. PVsyst ile Tesisin Simülasyonu

Santralin konumu, manuel olarak veya enlem-boylam verileri girilerek simülasyon programında tanımlanır. Meteorolojik veri kaynağı olarak ise, PV*SOL yazılımının sonuçlarıyla karşılaştırma yapabilmek amacıyla Meteonorm verileri tercih edilmiştir.

Şekil 4.8’de yer alan görselde Meteonorm veri tabanına ait meteorolojik veriler yer almaktadır. Bu verilerin içinde global yatay ışınlama, yatay difüz ışınlama, sıcaklık, rüzgâr hızı, linke bulanıklığı ve bağıl nem bulunmaktadır.

Coğrafi koordinatlar

Aylık hava durumu

İnteraktif harita

Konum

Clone (Türkiye)

Veri kaynağı

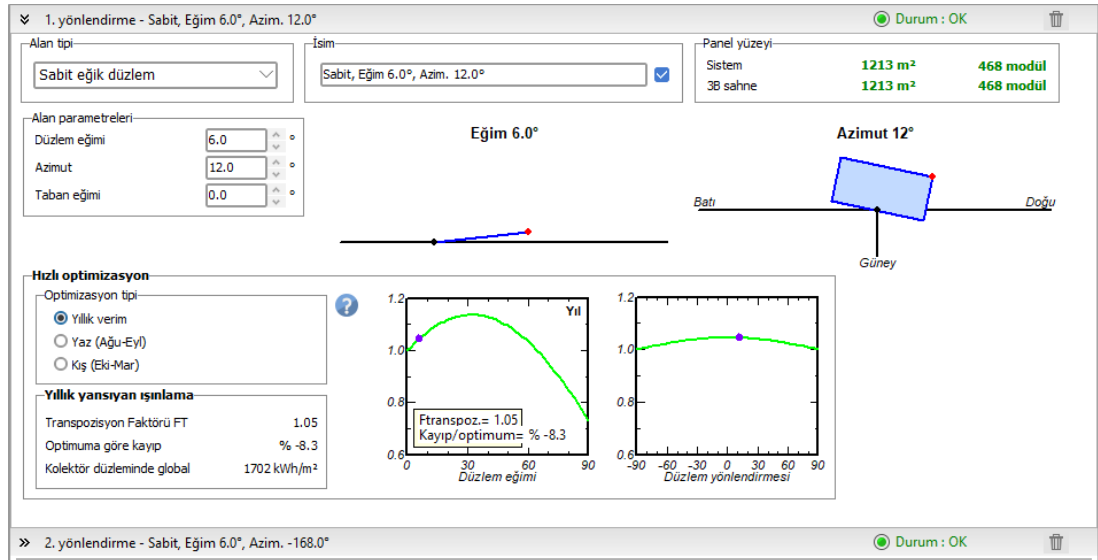
Clone_MN82.SIT -- Meteonorm 8.2 (2003-2013), Sat=% 100

	Global yatay ışınlama	Yatay difüz ışınlama	Sıcaklık	Rüzgar hızı	Linke bulanıklığı	Bağıl nem
	kWh/m²/ay	kWh/m²/ay	°C	m/s	[-]	%
Ocak	67.0	28.7	8.8	3.10	3.114	64.8
Şubat	76.5	40.4	10.0	3.10	3.476	63.7
Mart	121.2	55.4	12.6	2.89	4.034	61.9
Nisan	151.2	75.3	15.6	2.70	4.666	63.1
Mayıs	192.3	74.9	20.3	2.50	4.305	60.8
Haziran	211.7	83.4	24.8	2.60	3.716	53.9
Temmuz	219.3	73.7	28.5	2.60	3.778	49.7
Ağustos	191.9	75.6	28.7	2.50	3.864	51.5
Eylül	155.4	56.6	24.4	2.60	3.654	54.7
Ekim	107.1	50.3	19.7	2.60	3.541	55.6
Kasım	74.9	37.6	14.1	2.50	3.259	63.4
Aralık	59.5	29.3	10.2	2.80	3.131	65.0
Yıl	1628.0	681.2	18.1	2.7	3.711	59.0

Global yatay ışınlama yıldan yıla değişkenlik 4.8%

Şekil 4.8. Meteonorm veri tabanı meteorolojik verileri

Şekil 4.9'daki ekranda sistemin yönü, eğimi, azimut açısı gibi parametreler belirlenmektedir. 1.yön için çatı eğimi 6° derece, azimut açısı 12° derece ve 2.yön için ise çatı eğimi 6° derece, azimut açısı -168° derece olarak ayarlanmıştır.



Şekil 4.9. Tesisin sistem tasarımı

Şekil 4.10'da bulunan ekranda tesiste kullanılan panel, inverter bilgileri tanımlanır. Kullanılacak olan inverter adedi ve yönlere göre seri dağılımları bu ekranda yapılmaktadır.

Alt alanlar listesi

İsim	#Mod #Inv.	#Zincir #MPPT
PV alanı - Karşık #2 ve #1	12	89
Kalyon - KALYON 525wp	11	1
Huawei Technologies - SUN2000...		

Global sistem özeti

Panel sayısı	1068
Panel yüzeyi	2767 m ²
Invertör sayısı	11
PV nominal gücü	561 kWp
Nominal AC gücü	550 kWAC
Nom. güç oranı	1.019

Alt alan **PV alanı**

Yönlendirme seçimi

Yönlendirme: #2: Sabit, Eğim 6.0°, Azim. -168.0°
#1: Sabit, Eğim 6.0°, Azim. 12.0°

Ön boyutlandırma yardımı

Boyutlandırma: Planlanan güç: 560.0 kWp
veya mevcut alan: 2767 m²

PV modül seçimi

Mevcut: Filtre: Tüm PV modülleri

Kalyon: 525 Wp 35V Si-mono KALYON 525wp 2021 yılından beri Datasheets 2021

Optimizör kullan: ☐

Gerilim boyutlama: Vmpp (60°C) 35.4 V
Voc (-10°C) 54.0 V

İnvertör seçimi

Mevcut: Çıkış gerilimi 400 V Tri 50Hz

Huawei Technologies: 50 kW 200 - 1000 V TL 50/60 Hz SUN2000-50KTL-M3-400V 2022 yılından beri

İnvertör sayısı: 11

Çalışma gerilimi: 200-1000 V İnvertör global gücü: 550 kWac

İnvertör içinde PNom paylaşımı: ☒ Maksimum giriş gerilimi: 1100 V 4 MPPT ile invertör

Dizi boyutlandırma

Modül ve zincir sayısı:

Seri mod. sayısı: 12 6 ile 20 arasında

Zincir sayısı: 89

Aşırı yük kaybı: 0.0 %

Nom. güç oranı: 1.02

Yönlendirme: 50 39 2. yön

İşletme koşulları

Vmpp (60°C) 425 V
Vmpp (20°C) 496 V
Voc (-10°C) 647 V

Yüzey ısıtım: 1000 W/m²

Imp (STC) 1135 A
Isc (STC) 1216 A

Veri maks: ☒ STC

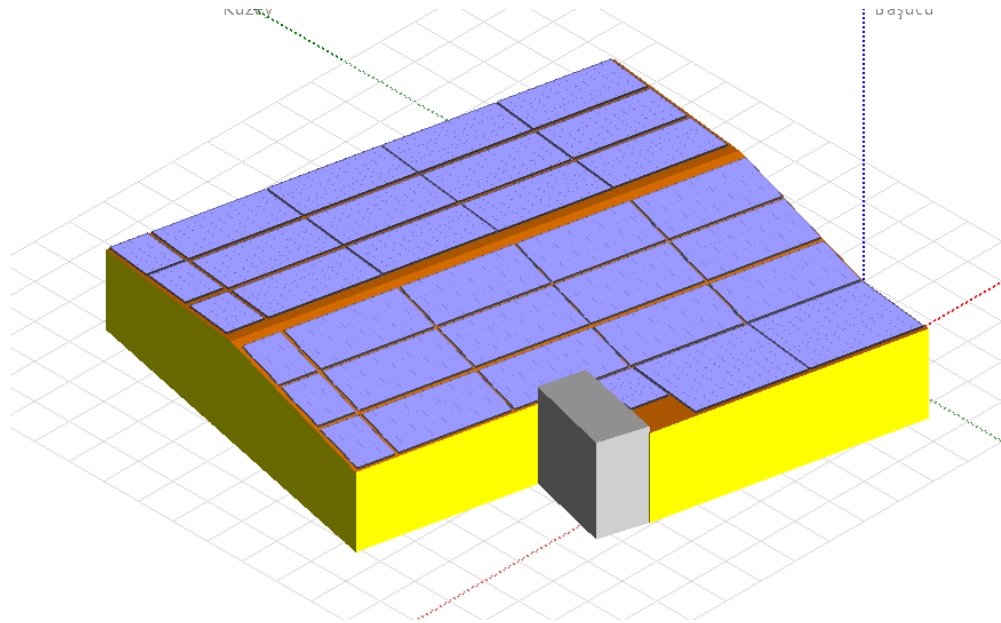
Maksimum işletme gücü (1000 W/m² igr. ve 50°C): 513 kW

Alan nominal gücü (STC): 561 kWp

Sistem özeti **Tek hat şeması** **İptal** **OK**

Şekil 4.10. Tesisin sistem tasarımı-2

Şekil 4.11'de tesisin 3 boyutlu görüntüsü programın içinde yer alan yakın gölgelemeler sekmesinden çizilmiştir.



Şekil 4.11. Tesisin PVsyst programında 3 boyutlu çizilmiş görüntüsü

Şekil 4.12. AC ve DC kablo gerilim düşümü tanımlaması

Şekil 4.12'de gösterildiği gibi, inverter ile GES-ADP arasındaki kablo kayıpları, kullanılan kablo türü (Bakır/Alüminyum), kesiti ve ortalama uzunluğu dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Panellerden invertere enerji iletiminde kullanılan DC kablolarında belirli bir gerilim düşümü meydana gelir ve bu değer ortalama %1,5 olarak kabul edilir. Ayrıca, panellerin yakınındaki baca, parapet gibi engeller nedeniyle panel yüzeyine gölge düşmesi durumunda, panel junction box içindeki bypass diyotlar devreye girerek gölgelenen bölümü devre dışı bırakır. Bu süreç içinde, diyot üzerinde yaklaşık 0,7 V'luk bir gerilim düşümü oluşur. Santralin tek hat şemasında belirtildiği üzere, inverter ile GES-ADP arasındaki bağlantıda 3x35/16 mm² kesitinde bakır kablo kullanılmış olup, kablo uzunluğu ortalama 10 metre olarak belirlenmiştir.

Fotovoltaik santraldeki panellerin çevresindeki bacalar, kuş pislikleri, egzoz gazları ve diğer çevresel faktörler, panel yüzeyine gelen ışınım miktarını azaltabilir. Işınımındaki azalma, santralin ürettiği enerji miktarının düşmesine sebep olur. Bu etki Şekil 4.13'te görüldüğü gibi yazılımda yıllık %3 oranında hesaplandığı ifade edilmiştir.

Yıllık kirlenme faktörü

Yıllık kayıp faktörü 3.0 % ☐ Varsayılan ?

☐ Aylık değeri belirle

Sistem özeti Kayıp grafiği İptal OK

Şekil 4.13. Kirlenme kaybının tanımlaması

Simülasyon programına tüm veriler ve kayıplar tanımlandıktan sonra, program gerekli hesaplamaları yaparak santralin aylık ve yıllık üretim değerlerini, performans oranını ve oluşacak kayıpları içeren bir rapor oluşturmaktadır.

4.4. PVsyst Simülasyon Sonuçları

PVsyst programı ile gerçekleştirilen sistem üretim analizinde, simülasyon sonuçları üzerinden Antalya parametreler değerlendirilmiştir. İlk olarak, 560,7 kWp gücündeki güneş enerji santralinin yıllık enerji üretimi 721,17 MWh olarak hesaplanmıştır. Meteonorm veri tabanına göre, ili için yatay düzlemde yıllık küresel ışıınım değeri 1627,9 kWh/m² olarak belirlenmiş olup, bu değer Şekil 4.14'te gösterilmektedir.

Optik düzeltmeler dikkate alınmadan, toplayıcı yüzeyinde yıllık bazda küresel ışıınım 1617 kWh/m², optik kayıpların ardından etkin küresel ışıınım ise 1504,2 kWh/m² olarak belirlenmiştir. Bu ışıınım değerleri doğrultusunda, fotovoltaik diziden elde edilen toplam yıllık DC enerji 740,69 MWh, şebekeye aktarılan toplam yıllık AC enerji ise 721,17 MWh olarak hesaplanmıştır. Santralin performans oranı %79,5 olarak belirlenirken, şebekeye maksimum aylık enerji aktarımının 93,89 MWh ile temmuz ayında gerçekleşeceği öngörülmektedir.

Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	67.0	28.70	8.84	65.7	59.1	31.33	30.43	0.826
Şubat	76.5	40.42	9.98	75.5	69.1	36.33	35.34	0.835
Mart	121.2	55.42	12.57	120.1	111.2	57.11	55.59	0.826
Nisan	151.2	75.26	15.59	150.3	140.4	70.94	69.11	0.820
Mayıs	192.3	74.91	20.28	191.8	180.2	87.79	85.49	0.795
Haziran	211.7	83.38	24.80	211.5	199.1	95.14	92.69	0.782
Temmuz	219.3	73.68	28.49	218.9	205.9	96.38	93.89	0.765
Ağustos	191.9	75.56	28.65	191.1	179.6	84.80	82.61	0.771
Eylül	155.4	56.65	24.44	154.2	143.3	69.60	67.81	0.784
Ekim	107.1	50.31	19.72	105.9	97.5	48.95	47.66	0.803
Kasım	74.9	37.62	14.10	73.7	66.7	34.71	33.76	0.817
Aralık	59.5	29.32	10.24	58.3	52.2	27.60	26.79	0.819
Yıl	1627.9	681.22	18.19	1617.0	1504.2	740.69	721.17	0.795

Açıklama

GlobHor Global yatay ışınlama

DiffHor Yatay difüz ışınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

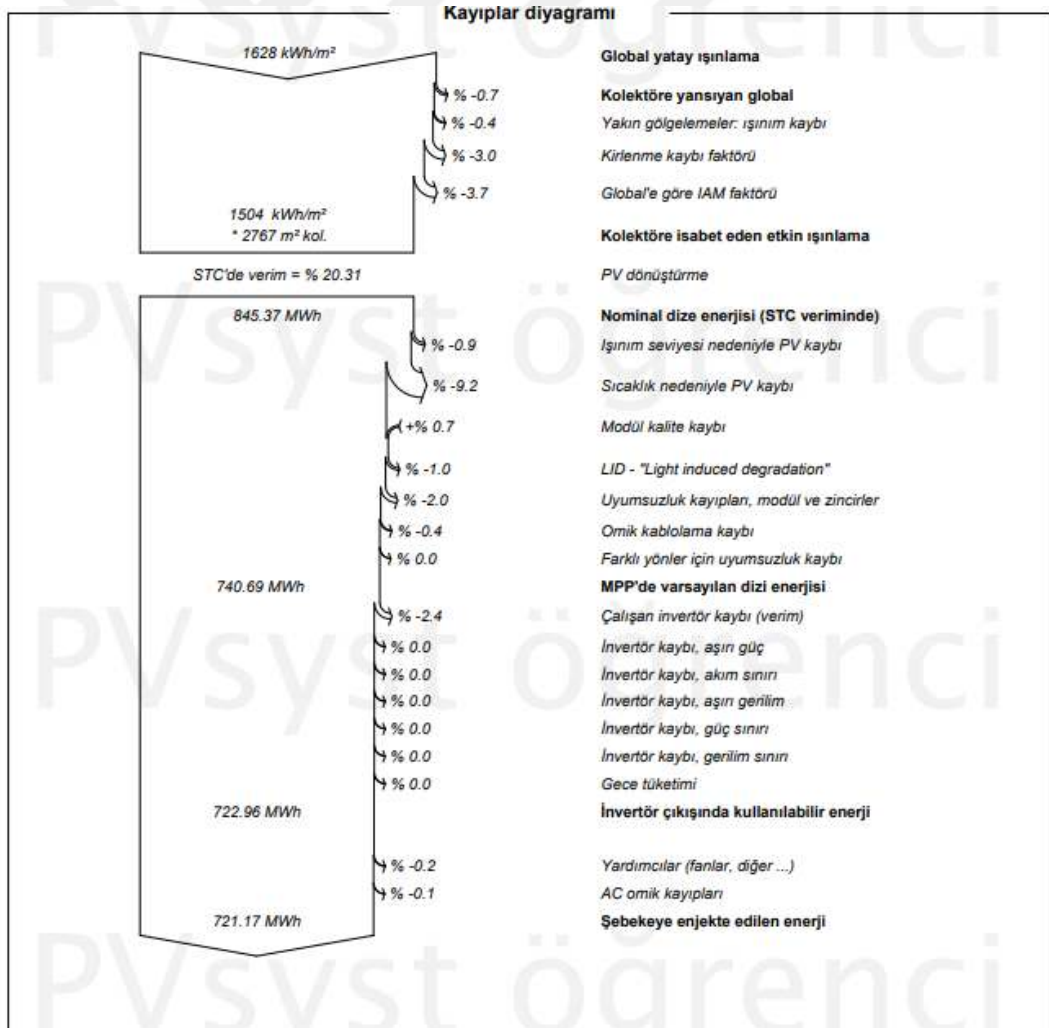
GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

EArray Dizinin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı

Şekil 4.14. Aylık üretim tahminleri



Şekil 4.15. Kayıplar diyagramı

Güneş enerji santrallerinde çeşitli kayıplar meydana gelmektedir. Şekil 4.15'te sistem verimliliği kayıp şeması gösterilmektedir. Yatay düzlemdeki küresel ışınlam 1628 kWh/m² olup, kolektör yüzeyine ulaşan etkili ışınlam 1504 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Bu ışınlam bir fotovoltaik panel veya dizi yüzeyine düştüğünde elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Fotovoltaik dönüşüm sonrasında, standart test koşullarında (STC) nominal enerji üretimi 845,37 MWh olup, PV dizisinin STC verimi %20,31 olarak belirlenmiştir. MPP noktasında yıllık dizi enerjisi 740,69 MWh olarak hesaplanmıştır. Bu aşamada meydana gelen kayıplar; sıcaklık kaynaklı %9,2, omik kayıplar %0,4, AC omik kayıplar %0,1, gölgelenme %0,4 olarak belirlenmiştir. Evirici çıkışında yıllık bazda üretilen enerji miktarı 722,96 MWh olup, tamamı şebekeye aktarılması öngörülmektedir. Ancak AC omik kayıplar ve olası sistem kesintileri nedeniyle yıllık şebekeye aktarılması planlanan net enerji 721,17 MWh olarak hesaplanmıştır.

Ancak santralin üretim ve tüketim noktasının aynı yerde olması sebebiyle bu aktarılması planlanan enerjinin tümü aktarılmamaktadır. İnverterler çalışma prensibi olarak gündüz saatlerinde şebeke ile entegre çalışmaktadır. Üretimin yapıldığı herhangi bir saatte eğer ki tüketim karşılanabiliyorsa bu enerjinin tamamı tüketimde kullanılmaktadır. Üretim fazlası var ise bu fazla enerjinin şebekeye aktarıldığı unutulmamalıdır. Bu çalışmada sadece üretilen enerjinin tahmini yapılmaktadır.

Çizelge 4.2. Üretim tahminleri ve gerçek üretim verileri

Aylar	PV*SOL (kWh)	PVsyst (kWh)	Gerçek Üretim (kWh)
Ocak	34.746	30.430	29.972
Şubat	41.849	35.340	41.168
Mart	65.469	55.590	58.133
Nisan	80.324	69.110	73.063
Mayıs	94.016	85.490	79.353
Haziran	97.990	92.690	87.517
Temmuz	98.534	93.890	85.470
Ağustos	88.890	82.610	71.891
Eylül	72.027	67.810	68.308
Ekim	53.533	47.660	61.090
Kasım	36.979	33.760	35.573
Aralık	31.160	26.790	20.384
Toplam	795.522	721.170	711.922

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Antalya ilinde bulunan çatı tipi güneş enerji santrali projesi için kullanılan simülasyon programlarının doğruluklarını değerlendirmek amacıyla, bir kimya fabrikası santraline ait bir yıllık gerçek üretim verileri ile performans oranları analiz edilerek simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Simülasyon programlarının performanslarının sağlıklı bir şekilde kıyaslanabilmesi için, yazılımlarda kullanılan meteorolojik veri tabanlarının karşılaştırılabilir özelliklere sahip olmasına özen gösterilmiştir. Simülasyon sonuçlarının kıyaslanabilmesi için iki programda da meteonorm veri tabanı kullanılmıştır.

Simülasyon sonuçları ve gerçek üretim verileri incelendiğinde, yıllık toplam üretim açısından gerçek değere en yakın sonucu PVsyst programı vermiştir. Gerçek değerden en fazla sapma gösteren ise PV*SOL programı olmuştur. Gerçek değerden %11,74 sapmayla PV*SOL tahminleri, en yakın değer olarak ise yaklaşık %1,3 ile PVsyst tahminleridir.

Simülasyon programları ile elde edilen sonuçlar, gerçek üretim verileriyle birebir örtüşmese de genel olarak yakın tahminler sunmaktadır. Üretim verilerindeki sapmalar; yazılımların altyapısal farklılıklarının yanı sıra, bölgesel iklim verilerindeki değişkenlikler, panellerin kirlenme oranlarının bilinmemesi, panel sıcaklıklarının yükselmesi, santralde meydana gelebilecek arızalar, kablo veya inverter kaynaklı kayıplar ile gölgeleme gibi birçok faktörden kaynaklanabilmektedir. Bir diğer faktör ise, yazılımların yakın çevredeki gölgeleme nesnelerinin gölge oranlarını farklı şekilde hesaplamasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, yazılımlar üzerinde deneyimi olan kullanıcıların simülasyon sonuçlarında farklılık oluşturması da mümkündür.

Veriler incelendiğinde mayıs, haziran, temmuz, ağustos ve aralık aylarının gerçek üretim değerleri simülasyon sonuçlarının değerlerine uzak olduğu gözükmemektedir. Bunun sebebi bu aylar için Antalya bölgesinde yaz sıcaklık ortalamalarının yüksek olması gösterilebilir. Aralık ayında ise tesisin uzaktan izleme sistemi verileri incelendiğinde ay içinde toplam 5 gün boyunca üretim verisi alınamadığı tespit edilmiştir.

Çalışmanın bazı kısıtları bulunmaktadır. Simülasyonlarda kullanılan meteorolojik verilerin uzun yıllar ortalamalarına dayanması nedeniyle ekstrem hava koşullarının (ani sıcaklık artışları, yoğun yağış gibi) tam olarak modellenmesi mümkün olmamıştır. Ayrıca, panel kirlenmesi ve gölgeleme gibi etkenlerin yıllık ortalama etkileri tahmin edilmiş, dinamik değişimleri dikkate alınamamıştır.

Antalya ili özelinde yapılan bu çalışmada yapılan tahminlerin gerçek değerlerle örtüşmemesinin bir sebebi de Antalya ilinde yaz aylarında ortalama sıcaklığın yüksek seviyelerde olduğu düşünülmektedir. Her ne kadar güneşlenme süresinin uzun olması bir avantaj gibi gözükse de sıcaklık faktörü PV modüller için oldukça olumsuz bir etkiye sahiptir.

Her iki simülasyon programı da gerçeğe yakın tahminler yapabilmektedir. Ancak, gerçek verilere en yakın sonuçlar, PVsyst yazılımı ile Meteonorm veri tabanının birlikte kullanıldığı simülasyonlarda elde edilmiştir. Bu nedenle, fizibilite analizlerinde bu program ve veri tabanının tercih edilmesi daha uygun görülmektedir.

Simülasyonlar, sahada oluşan arızaların veya mühendislik hatalarının tespit edilmesinde de kullanılabilir. Ayrıca, santral tasarımı sırasında simülasyon programları, panellerin optimum eğim açılarını belirlemek, en verimli dizi dizaynlarını oluşturmak ve panel yerleşimindeki gölge etkilerini minimize etmek amacıyla kullanılarak tesisin maksimum enerji üretimini sağlamak için büyük önem taşır.

Tesisin yapılan tahmin değerlerine ulaşması için santralin belli aralıklarla ve düzenli olarak temizliğinin yapılması verimlilik açısından büyük önem arz etmektedir. Bu sayede gerçek üretim değerinin yapılan tahmin değerlerine ulaşması mümkün olabilecektir.

İleride yapılacak çalışmalarda bu araştırmadaki tesisin gerçek ve simülasyon verileri kullanılarak sistemin ekonomik analizi yapılabilir. Bu yapılan analiz ile yapılan yatırımın ne kadar sürede geri döneceği hesaplanabilir.

Bu çalışmada kullanılan yöntemler ve uygulama örnekleri göz önünde bulundurularak, tasarlanması planlanan bir güneş enerji santralinin performans değerlendirmesi ve enerji üretim tahminleri yapılabilir. Sistemin değerlendirmeleri, bu tezde açıklanan şekilde gerçekleştirilecek ve sistem hayata geçirilmeden önce en uygun ve en verimli tasarımlar oluşturulabilir.

Yenilenebilir ve ihtiyaçtan fazla bir kaynak olması bakımından büyük öneme sahip olan güneşten yararlanma amacıyla yapılacak çalışmaların artması ve elektrik üretiminde güneş enerji santrallerinin yaygınlaşması, fosil yakıtların neden olduğu zararların azaltılmasında önemli bir adım olacaktır.

Bu tez çalışmasında sadece simülasyon ve gerçek üretim verilerinin bir yıllık değerleri karşılaştırılmıştır. Net sonuçlar için tesisin birkaç yıllık üretim ortalamaları alınarak karşılaştırılması mümkün olacaktır.

Antalya Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyette olan bu tesis, gerçekleştirdiği yatırımla Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığını azaltmaya katkı sağlayacak ve karbon ayak izinin sıfırlanması yönünde önemli bir adım atmış olacaktır.



KAYNAKLAR

- Akcan, E., Kuncan, M. ve Minaz, M. R. (2020). *PVsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu*. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (18), 248-261. <https://doi.org/10.31590/ejosat.685909>
- Aksangör, N. N. (2019). *Ankara şartlarında bir fotovoltaik sistemin PVsyst programı yardımı ile performans analizi (Yüksek Lisans Tezi)*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Alaçam, B. (2022). *10 kW'lık çatı tipi fotovoltaik bir sistemin modellenmesi ve gerçek üretim verileri ile karşılaştırılması (Yüksek Lisans Tezi)*. Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Amasya.
- Arslan, M. (2022). *Güneş Enerji Santrallerinin Simülasyon ile Üretim Verilerinin Karşılaştırılması ve Analizi (Yüksek Lisans Tezi)*. Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Avcı, E. (2019). *Yenilenebilir Enerji Üretim Sistemleri İçin Kesintisiz Geçişli Şebeke Bağlantılı 3-Fazlı 4-Kollu Gelişmiş T-Tipi Evirici Uygulaması (Yüksek Lisans Tezi)*. Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce
- Bayram, A. (2000). Nükleer enerji ve Türkiye. *2000 GAP Çevre Kongresi Bildiriler Kitabı*, 617–624. Harran Üniversitesi Yayınları.
- Bilgin, N. (2021). *Fotovoltaik Sistemlerde Kısmi Gölgeleme Koşullarında Maksimum Güç Takibi (Yüksek Lisans Tezi)*. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Boztepe, M. (2017). *Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler (Yüksek Lisans Tezi)*. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Ceylan, Y. (2016). *Türkiye'nin Güneşlenme Potansiyelinin Analizi ve Güneş Enerjisinin Enerji Politikasındaki Yeri (Yüksek Lisans Tezi)*. Bahçeşehir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Çataklı enerji. (2024). *PV*SOL Premium software*. Erişim adresi <https://catakli-enerji.com/urun/pvsol-premium-software/> (Son Erişim tarihi: 17.04.2025).
- Çekirdek, M. (2017). *Fotovoltaik Güç Santrallerinin Teknik Ekonomik Analizi: Türkiye Örneği. (Yüksek Lisans Tezi)*. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çıtanak, N. (2014). *Güneş Enerji Kaynağından Elektrik Enerjisi Üretimi (Yüksek Lisans Tezi)*. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.
- Çubukçu, M. (2011). *Türkiye'nin Farklı Konumlarında Farklı Topolojilerde Fotovoltaik-Rüzgâr-Yakıt Pili Hibrid Güç Sistemlerinin Modellenmesi, Karşılaştırmalı Simülasyonu ve Uygulamalı Performans Analizi (Doktora Tezi)*. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Deniz, E. (2013). *Güneş enerjisi santrallerinde kayıplar*. Erişim adresi emo.org.tr/ekler/38f0038bf09a40b_ek.pdf (Son Erişim tarihi: 17.04.2025).
- Dinçer, F. (2011). *Çevresel Faktörlerin Güneş Paneline Etkisinin Matlab/Simulink Programında Modellenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Dip, D. (2023). *Güneş Enerji Santrali Üretim Verileri ile Benzetim Programlarından Elde Edilen Verilerin Karşılaştırılması: İnceleler (Yüksek Lisans Tezi)*. Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Amasya.
- Eke, R. (2000). *Fotovoltaik (PV) Güç Sistemlerinde Performansın Modellenmesi. (Yüksek Lisans Tezi)*. Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Gençgönül, A. S. (2023). *Üniversite Kampüslerinde Güneş Enerji Santrali İçin Örnek Bir Uygulama (Yüksek Lisans Tezi)*. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- GEPA (2024). Erişim adresi <https://gepa.enerji.gov.tr/> (Son Erişim tarihi: 17.04.2025).
- Güneş, C. (2021). *Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı, Bakımı ve İşletilmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman.
- IRENA. (2024). *Renewable Energy Statistics 2024*. Erişim adresi <https://www.irena.org/Publications/2024/Jul/Renewable-energy-statistics-2024> (Son Erişim tarihi: 17.04.2025).
- Karakaya, H. ve Şen, İ. E. (2019). *Fotovoltaik Panellerde Verim İyileştirme Yöntemleri. 7th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, 1179–1188. <https://doi.org/10.33793/acperpro.02.03.130>
- Karamanav, M. (2007). *Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri (Yüksek Lisans Tezi)*. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Keskinel, S. (2015). *Enerji Verimliliği Kapsamında Binalarda Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Uygulamalı Analizi (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kıyanççek, E. (2013). *Fotovoltaik Sistemlerin Boyutlandırılması İçin Pvs2 Paket Programının Gerçekleştirilmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Küçükgoze, O. M. (2016). *Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi (Yüksek Lisans Tezi)*. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.
- Pakma, N. (2010). *Batman'da 1 MW'lık Fotovoltaik Enerji Sisteminin Tasarlanması (Yüksek Lisans Tezi)*. Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.

- Pickerel, K. (2017). *Is it possible to install solar on a sloped roof without drilling holes?* Erişim adresi <https://www.solarpowerworldonline.com/2017/01/possible-install-solar-sloped-roof-without-drilling-holes/> (Son Erişim tarihi: 17.04.2025).
- Pietruszko, S. M. ve Gradzki, M. (2003). *Performance of a Grid Connected Small PV System in Poland. Applied Energy*, 74(1), 177–184. [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(02\)00144-7](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(02)00144-7)
- Poweron (2025). *Topcon Güneş Paneli Modelleri*. Erişim adresi <https://poweron.com.tr/blog/topcon-gunes-paneli-modelleri> (Son Erişim tarihi: 27.04.2025)
- Sadıkoğlu, F. (2018). *1 MWp Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Santrali Performans Analizi (Yüksek Lisans Tezi)*. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Sağlam, E. (2018). *Fotovoltaik sistemlerin kurulum aşamaları ve işletimdeki santrallerin gerçekleşen üretim değerlerinin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Sharma, R. ve Gidwani, L. (2017). *Grid connected solar PV system design and calculation by using PVSOL premium simulation tool for campus hostels of RTU Kota. Proceedings of IEEE International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies* (1–5). India. <https://doi.org/10.1109/ICCPCT.2017.8074315>
- Shukir, S. S. (2021). *Half cut cell solar panels to reduce the effect of high temperature and shadow on the productivity of solar panels. Journal of Alternative and Renewable Energy Sources, Volume 7 Issue 3*.
- Smith, B. L., Woodhouse, M., Horowitz, K. A., Silverman, T. J., Zuboy, J., ve Margolis, R. M. (2021). *Photovoltaic (PV) module technologies: 2020 benchmark costs and technology evolution framework results. National Renewable Energy Laboratory (NREL)*.
- Sülü, M. (2019). *Fotovoltaik Güç Santrallerinde Enerji Kaybı ve Verimlilik Entegrasyonu (Yüksek Lisans Tezi)*. Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis.
- TEİAŞ. (2024). *Türkiye Elektrik Üretim İletim İstatistikleri*. Erişim adresi <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> (Son Erişim tarihi: 17.04.2025)
- Uçar, S. (2018). *Çatı ve Cephelerde Fotovoltaik Panel Uygulamaları Üzerine Bir Çalışma: Burdur Örneği (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yalçın, L. (2010). *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi ve Güneş Enerjisinden Yararlanabilme Olanakları, (Doktora Tezi)*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Wittner, B. ve Mermoud, A. (2014). *A Tool to Optimize the Layout of Ground-Based PV Installations Taking into Account the Economic Boundary Conditions. Proceedings of the 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition.*

