



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ŞEBEKEYE BAĞLI 1 MW KURULU GÜÇTEKİ
GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN PVSYST VE
PVSOL İLE PERFORMANS ANALİZİ**

Muhammed Enes ÜRÜNDÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ocak-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammed Enes ÜRÜNDÜ tarafından hazırlanan “Şebekeye Bağlı 1 MW Kurulu Güçteki Güneş Enerji Santralinin PVsyst ve PVSOL ile Performans Analizi” adlı tez çalışması 09/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Mümtaz MUTLUER

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Sacid ENDİZ

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Muhammed Enes ÜRÜNDÜ

Tarih: 09/01/2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞEBEKEYE BAĞLI 1 MW KURULU GÜÇTEKİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN PVSYST VE PVSOL İLE PERFORMANS ANALİZİ

Muhammed Enes ÜRÜNDÜ

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Sacid ENDİZ

2025, 59 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Sacid ENDİZ

Doç. Dr. Mümtaz MUTLUER

Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

Bu tez çalışmasında, Konya ili koşullarında şebekeye bağlı, 1 MW kurulu güce sahip bir Güneş Enerji Santrali tasarlanmış ve simüle edilmiştir. Tasarım ve simülasyon süreçlerinde PVsyst ve PVSOL yazılımları kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, saha verileri ile karşılaştırılarak performans analizi gerçekleştirilmiştir. Güneş Enerji Santrali'nde kullanılan fotovoltaik paneller, inverterler, kablolama, konum, hava durumu ve gölgeleme koşulları dikkate alınarak yapılan simülasyonların sonuçlarına göre, PVsyst yazılımı 2022 yılı saha verileri ile %5,43, 2023 yılı verileri ile ise %13,44 sapma göstermiştir. PVSOL yazılımı ise 2022 yılı saha verilerine göre %1,83, 2023 yılı verilerine göre %9,58 sapma göstermiştir. Bu sonuçlar, PVSOL yazılımının daha doğru üretim tahminleri yaptığını göstermektedir. Sonuç olarak, Güneş Enerji Sistemleri tasarımında PVSOL yazılımı ile yapılacak detaylı fizibilite çalışmalarının, santrali kuran ve işleten kişi ya da kuruluşlara önemli faydalar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Fotovoltaik sistemler, PVSOL, PVsyst, Yenilenebilir enerji

ABSTRACT

MS THESIS

**PERFORMANCE ANALYSIS OF A 1 MW GRID-CONNECTED SOLAR
POWER PLANT USING PVSYST AND PVSOL**

Muhammed Enes ÜRÜNDÜ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Mustafa Sacid ENDİZ

2025, 59 Pages

Jury

**Asst. Prof. Dr. Mustafa Sacid ENDİZ
Assoc. Prof. Dr. Mümtaz MUTLUER
Asst. Prof. Dr. Ali Osman ÖZKAN**

In this thesis study, a grid-connected Solar Power Plant with an installed capacity of 1 MW was designed and simulated under the conditions of Konya. PVsyst and PVSOL software were used during the design and simulation processes. The simulation results were compared with field data to conduct a performance analysis. Based on the simulations, which considered factors such as the photovoltaic panels, inverters, cabling, location, weather conditions, and shading, the PVsyst software showed deviations of 5.43% for 2022 field data and 13.44% for 2023 field data. On the other hand, the PVSOL software showed deviations of 1.83% for 2022 field data and 9.58% for 2023 field data. These results indicate that the PVSOL software provides more accurate production estimates. Consequently, it is evaluated that conducting detailed feasibility studies using the PVSOL software for the design of Solar Power Systems would offer significant benefits to the individuals or entities establishing and operating the plants.

Keywords: Photovoltaic systems, PVSOL, PVsyst, Renewable energy, Solar energy

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana rehberlik eden, bilgi ve deneyimlerini paylaşarak çalışmalarımın her aşamasında beni yönlendiren yüksek lisans danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Sacid ENDİZ'e değerli katkıları için içtenlikle teşekkür ederim. Ayrıca, bana her zaman güç veren, sevgisi ve desteğini her an yanımda hissettiğim değerli aileme şükranlarımı sunarım.

Muhammed Enes ÜRÜNDÜ
KONYA-2025



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
ÇİZELGELER LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	3
1.1. Tezin Önemi	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ	11
3.1. Yenilenebilir Enerji.....	11
3.1.1. Hidroelektrik Enerjisi	11
3.1.2. Rüzgâr Enerjisi	12
3.1.3. Biyokütle Enerjisi	14
3.1.4. Jeotermal Enerji	15
3.1.5. Dalga ve Okyanus Enerjisi	17
3.1.6. Güneş Enerjisi.....	17
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
4.1. FV sistem bileşenleri	23
4.1.1. Fotovoltaik (Güneş) Paneller	24
4.1.2. Batarya Sistemi	24
4.1.3. Şarj Kontrol Cihazı	25
4.1.4. İnverter.....	25
4.2. Yöntem.....	29
4.2.1. PVSYST.....	29
4.2.2. PVSOL.....	29
4.3. Sistem.....	30
4.4. PVsyst simülasyon adımları.....	35
4.5. PVSOL simülasyon adımları	40
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	43
5.1. PVsyst Programı Sonuçları	43
5.2. PVSOL Programı Sonuçları.....	48

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	53
6.1. Sonuçlar	53
6.2. Öneriler	54
7. KAYNAKLAR	56



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°	: Derece
%	: Yüzde
A	: Amper
V	: Volt

Kısaltmalar

3D	: Üç Boyutlu
GES	: Güneş Enerji Santrali
RES	: Rüzgâr Enerji Santrali
HES	: Hidroelektrik Enerji Santrali
JES	: Jeotermal Enerji Santrali
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
REPA	: Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası
FV	: Fotovoltaik
YG	: Yüksek Gerilim
TM	: Trafo Merkezi
CIGS	: Copper Indium Gallium Selenide
DC	: Doğru Akım
AC	: Alternatif Akım
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
A	: Amper
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
kV:	: Kilovolt
kWp	: Kilowatt Peak
MW	: Megawatt
kW	: Kilowatt
Wp	: Watt Peak
kWh	: Kilowatt Saat
MWh	: Megawatt Saat
m ²	: Metrekare
mm ²	: Milimetre Kare

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Ülkemizde hidroelektrik enerjisine dayalı kurulu güç	12
Şekil 3.2. Ülkemizde hidroelektrik enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki oranı	12
Şekil 3.3. Ülkemizin yıllık ortalama rüzgâr hızı haritası.....	13
Şekil 3.4. Ülkemizde rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç.....	14
Şekil 3.5. Ülkemizde rüzgâr enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki oranı	14
Şekil 3.6. Ülkemizdeki jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası	16
Şekil 3.7. Ülkemizde jeotermal enerjisine dayalı kurulu güç.....	16
Şekil 3.8. Ülkemizde jeotermal enerjinin toplam kurulu güç içerisindeki oranı	17
Şekil 3.9. Ülkemizdeki güneş enerjisi radyasyonu haritası	18
Şekil 3.10. Ülkemizdeki global radyasyon değerleri.....	19
Şekil 3.11. Ülkemizin aylara göre ortalama güneşlenme süresi.....	19
Şekil 3.12. Konya ilinin güneş enerjisi radyasyonu haritası.....	20
Şekil 3.13. Konya ilindeki global radyasyon değerleri	20
Şekil 3.14. Konya ilinin aylara göre ortalama güneşlenme süreleri.....	21
Şekil 3.15. Ülkemizde güneş enerjisine dayalı kurulu güç.....	21
Şekil 3.16. Ülkemizde güneş enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki oranı	22
Şekil 4.1. Şebekeye bağlı sistem	23
Şekil 4.2. Şebekeden bağımsız sistem	24
Şekil 4.3. Yüksek frekansa dayanıklı trafolu inverter	26
Şekil 4.4. Tek fazlı trafosuz inverter şeması	27
Şekil 4.5. Üç fazlı trafosuz inverter şeması	27
Şekil 4.6. String inverter şeması 1	28
Şekil 4.7. String inverter şeması 2	28
Şekil 4.8. İnverter tek hat şeması.....	31
Şekil 4.9. Panel-sehpa yerleşimi.....	32
Şekil 4.10. Santralin kuş bakışı görünümü	32
Şekil 4.11. Santral inverter konumlandırılması	33
Şekil 4.12. Santral arazisi görünümü.....	33
Şekil 4.13. Santralde kullanılan FV modüllerin görünümü.....	34
Şekil 4.14. Santralde kullanılan FV modülün etiketi.....	34
Şekil 4.15. PVsyst program karşılama ekranı	35
Şekil 4.16. PVsyst program menüsü.....	36
Şekil 4.17. Yönlendirme menüsü	37
Şekil 4.18. Sistem menüsü.....	38
Şekil 4.19. Aylara göre santral öz tüketim değerleri	39
Şekil 4.20. Santral ufuk çizgisi	40
Şekil 4.21. Program karşılama sayfası.....	40
Şekil 4.22. Sistem türü, şebeke ve iklim sayfası	41
Şekil 4.23. Sistem öz tüketim değerleri sayfası	42
Şekil 4.24. Modelleme ve sistem değişkenleri ekleme sayfası.....	42
Şekil 5.1. Proje özeti.....	43
Şekil 5.2. Aylara göre performans oranları	44
Şekil 5.3. Kayıplar diyagramı.....	45
Şekil 5.4. Tek hat şeması	46
Şekil 5.5. Aylara göre günlük sistem çıkış enerjisi grafiği.....	47
Şekil 5.6. Dizi gerilim dağılımı grafiği	47
Şekil 5.7. Genel sonuçlar	49

Şekil 5.8. Enerji kullanım grafiği	49
Şekil 5.9. Dizi planı	50



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 4.1. Güneş paneli veri sayfası.....	30
Çizelge 4.2. İnverter veri sayfası	31
Çizelge 5.1. Genel sonuçlar	44
Çizelge 5.2. Genel sonuçlar	48
Çizelge 5.3. Kazanç ve sistem üretim değerleri	48
Çizelge 5.4. Program çıktıları ve saha verileri	51
Çizelge 5.5. Kayıp oranları ve değerler	52



1. GİRİŞ

Elektrik, doğada var olan bir olgu olup, binlerce yıl boyunca insanlık tarafından gözlemlenmiştir. Elektrik enerjisi 1752 yılında Benjamin Franklin tarafından keşfedilmiş fakat elektrik enerjisinin günlük yaşamda kullanılmasıyla ilgili olarak Thomas Edison'un 1878'de icat ettiği ve geliştirdiği elektrik lambası, elektrik enerjisinin geniş çapta kullanılmasının başlangıcını işaret etmektedir. Tarım toplumundan sanayi toplumuna geçiş döneminde de, özellikle Endüstri 2.0 olarak adlandırılan ve 1870-1970 yılları aralığını kapsayan dönemde, üretim için elektrik enerjisi kullanılmaya başlanmış ve bu sayede üretimde verimlilik artırılmıştır. Günlük yaşamda elektrik enerjisinin yaygınlaşması, insanların üretim ve gelişimlerini bu enerji kaynağına dayandırmasına, dolayısıyla enerjiye olan taleplerinin hızla artmasına neden olmuştur (Kılıç 2023).

İlk elektrik santrali, 1882 yılında Londra'da kurulmuş olup, ülkemize ise ilk elektrik santrali 1902 yılında kazandırılmıştır. Ülkemizde kurulan ilk elektrik santrali, Mersin ilinin Tarsus ilçesinde yer almakta olup, gücünü su türbininden almaktadır ve kurulu gücü 2 kW olarak ölçülmüştür (<https://www.emo.org.tr>, s.d.).

Zamanla, elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç doğrultusunda hem ülkemizde hem de dünyada elektrik santrali sayıları hızla artmıştır. Ancak bu santraller, kömür, dizel gibi yenilenemeyen enerji kaynakları ile elektrik enerjisi üretmekte olup, yüksek emisyon değerleriyle çevreye verdikleri zararların yanı sıra, yakıt fiyatları nedeniyle üretim maliyetleri de yüksektir (İLARSLAN 2021).

1973 yılında yaşanan petrol krizi nedeniyle elektrik santrallerinde arz sıkıntısı yaşanmış ve bu durum, 1980 yılında geleneksel elektrik enerjisi üretim yöntemlerine alternatif olarak yenilenebilir enerji sistemlerinin yaygınlaşması gerektiği konusunda birçok konferansın düzenlenmesine yol açmıştır. Ardından, 1984 yılında ABD'de ilk Güneş Enerji Santrali kurulmuştur. Sonraki yıllarda hızla artan yenilenebilir enerji sistemleri, günümüze kadar gelişimini sürdürmüştür. Ancak, zamanla yaygınlaşmasına rağmen günümüzde hala kullanılan elektrik enerjisinin büyük bir bölümü geleneksel yöntemlerle üretilmektedir. Bu doğrultuda, yenilenebilir enerji kullanımı küresel olarak teşvik edilmeli ve birçok ülke bu yönde politikalar geliştirmelidir. Yenilenebilir enerji, doğanın, insan sağlığının ve ekonomilerin korunmasına katkıda bulunarak, dünyanın ve canlıların geleceğini güvence altına alabilir. Bu nedenle, yenilenebilir enerjiye yönelik yatırımların ve teşviklerin artırılması, dünya genelinde sürdürülebilir bir gelecek için kritik öneme sahiptir (Barak, s.d.).

Dünyada ve ülkemizde yenilenebilir enerji sistemlerine verilen önemin yıllar içinde artmasına ve çeşitli teşviklerin sunulmasına rağmen, günümüzde kullanılan elektrik enerjisinin büyük bir bölümü hâlâ geleneksel yöntemlerle üretilmektedir. Ülkemizde de bu durum benzer bir şekilde devam etmektedir.

Dünyada toplam elektrik enerjisi üretimi içindeki yenilenebilir enerjiden üretilen elektrik enerjisi oranı 2022 yılı için %42,25 olarak kayıtlara geçmiştir. Ülkemizde EPDK verilerine göre 2024 yılı Haziran ayı raporunda kurulu gücün %57,31'inin yenilenebilir enerjiden sağlandığı, üretilen enerjinin ise 2024 Ocak-Haziran aralığı için %52,78'inin yenilenebilir enerjiden elde edildiği bilinmektedir. Ülkemizin elektrik enerjisi ithalatının, ihracatından fazla olduğu ve bu nedenle kaynaklarımızın bir kısmını diğer ülkelerden elektrik enerjisi almak için kullandığı EPDK raporlarında belirtilmiştir. 2023 yılı itibarıyla, santrallerde üretilen elektrik enerjisinin %57,75'i fosil yakıtlardan elde edilmiştir. Bu oran, ülkemizin enerji konusunda dışa bağımlılığını ortaya koymaktadır. Fosil yakıtların uluslararası piyasalarda işlem gören fiyatları, işletmelere yüksek girdi maliyetleri oluşturmakta ve bu durum, ülkemiz ekonomisi ve piyasaları üzerinde ciddi etkiler yaratabilmektedir (İLARSLAN 2021).

Fosil yakıt sübvansiyonları çevre kirliliğini yüksek oranda artırırken, diğer yandan kişi başına düşen gelirin artması, yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması ve çevre ile ilgili teknolojilerin gelişmesi çevre kirliliğini azaltmaktadır. Ayrıca, fosil yakıtların kullanımı ekonomik büyüme hızını düşürürken, yenilenebilir enerjilerin yaygınlaşması ve çevre dostu teknolojilerin artması ekonomik büyümeyi artırmaktadır (Barak, s.d.).

Fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar ve yüksek maliyetleri nedeniyle, dünyada yenilenebilir enerji sistemlerinden en yaygın olarak kullanılan Güneş Enerji Sistemleri (GES), ülkemiz ve Avrupa ülkelerinde daha fazla yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır. Rusya-Ukrayna savaşının enerji piyasalarına etkisini, savaş öncesi ve sonrası olmak üzere iki bölümde incelediğimizde, savaş öncesi durumda Türkiye'de GES amortisman süresi 3,17 yıl olarak hesaplanırken; Avrupa ülkeleri olan İspanya, Fransa ve Almanya için sırasıyla 3,6 yıl, 5,6 yıl ve 5,7 yıl olarak bulunmuştur. Savaş sonrası dönemde ise, ülkemiz için GES amortisman süresi 3,17 yıl olarak sabit kalırken; İspanya, Fransa ve Almanya için sırasıyla 2,41 yıl, 3,27 yıl ve 2,22 yıl olarak hesaplanmıştır (GYAM et al. 2023).

Yenilenebilir enerji kaynakları, çevre kirliliğinin önlenmesi ve sürdürülebilir bir gelecek için önemli bir rol oynar. Ancak, yenilenebilir enerjinin avantajları yalnızca çevresel etkilerle sınırlı değildir; aynı zamanda ekonomik, sosyal ve enerji güvenliği açısından da pek çok fayda sağlar. İnsanlık, teknolojinin gelişmesiyle kendine yeni enerji

kaynakları bulabilir veya mevcut enerji kaynaklarından elde edilen verimleri artırabilir; ancak günümüzde hiçbir teknoloji, bozulan ekolojik dengeyi ve çevre kirliliğini eski haline getiremez (Akif Çukurçayır e Sağır, s.d.).

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, dünyada ve ülkemizde kullanımı giderek artan yenilenebilir enerji sistemlerinden biri olan Güneş Enerji Sistemleri için yaygın olarak kullanılan PVsyst ve PVSOL programlarından elde edilen tahminlerin, Konya ilinde bulunan gerçek bir Güneş Enerji Santralinden alınan üretim değeri ile karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, farklı programların doğruluğu ve güvenilirliği karşılaştırılarak analiz edilecektir. En düşük hata payına sahip program belirlenecek ve bu alandaki çalışmalara yönelik öneriler sunulacaktır. Gerçek verilerle simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı, kurulumu ve işletilmesi için daha doğru tahminler yapılmasına yardımcı olacaktır. Sonuç olarak, bu tez çalışmasının, güneş enerjisi sistemlerinin optimize edilmesi ve daha verimli hale getirilmesi ile güneş enerjisi simülasyon programlarının geliştirilmesine ve iyileştirilmesine katkı sağlaması hedeflenmektedir.

1.1. Tezin Önemi

Bu tez çalışması, güneş enerjisi sistemlerinin daha verimli hale getirilmesi ve doğru simülasyon sonuçları elde edilmesi açısından büyük bir öneme sahiptir. Günümüzde, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmakta ve bu bağlamda güneş enerjisi önemli bir yer tutmaktadır. Güneş Enerji Sistemleri, çevre dostu olmaları ve sürdürülebilir enerji sağlamaları nedeniyle dünya çapında yaygın olarak tercih edilmektedir. Ancak, bu sistemlerin tasarım aşamasında doğru tahminler yapmak ve sistem verimliliğini artırmak oldukça kritik bir öneme sahiptir. Tezde kullanılan PVsyst ve PVSOL gibi simülasyon programlarının, gerçek dünya verileriyle karşılaştırılarak doğruluklarının ve güvenilirliklerinin analiz edilmesi, güneş enerjisi sistemlerinin daha etkin ve verimli bir şekilde tasarlanmasına imkan tanıyacaktır. Bu karşılaştırmalar, farklı programların hangisinin daha doğru sonuçlar verdiğini ortaya koyarak, sektördeki profesyonellere daha güvenilir araçlar sunacaktır. Ayrıca, elde edilen bulgular, güneş enerjisi santrallerinin daha verimli bir şekilde çalışmasına katkı sağlayacak ve sistem tasarımında yapılacak iyileştirmelerle uzun vadede enerji verimliliğini artıracaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Araştırmacı, tezinde iki farklı ilde yer alan çatı tipi ve arazi tipi güneş enerji sistemlerini PVSOL, PVsyst ve PVGIS programlarıyla simüle etmiş ve gerçek verilerle karşılaştırıldığında, en düşük hata oranının %3,83 ile PVsyst programında, en yüksek hata oranının ise PVGIS ile yapılan simülasyonda olduğunu belirlemiştir (Arslan Murat 2022).

Araştırmacı, Muğla ilini baz alarak, PVSOL ve PVsyst programlarıyla farklı tipteki güneş takip sistemlerinin sistem verimliliğine etkisini incelemiştir. 33° eğimle tasarlanan 500 kWp santraller için yapılan simülasyonlarda, tek eksenli takip sistemi için PVsyst programı ile yıllık 1105,9 MWh enerji üretimi elde edilirken, PVSOL programı ile bu değer 990,036 MWh olarak hesaplanmıştır. Çift eksenli sistemler için ise, PVSOL programında yıllık enerji üretimi 1070,026 MWh olarak öngörülürken, PVsyst programı ile bu değer 1201,5 MWh olmuştur. Araştırmacı, bu sonuçları kıyaslayarak çift eksenli takip sistemlerinin, tek eksenli sistemlere göre PVSOL programında %8, PVsyst programında ise %8,6 daha verimli olduğunu tespit etmiştir (Aldemir 2019).

Araştırmacı, Amasya ilindeki bir santrali referans alarak PVsyst, PVSOL, PVGIS ve PVwatts programlarında simülasyonlar yapmıştır. Gerçeğe en yakın sonucu, %8,96'lık bir hata payıyla PVSOL programı ile elde ederken; en uzak sonucu ise %19,71'lik bir hata payıyla PVsyst programından almıştır (Dip 2023).

Bu çalışmada, araştırmacı kurulu gücü 5,1 kW olan bir sistemi referans alarak PVSOL, PVsyst ve GSA simülasyon programlarıyla benzetimler gerçekleştirmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, PVsyst programından alınan raporda performans yüzdesinin %87,5 ile %91 arasında değiştiği; GSA programı ile yapılan simülasyonlarda ise performans yüzdesinin %96,6 ile %100 arasında olduğu belirlenmiştir. PVSOL programı için ise performans yüzdesi %97,3 ile %98,1 arasında hesaplanmıştır. Çalışmanın sonunda, araştırmacı çift yüzeye sahip veya çift yönlü hareket eden sistemlerin verimliliği daha fazla artıracağına dikkat çekmiştir (Al-shagea 2021).

Araştırmacı, çalışmasında Bursa ilinde bir çatıda yıllık 126 MWh enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla PVSOL, PVsyst, PVGIS, Ez Designer ve Helioscope olmak üzere 5 farklı simülasyon programında tasarımlar yapmıştır. Tasarım için 167 kWp gücünde bir güneş santrali öngörülmüş ve simülasyonlar sonucunda, yıllık enerji üretiminin 162 MWh ile 226 MWh arasında değişebileceği sonucuna varılmıştır (Türkyılmaz 2023).

Araştırmacı, çalışmasında PVsyst programı ile 550 Wp kurulu gücü olan bir santral tasarımı gerçekleştirmiştir. Bu tasarım, sabit, mevsimsel, yatay, dikey ve çift

eksenli olmak üzere 5 farklı takip sistemiyle simüle edilmiştir. Sonuçlara göre, en yüksek mevcut güneş enerjisi 1049,9 kWh ile çift eksenli takip sisteminde elde edilirken, en düşük kayıp enerji 57,03 kWh ile yine çift eksenli sistemde gerçekleşmiştir. Diğer taraftan, sabit eksenli sistemde en düşük mevcut güneş enerjisi 764,77 kWh, en yüksek kayıp enerji ise 93,36 kWh olmuştur. Ayrıca, ihtiyaç fazlası enerji çift eksenli sistemde 297,23 kWh ile en yüksek, sabit eksenli sistemde ise 51,84 kWh ile en düşük olarak hesaplanmıştır. Araştırmacı, bunun yanı sıra 2 kWh kurulu gücünde bir sistem tasarlamış ve analizini yapmıştır. Yapılan analize göre, sistemin performansının yaklaşık %84 olduğu ve 5 yıl içinde ilk yatırım maliyetinin karşılanacağı tespit edilmiştir (Önal e Çınaroğlu 2022).

Araştırmacı, PVSOL ve PVsyst programları ile 10 kW kurulu gücünde bir sistemi incelemiş ve yıllık üretim değeri 12.473 kWh olan santral için PVsyst ile 12.912 kWh, PVSOL ile ise 13.556 kWh üretim tahmininde bulunmuştur. Gerçeğe en yakın değeri %3,4'lük bir hata ile PVsyst programı tahmin etmişken, PVSOL programı %7,99'lük bir fark ile gerçeğe daha uzak bir tahminde bulunmuştur (Vural, Alaçam, e Orbay 2024).

Bir diğer çalışmada, araştırmacı Kilis ilinde şebekeye bağlı 3 adet sistemi simüle etmiş ve aynı özelliklere sahip sistemlerle elde edilen verileri karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, santrallerin gerçek üretim değerleri ile simülasyon sonuçları arasında %10'dan düşük bir fark bulunduğunu belirtmiş ve hava olayları, panel üzerindeki toz ve kirin bu duruma sebep olabileceğini vurgulamıştır (Çınaroğlu 2021).

Başka bir çalışmada, araştırmacılar PVSOL ve PVsyst programları ile 31 kWp kurulu gücüne sahip bir çatı üstü şebekeye bağlı sistemin benzetim çalışmalarını yapmışlardır. 5 yıl boyunca elde edilen veriler karşılaştırıldığında, simülasyon sonuçlarına göre PVSOL programının bir yıl hariç, 4 yıl için PVsyst'e göre daha doğru sonuçlar verdiği; PVsyst programının ise 5 yıl boyunca yıllık üretim değerlerini olması gerekenden yüksek tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, aylık verimdeki tahmin hatalarının yaklaşık %20'ye ulaşmasına rağmen, yıllık periyot baz alındığında her iki programın da %4,3'ün altında hata payına sahip olduğu vurgulanmıştır (Bevanda et al., s.d.).

Diğer bir çalışmada, araştırmacılar 20 kW şebekeye bağlı bir sistemi PVsyst programı ile analiz etmiş ve simülasyon sonucunda 517 MWh yıllık üretim değeri elde etmişlerdir. Simülasyon sonucuna göre tasarlanan sistemin yıllık performans oranının %76,5 olduğu hesaplanmıştır. Araştırmacılar, bu çalışmanın kurum ve üniversitelerin

enerji maliyetlerini azaltmak amacıyla daha yüksek kapasiteli santraller kurmalarına cesaret vereceğini belirtmişlerdir (Mahmood et al. 2023a).

Araştırmacılar, üniversite bünyesinde kurulan 250 kWp'lik bir Güneş Enerji Santrali sistemini PVsyst programı ile simüle etmiş ve elde edilen sonuçları gerçek santral verileri ile karşılaştırmışlardır. PVsyst programından alınan rapora göre santralden yıllık ortalama 380,6 MWh elektrik enerjisi üretileceği öngörülürken, gerçek verilerle karşılaştırıldığında, 'Aralık' ve 'Ocak' ayları için sonuçların birbirinden uzak olduğu; buna karşın, 'Şubat', 'Mart' ve 'Nisan' aylarında ise sonuçlar arasında %10'dan daha düşük bir sapma olduğu tespit edilmiştir (Haydaroglu e Gümüş, s.d.).

Araştırmacılar, makalelerinde Yenilenebilir Enerji Sistemlerine olan ilginin ve talebin her geçen gün arttığını, ayrıca Yenilenebilir Enerji Sistemleri arasında en büyük katkı payına sahip olanın Güneş Enerji Sistemleri olduğunu belirterek, PVsyst programını kullanarak Batman ilinde On Grid bir sistemin tasarım ve performans değerlendirmesini yapmışlardır. Meteorolojik verileri 'Meteonorm 7.2' veri tabanından aldıklarını belirten araştırmacılar, bu hava durumu verilerinin YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü) verileri ile benzer olduğunu da vurgulamışlardır. Araştırma sonucunda, Batman ilinin coğrafyasının Güneş Enerji Sistemi ile verimli sonuçlar elde etmeye uygun olduğu ve daha büyük ölçekli santraller kurulabileceği ifade edilmiştir (AKCAN, KUNCAN, e MİNAZ 2020).

Başka bir çalışmada, araştırmacı, Konya ve Karaman illerinde PVsyst, PVSOL ve PVGIS simülasyon programlarının sonuçlarını karşılaştırarak, 250 kW ile 1 MW arasındaki üç farklı arazi tipi Güneş Enerji Santrali'nin performansını incelemiştir. Yapılan karşılaştırma sonucunda, gerçeğe en yakın tahminin PVSOL programı ile yapıldığı, PVGIS programının 4. versiyonunun ve PVsyst programlarının ise onu takip ettiği görülmüştür. PVGIS programının, 'ERA 5' veri tabanı hariç, tüm programlar ve sürümler %5 hata payının altında tahminlerde bulunmuştur (Kinali 2019).

Bir başka çalışmada, araştırmacı Kırklareli ilinde 960 Wp kurulu güce sahip Off Grid Güneş Enerji Sistemi ile PVsyst ve PVSOL programlarını kullanarak sistem performansı ve verimliliği üzerine önemli parametreleri incelemiştir. Sistem verileri incelendiğinde, üretilen enerjinin tüketilen enerjiyi karşılama oranının %68,72 olduğu ve geleneksel enerji üretim yöntemlerine kıyasla doğaya yıllık 594 kg CO₂ salınımının engellendiği bulunmuştur. Araştırmacılar, monokristal panellerin %16,9 verim değerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, SCADA programından alınan ölçümlerin PVSOL

programından elde edilen sonuçlarla benzerlik gösterdiği ifade edilmiştir (KUTLUCA 2020).

Araştırmacı, çalışmasında Konya ve Van illerinde kurulacak eş santrallerin modellemesini ve karşılaştırmasını yapmıştır. Her iki il için sabit açılı ve çift eksenli güneş takip sistemi tasarlanmış ve sonuç olarak, Van ilinde kurulacak bir sistemin, Konya'dakine göre daha verimli olacağı sonucuna varılmıştır (Etcı 2022).

Araştırmacılar, insanlığın enerji talebinin giderek arttığını ve bu nedenle Güneş Enerji Sistemlerinin performans artışına olan ihtiyacı vurgulamışlardır. Bu bağlamda, tek yüzeyli ve çift yüzeyli güneş panelleri arasındaki performans farkını araştırmışlardır. Ankara ili referans alınarak, aynı şartlar altında tasarlanan iki sistemin verimlilik değerleri, albedo etkisi ve CO₂ emisyonu gibi temel metrikler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, tek yüzeyli paneller ortalama %82,21 performans oranı sunarak yıllık 1537 kWh üretim yaparken; çift yüzeyli paneller ortalama %93,06 performans ile yıllık 1740 kWh üretim yapmaktadır. Bu bağlamda, çift yüzeyli panellerin, tek yüzeyli panellere göre %13 daha fazla enerji ürettiği ve sürdürülebilir enerji için gelecekte büyük bir potansiyel sunduğu belirtilmiştir (BAYYIĞIT, ÇİNİCİ, e ACIR 2023).

Bir diğer çalışmada, araştırmacılar Giresun ve Antalya illeri için, günlük 36,6 kW elektrik tüketimi olan bir evi referans alarak çatı tipi Güneş Enerji Sistemi tasarlamışlardır. Çalışmalarında PVSOL simülasyon programını kullanan araştırmacılar, her iki şehir için de panellerini 35° açıyla konumlandırmışlardır. Yapılan araştırmaya göre, günlük ortalama 4,41 kWh güneşlenme saati olan Antalya için 18 adet güneş paneli kullanılırken; günlük ortalama 2,7 kWh güneşlenme saati olan Giresun ili için ise 30 adet güneş paneli kullanılmıştır. Bu şartlar altında ve belirtilen panel sayıları ile yıllık enerji üretim değerlerinin aynı miktarda olduğu ve ev için gerekli enerji miktarını sağladığı tespit edilmiştir (Bagriacık e Altinoluk 2023).

Başka bir çalışmada, araştırmacılar Berlin ve Kathmandu şehirlerinde PVsyst programını kullanarak verim karşılaştırması yapmışlardır. Kathmandu'da ışınım değeri 1742 kWh/m² iken, sıcaklıktan kaynaklanan verim kaybı %6,1 ve inverter kaybı %8 olarak bulunmuştur. Berlin için ise ışınım değeri 1004 kWh/m² iken, sıcaklıktan kaynaklanan verim kaybı %2,5 ve inverter kaybı %8,3 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, Kathmandu şehri şartlarında elde edilecek enerjinin, Berlin'e kıyasla %70 daha fazla olacağı belirlenmiştir (Karki 2012).

Diğer bir çalışmada, araştırmacılar Hindistan'da 5,4 kWp gücünde bir fotovoltaik sistemi PVSOL programı ile simüle etmişlerdir. Sonuçlar, ışınım seviyesinin 200 W/m²

ile 1400 W/m² arasında değiştiğini ve inverter performans oranının %65 ile %75 arasında değişim gosterdiğini ortaya koymuştur (Deshmukh e Chandrakar 2022).

Araştırmacılar, 2 kW gúcünde bir çatı tipi güneş enerji santralinin gerekliliğine değinmiş ve 1 kWp'lik bir çatı tipi Güneş Enerji Santralinin yılda 28 ton CO₂ salınımını engellediğini, bunun da 45 ağaca denk olduğunu belirtmişlerdir. Bu doğrultuda, 2 kWp gúcünde bir çatı tipi Güneş Enerji Sistemi tasarlamış ve PVsyst programı ile simülasyon yapmışlardır. Sistemde üretilen fazla enerjinin şebekeye verilmesi planlanmış ve yaklaşık %70 performans oranı elde edileceği sonucuna varılmıştır (Rout e Kulkarni 2020).

Bir diğer çalışmada, araştırmacılar Endonezya şartlarında çatı üstü Güneş Enerji Sistemi tasarımı yapmışlar ve PVsyst programı ile simüle etmişlerdir. Sistemde 4 adet 275 Wp güneş paneli, 450 V inverter ve 2 adet 12V / 220 Ah batarya kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, söz konusu evin günlük elektrik tüketimi %98,8 oranında karşılanmaktadır. Araştırmacılar, teknolojinin gelişmesiyle birlikte performans oranının artacağını ve verimin yúkseleceđini belirtmişlerdir. Ayrıca, bu çalışmanın finans kuruluşlarında maliyet analizi olarak da kullanılabileceğini ifade etmişlerdir (Ali, Lestari, e Rahman 2021).

Araştırmacılar, enerjiye olan talebin çok yüksek olduğunu ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının bu talebi karşılamada yetersiz kaldığını belirterek, yenilenebilir enerji sistemlerinin önemli bir çözümlü olacağına dikkat çekmişlerdir. Bangladeř'te 2 kW'lık bir off-grid sistemi tasarlamışlar ve SolarMat, PVsyst ve Homer programları ile simüle etmişlerdir. PVsyst verilerinin pratik değerlerle az bir uyumsuzluk gosterdiği, SolarMat verilerinin ise pratik verilerle büyük oranda uyumlu olduğu görölmüştür. Araştırmacılar, on-grid ve off-grid sistemler için yapılacak tasarımlar ve ekonomik analizlerde PVsyst programının iyi bir sečenek olacağını, hibrit sistemler için ise HOMER programının daha doğru bir tercih olacağını belirtmişlerdir. Ayrıca, SolarMat programının ücretsiz olması nedeniyle basit tasarımlar için iyi bir alternatif olabileceğini de eklemişlerdir (Sifat 2015).

Başka bir araştırmada, Hindistan'da bir üniversite kampüsündeki bir pansiyon için 234 kW'lık bir şebekeye bağlı (On-Grid) güneş enerji sistemi tasarlanmış ve PVsOL programı ile analiz edilmiştir. Tasarlanan sistemin yeterli enerji ürettiği ve şebeke enerjisine olan bağımlılığı azalttığı vurgulanmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, sistemin performans oranı %78,7 olarak belirlenmiş ve ilk yatırım maliyetinin 11,1 yılda geri kazanılacağı öngörölmüştür. Ayrıca, bu sistemin çevreye yılda 228,988 kg CO₂ salınımını engelleyeceği de hesaplanmıştır (Sharma e Gidwani 2017).

Şırnak ilinin Cizre ilçesindeki çevre ve iklim şartlarına dayanarak 806,4 kWp kurulu gücünde bir güneş enerji santrali tasarlanmış ve simülasyonlar yapılmıştır. PVSyst ve PVSOL programları kullanılarak yapılan simülasyonlar sonucunda, meteorolojik verilere göre ortalama sıcaklık PVSOL'da 19,9 °C, PVsyst'de ise 13,6 °C olarak hesaplanmıştır. Bir yıllık süreçte SCADA tarafından ölçülen gerçek üretim 1.242.772 kWh iken, PVSOL 1.131.143 kWh, PVsyst ise 1.377.012 kWh üretim değeri elde etmiştir. Sonuç olarak, PVSOL programı %91 doğrulukla %80,9 performans oranı, PVsyst ise %89 doğrulukla %84,36 performans oranı elde etmiştir (Şahin 2024).

Bir başka çalışmada, 1 MW kurulu güçte bir güneş enerji santrali PVsyst programı ile simüle edilmiştir. PVsyst sonuçlarına göre santral yıllık 1.458.184 kWh üretim yaparken, gerçek üretim 1.528.217 kWh olarak ölçülmüştür. Araştırmacı, PVsyst programının gerçek üretim değerine göre %4,6 sapma gösterdiğini, bunun kabul edilebilir bir doğruluk olduğunu belirtmiştir. PVGIS programı ise daha yüksek tahminle 1.542.669 kWh üretim değeri ve %0,943 sapma göstermiştir. Sahada yapılan ölçümlerde ise %0 ile %5 arasında kayıp tespit edilen diziler olmuş ve PVsyst programında yaşlanma, ışınlam seviyesi ve sıcaklık kaynaklı kayıplar sırasıyla %3,8, %0,49 ve %5,09 olarak hesaplanmıştır (Yiğit 2023).

Bir araştırma da 100 kW'lık bir güneş enerji santralinin sabit açılı ve çift eksenli güneş takip sistemli tasarımlarını Konya ve Van illerinde simüle etmiştir. Sabit açılı sistemde Van ilinin yıllık üretim değeri 188,9 MWh ve performans oranı %89,62 iken, Konya ilinde bu değer sırasıyla 181,1 MWh ve %88,33 olmuştur. Güneş takipli sistemde ise Van ili yıllık 209,3 MWh üretim değeri ve %90,13 performansla, Konya ili ise yıllık 202,9 MWh üretim ve %90,08 performansla elde edilmiştir. Sonuç olarak, Van ilinin daha iyi performans gösterdiği ve güneş enerjisi potansiyeli bakımından Konya'ya alternatif olabileceği ifade edilmiştir (Danışmanı et al., s.d.).

Cezayir'in kuzeydoğusundaki Souk Ahras eyaletinde Oued Kebrite kasabası için 15 MW kurulu gücünde bir güneş enerji santrali tasarlanmış ve PVsyst programı ile simüle edilmiştir. Tasarımda kullanılan panellerin maksimum verim için 35° eğimle konumlandırılması sağlanmış ve toplamda 60.060 adet 250 Wp gücünde modül kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre yıllık 237.35 MW enerji üretimi ve %83,9 performans oranı elde edilmiştir (Essaaidi e Zaz 2016).

Bağdat'ta 20 kW gücünde bir çatı üstü güneş enerji sistemi tasarlanmış ve simülasyon sonuçları elde edilmiştir. Tasarlanan sistemle yıllık 517 MWh enerji üretileceği ve %76,5 performans oranı elde edileceği belirlenmiştir. Araştırmacılar, bu

sonuçlar doğrultusunda Güneş Enerji Sistemlerinin Bağdat için sürdürülebilir olduğunu ve şehirdeki diğer niversiteler için bu alanda çalışmalar yapmalarını teşvik edici olmasını temenni etmişlerdir (Mahmood et al. 2023b).

Diğer bir araştırmada, Hindistan'ın Jaipur şehrinde 400 kWp gücünde bir çatı üstü güneş enerjisi santrali tasarlanmış ve PVsyst programı ile simüle edilmiştir. Santralin yıllık 811 MWh retim yapması öngörülürken, en yüksek retim Mart ayında 80,56 MWh, en düşük üretim ise Ağustos ayında 53,93 MWh olmuştur. Performans oranı %82,1 olarak hesaplanmış ve 188.615.595 ton CO₂ emisyonu engelleneceği tahmin edilmiştir (Rawat, Singh, e Sharma 2023).

Hindistan'ın Hamirpur eyaletindeki iklim şartları dikkate alınarak 1 kWp gücünde bir güneş enerjisi sistemi tasarlanmış ve PVsyst ile simüle edilmiştir. Yıllık 1356 kWh enerji üretimi beklenen sistemin performans oranı %72,4 olarak hesaplanmıştır. Araştırmacı, bu bölgenin Güneş Enerji Sistemleri için iyi bir alternatif olduğunu belirtmiştir (Yadav, Kumar, e Chandel 2015).

Dubai'de 200 kWp gücünde bir şebekeye bağlı güneş enerji sistemi tasarlanmış ve PVsyst ile simülasyon yapılmıştır. Simülasyon sonucunda yıllık 352,6 MWh enerji üretimi ve %81,7 performans oranı elde edilmiştir. Mayıs ayında en yüksek retim 32,54 MWh, Aralık ayında ise en düşük retim 25,53 MWh olmuştur (Satish, Santhosh, e Yadav 2020).

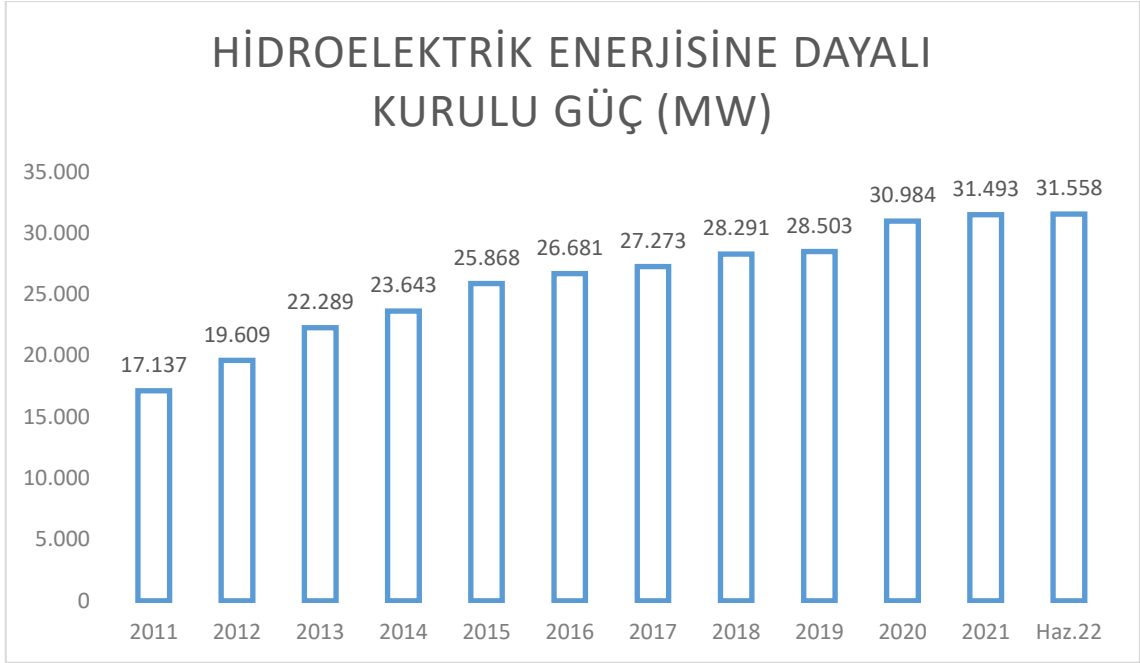
3. ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

3.1. Yenilenebilir Enerji

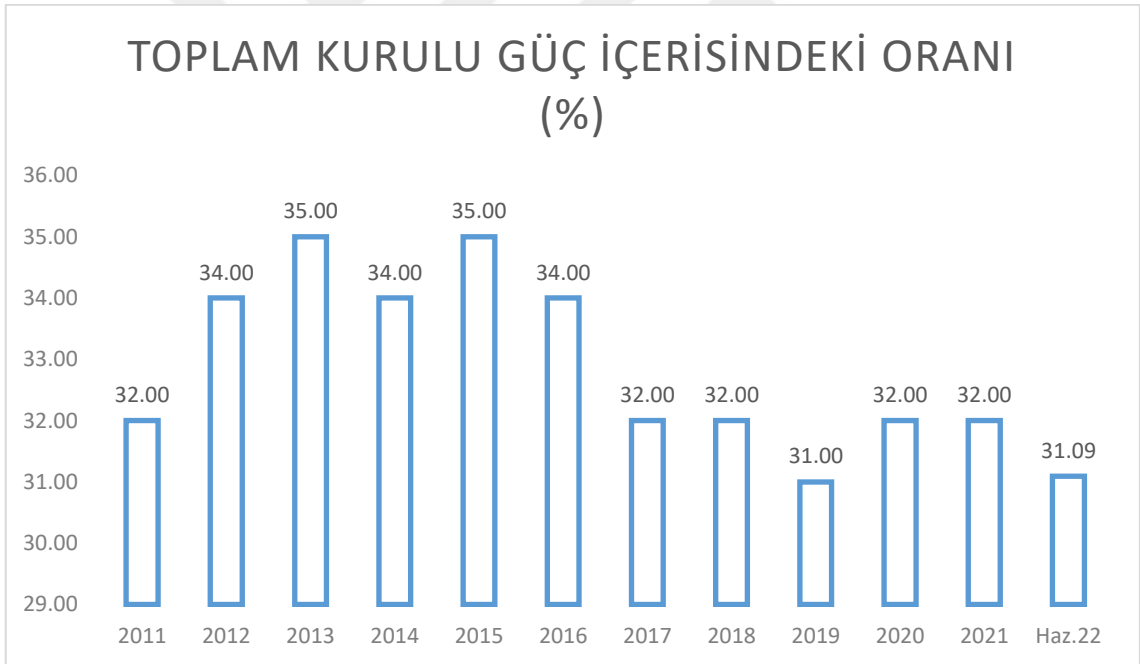
Doğal kaynaklardan elde edilen, sürekli olarak kendini yenileyebilen ve tükenme riski taşımayan enerji türlerine “Yenilenebilir Enerji” denir. Bu enerji türü, çevreye daha az zarar vererek insanlığın enerji ihtiyacını karşılamayı amaçlar ve doğa dostu bir alternatif sunar. Yenilenebilir enerji, fosil yakıtların aksine, sera gazı salınımını en aza indirerek iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynar. Temel olarak, yenilenebilir enerji kaynakları altı ana gruba ayrılır: güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerji, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji ve okyanus enerjisi. Bu kaynaklar, insanlığın sürdürülebilir bir gelecek inşa etmesinde kilit bir öneme sahiptir.

3.1.1. Hidroelektrik Enerjisi

Su akışının gücünden yararlanılarak elektrik enerjisi üretilmesine hidroelektrik enerji denir. Genellikle büyük barajlar inşa edilerek, suyun yüksekten düşmesi sağlanır; bu sayede türbinler döndürülür ve elektrik enerjisi üretilir. Hidroelektrik santraller, hem büyük ölçekli hem de küçük ölçekli projelerde kullanılabilir. En büyük avantajları, düşük işletme maliyetlerine kıyasla yüksek verimlilik ve depo kapasitesine göre ihtiyaç halinde elektrik enerjisi üretebilmeleridir. Ayrıca, kendini kanıtlamış, güvenilir ve temiz bir enerji kaynağı olmaları da önemli avantajlarındandır. Dezavantajları arasında ise, büyük baraj projelerinin ekosistemlerin bozulmasına, su seviyelerinin değişmesine ve yerel toplulukların yerinden edilmesine neden olabilmesi, arazilerin satın alınmasını gerektirdiği için ilk kurulum maliyetlerinin nispeten yüksek olması gibi durumlar sayılabilir. Kurulumu yapılan santraller, "depolama şekline göre", "kurulu güç kapasitesine göre", "baraj gövdesinin yapısına göre", "dağıtım şebekesinin ihtiyacı olan enerjiyi sağlamasına göre" ve "santral binasının bulunduğu yere göre" olmak üzere 6 farklı açıdan sınıflandırılabilirler. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de, ülkemizdeki hidroelektrik enerjisi kurulu gücü ve kurulu güç içerisindeki oranı gösterilmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, s.d.).



Şekil 3.1. Ülkemizde hidroelektrik enerjisine dayalı kurulu güç.

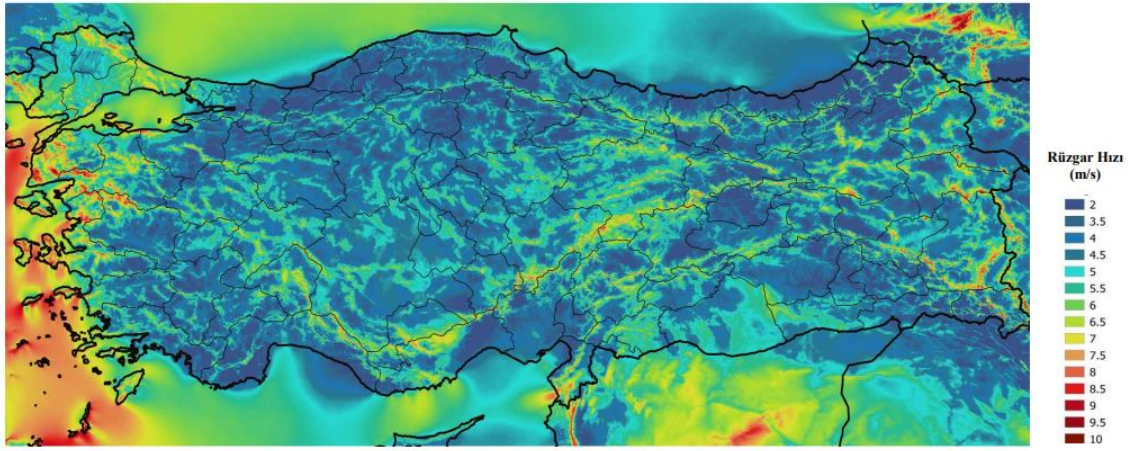


Şekil 3.2. Ülkemizde hidroelektrik enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki oranı.

3.1.2. Rüzgâr Enerjisi

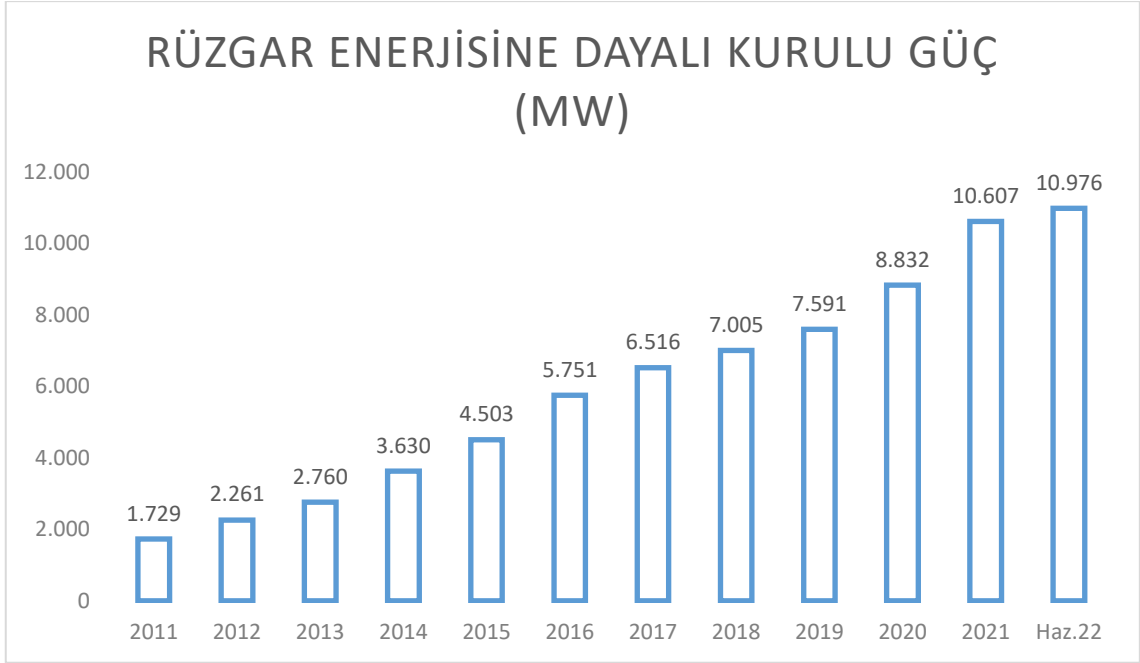
Güneş ışığının yeryüzünü eşit oranda ısıtmaması nedeniyle oluşan basınç farklılıklarının yarattığı hava hareketlerine "rüzgâr" denir. Rüzgâr enerjisi, rüzgârın kinetik enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilir. Rüzgâr türbinleri, geniş ve açık alanlarda yüksek kulelere monte edilerek rüzgârdan maksimum verim elde edilmesi sağlanır. Temiz olmasının yanı sıra düşük işletme maliyetleri, sürdürülebilirlik

ve dışa bağımlılığı azaltma gibi avantajlarıyla ön plana çıkan rüzgâr enerjisi; rüzgârın değişkenliği nedeniyle oluşan üretim belirsizliği, ilk kurulum maliyetlerinin yüksekliği, uçan hayvanlar için tehlike oluşturması ve enerji kapasitesinin sınırlı olması gibi dezavantajlara da sahiptir. Temel olarak kanatlar, kontrol ünitesi, vites kutusu, kule, çark, jeneratör, düşük ve yüksek hız milleri, durdurma kolu, anemometre, sapma sürücüsü ve sapma motoru gibi ekipmanlardan oluşan rüzgâr santralleri, ülkemizde giderek yaygınlaşmaktadır. Şekil 3.3'te, ülkemizin yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımı verilmiştir ("<https://repa.enerji.gov.tr/REPA/iller/KONYA-REPA.pdf>", s.d.).

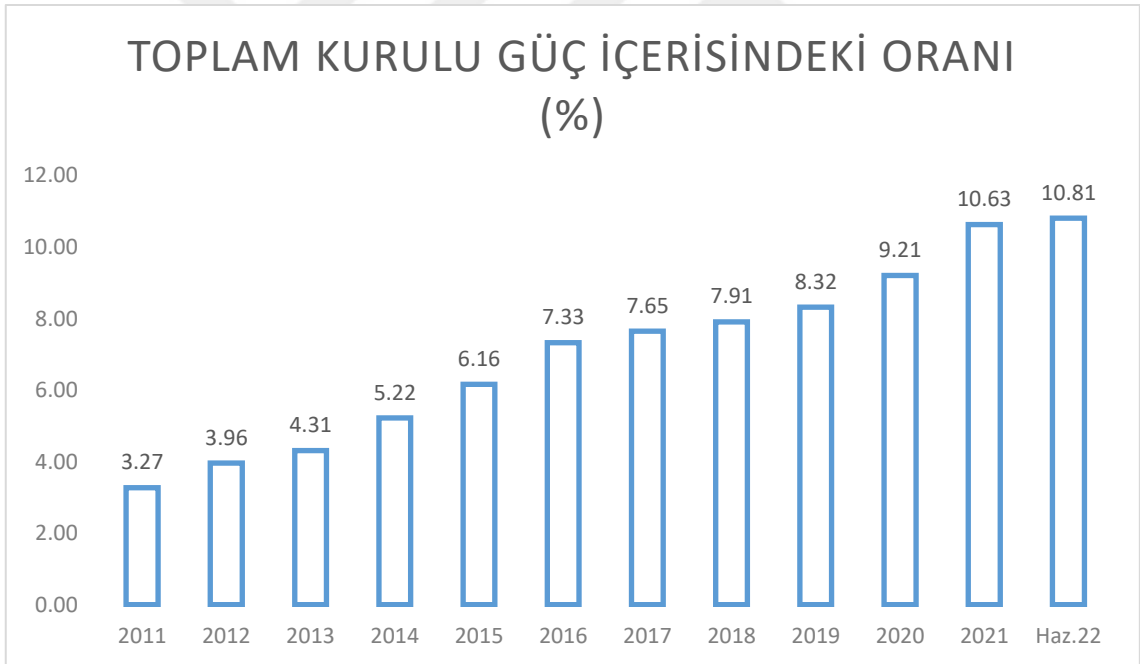


Şekil 3.3. Ülkemizin yıllık ortalama rüzgâr hızı haritası.

Aşağıda, Şekil 3.4'te ülkemizde rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç değerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 3.5'te ise, ülkemizde rüzgâr enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki oranının yıllara göre değişimi verilmiştir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, s.d.).



Şekil 3.4. Ülkemizde rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç.



Şekil 3.5. Ülkemizde rüzgâr enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki oranı.

Ülkemizde 2023 yılı sonu itibari ile kaynak bazındaki kurulu gücün %10,8'i ve üretilen elektrik enerjisinin %10,49'u rüzgâr enerjisinden elde edilmektedir.

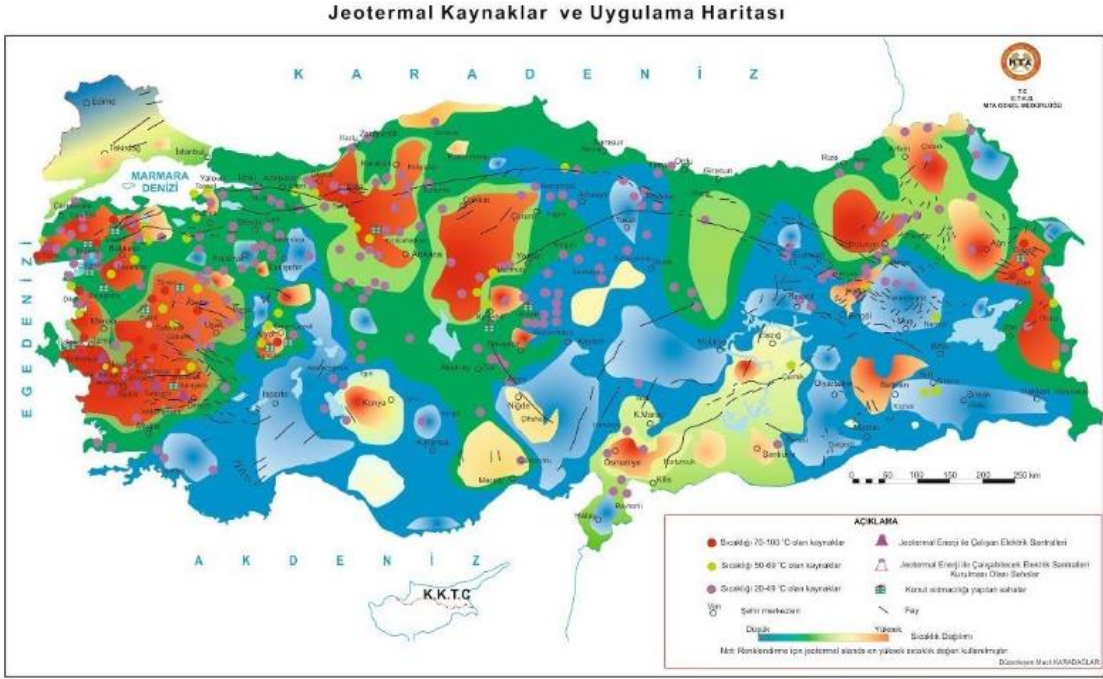
3.1.3. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi, bitkiler, tarım ve hayvan atıkları gibi organik maddelerin yakılması veya biyolojik süreçlerle enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen enerjidir.

Biyokütle enerjisi, ısınma ve elektrik enerjisi üretimi için kullanılabilir. Doğada her yıl 150 milyar ton biyokütle üretilirken, bunun sadece %10'u ticari olarak kullanılabilir. Sera gazı emisyonlarını azaltması, taşra ekonomilerine katkı sağlaması, GES ve RES gibi kesikli enerji kaynaklarına dayanmaması, atık yönetimine katkı sunması ve depolanabilir olması gibi avantajlarıyla ön plana çıkmaktadır. Ancak, tarım arazilerinin kullanılması sonucu gıda güvenliği sorunlarına yol açabilmesi ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmediğinde çevresel etkiler yaratabilmesi gibi sınırlılıkları da bulunmaktadır. Dünyada Finlandiya, İsveç ve Avusturya biyokütle enerjisi bakımından ön plana çıkarken, ülkemizde ise henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır. 2023 EPDK verilerine göre, ülkemizdeki kurulu güce oranla biyokütle enerjisi %1,9 ile oldukça düşük bir yer kaplamakta, ancak enerji üretimi açısından %2,99 oranında katkı sağlamaktadır.

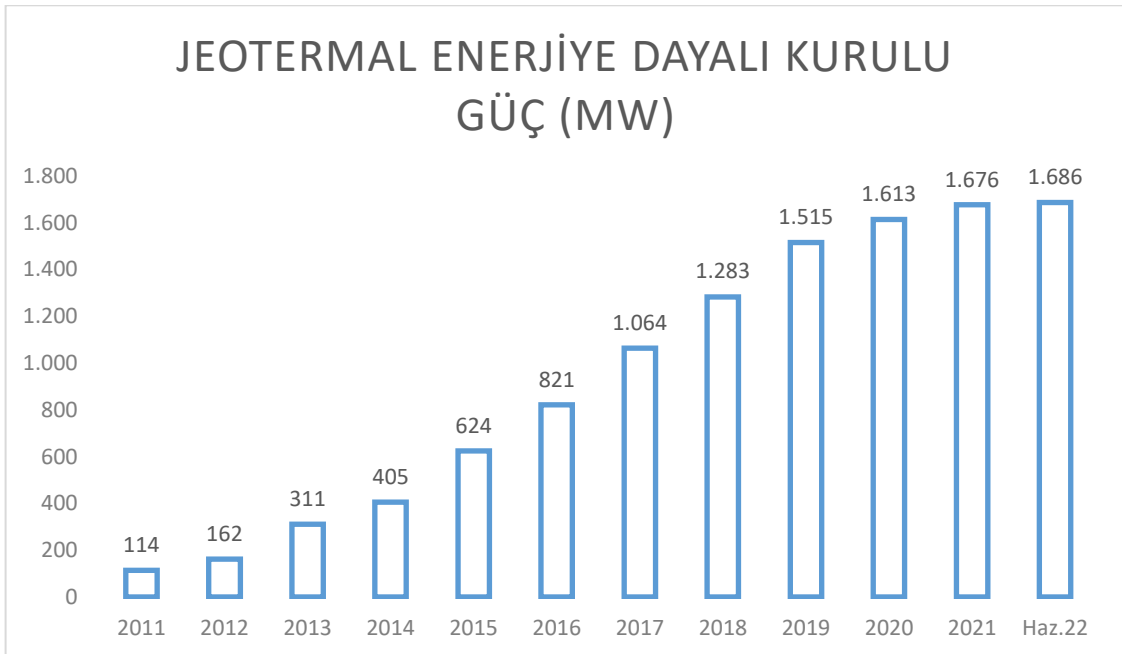
3.1.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, kısaca yer altındaki sıcak su ve buhar kaynaklarının kullanılarak enerji elde edilmesi olarak açıklanabilir. Jeotermal santraller, sıcak suyun yüzeye çıkarılması ve buharın türbinleri döndürerek elektrik üretmesi prensibine dayanmaktadır. Jeotermal enerjinin, sürekli bir enerji kaynağı olması, yani hava koşullarından bağımsız olması, avantajı olarak karşımıza çıkarken, yalnızca belirli coğrafi koşulları sağlayan bölgelerde bulunması ve ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması gibi sınırlılıkları da bulunmaktadır. Ülkemiz, jeotermal enerji bakımından Avrupa'da 1. sırada yer alırken, kurulu güç bakımından dünyada 4. sıradadır. Aşağıda, Şekil 3.6'da ülkemizdeki Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası yer almaktadır (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, s.d.).

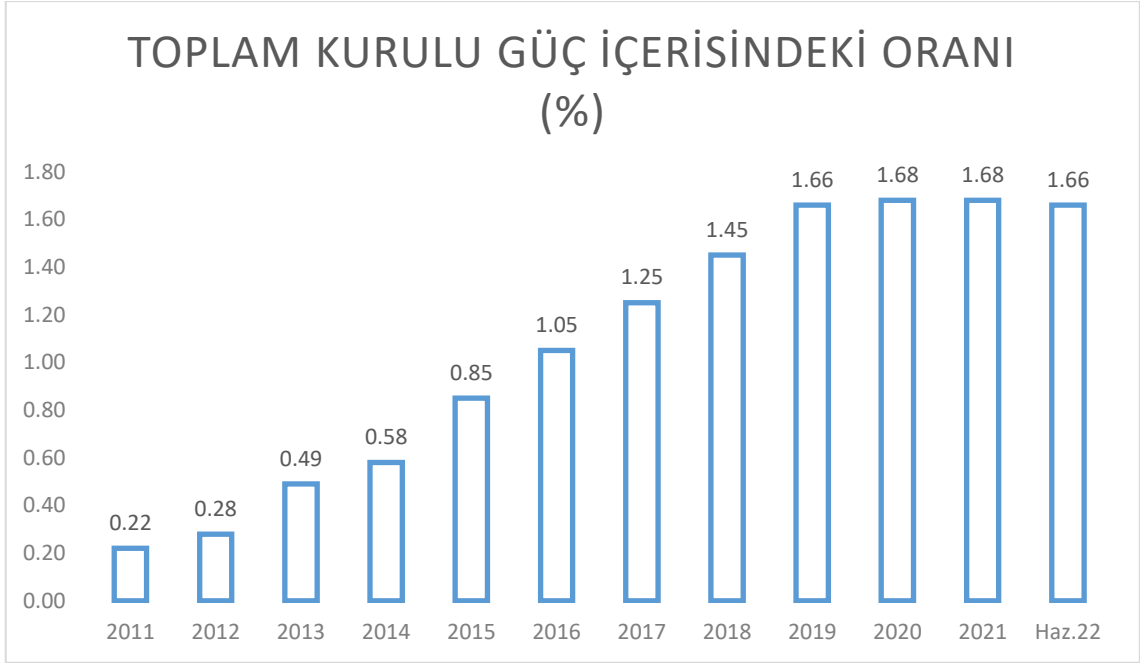


Şekil 3.6. Ülkemizdeki jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası.

2023 verilerine göre ise ülkemizdeki kurulu gücün %1,55'i ve üretilen elektrik enerjisinin ise %3,39'u jeotermal enerjiden elde edilmektedir. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de sırasıyla Jeotermal Enerji Kaynaklı Kurulu Güç değerinin yıllara göre değişimi ve Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı verilmiştir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, s.d.).



Şekil 3.7. Ülkemizde jeotermal enerjisine dayalı kurulu güç.



Şekil 3.8. Ülkemizde jeotermal enerjinin toplam kurulu güç içerisindeki oranı.

3.1.5. Dalga ve Okyanus Enerjisi

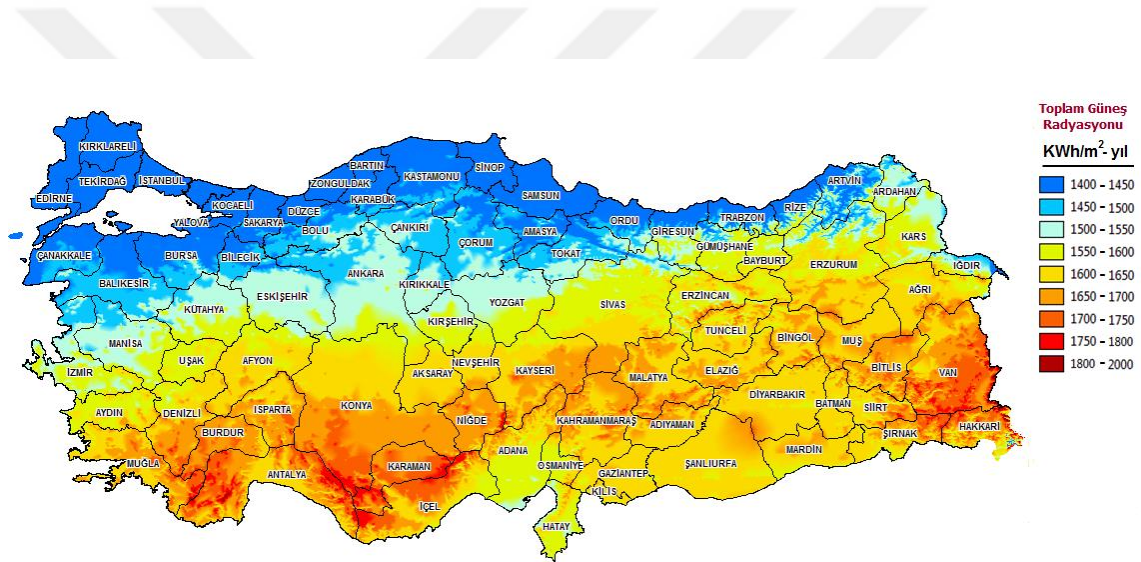
Deniz dalgalarının ve gelgitlerin enerjisinden faydalanarak elektrik enerjisi üretilmesini amaçlayan sistemlerdir. Dalga enerjisi, dalgaların kinetik enerjisinden faydalanarak elektrik enerjisi üretirken, gelgit enerjisi sistemleri okyanusta oluşan akıntıların hareketlerinden yararlanmayı amaçlar. Henüz geliştirilme aşamasında olan bu sistemler için seçilecek materyallerin, su ortamındaki değişken koşullara dayanıklı olması gerektiği gibi, ilk kurulum maliyetlerinin de yüksek olacağı öngörülmektedir.

3.1.6. Güneş Enerjisi

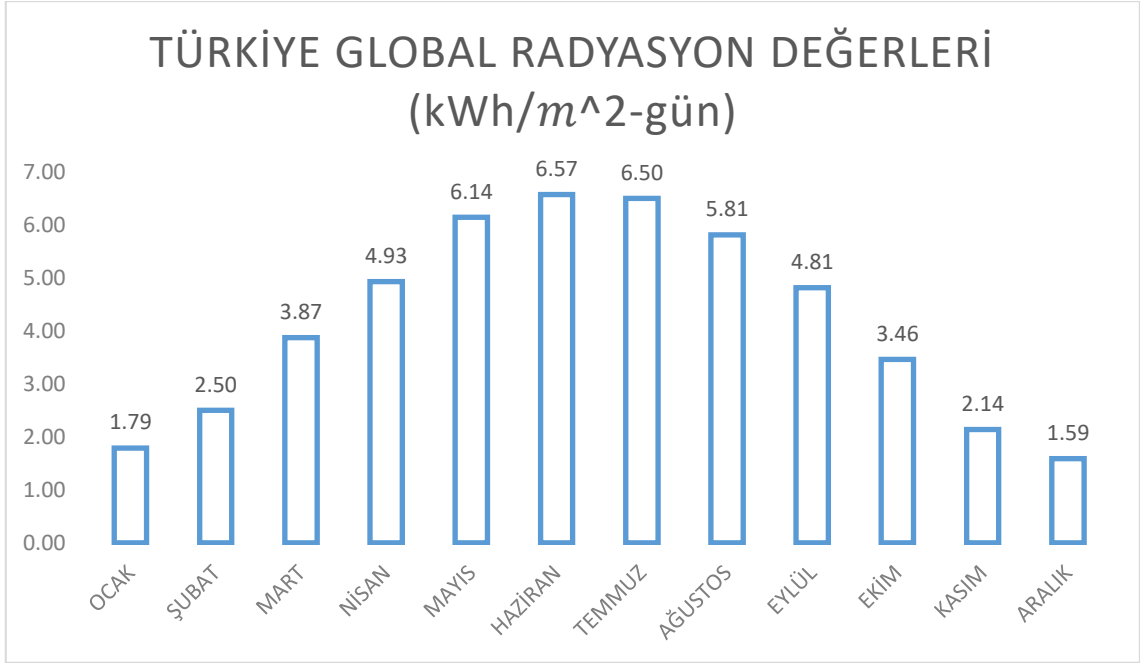
Güneş enerjisi, güneş ışığından elde edilen bir enerji kaynağıdır. Fotovoltaik (FV) paneller, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılır. Bu paneller, silikon gibi yarı iletken malzemelerden yapılmaktadır. Güneş enerjisinin en önemli avantajı, güneş ışığının sürekli olarak mevcut olmasıdır; bu da insanlık için sürekli bir çözüm sunar. Temiz bir enerji kaynağı olması nedeniyle, düşük miktarda karbondioksit salınımı yaparak iklim değişikliği ve küresel ısınma ile mücadelede önemli bir role sahiptir. Ayrıca, istihdam sağlaması ve dışa bağımlılığı azaltması da diğer avantajları arasında yer alır. Günümüzde, Güneş Enerji Sistemleri tarımda, ticari binalarda ve evlerde kullanılması sebebiyle birçok uygulama alanına sahiptir. Ancak, hava koşullarına bağlı olması nedeniyle bulutlu günlerde veya gece saatlerinde enerji üretememesi, depolama sorunlarını beraberinde getirmiştir. İlk kurulum maliyetlerinin

yüksek olması ve verimli tarım arazilerinin değerlendirilememesi ile canlıların doğal yaşam alanlarının tahribatına sebep olabilmesi de birer dezavantajdır. Ayrıca, FV modüllerinin kullanım süreleri dolduğunda atık yönetimi sorunları da ortaya çıkabilir.

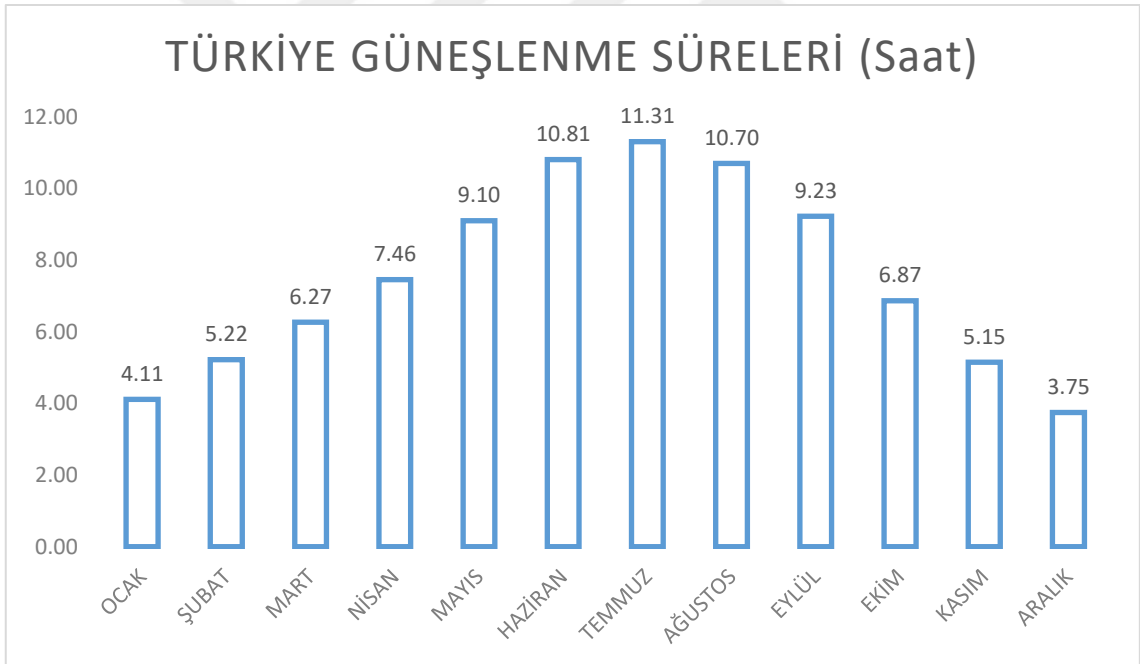
Ülkemizde giderek yaygınlaşan Güneş Enerji Sistemleri, enerji piyasamız açısından belirleyici bir rol oynamaya başlamıştır. Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerine göre, ülkemizin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat iken, ortalama yıllık toplam ışınım değeri 1.527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Aşağıda, Şekil 3.9'da ülkemizin Güneş Enerjisi Radyasyonu haritasını; Şekil 3.10 ve 3.11'de sırasıyla aylara göre Ülkemizdeki global radyasyon değerleri ve Ülkemizin aylara göre ortalama güneşlenme süresi verileri görülmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, s.d.; GEPA, s.d.).



Şekil 3.9. Ülkemizdeki güneş enerjisi radyasyonu haritası.

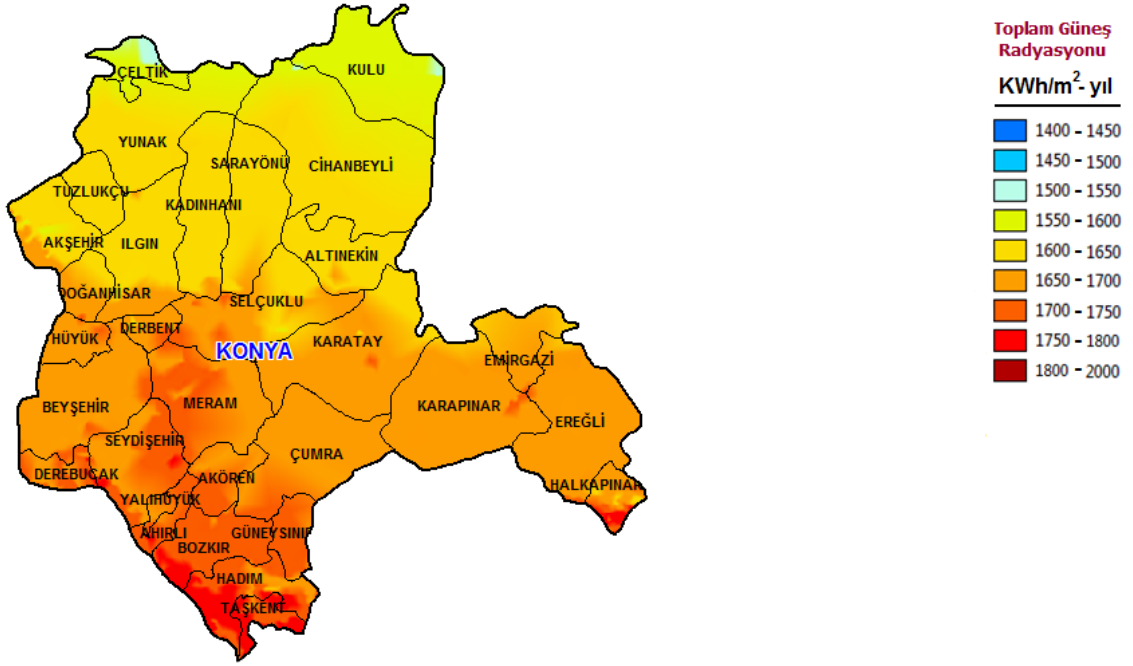


Şekil 3.10. Ülkemizdeki global radyasyon değerleri.

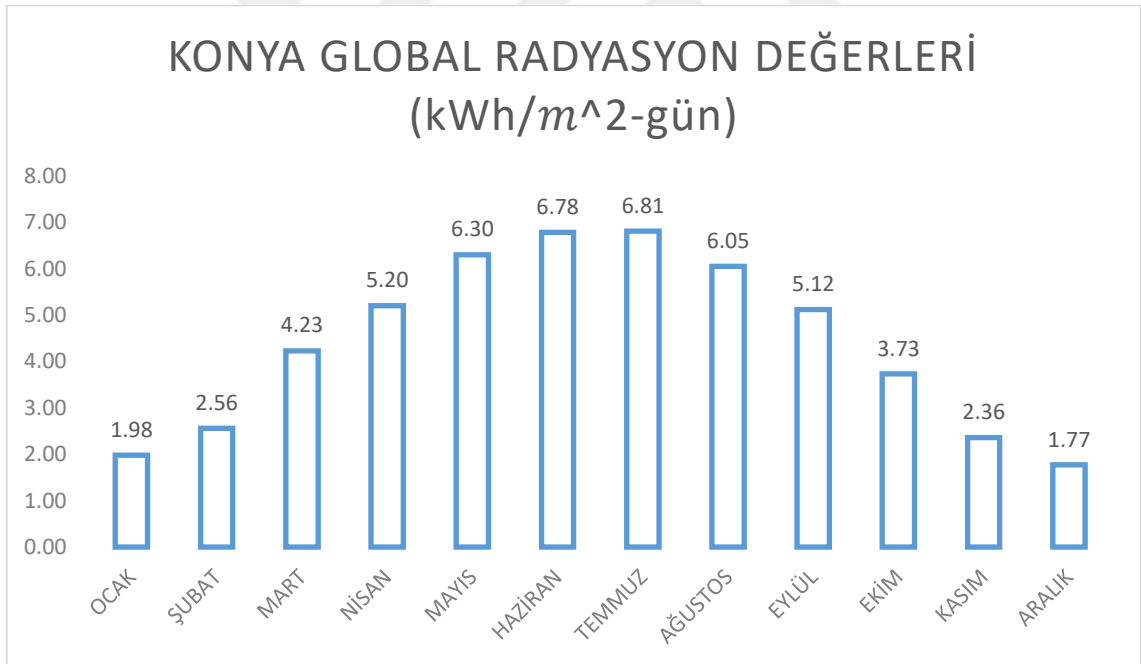


Şekil 3.11. Ülkemizin aylara göre ortalama güneşlenme süresi.

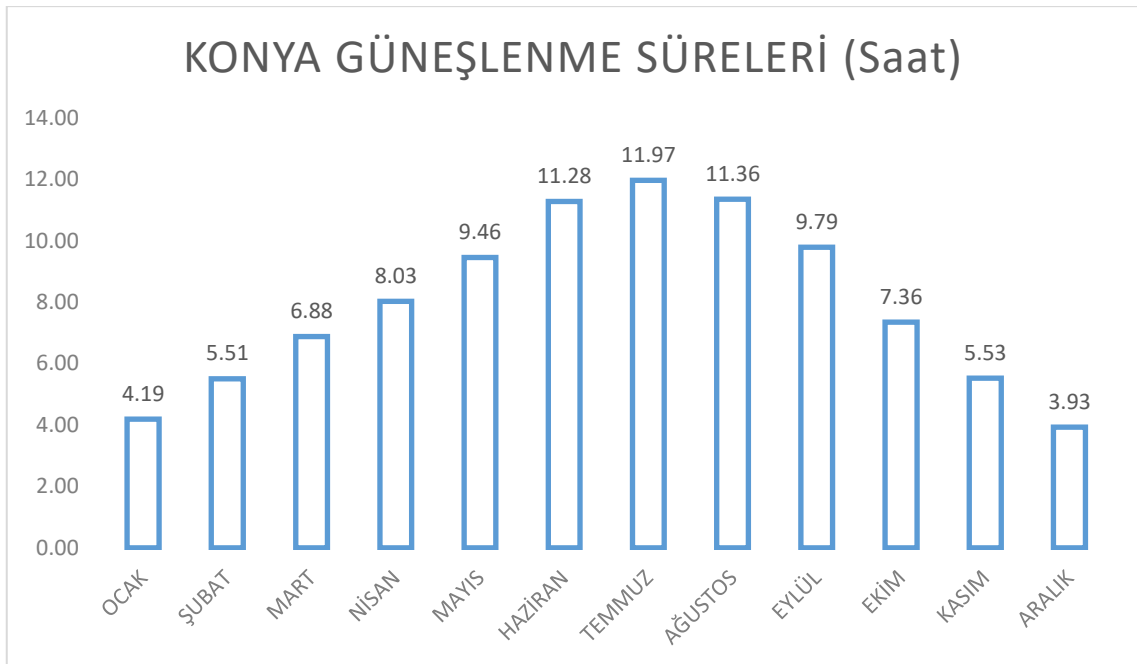
Araştırmamızın konusu olan Konya ili için, Güneş Enerji Radyasyonu haritası aşağıda, Şekil 3.12’de verilmiştir. Şekil 3.13 ve 3.14’te ise sırasıyla Konya ilindeki global radyasyon değerleri ve Konya ilinin aylara göre ortalama güneşlenme süreleri yer almaktadır (GEPA, s.d.).



Şekil 3.12. Konya ilinin güneş enerjisi radyasyonu haritası.

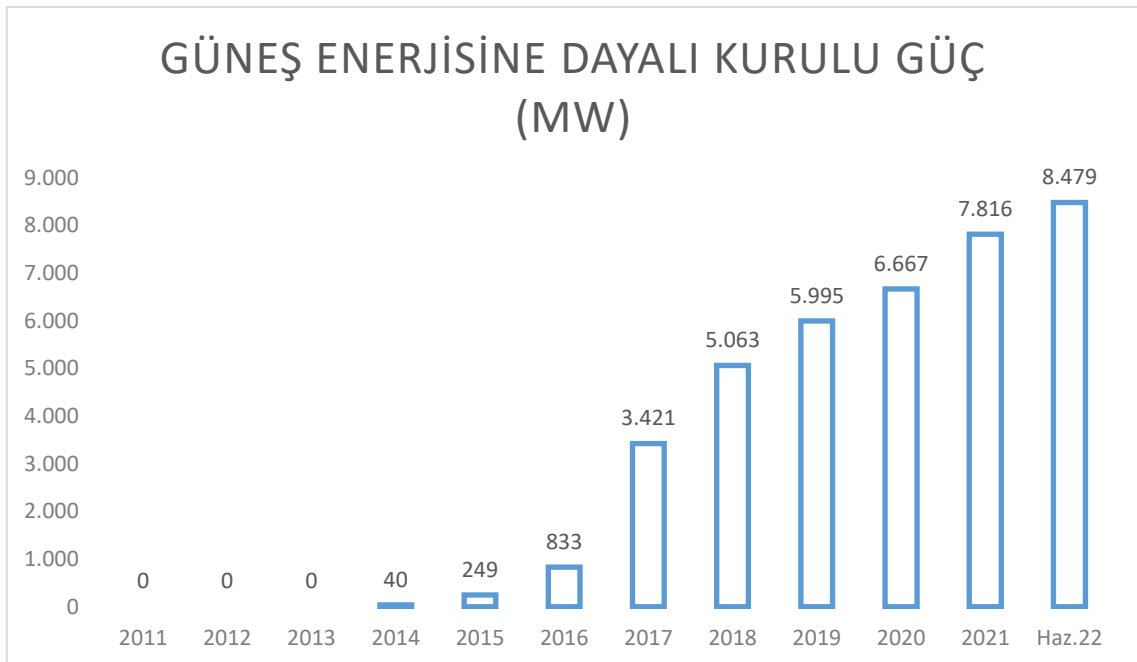


Şekil 3.13. Konya ilindeki global radyasyon değerleri.

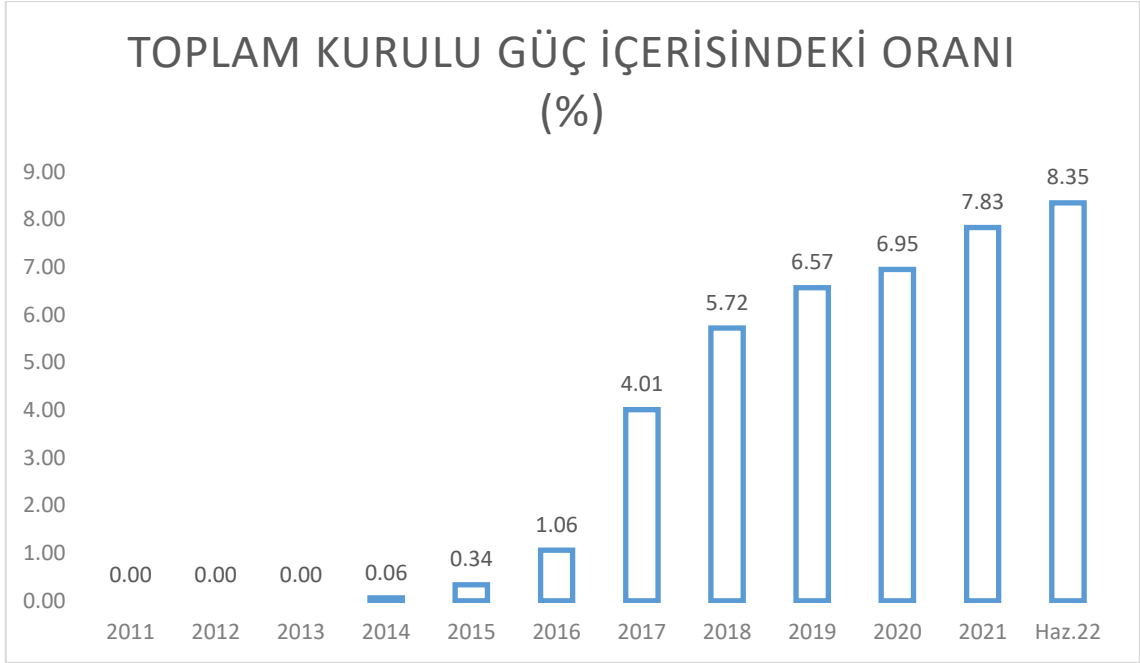


Şekil 3.14. Konya ilinin aylara göre ortalama güneşlenme süreleri.

Güneş enerjisi açısından ülkemizin genel durumuna bakıldığında, Şekil 3.15'te Ülkemizde güneş enerjisine dayalı kurulu güç ve Şekil 3.16'da ise Ülkemizde güneş enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki oranları yer almaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, s.d.).



Şekil 3.15. Ülkemizde güneş enerjisine dayalı kurulu güç.

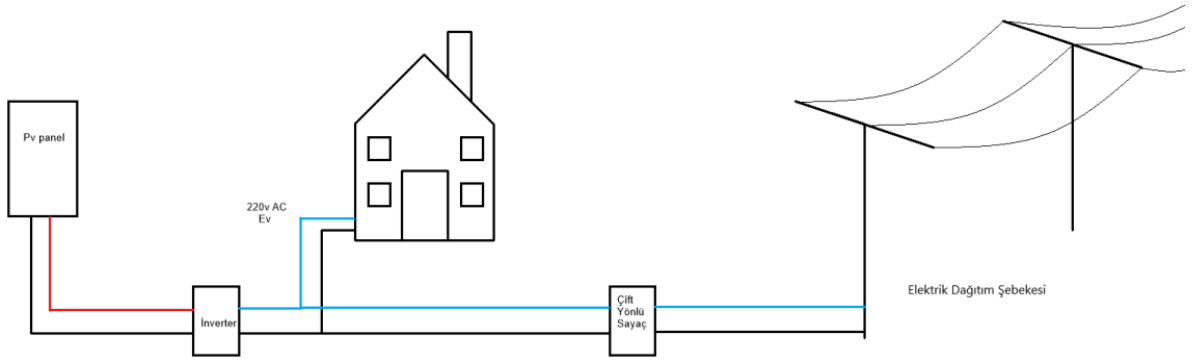


Şekil 3.16. Ülkemizde güneş enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki oranı.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

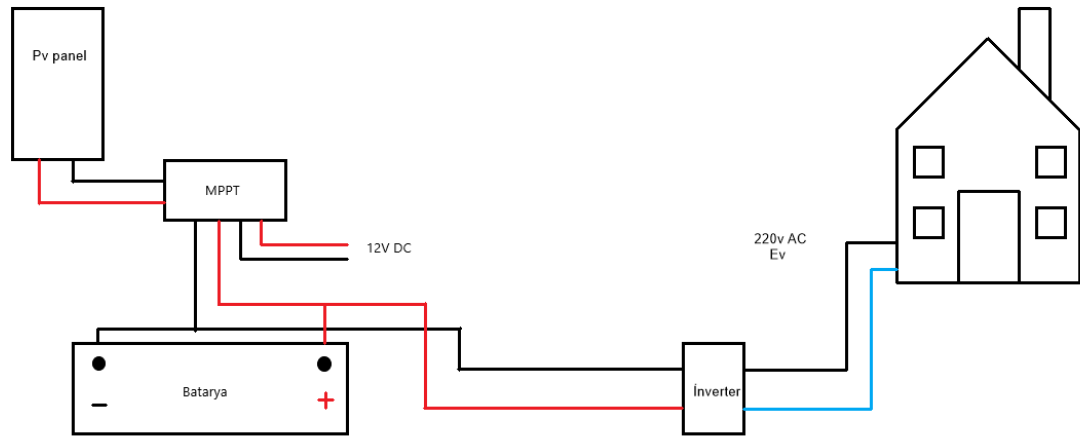
4.1. FV sistem bileşenleri

Güneş Enerji Sistemleri, temel olarak On-Grid (Şebekeye bağlı) ve Off-Grid (Şebekeden bağımsız) olmak üzere iki ana sisteme ayrılmaktadır. Şebekeye bağlı sistemlerde, santral tarafından üretilen elektrik enerjisi doğrudan dağıtım şebekesine aktarılmakta; şebekeden bağımsız sistemlerde ise üretilen elektrik enerjisi, batarya sistemlerinde depolanmaktadır. Şebekeye bağlı sistemler; güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren güneş panelleri ve üretilen doğru akımı (DC) 220V-50Hz veya 220V-60Hz alternatif akıma (AC) çeviren inverterlerden oluşur. İnverterden çıkan alternatif elektrik enerjisi, gerilim yükseltici transformator yardımıyla şebekeye uygun seviyeye yükseltilir ve ardından şebekeye verilmeden önce bir sayaçla ölçülür. Şekil 4.1’de, şebekeye bağlı bir sistemin şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 4.1. Şebekeye bağlı sistem.

Şebekeden bağımsız sistemlerde, güneş panelleri ve inverterlere ek olarak batarya ve şarj kontrol sistemleri de bulunmaktadır. Güneş panellerinden üretilen elektrik enerjisi, öncelikle şarj kontrol cihazı aracılığıyla batarya sistemine depolanır. Ardından, bataryada depolanan enerji, inverter vasıtasıyla alternatif akıma dönüştürülerek kullanıcıya sunulur. Ancak, batarya sistemlerinin zamanla arızalanma riski ve yüksek ilk kurulum maliyetleri nedeniyle, bu tür sistemler genellikle şebeke elektriğine ulaşımı olmayan bölgelerde kullanılır. Zorunlu olmayan durumlar için, şebekeden bağımsız sistemler yaygın olarak tercih edilmemektedir. Şekil 4.2’de, şebekeden bağımsız bir sistemin şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 4.2. Şebekeden bağımsız sistem.

4.1.1. Fotovoltaik (Güneş) Paneller

Birden çok güneş hücresinin bir araya gelmesiyle güneş panelleri oluşur. Bu paneller, üzerine düşen güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürür ve bu enerjiyi depolayabilir ya da doğrudan kullanıma sunabilirsiniz. Günümüzde üç ana tip güneş paneli bulunmaktadır: Monokristal, Polikristal ve İnce Film güneş panelleri. Monokristal güneş panelleri, ideal koşullarda %24 verime sahipken, saha şartlarında verim oranları %13-%16 arasında değişmektedir. Üretim maliyetleri yüksektir, bu nedenle amortisman süresi uzun olur. Ancak, üretim artışı fazla olsa da yıllar içinde verim kaybı düşüktür. Polikristal güneş panelleri, ideal şartlarda %18 verim sağlarken, saha şartlarında bu değer %12-%15 arasında değişir. Monokristal hücrelere göre daha düşük maliyetlidir, bu da amortisman süresinin daha kısa olmasına yol açar. Ancak uzun vadede verim kaybı, Monokristal panellere göre çok daha belirgindir. İnce film güneş panelleri, amorf, kadmiyum tellür (CdTe) ve CIGS (Bakır İndiyum Galyum Selenid) olmak üzere üç farklı çeşitte üretilir. Genel olarak verimleri düşüktür (%6-%10) ve kırılma katsayıları az (esnek) olmasına rağmen, maliyetleri düşüktür. Bu paneller zamanla daha hızlı verim kaybı yaşar. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, güneş panellerinin verim değerlerinin artması ve maliyetlerinin düşmesi beklenmektedir. Bu durum, Güneş Enerji Sistemleri alanında daha büyük ilerlemeler ve atılımlar yapmayı mümkün kılacaktır.

4.1.2. Batarya Sistemi

Genellikle şebeke elektriği olmayan bölgelerde kullanılan Off-Grid sistemlerinde, güneşlenme saatlerinde elektrik enerjisine erişim sağlanabileceği gibi, güneş ışığının olmadığı gece saatlerinde de enerjiye erişim önemlidir. Bu tür sistemlerde, batarya

sistemleri elektrik enerjisinin depolanmasında kullanılmaktadır. Güneş Enerji Sistemlerinde kullanılan bataryaların, derin şarj edilebilme kapasitesine sahip olması ve yüksek döngü ömrüne ulaşması gerekmektedir. Güneş Enerji Sistemlerinde tercih edilen bataryaların özellikleri şunlardır:

- Derin deşarj edilebilme: Bataryalarda depolanan enerjinin büyük bir kısmı, boşaltılabilir ve tekrar şarj edilebilir olmalıdır.
- Düşük kendi deşarj oranı: Bataryalar, uzun süreli depolama durumlarında içlerindeki elektrik enerjisini uzun süre koruyabilmelidir.
- Yüksek döngü ömrü: Batarya sistemleri, belirli sayıda şarj-deşarj işleminden sonra performans kaybına uğramaktadır. Bu nedenle, güneş enerjisi sistemlerinde kullanılacak bataryaların yüksek döngü ömrüne sahip olması önemlidir.
- Hızlı şarj ve deşarj kapasitesi: Üretilen elektrik enerjisinden daha yüksek verim elde edilmesi ve sistemdeki ani enerji ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için batarya sistemlerinin hızlı şarj ve deşarj işlemlerini desteklemesi faydalı olacaktır.
- Güvenlik ve dayanıklılık: Bataryalar, aşırı akım ve sıcaklık gibi ekstrem koşullarda güvenli bir şekilde çalışabilmelidir. Bu nedenle, batarya sistemlerinin güvenlik standartlarına uygun olması ve dayanıklı malzemelerden üretilmesi önemlidir.

4.1.3. Şarj Kontrol Cihazı

Off-Grid Güneş Enerji Sistemlerinde, batarya sistemlerini şarj etmek ve bataryaların sağlığını korumak için şarj kontrol cihazları kullanılır. Bu cihazlar, güneş panellerinden gelen enerji değerlerini sürekli izleyerek, batarya sisteminin durumuna göre en uygun gerilim ve akım değerlerini belirler ve böylece üretilen enerji en hızlı ve verimli şekilde depolanır. Ayrıca, şarj kontrol cihazları batarya sistemlerinin deşarj işlemini de izler. Güneşten yeterli enerji üretilmediğinde veya depolanan enerjinin gece kullanılması durumunda, batarya sisteminin gerilim değerinin belirli bir eşik değerinin altına inmesini engelleyerek, batarya sisteminin zarar görmesini önler ve bu amaçla sisteme enerji akışını keser.

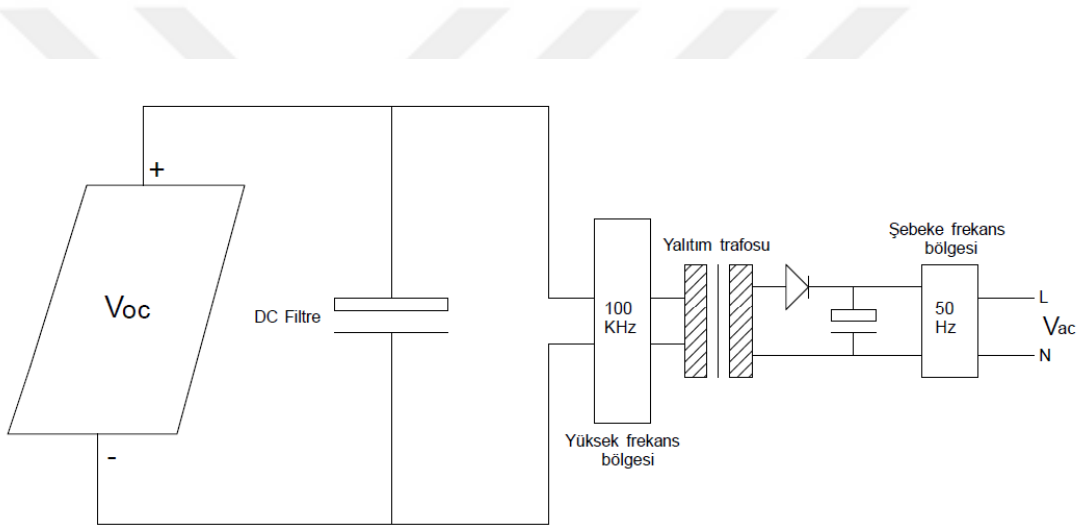
4.1.4. İnverter

Güneş panellerinden üretilen elektrik enerjisi DC olduğu için, Off-Grid sistemlerde bu enerjiyi kullanmak veya On-Grid sistemlerde aboneler tarafından tüketilebilmesi amacıyla DC enerjisinin AC'ye dönüştürülmesi gerekmektedir. Güneş Enerji Sistemlerinde, DC enerjiyi AC'ye çevirmek için inverterler kullanılır. İnverterlerin temel

görevleri arasında, DC'yi şebeke parametrelerine uygun AC'ye dönüştürmek, maksimum güç aktarımını sağlamak, sistem verilerini toplamak ve hem DC hem de AC için hatalı bağlantı, aşırı akım ve yük koruması yapmak yer almaktadır. Günümüzde trafolu inverter, trafosuz inverter ve string inverter gibi çeşitli inverter modelleri bulunmaktadır.

4.1.4.1. Trafolu inverter

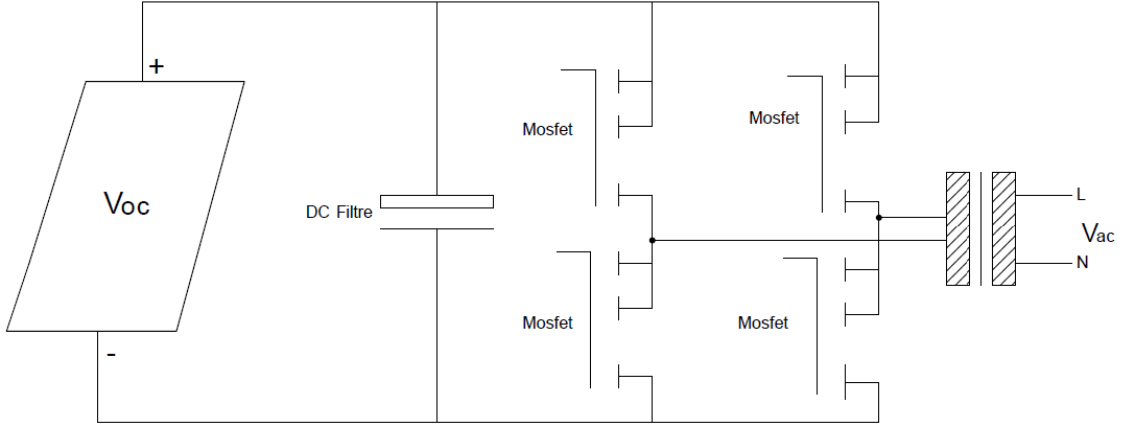
Trafolu inverterler, fotovoltaik sistemlerde üretilen DC gerilimin önce yükseltildiği, ardından dalgalanmanın düzeltildiği ve son olarak AC'ye dönüştürüldüğü sistemlerdir. Trafosuz inverterlere göre daha yüksek güç çıkışı sağlasa da, daha büyük ve ağır olurlar. Şekil 4.3'te, trafolu inverter türlerinden biri olan Yüksek frekansa dayanıklı inverter şeması gösterilmiştir.



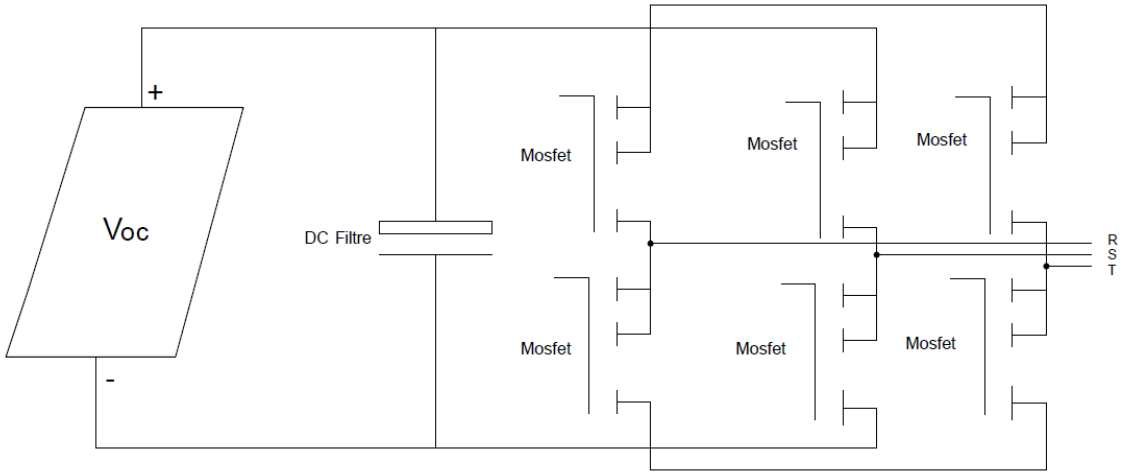
Şekil 4.3. Yüksek frekansa dayanıklı trafolu inverter.

4.1.4.2. Trafosuz inverter

Bünyelerinde transformatör bulunmayan trafosuz inverterler, daha yüksek verim, düşük maliyet ve küçük boyutlarıyla öne çıkmaktadır. Bu sistemlerde galvanik izolasyon bulunmaz. Tüm bu avantajlarına rağmen, kullanılan transformatörlerin gereğinden fazla ısınmasına neden olabilmektedirler. Ayrıca, belirli bir gerilimin altında çalışamazlar; bu nedenle solar gerilim 330V'un altına düştüğünde, sisteme ek olarak bir yükseltici gereklidir. Trafosuz inverterler, giderek daha yaygın hale gelmektedir. Şekil 4.4 ve 4.5'te sırasıyla Tek fazlı trafosuz inverter ve Üç fazlı trafosuz inverter şemaları gösterilmektedir.



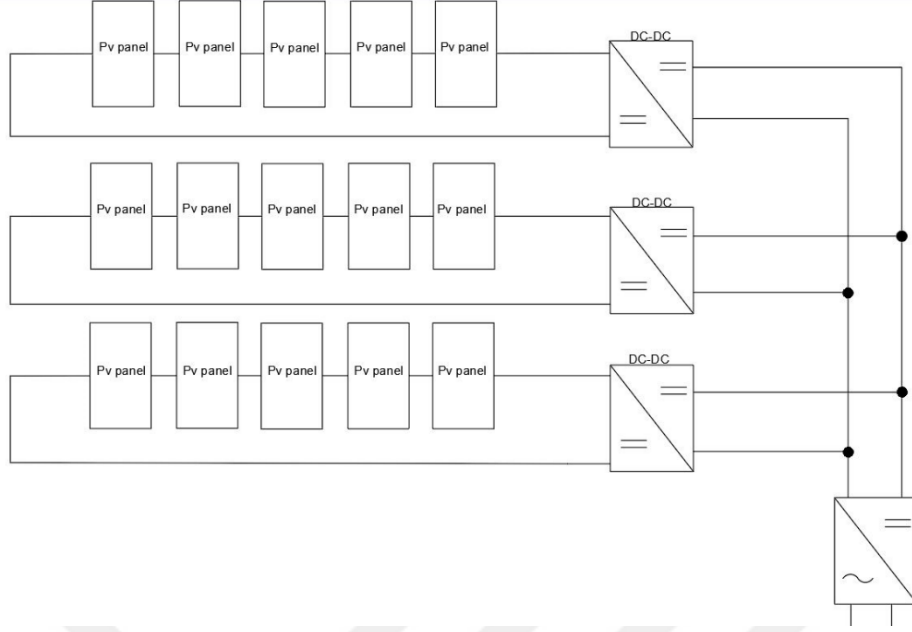
Şekil 4.4. Tek fazlı trafosuz inverter şeması.



Şekil 4.5. Üç fazlı trafosuz inverter şeması.

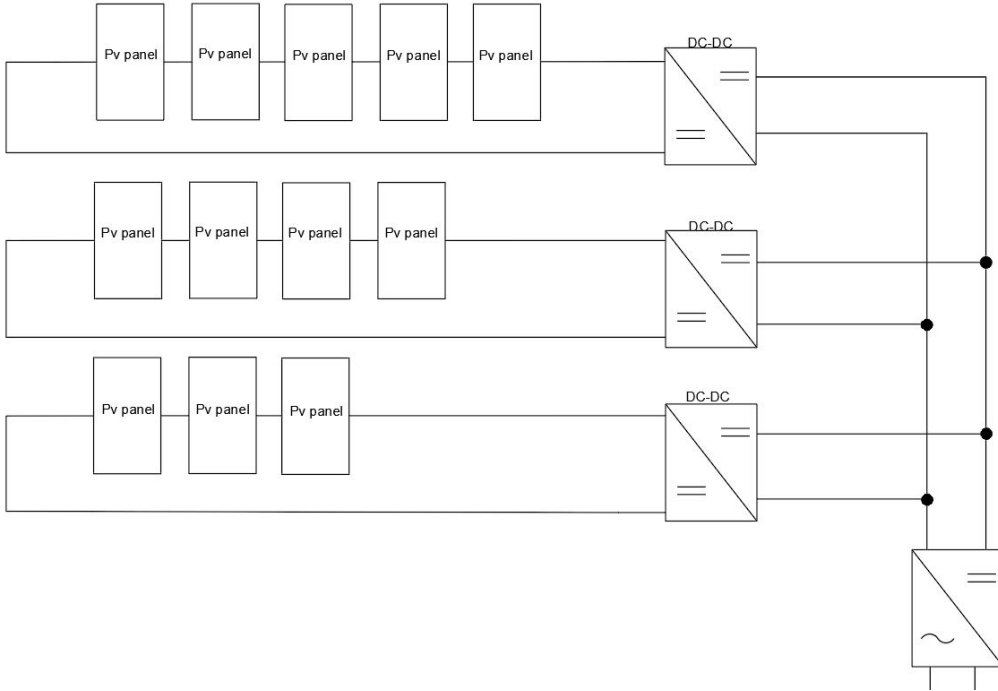
4.1.4.3. String inverter

Birden fazla güneş panelinin seri bağlanmasıyla oluşturulan bir dizi, elde edilen enerji düzleştirilip AC'ye dönüştürüldüğünde, bu tür inverterlere String inverter denir. String inverterler, ekonomik olmaları ve kurulumlarının kolay olmasıyla bilinirler. Şekil 4.6 ve 4.7'de ise string inverter bağlantı şemaları gösterilmektedir.



Şekil 4.6. String inverter şeması 1.

Tek fazlı sistemlerde her stringde farklı panel sayısı olması gerekmez fakat 3 fazlı bir sistem söz konusu ise her string için panel sayıları eşit olmalıdır.



Şekil 4.7. String inverter şeması 2.

4.2. Yöntem

PVsyst ve PVSOL programları, güneş enerjisi sistemlerinin performansını doğru bir şekilde tahmin edebilmek ve sistem tasarımı aşamasında en uygun sonuçları elde etmek amacıyla bu tez çalışmasında kullanılmıştır. Bu yazılımlar, güneş ışınımı verisi, panel özellikleri, çevresel faktörler ve sistem parametrelerini dikkate alarak, sistemin yıllık enerji üretim potansiyelini, verimlilik oranlarını ve finansal analizlerini sağlamaktadır.

4.2.1. PVSYST

PVsyst programı, İsviçre menşeli bir Güneş Enerji Sistemi simülasyon yazılımıdır ve ilk olarak 1992 yılında piyasaya sürülmüştür. O tarihten itibaren sürekli olarak geliştirilip güncellenerek, endüstri standardı haline gelmiştir. PVsyst ile On-Grid, Off-Grid veya sulama sistemleri için Güneş Enerji Sistemleri tasarlanabilir ve mevcut sistemlerin analizleri yapılabilir. Simülasyon sonuçları, grafiklerle desteklenerek rapor halinde kullanıcıya sunulabilir. PVsyst programının simülasyon raporları, Türkiye’de resmi bir belge olarak kabul edilmemekle birlikte, Avrupa ülkelerinde resmi belgeler olarak kabul edilmektedir. Program, sade arayüzü ve yüksek doğruluk oranı ile ön plana çıkar; ilk açıldığında kullanıcıyı basit bir arayüz karşılar. Simülasyon yapmak için gerekli adımlar sırasıyla takip edilerek sisteme yeni bileşenler veya parametreler eklenir. Kullanıcı, sisteme eklenen koordinatlar sayesinde bölgenin geçmiş yıllardaki hava durumu verilerini baz alarak iklim verilerini oluşturabilir ve güneş panellerinin üretim değerlerini hesaplamak için eğim ve azimut gibi değerleri kullanabilir. Panel ve inverter seçimi için geniş bir kütüphane sunulmakta olup, istenirse farklı paneller de eklenebilir. Ayrıca, program ile 3D tasarımlar oluşturulabilir ve çevredeki yapıların yarattığı gölgelemenin Güneş Enerji Sistemi üzerindeki etkisi simülasyona dahil edilebilir.

4.2.2. PVSOL

PVSOL, ilk olarak 1993 yılında Almanya’da piyasaya sürülmüş olup, günümüzde güneş enerji sistemlerinin tasarlanması ve optimize edilmesi için yaygın olarak kullanılan bir programdır. PVSOL, PVsyst programına benzer şekilde farklı tip Güneş Enerji Santralleri için simülasyon seçenekleri sunar. Panel ve inverter seçiminde, PVsyst gibi geniş bir marka ve model kütüphanesine sahip olmasının yanı sıra, inverter ve güneş paneli uyumluluğu hesabı yaparak kullanıcıyı daha verimli bir sistem tasarlamaya yönlendirir. Kullanıcı, gölgeleme hesabı, kablo kayıp hesabı ve finansal analizleri isteğe

bağlı olarak raporlarına ekleyebilir. Hazırlanan tasarımların detaylı veya yüzeysel analizlerini, meteorolojik verilerle uyumlu bir şekilde, PVSOL programı başarılı bir şekilde simüle edebilir. PVSOL, finansal analizlerin detaylı bir şekilde raporlanması ve güneş panellerinin yıllara göre verim kayıplarını göz önünde bulundurarak rapor hazırlama gibi özellikleriyle, PVsyst programına kıyasla önemli farklılıklar sunarak, kullanacağımız ikinci program olacaktır.

4.3. Sistem

Tez çalışmasında, Konya ilinin Yunak ilçesinde yer alan belediyeye ait 1 MW kapasiteli arazi tipi güneş enerji santraline ilişkin saha ölçümleri ile PVsyst ve PVSOL simülasyon yazılımları kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmanın başında, tasarımda kullanılan fotovoltaik paneller ve inverterlerin teknik özellikleri ile adetleri şu şekilde belirtilmiştir:

- 2912 adet Ödül 395Wp Monokristal panel (OSMp72-395W)
- 4 adet Sungrow 250kVA inverter (SG250HX)

Çizelge 4.1 ve 4.2’de sırasıyla fotovoltaik panel ve inverterlerin teknik özelliklerine yer verilmiştir.

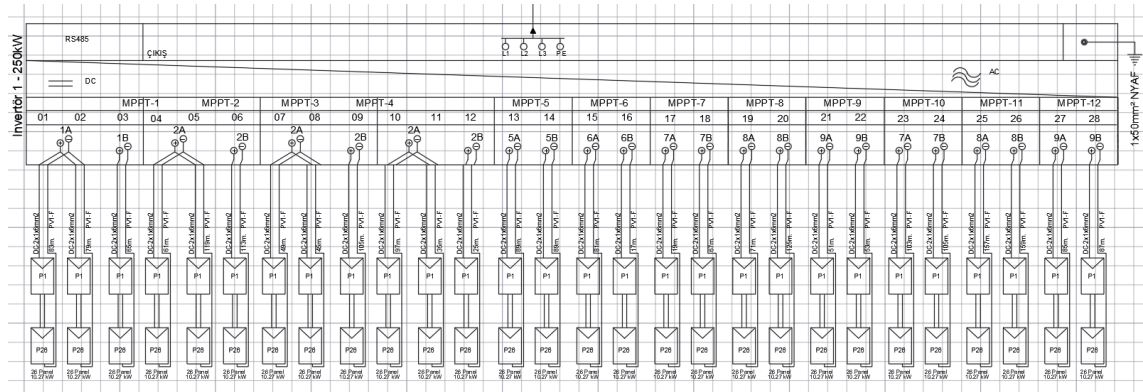
Çizelge 4.1. Güneş paneli veri sayfası.

Elektriksel Veriler	OSMp72-395W
Peak Power (Pmax)	395
Power Tolerance	0 ~ +5W
Maximum Power Voltage (Vmp)	40.48 V
Maximum Power Current (Imp)	9.76 A
Open Circuit Voltage (Voc)	49.64 V
Short Circuit Current (Isc)	10.27 A
Module Efficiency	19.77 %
NOTC	45°C (±2°C)
Temp. Coeff. Of (Pmax)	-0.4 %/°C
Temp. Coeff. Of (Voc)	-0.3409 %/°C
Temp. Coeff. Of (Isc)	+0.0447 %/°C

Çizelge 4.2. İnverter veri sayfası.

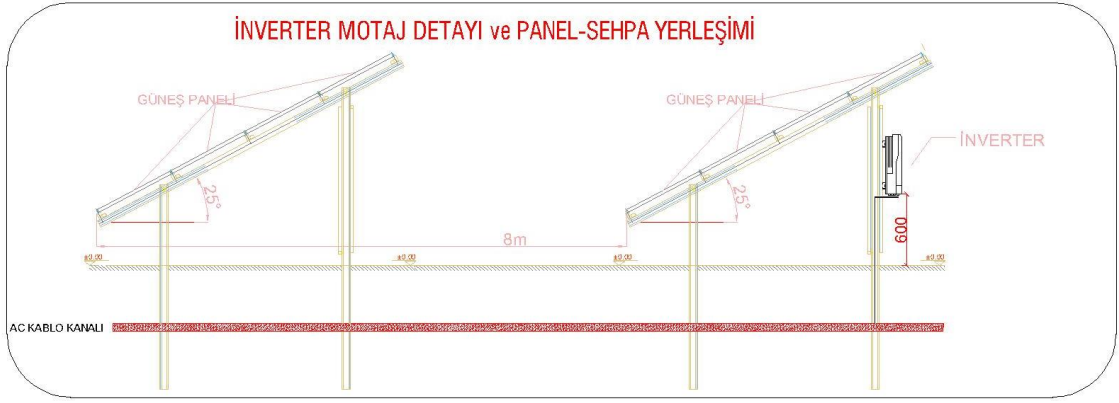
Elektriksel Veriler	SG250HX
Max efficiency	99%
Max. PV input voltage	1500 V
Min. PV input voltage / Startup input voltage	500 V /500 V
Nominal PV input voltage	1160 V
MPP voltage range	500 V- 1500 V
MPP voltage range for nominal power	860 V – 1300 V
No. of independent MPP inputs	12
Max. number of input connector per MPPT	2
Max. PV input current	30 A * 12
Max. DC short-circuit current	50 A * 12
Max efficiency	99%

Her birinde 26 FV modül bulunan sistemde, her bir invertere 28 adet string bağlanmıştır. 12 adet MPPT barındıran inverterler için tek hat şeması, Şekil 4.8’de aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4.8. İnverter tek hat şeması.

Şekil 4.8’de görüldüğü üzere 4 adet MPPT’ye 3 adet string bağlı iken kalan 8 adet MPPT’ye 2 adet string bağlanmıştır. Paneller ise düz bir araziye eğimleri 25° olacak şekilde monte edilmiştir. Şekil 4.9’da panel-sehpa yerleşim planı görülmektedir.



Şekil 4.9. Panel-sehpa yerleşimi.

Güneş Enerji Santralinin üzerine kurulu olduğu arazinin, kuş bakışı görünümü ve panel yerleşimleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Şekil 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14'te ise santral arazisinden kesitler verilmiştir.



Şekil 4.10. Santralin kuş bakışı görünümü.



Şekil 4.11. Santral inverter konumlandırılması.



Şekil 4.12. Santral arazisi görünümü.



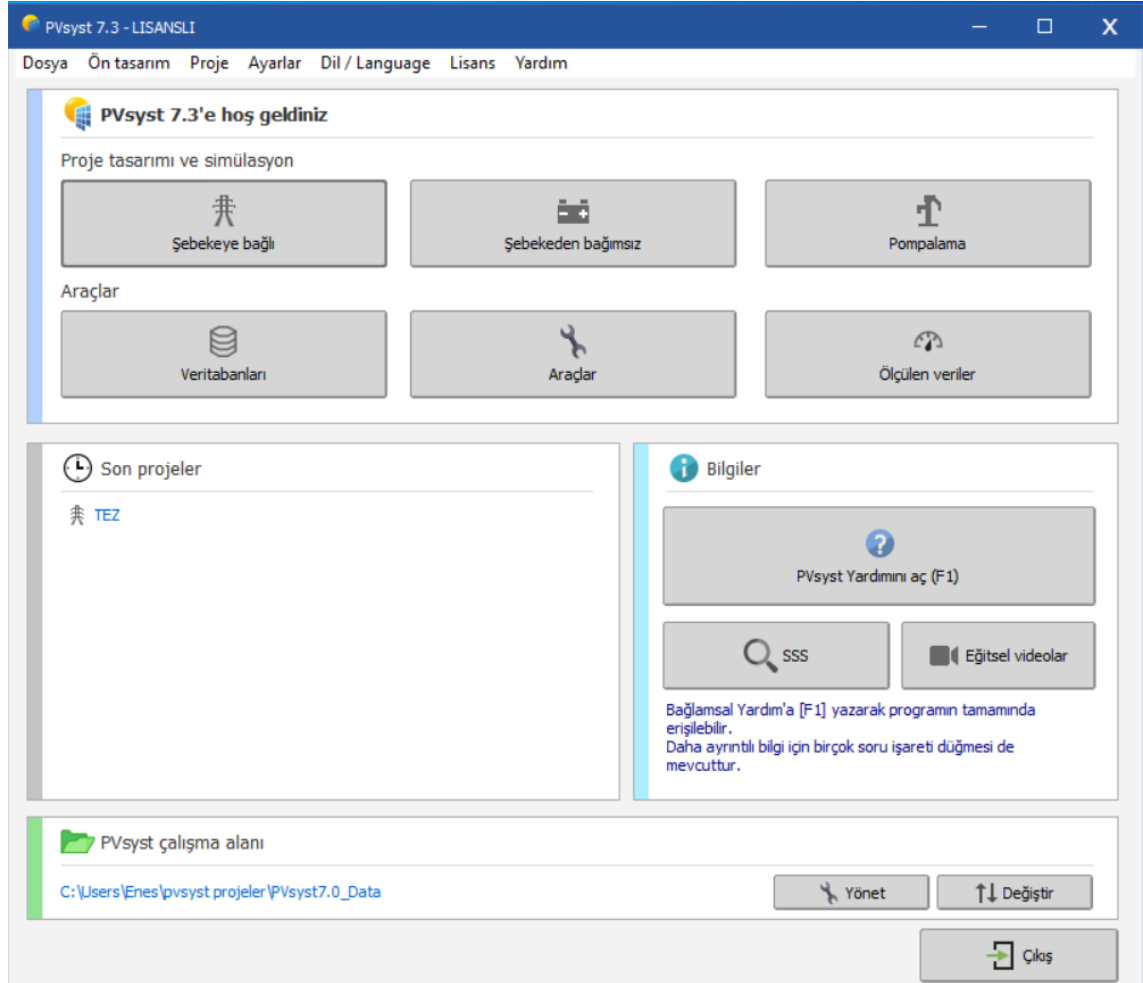
Şekil 4.13. Santralde bulunan FV modüllerin görünümü.



Şekil 4.14. FV modül etiketi.

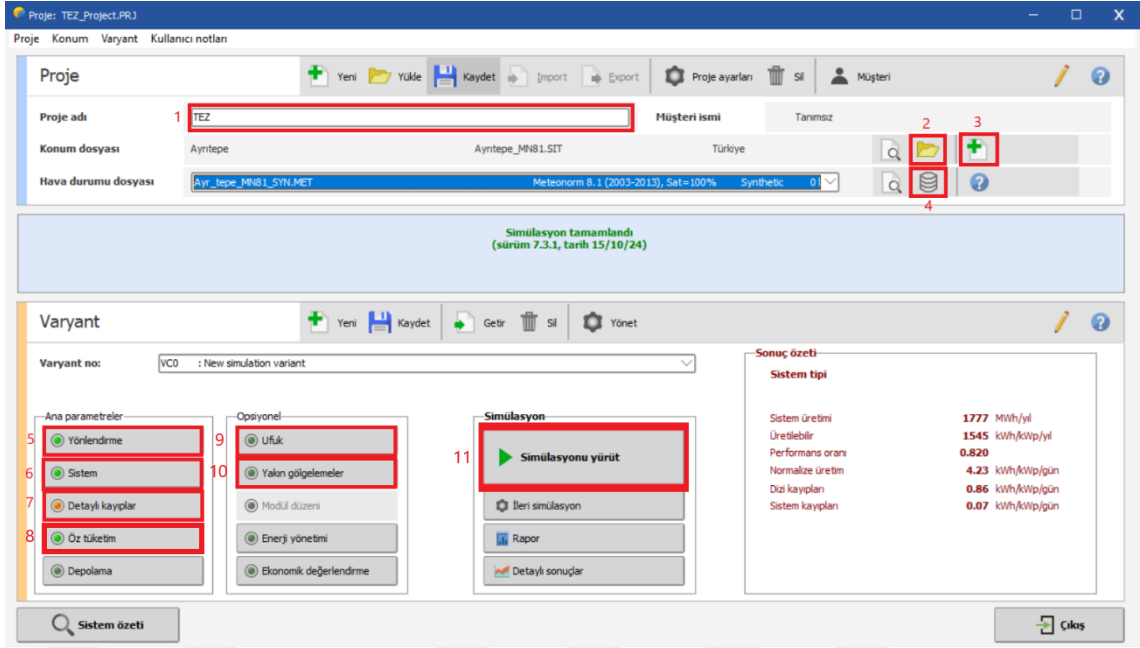
4.4. PVsyst simülasyon adımları

PVsyst simülasyon programı, kullanıcıya aşağıdaki şekilde bir menü ile sunulmaktadır. Bu menü üzerinden programın dili, projelerin kayıt alanı ve diğer temel ayarları değiştirilebilir. Ayrıca, yeni panel ve inverterler programın veri tabanına eklenebilir. "Proje Tasarımı ve Simülasyon" başlığı altında yer alan butonlardan, "Şebekeye Bağlı" seçeneği ile sistem tasarımına başlanabilir.



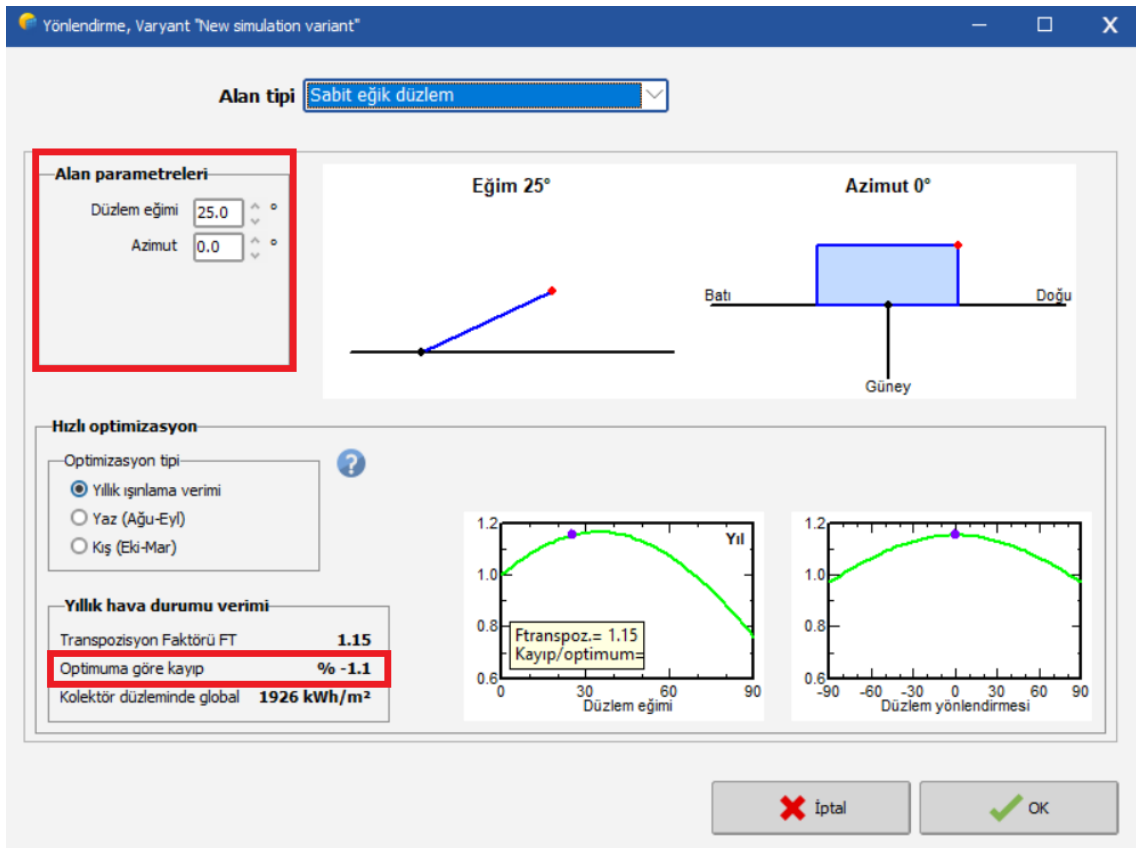
Şekil 4.15. PVsyst program karşılama ekranı.

Öncelikle, 1 numaralı kutucuğa projenin adı yazılmakta, ardından konum bilgileri 2, 3 veya 4 numaralı kutucuklardaki butonlara tıklanarak mevcut konumlardan biri seçilebilmekte veya koordinat bilgileri girilerek yeni bir konum belirlenebilmektedir.



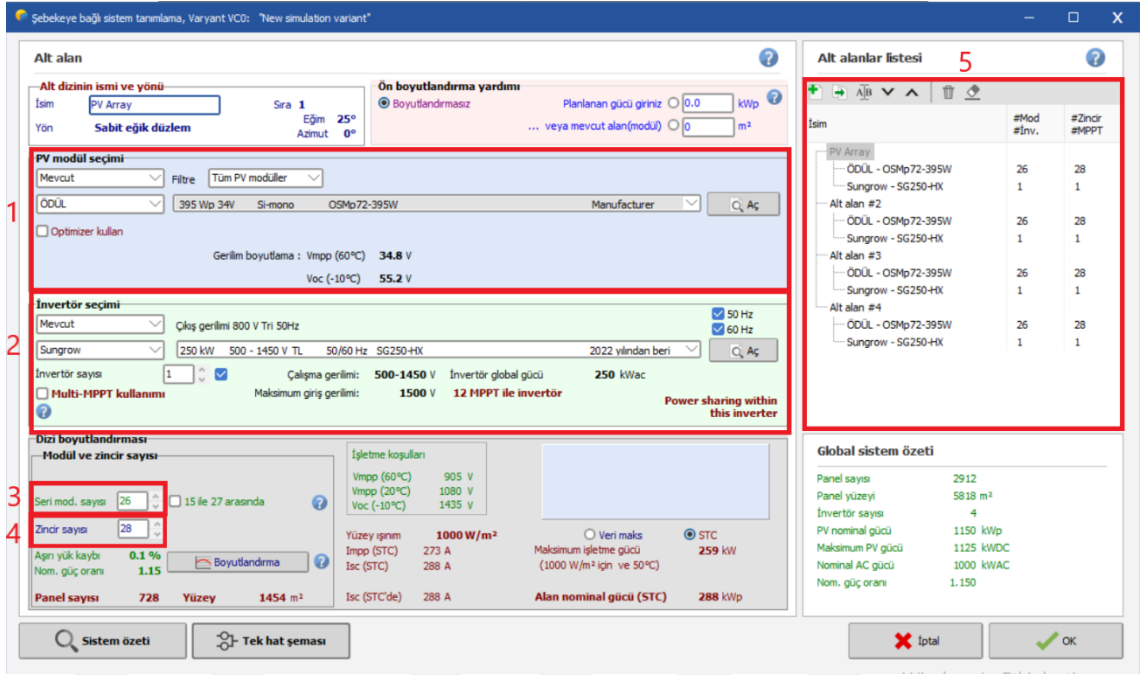
Şekil 4.16. PVsyst program menüsü.

Ardından, 5 numaralı kutucukta bulunan "Yönlendirme" bölümünden açılış değerleri ayarlanır. İlk olarak, sistemi kuracağımız alana göre alan tipi seçilir, ardından "Alan Parametreleri" başlığından düzlem eğimi belirlenir. Ele alınan santral verileri doğrultusunda azimut değeri 0° ve düzlem eğimi 25° olarak ayarlanmıştır. Bu değerlerin doğruluğu, programda bulunan "Optimuma Göre Kayıp" bölümünden kontrol edilerek doğruluğu teyit edilebilir.



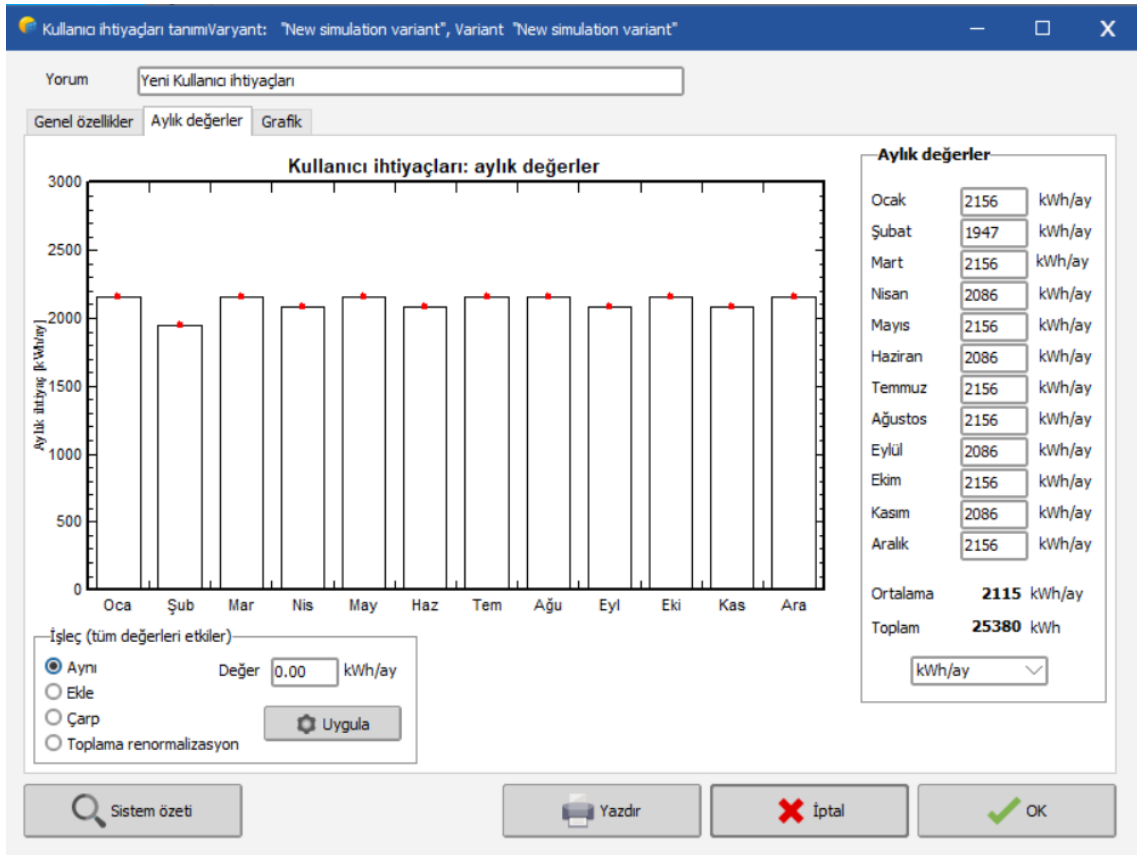
Şekil 4.17. Yönlendirme menüsü.

Ardından, Şekil 4.16'da 6 numaralı kutucuktaki "Sistem" menüsüne, sistemde kullanılacak inverter, panel ve bunların dizilimleri ile ilgili bilgiler işlenir. İlk olarak, 1 ve 2 numaralı bölümlerden panel ve inverter seçimleri yapılır, ardından 3 ve 4 numaralı bölümlerden modül ve zincir sayısı bilgileri eklenir. 5 numaralı bölümde ise her bir invertere bağlı olan seri ve paralel modül sayıları görüntülenir.



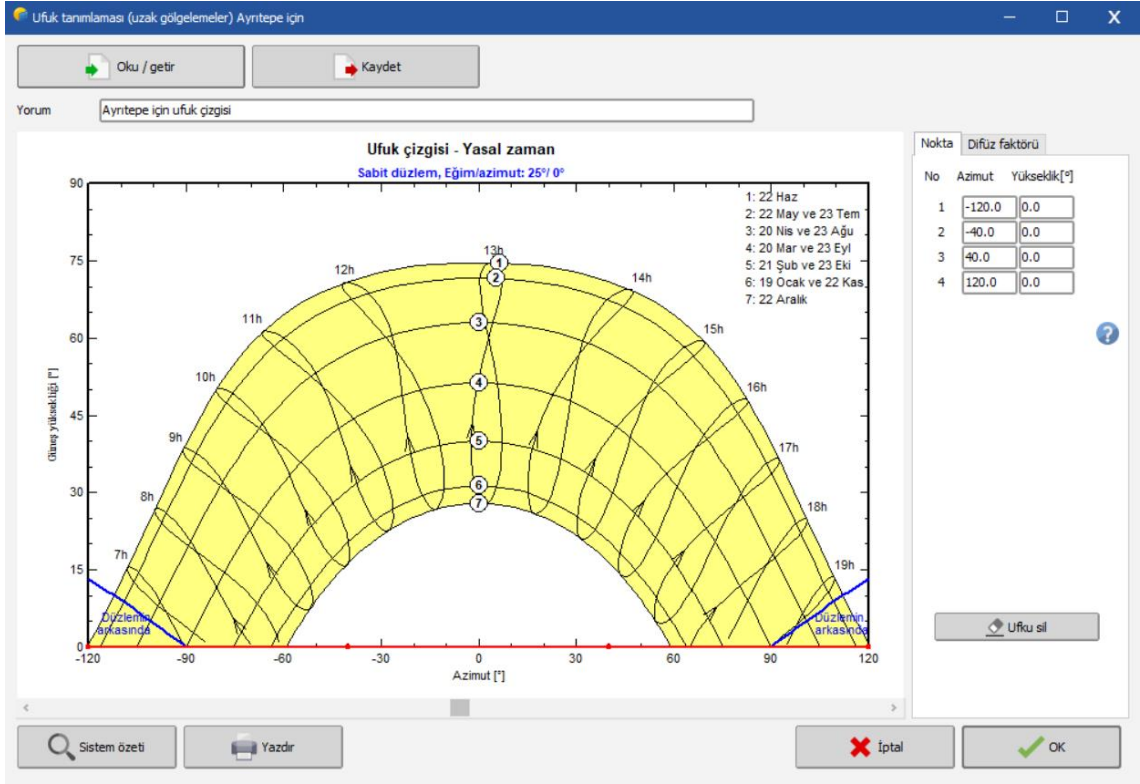
Şekil 4.18. Sistem menüsü.

Sonrasında, Şekil 4.16'da 7 numaralı kutucuktaki "Detaylı Kayıplar" menüsünde, sistemde kullanılan kablo kesitleri ve metraj değerleri girilerek kablo kayıpları hesaplanır. Santralin elektrik tüketimi, üretilen elektrik enerjisinden karşılandığı için, Şekil 4.16'da 8 numaralı kutucuktaki "Öz Tüketim" bölümünden aylara göre öz tüketim değerleri programa işlenir. Santral işletmesinden alınan bilgilere göre, aylara göre santral öz tüketim değerleri Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.19. Aylara göre santral öz tüketim değerleri.

Ardından, Şekil 4.16'da 9 numaralı "Ufuk" kutucuğundan santralin ufuk çizgisine ulaşılır; 10 numaralı "Yakın Gölgeleme" kutucuğundan ise santralin yakınlarındaki cisimlerin santrale uyguladığı gölge etkisi elde edilebilir. Şekil 4.20'de santralin ufuk çizgisi görüntülenmektedir.



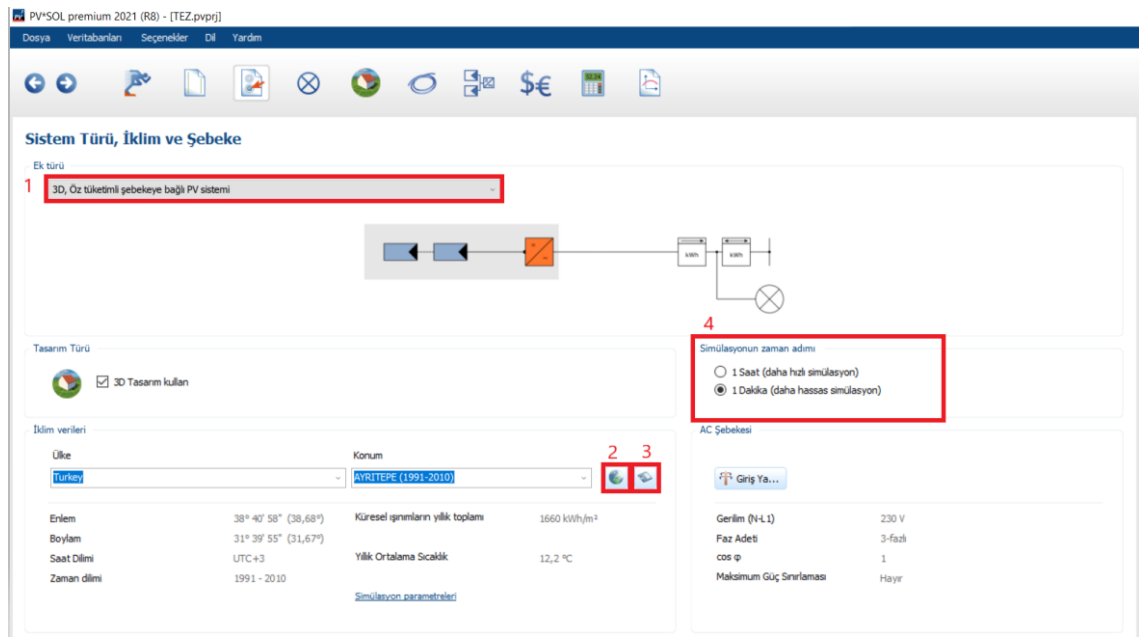
Şekil 4.20. Santral ufuk çizgisi.

4.5. PVSOL simülasyon adımları

PVSOL programı açıldığında, Şekil 4.21'deki gibi proje verileri sayfası ile karşılaşılır. Proje başlığı, resim, müşteri detayları gibi çeşitli bilgiler eklendikten sonra, kutucuk içerisindeki oklar aracılığıyla adım adım ileri veya geri gidilebilir.

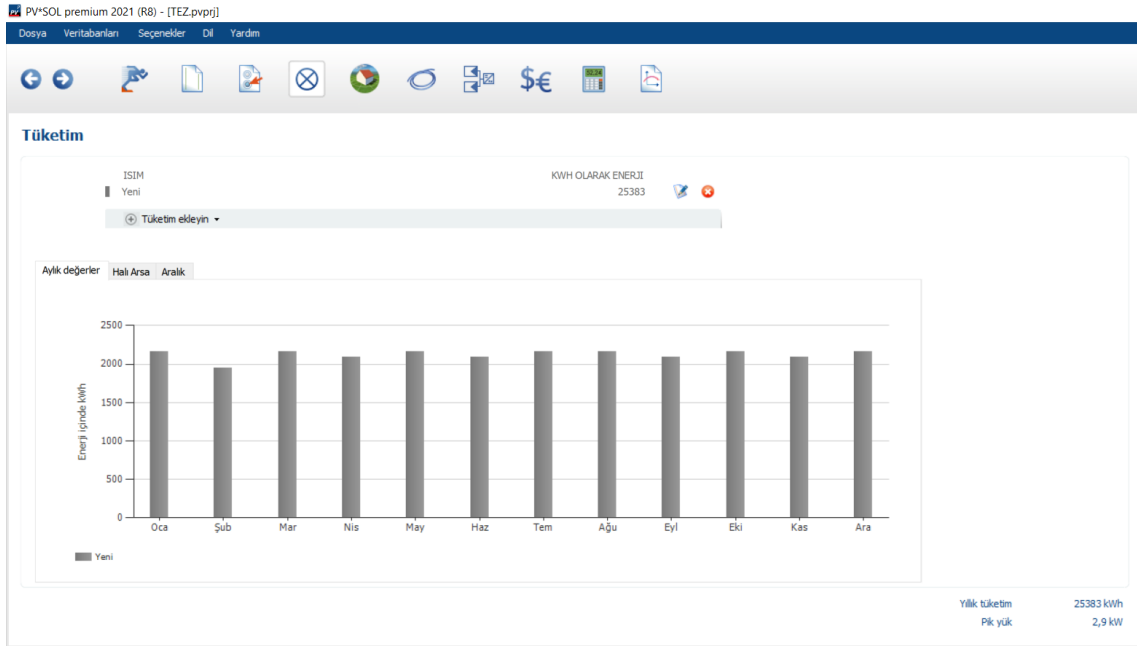
Şekil 4.21. Program karşılama sayfası.

Sonrasında, Şekil 4.22’de görüldüğü üzere "Sistem Türü, Şebeke ve İklim" sayfası açılmaktadır. 1 numaralı kutucuktan sistemin türü belirlenip, 2 numaralı kutucuktan benzetim yapılacak konum seçilir ve istenirse 3 numaralı kutucuktan kaydedilebilir. Ardından, 4 numaralı kutucuktan benzetimin hassasiyetini etkileyecek zaman adımı seçilir.



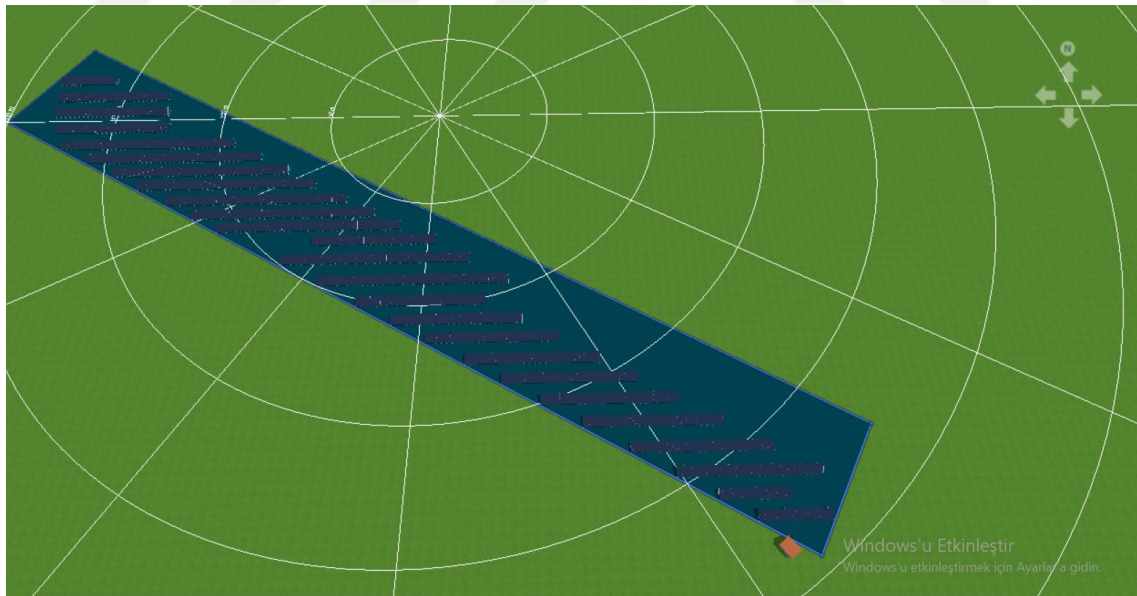
Şekil 4.22. Sistem türü, şebeke ve iklim sayfası.

Sonraki pencerede, sistemin öz tüketim değerleri programa işlenir. Aylara göre sistemin öz tüketim grafiği, Şekil 4.23’te verilmiştir.



Şekil 4.23. Sistem öz tüketim değerleri sayfası.

Son olarak, gelen sayfada sistemin 3D modellemesi oluşturulur ve kırmızı kutu ile gösterilen başlıklardan panel, inverter, kablo planı gibi değişkenler ayarlanabilir. Modelleme ve sistem değişkenleri ekleme sayfası, Şekil 4.24’te görünmektedir.



Şekil 4.24. Modelleme ve sistem değişkenleri ekleme sayfası.

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. PVsyst Programı Sonuçları

Şekil 5.1’de, PVsyst raporuna göre sistemin performansı, güç değerleri, FV panel sayısı ve eğimi gibi temel bilgiler yer almaktadır. Çizelge 5.1’de ise aylara göre ve yılsonu genel sonuçlar sunulmaktadır.

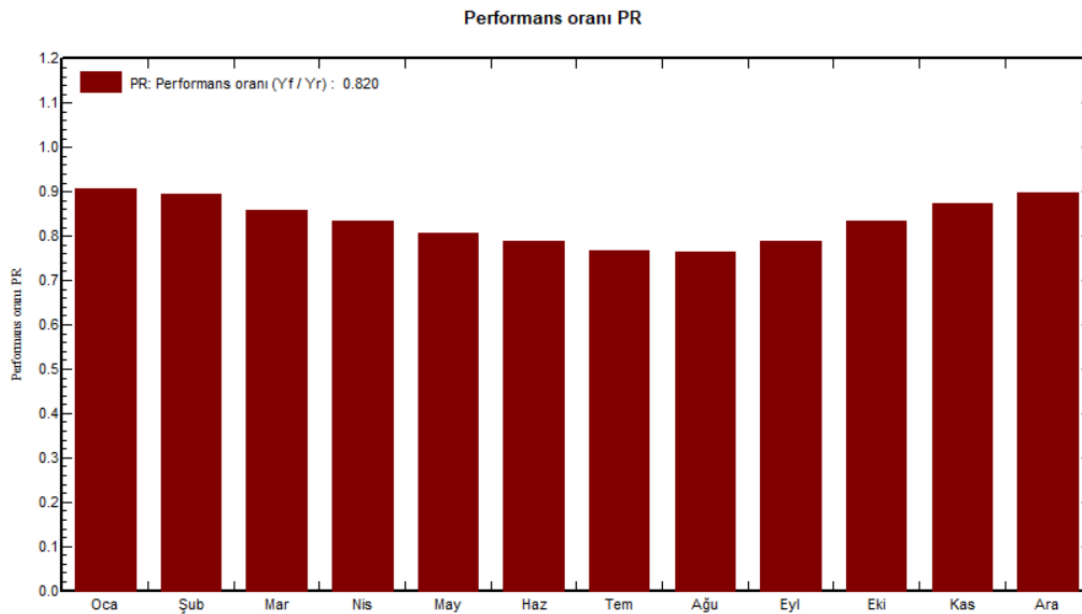
Coğrafi konum		Konum		Proje ayarları	
Ayrtepe		Enlem	38.68 °N	Albedo	0.20
Türkiye		Boylam	31.67 °E		
		Rakım	1018 m		
		Saat dilimi	UTC+3		
Hava durumu verileri					
Ayrtepe					
Meteonorm 8.1 (2003-2013), Sat=100% - Synthetic					
Şebekeye bağlı sistem		Kolektör düzleminin yönlendirmesi		Kullanıcı ihtiyaçları	
Sabit düzlem		Eğim/Azimut		Aylık değerler	
		25 / 0 °			
Sistem bilgisi		PV alanı		İnvertör	
Panel sayısı		2912 adet		Öge sayısı	
Toplam nom. güç		1150 kWp		4 adet	
				Toplam nom. güç	
				1000 kWac	
				Nom. güç oranı	
				1.150	
Sonuçların özeti					
Üretilen enerji	1776929 kWh/yıl	Üretilebilir	1545 kWh/kWp/yıl	Perf. oranı PR	81.97 %
Tüketilen enerji	25378 kWh/yıl			Güneş enerjisi oranı (SF)	47.59 %
İçindekiler					
Proje ve sonuçların özeti					2
Genel parametreler, Kolektör alanının özellikleri, Sistem kayıpları					3
Genel sonuçlar					5
Kayıpları diyagramı					6
Ön tanımlı grafikler					7
Tek hat şeması					13

Şekil 5.1. Proje özeti.

Çizelge 5.1. Genel sonuçlar.

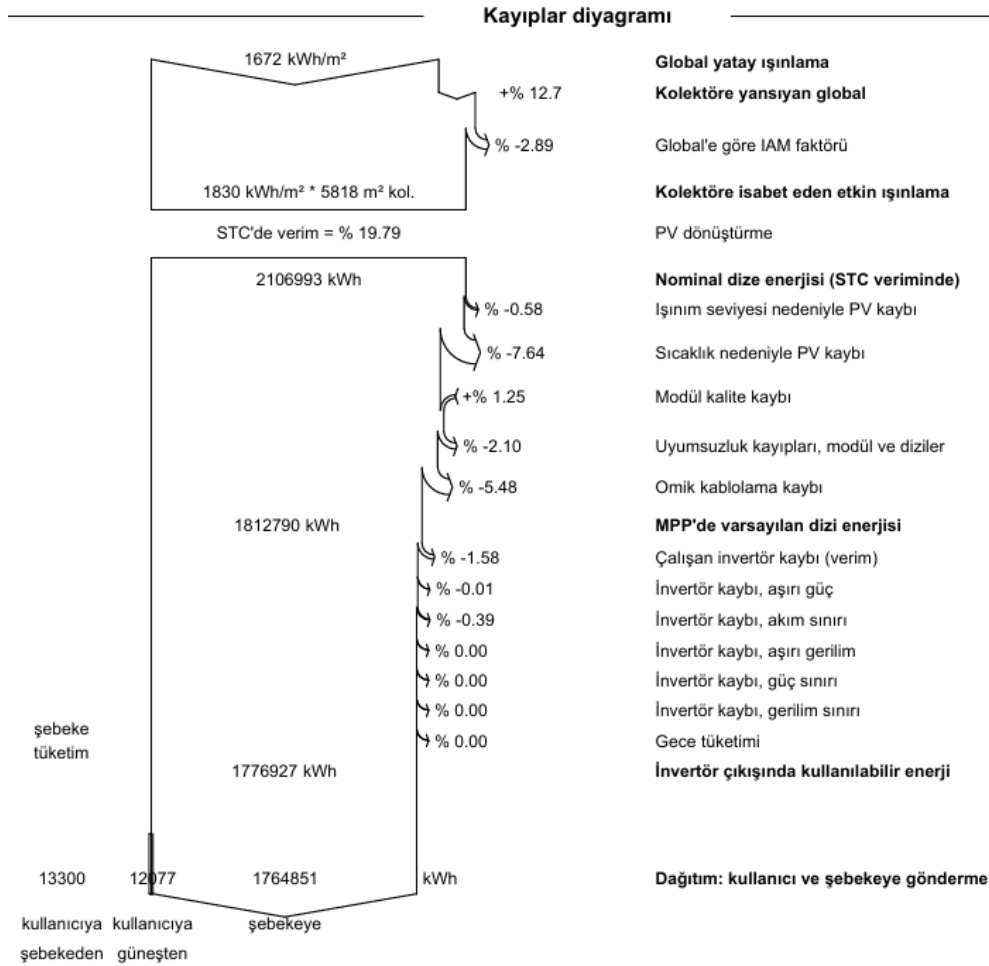
	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Array kWh	E_Grid kWh	PR oran
Ocak	63.9	28.84	0.35	94.6	92.5	100538	97886	0.907
Şubat	79.3	39.28	2.25	105.1	102.0	110177	107506	0.896
Mart	122.7	54.02	6.96	145.4	141.4	145678	142259	0.857
Nisan	159.8	63.33	11.24	172.1	167.0	167589	163907	0.834
Mayıs	204.5	69.05	16.32	203.5	197.2	191405	187192	0.805
Haziran	219.5	68.29	20.95	210.9	204.8	193868	189727	0.787
Temmuz	223.1	67.18	25.09	216.9	210.3	194551	190313	0.768
Ağustos	199.5	57.94	24.88	210.9	204.8	188004	184025	0.763
Eylül	161.5	49.04	19.58	189.8	184.5	174815	171334	0.789
Ekim	109.4	44.42	13.68	142.0	138.3	138544	135344	0.835
Kasım	72.0	31.40	7.02	105.1	102.1	107488	104836	0.874
Aralık	56.5	23.69	2.09	88.4	85.9	93059	90521	0.897
Yıl	1671.8	596.48	12.59	1884.7	1830.3	1805719	1764851	0.820

PVsyst raporunda, sistemin aylık performans değerleri Şekil 5.2’de görülmektedir. Burada, GlobHor güneş ışığının yatay düzlemdeki toplam ışınlam miktarını ifade ederken, E_Array dizinin çıkışında elde edilen etkin enerjiyi belirtir. DiffHor, atmosfer tarafından yayılan ve doğrudan olmayan güneş ışınlamını tanımlar. E_Grid ise güneş panelinden elde edilen enerjinin elektrik şebekesine iletilen kısmını gösterir. T_Amb, ortamın sıcaklık derecesini belirtirken, PR (Performans Oranı), güneş enerjisi sisteminin verimliliğini gösterir. GlobInc, güneş ışığının kolektör yüzeyine düşen toplam ışınlam miktarını belirtirken, GlobEff ise IAM (Incidence Angle Modifier) ve gölgeleme etkilerinden düzeltilmiş etkin global ışınlamı ifade eder.



Şekil 5.2. Aylara göre performans oranları.

Şekil 5.3'te kayıplar diyagramı yer almaktadır. Diyagrama göre, santral bölgesi için global yatay ışınlanma değeri 1672 kWh/m^2 olarak belirlenmiş, dizi enerjisi ise %19,79 panel verimi ile $2.106.993 \text{ kWh}$ olmuştur. Sıcaklık nedeniyle kayıp %7,64 olarak hesaplanmıştır. Çeşitli kayıplar dahil edildiğinde, santralden elde edilecek toplam enerji miktarı $1.764.851 \text{ kWh}$ olarak bulunmuştur.



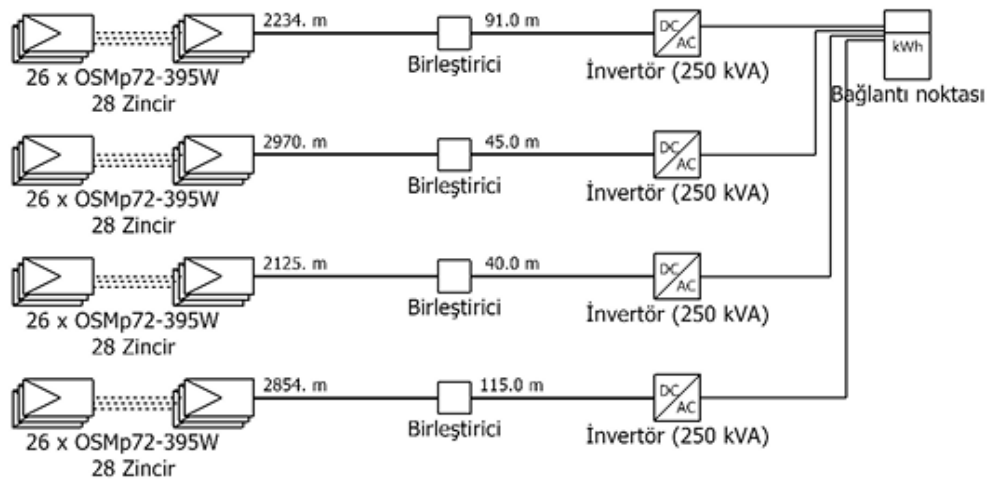
Şekil 5.3. Kayıplar diyagramı.

Şekil 5.4'te, tasarlanan Güneş Enerjisi Sistemi'nin tek hat şeması yer almaktadır. Bu şemada, string ve dizi yapıları, kullanılan kablo uzunlukları ve inverter gücü gibi bilgilere ulaşılabilir.



PVsyst V7.3.1
VC1, Simülasyon tarihi:
15/10/24 21:43
v7.3.1 ile

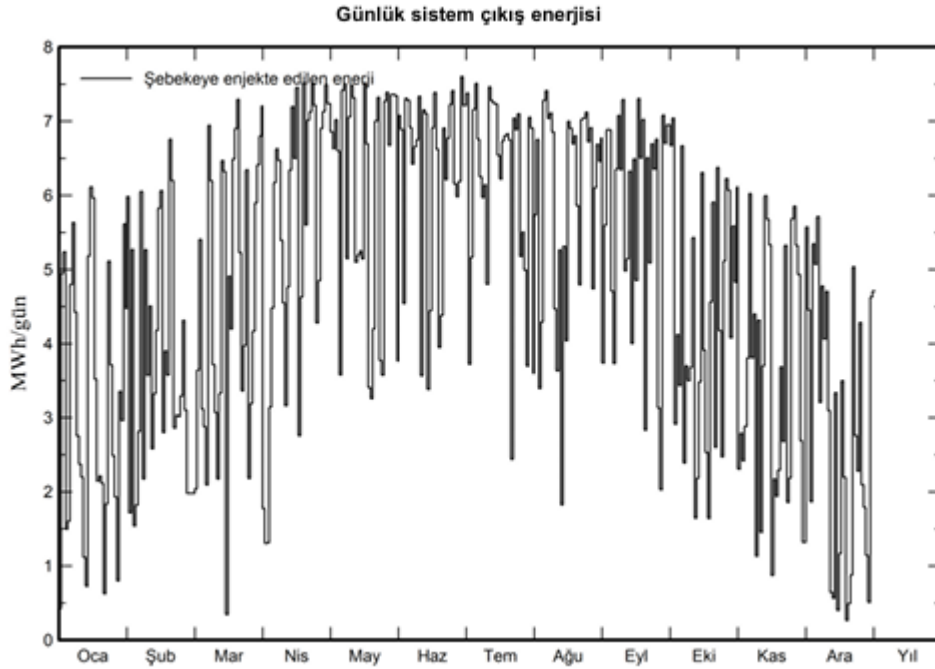
Tek hat şeması



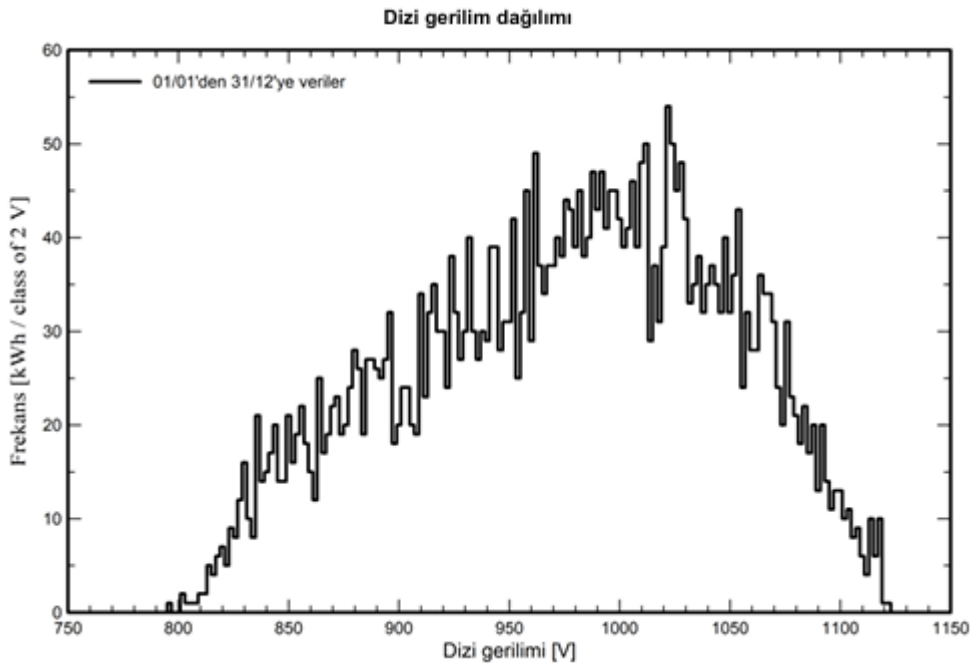
PV modül	OSMp72-395W
İnvertör	SG250-HX
Zincir	26 x OSMp72-395W

Şekil 5.4. Tek hat şeması.

Şekil 5.5'te, günlük periyotta sistem çıkış enerjisi gösterilmektedir. Yaz aylarında sistem çıkış enerjisinin arttığı, kış aylarında ise enerjide bir düşüş olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 5.6'da dizi gerilim dağılımı grafiği yer almaktadır.



Şekil 5.5. Aylara göre günlük sistem çıkış enerjisi grafiği.



Şekil 5.6. Dizi gerilim dağılımı grafiği.

5.2. PVSOL Programı Sonuçları

Çizelge 5.2’de ve 5.3’te ise sırası ile PVSOL sonucuna göre kazanç çizelgesi ile panel ve tüm sistem üretim değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Genel sonuçlar.

	GlobHor kWh/m ²	T_Amb °C	E_Grid kWh	PR oran
Ocak	60.3	-0.2	87275	0.861
Şubat	74.6	1.1	95933	0.859
Mart	122.1	6.6	138125	0.842
Nisan	155.3	10.7	152551	0.811
Mayıs	196.3	16	175272	0.795
Haziran	212.5	21	180931	0.793
Temmuz	227.6	25	193754	0.777
Ağustos	205.3	24.8	184685	0.762
Eylül	163.5	18.8	174967	0.801
Ekim	110.7	13.5	133229	0.822
Kasım	74.1	6.6	102938	0.846
Aralık	57.2	1.6	85044	0.895
Yıl	1659.7	12.2	1704711	0.808

Çizelge 5.3. Kazanç ve sistem üretim değerleri.

FV sistemi	
PV jeneratör çıkışı	1150,2 kWp
Yıllık özgül kazanç	1.481,97 kWh/kWp
Sistem kullanım oranı (PR)	80,8 %
Gölgelemeden dolayı oluşan kazanç kaybı	1,1 %/Yıl
PV jeneratör enerjisi (AC şebekesi)	1.704.711 kWh
Şebeke beslemesi	1.692.918 kWh/Yıl
Güneş enerjisi oranı	46,3 %
Doğrudan öz tüketim	11.792 kWh
Kişisel güç tüketimi	0,7 %
Bekleme konumundaki tüketim (İnverterler)	92 kWh/Yıl
Önlenen CO ₂ emisyonu	801.171 kg/yıl

Şekil 5.7’de genel sonuçlar sunulmaktadır. Bu sonuçlar arasında, gölgeleme kaybı, sistem verimi, önlenen emisyon değeri ve özgül kazanç gibi veriler yer almaktadır. Şekil 5.8’de ise aylara göre enerji kullanım grafiği gösterilmektedir.

Sonuçlar Tüm Sistem

PV sistemi

PV jeneratör çıkışı	1150,2 kWp
Yıllık Özgül Kazanç	1.481,97 kWh/kWp
Sistem kullanım oranı (PR)	80,8 %
Gölgelemeden dolayı oluşan kazanç kaybı	1,1 %/Yıl
PV jeneratör enerjisi (AC şebekesi)	1.704.711 kWh/Yıl
Öz Tüketim	11.792 kWh/Yıl
Besleme noktasındaki düzenleme	0 kWh/Yıl
Şebeke beslemesi	1.692.918 kWh/Yıl
Kişisel Güç Tüketimi	0,7 %
Önlenen CO ₂ emisyonu	801.171 kg/yıl

PV jeneratör enerjisi (AC şebekesi)



Öz Tüketim
Besleme noktasındaki düzenleme
Şebeke beslemesi

Tüketici

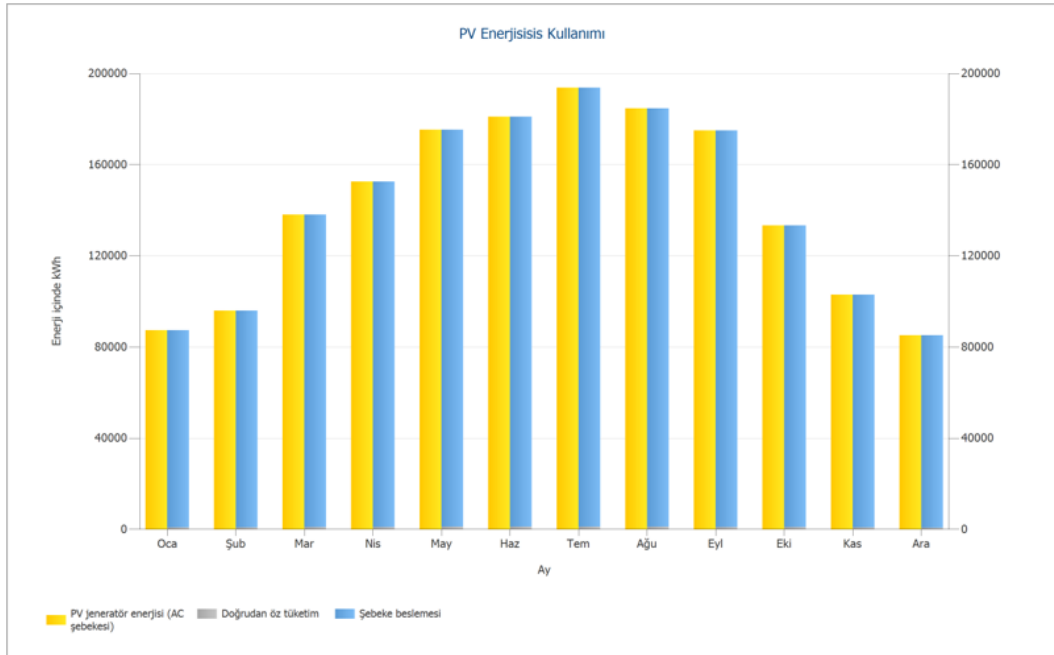
Tüketici	25.383 kWh/Yıl
Bekleme Konumundaki Tüketim (İnvertörler)	92 kWh/Yıl
Toplam tüketim	25.475 kWh/Yıl
PV ile karşılanmış	11.792 kWh/Yıl
Şebeke ile karşılanmış	13.683 kWh/Yıl
Güneş Enerjisi Oranı	46,3 %

Toplam tüketim



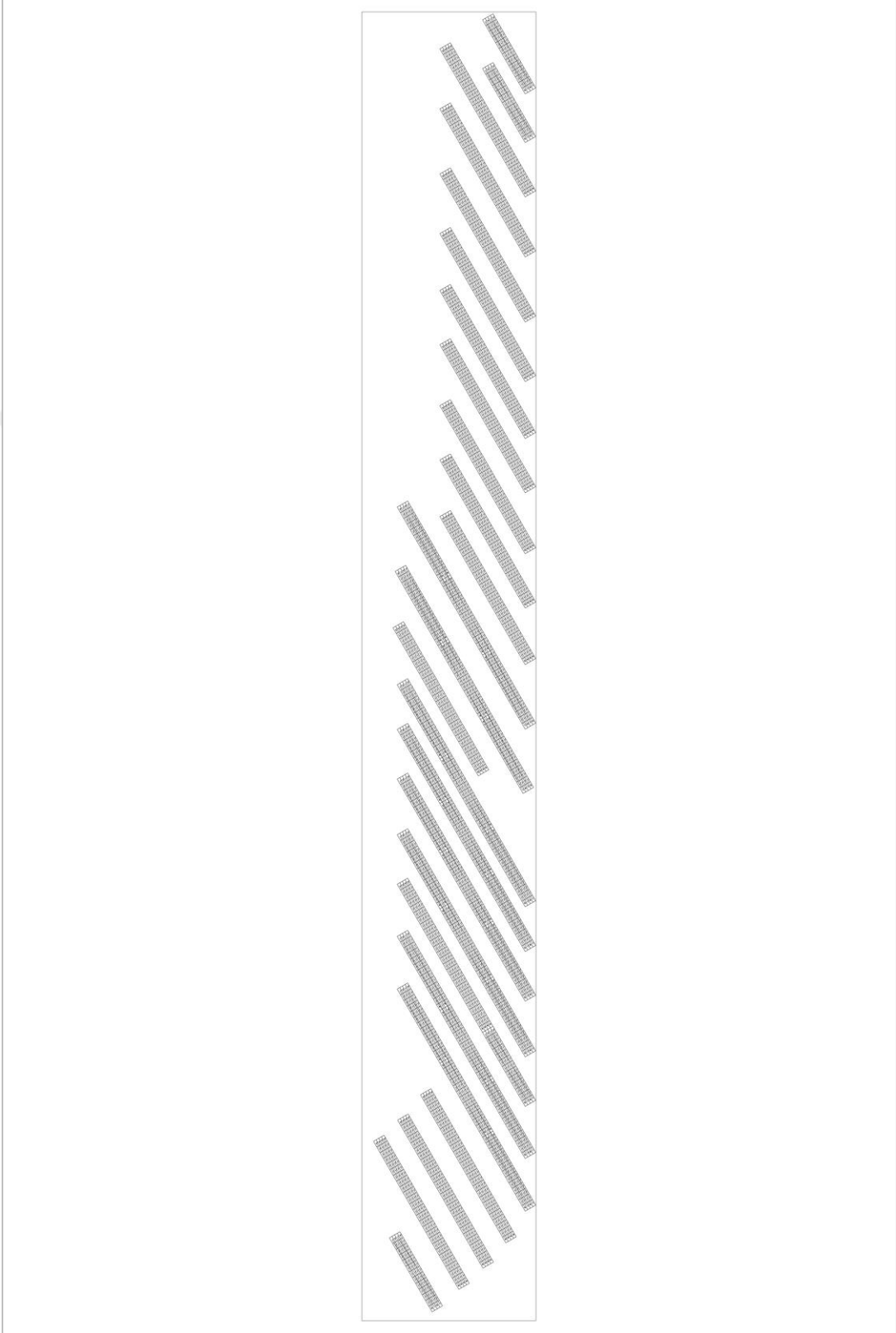
PV ile karşılanmış
Şebeke ile karşılanmış

Şekil 5.7. Genel sonuçlar.



Şekil 5.8. Enerji kullanım grafiği.

Şekil 5.9'da Güneş Enerji Santralının panel yerleşim planı görünmektedir.



Şekil 5.9. Dizi planı.

PVsyst, PVSOL ve gerçek saha verilerinin karşılaştırması Çizelge 5.4'te sunulmuştur. Programlardan elde edilen değerler ve kayıp oranları ise Çizelge 5.5'te verilmiştir. Çizelge 5.5 incelendiğinde, her iki simülasyon programında 'Sıcaklık Nedeni ile Kayıp' ve 'Düşük Işık Nedeni ile Kayıp' dışındaki kayıp değerlerinin benzerlik gösterdiği görülmektedir. Bu farkın, PVsyst programının iklim verilerini 2003-2013 yılları arasındaki 10 yıllık döneme dayandırmasından, PVSOL programının ise 1991-2010 yılları arasındaki 19 yıllık verileri referans almasından kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.4. Program çıktıları ve saha verileri.

	PVsyst Raporu	PVSOL Raporu	2022 Yılı Saha Verileri	2023 Yılı Saha Verileri
OCAK	97.886 kWh	87.275 kWh	66.523 kWh	103.261 kWh
ŞUBAT	107.506 kWh	95.933 kWh	89.363 kWh	110.630 kWh
MART	142.259 kWh	138.125 kWh	117.59 kWh	112.443 kWh
NİSAN	163.907 kWh	152.551 kWh	124.591 kWh	148.444 kWh
MAYIS	187.192 kWh	175.272 kWh	185.649 kWh	160.342 kWh
HAZİRAN	189.727 kWh	180.931 kWh	174.523 kWh	162.921 kWh
TEMMUZ	190.313 kWh	193.754 kWh	205.553 kWh	192.734 kWh
AĞUSTOS	184.025 kWh	184.685 kWh	198.017 kWh	199.731 kWh
EYLÜL	171.334 kWh	174.967 kWh	188.363 kWh	138.135 kWh
EKİM	135.344 kWh	133.229 kWh	127.377 kWh	85.320 kWh
KASIM	104.836 kWh	102.938 kWh	115.109 kWh	71.575 kWh
ARALIK	90.521 kWh	85.044 kWh	81.257 kWh	70.109 kWh
TOPLAM	1.764.851 kWh	1.704.711 kWh	1.673.916 kWh	1.555.645 kWh

Çizelge 5.5. Kayıp oranları ve değerler.

Ölçülen Değer	PVsyst Sonucu	PVSOL Sonucu
Yatayda Toplam Işınım	1672 kWh/m ²	1659 kWh/m ²
STC'de Modül Verimi	%19,79	%19,77
STC'de Modül Üretimi	2.106.993 kWh	2.016.039 kWh
Düşük Işık Nedeni ile Kayıp	%0,58	%1,37
Sıcaklık Nedeni ile Kayıp	%7,64	%3,36
Modül ve Diziler İçin Uyumsuzluk Kayıpları	%2,10	%2
İnverter Girişindeki Enerji	1.812.790 kWh	1.769.725 kWh
İnverterde Oluşan Kayıp	%1,58	%1,49

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışma, PVsyst ve PVSOL simülasyon programları kullanılarak şebekeye bağlı 1 MW fotovoltaik (FV) güneş enerji santralinin simülasyonunu ve simülasyon programlarından elde edilen verilerin gerçek saha verileri ile karşılaştırılmasını içermektedir. Araştırmada yer alan Güneş Enerji Santrali, Konya ilinin Yunak ilçesine bağlı Ayrıtepe Mahallesi'nde yer almakta olup, 31.873 m² büyüklüğündeki kıraç bir arazinin yaklaşık 20.000 m²'lik kısmını kaplamaktadır. FV modüllerin kapladığı toplam alan ise 5818 m²'dir. Sistemde kullanılan inverter ve FV panel sayıları, sistemin konumlandırılması gibi elemanlar gerçek saha verilerine dayanarak simüle edilmiştir. Sistemde 2912 adet 395 Wp FV modül kullanılmış ve 4 adet 250 kW gücünde inverter tercih edilmiştir. Her inverter başına 728 adet FV modül düşen bu sistemde, 26 adet seri FV modül içeren toplamda 28 adet string bulunmaktadır. 12 adet MPPT girişi olan inverterlerde, her bir inverterde 4 adet MPPT girişine 3'er adet string bağlanırken, kalan 8 adet MPPT girişine ise 2'şer adet string bağlanmıştır. 25° açı ile konumlandırılan FV modüller için santral çevresinde büyük bir gölgeleme etkisi yapacak herhangi bir yapı bulunmamaktadır. Sistemin aylık ortalama öz tüketimi 2115 kWh, yıllık öz tüketimi ise 25.380 kWh olarak hesaplanmıştır.

2022 yılı saha verileri göz önünde bulundurulduğunda, PVsyst programı yıllık üretim değerini %5,43 sapma ile tahmin ederken, PVSOL programı %1,83 sapma ile tahminde bulunmuştur. 2023 yılı saha verilerine dayanarak yapılan simülasyonlarda ise, PVsyst programı yıllık üretim değerini %13,44 sapma ile tahmin etmişken, PVSOL programı %9,58 sapma ile tahminde bulunmuştur. Bu bağlamda, her iki simülasyon programının da gerçek verilere yakın sonuçlar verdiği ve kabul edilebilir sapmalar gösterdiği gözlemlenmiştir. Ancak, simüle edilen Güneş Enerji Santrali için yapılan simülasyon sonucunun, PVSOL programı ile elde edilen verilerin gerçek verilere daha yakın olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Söz konusu iki yıl arasındaki sapmaların bu denli yüksek olmasının nedeni, santral yetkilileri tarafından sistemde meydana gelen arızalar nedeniyle tüm santralin çalışmayı durdurması ve enerji üretiminden mahrum kalınması olarak açıklanmıştır. Bunun yanı sıra, FV modüllerinin yüzeyinde biriken toz ve beklenmedik hava koşullarının da bu sapmaları etkileyebileceği düşünülmektedir. Yapılan simülasyonlara ve saha verilerine göre, sistem yıllık ortalama olarak 800 ton CO₂ salınımını engellemektedir.

Sonuç olarak, gerçek saha şartları ve komponentleri dikkate alınarak yapılan simülasyonlar sonucunda, PVsyst ve PVSOL simülasyon programlarının gerçek verilerle benzerlik gösterdiği anlaşılmıştır. En yüksek benzerlik, 2022 yılı saha verilerine göre %1,83 ve 2023 yılı saha verilerine göre %9,58 sapma gösteren PVSOL simülasyon programı ile sağlanmıştır. Bu bulgu, her iki simülasyon programının da Güneş Enerji Sistemlerinin tasarım, konfigürasyon ve kurulum sonrası optimizasyon çalışmalarında kullanılabilir olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmanın sonuçlarına göre, FV panel ve inverter verimleri, inverter ile FV dizi uyumluluğu ve FV sistem eğimi gibi faktörlerin, sistemin verimliliğini etkileyen önemli etmenler olduğu ve optimizasyon çalışmalarının gerektiği sonucuna varılmıştır. Elde edilen veriler ışığında, bu çalışmanın Güneş Enerji Sistemleri tasarımları sırasında PVSOL ve PVsyst programlarıyla yapılacak detaylı fizibilite çalışmalarının, santral kurulumundan sorumlu kişilere yardımcı olacağı ve santralin üretiminden fayda sağlayacak olan özel veya tüzel kişilere daha yüksek standartlarda enerji temin edileceği gerçeği yadsınamaz.

6.2. Öneriler

Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında, Güneş Enerji Sistemlerinde kullanılan ekipmanların verimliliği büyük önem taşımaktadır. Verimi yüksek olan panel ve inverterlerin seçilmesi, elde edilen enerjinin verimliliğini artıracaktır. Bununla birlikte, inverter ve dizi uyumsuzluklarının bertaraf edilmesi gereklidir. İnverterin MPPT giriş sayısı, FV panel güçleri ve bir MPPT'ye bağlanacak string sayıları doğru şekilde göz önünde bulundurulmalıdır. Sistemde dengeyi sağlamak için stringlerde bulunan seri ve paralel FV modül sayıları dikkatlice konfigüre edilmeli ve farklı inverter konfigürasyonları test edilmelidir. Sistemin tasarımında, kurulacak olan arazi seçiminin de önemi büyüktür. Çevredeki cisim ve binaların gölgeleme etkisini en aza indirecek şekilde bir tasarım yapılmalı, böylece maksimum ışıma değerlerine ulaşılmaya çalışılmalıdır. Sabit sistemlerde ise, FV modüllerin araziye yerleştirilirken sistemin kullanım süresi göz önünde bulundurulmalıdır. Sistem yaz aylarında mı, kış aylarında mı yoksa yıl boyunca mı kullanılacaksa, FV modül eğimleri buna göre belirlenmelidir.

FV sistemlerde maksimum verimi elde edebilmek için sistemin bileşenlerinin düzenli bakımları, yetkili kişiler tarafından yapılmalıdır. Özellikle inverterler ve FV modüllerin periyodik kontrolü, olası arızaların erken tespit edilmesi ve büyük problemlere dönüşmeden çözülmesi açısından kritik öneme sahiptir. Sistem veriminin ve üretim değerlerinin aktif bir şekilde takibi yapılmalı, performans düşüşü

gözlemlendiğinde sistemde bir sorun olabileceği ihtimali değerlendirilmelidir. Ayrıca, FV modüllerin düzenli olarak temizlenmesi gerekmektedir. Kış aylarında kar, yaz aylarında toz ve bahar aylarında yaprak veya çamur gibi etkenler, panel yüzeylerinde birikir ve ışınım değerlerini düşürerek sistem verimini olumsuz etkiler. Araştırma sonuçlarına göre, PVSOL simülasyon programı, PVsyst'e kıyasla daha başarılı sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, yapılacak yatırımlarda PVSOL'un gerçeğe en yakın sonuçları sunduğu gözlemlenmiş ve yatırımcılar tarafından tercih edilebilecek bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, simülasyon programlarının doğru kullanımı ve sistem optimizasyonu, uzun vadede yatırımcıların daha yüksek verim elde etmelerini sağlayacaktır.



7. KAYNAKLAR

- AKCAN, Eyüp, Melih KUNCAN, e Mehmet Recep MİNAZ. 2020. “PVsyst Yazılımı İle 30 Kw Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu”. *European Journal of Science and Technology*, abril, 248–61. <https://doi.org/10.31590/ejosat.685909>.
- Akif Çukurçayır, M, e Hayriye Sağır. s.d. “ENERJİ SORUNU, ÇEVRE VE ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI”. www.upav.org.tr/projectteblig/101003/maegaard.cal.doc,.
- Aldemir, Muhittin Alper. 2019. “GÜNEŞ TAKİP YÖNTEMLERİNİN VERİMSSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI”.
- Ali, Mukhlis, Dwi M. Lestari, e Taufik Rahman. 2021. “Design of Rooftop Photovoltaic System for 30/60- type House in Sukabumi, Indonesia using PVSyst Simulation”. Em *7th International Conference on Computing, Engineering and Design, ICCED 2021*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICCED53389.2021.9664792>.
- Al-shagea, Eissa. 2021. “KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS TEZİ LİSANS SİZ ELEKTRİK ÜRETİMİNDE ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN”.
- Arslan Murat. 2022. “Her Hakkı Saklıdır GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN SİMÜLASYON İLE ÜRETİM VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE ANALİZİ Murat ARSLAN YÜKSEK LİSANS TEZİ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı”.
- Bagriacik, Nil, e Hayriye Serra Altinoluk. 2023. “A Comparative Study of Self-Sufficient Houses with Half-Cut Solar Cells in Turkey: Antalya, Giresun Region”. Em *7th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, ISMSIT 2023 - Proceedings*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ISMSIT58785.2023.10304898>.
- Barak, Doğan. s.d. “G20 Ülkelerinde Fosil Yakıt Sübvansiyonlarının Ekolojik Ayak İzi (EF) ve Büyüme Üzerindeki Etkisinin Ampirik Bir Araştırması”. <http://www.dergipark.org.tr/gumusgjebs>.
- BAYYIĞIT, Aslıhan, Oğuz Kaan ÇİNİCİ, e Adem ACIR. 2023. “TEK YÜZEYLİ VE ÇİFT YÜZEYLİ FOTOVOLTAİK PANELLERİN PERFORMANS ANALİZİ”. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji* 11 (2): 407–20. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1298017>.

- Bevanda, Ivan, Petar Marić, Tihomir Betti, e Ivan Marasović. s.d. “Evaluating the performance of photovoltaic simulation tools: case study of grid-connected 31 kWp photovoltaic system”.
- Çınaroğlu, Mehmet Sinan. 2021. “Şebekeye Bağlı Üç Adet Fotovoltaik Enerji Santralinin PVsyst Programı ile Analizi; Kilis Örneği”. *El-Cezeri* 8 (2): 675–87. <https://doi.org/10.31202/ecjse.865649>.
- Danışmanı, Tez, Öğr Üyesi, Ayşe Kocalmış, Bilhan Elektrik-Elektronik, Mühendisliği Anabilim, Dalı Yüksek, e Lisans Tezi. s.d. “PVSYST PROGRAMI İLE MODELLENEN KONYA VE VAN İLLERİNDE GES SANTRALLERİNİN ÜRETİM VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI Tezi Hazırlayan Ayşegül ETCİ Haziran 2022 NEVŞEHİR”.
- Deshmukh, Akshay Narendra, e Vinod K. Chandrakar. 2022. “Design and Performance analysis of Net Metering-based Grid Connected Solar Photo-Voltaic System”. Em *Proceedings - 2nd International Conference on Next Generation Intelligent Systems, ICNGIS 2022*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICNGIS54955.2022.10079808>.
- Dip, Derya. 2023. “GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ ÜRETİM VERİLERİ İLE BENZETİM PROGRAMLARINDAN ELDE EDİLEN VERİLERİN KARŞILAŞTIRILMASI: İNCELER GES ÖRNEĞİ”.
- Essaaidi, Mohamed., e Youssef. Zaz. 2016. *Proceedings of 2016 International Renewable & Sustainable Energy Conference (IRSEC'16)*. IEEE.
- Etcı, Ayşegül. 2022. “PVSYST PROGRAMI İLE MODELLENEN KONYA VE VAN İLLERİNDE GES SANTRALLERİNİN ÜRETİM VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI Tezi Hazırlayan Ayşegül ETCİ Haziran 2022 NEVŞEHİR”.
- GEPA. s.d. “<https://gepa.enerji.gov.tr/>”. Acedido a 16 de dezembro de 2025. <https://gepa.enerji.gov.tr/>.
- GYAM, Mohannad, İlhan CEYLAN, Ali Etem GÜREL, e Gökhan YILDIZ. 2023. “Comparison of Payback Periods of Solar Power Plant Systems in Türkiye and Europe”. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, dezembro. <https://doi.org/10.29130/dubited.1389956>.
- Haydaroğlu, Cem, e Bilal Gümüş. s.d. “Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi mühendislik dergisi Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralının PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi 491-500”. “<https://repa.enerji.gov.tr/REPA/iller/KONYA-REPA.pdf>”. s.d.
- <https://www.emo.org.tr>. s.d. “TÜRKİYE’DE ELEKTRİK ENERJİSİ GELİŞİMİNİN KISA TARİHÇESİ ve GENEL ÜRETİM BİLGİLERİ”. Acedido a 11 de dezembro de 2025. <https://www.emo.org.tr>.

İLARSLAN, Kenan. 2021. “ULUSLARARASI FOSİL YAKIT FİYATLARININ FİNANSAL PİYASALAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARDL SINIR TESTİ İLE İNCELENMESİ: 1986-2019 DÖNEMİ TÜRKİYE ÖRNEĞİ”. *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi* 13 (24): 143–58. <https://doi.org/10.14784/marufacd.879206>.

Karki, Paras. 2012. *2012 IEEE Third International Conference on Sustainable Energy Technologies*. IEEE.

Kinali, Mücahit Yasir. 2019. “YÜKSEK LİSANS GÜNEŞ ENERJİSİ SİMÜLASYON PROGRAMLARININ GERÇEK VERİLERLE DOĞRULUK ANALİZİ”.

Kılıç, Raziye. 2023. “Sanayi Devrimlerinin Serüveni: Endüstri 1.0’dan Endüstri 5.0’a”.

KUTLUCA, Murat. 2020. “ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ MİKRO GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI VE ANALİZİ Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Evren İŞEN Murat KUTLUCA ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI”.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. s.d. “MTA”.

Mahmood, Mohanad H., Russul H. Mohammed, Hadi Fakhir Hashim, e Aqeel A. Al-Hilali. 2023a. “Performance Analysis of 20kW Rooftop Photovoltaic System Installed at MTU University Using PVsyst Software”. Em *2023 2nd International Conference on Electrical, Electronics, Information and Communication Technologies, ICEEICT 2023*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICEEICT56924.2023.10157175>.

———. 2023b. “Performance Analysis of 20kW Rooftop Photovoltaic System Installed at MTU University Using PVsyst Software”. Em *2023 2nd International Conference on Electrical, Electronics, Information and Communication Technologies, ICEEICT 2023*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICEEICT56924.2023.10157175>.

Önal, Yasemin, e Hülya Çınaroğlu. 2022. “PERFORMANCE ANALYSIS of DIFFERENT SOLAR TRACKING SYSTEMS for OFF-GRID PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEM in BİLECİK, TURKEY USING PVSYST SOFTWARE”. *Journal of Scientific Reports-A*, n° 051, 192–210. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jsr-a/issue/73021/1192014>.

Rawat, Tanuj, Jyotsna Singh, e Sachin Sharma. 2023. “Performance Analysis of 400 kWp Rooftop Solar Plant at Swami Keshvanand Institute of Technology, Management & Gramothan, Jaipur using PVsyst”. Em *2023 International Conference on Power, Instrumentation, Energy and Control, PIECON 2023*.

Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
<https://doi.org/10.1109/PIECON56912.2023.10085828>.

Rout, Kamalesh Chandra, e P. S. Kulkarni. 2020. "Design and Performance evaluation of Proposed 2 kW Solar PV Rooftop on Grid System in Odisha using PVsyst". Em *2020 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science, SCEECS 2020*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
<https://doi.org/10.1109/SCEECS48394.2020.124>.

Şahin, Aysun. 2024. "BİR GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN PVSOL VE PVSYST PROGRAMLARI ARACILIĞIYLA TASARIM VE ANALİZİ Aysun ŞAHİN YÜKSEK LİSANS TEZİ".

Satish, Malkiva, Sharon Santhosh, e Apurv Yadav. 2020. *2020 7th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Sharma, Ronak, e Lata Gidwani. 2017. *Proceedings of IEEE International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies : ICCPCT-2017 on 20th & 21st April 2017*. [IEEE].

Sifat, Morshed. 2015. *2015 International Conference on Green Energy & Technology (ICGET)*. Center for Natural Science & Engineering Research (CNSER).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. s.d. "EPDK".

Türkyılmaz, Abdullah. 2023. "ÇATI UYGULAMALI BİR GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN FARKLI YAZILIMLARDA OPTİMİZASYON ÇALIŞMASI; BURSA ÖRNEĞİ".

Vural, Hatice, Barış Alaçam, e Metin Orbay. 2024. "Validating the Credibility of Photovoltaic Systems Simulation Tools with a Case Study". *Sakarya University Journal of Science* 28 (4): 855–65.
<https://doi.org/10.16984/saufenbilder.1481285>.

Yadav, Priya, Nitin Kumar, e S.S Chandel. 2015. *2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*. IEEE.

Yiğit, Fatma. 2023. "FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ ŞEBEKEYE BAĞLI 1 MW GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN PVSYST İLE SİMÜLASYONU VE PERFORMANS PARAMETRELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ Fatma YİĞİT YÜKSEK LİSANS TEZİ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Haziran-2023 KONYA Her Hakkı Saklıdır".