MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY ZEKA KULLANILARAK SOLAR IŞINIM TAHMİNİ VE DENİZ TAŞITLARINDA PV SİSTEM EKONOMİK ANALİZİ

BATUHAN TURAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı (Türkçe)
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Onur AKAR

İSTANBUL, 2025

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY ZEKA KULLANILARAK SOLAR IŞINIM TAHMİNİ VE DENİZ TAŞITLARINDA PV SİSTEM EKONOMİK ANALİZİ

BATUHAN TURAL

(523122032)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı (Türkçe)

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Onur AKAR

İSTANBUL, 2025

ÖNSÖZ

Günümüzde artan deniz ticareti ve lojistik sistemdeki gelişmeler doğrultusunda toplum tarafından ihtiyaç duyulan enerji gereksinimi de artmaktadır. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ihtiyacın karşılanmasında çevreci, ekonomik ve sonsuz bir enerji olmasından dolayı vazgeçilmez bir kaynaktır. Bu kaynaklardan birisi olan güneş enerjisinin kara üzerinde kullanımında olduğu gibi deniz taşıtları üzerinde de kullanarak güneş ışınımından maksimum fayda sağlayıp, deniz taşıtı tarafından ihtiyaç duyulan gücün karşılanmasına büyük bir katkı sağlayacağını değerlendiriyorum. Bu duygu ve düşüncelerle başladığım çalışmamda ve tez sürecimin başından itibaren bana yol gösteren değerli tez danışmanım Doç. Dr. Onur AKAR'a, tez yazım sürecinde yardımını esirgemeyen değerli Züleyha OK DAVARCI'ya, bilgi ve tecrübesiyle desteğini eksik etmeyen değerli meslektaşım Ayşe YAVUZ ERKAN'a ve her zaman yanımda olan aileme sevgili annem Gülcihan TURAL ve babam Mehmet TURAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

2025 **Batuhan TURAL**

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖNSÖZ ..... **i**
İÇİNDEKİLER ..... **ii**
ÖZET ..... **v**
ABSTRACT ..... **vi**
SEMBOLLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
TABLO LİSTESİ ..... **xvi**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları 2
1.2. Güneş Enerjisi 3
1.2.1. Güneş radyasyonu ölçümleri ve güneşlenme süresi 3
1.2.2. Dünyada güneş enerjisi 3
1.2.3. Türkiye'de güneş enerjisi 5
1.3. PV Güç Sistemi Bileşenleri 7
1.3.1. PV hücreler 8
1.3.2. Güneş panelleri 9
1.3.2.1. Monokristal paneller 10
1.3.2.2. Polikristal paneller 10
1.3.2.3. İnce film paneller 11
1.3.2.4. Flexible paneller 11
1.3.3. Dönüştürücüler 11
1.3.4. Aküler 12
1.4. PV Güç Sistemi Bağlantı Çeşitleri 12
1.4.1. Şebekeye bağlı sistemler 12
1.4.2. Şebekeden bağımsız sistemler 13
2. LİTERATÜR TARAMASI **15**
2.1. Dünya Üzerinde Kara ve Deniz Tabanlı Güneş Enerjisi Kıyaslamaları 15

2.2. PV Sistemlerin Deniz Üzeri Kullanımı ile İlgili Çalışmalar 16
2.3. PV Sistemlerin Simülasyon Programlarında Modellenmesi 21
2.4. Deniz Taşıtlarında PV Destekli Simülasyon Programları 22
3. MATERYAL VE YÖNTEM 25
3.1. Sistem Modeli 28
3.1.1. Gemi elektrik yük profili 29
3.1.2. Güneş radyasyonu ve PV sistem 30
3.1.3. Enerji depolama sistemleri 32
3.1.4. Dönüştürücü 33
3.1.5. Jeneratör 34
3.2. Yapay Zeka Metodu 35
3.2.1. YSA 35
3.2.2. YSA modeli matematiksel başarı parametreleri 37
3.2.3. YSA kullanımı 38
3.3. YEK'te Yaygın Olarak Kullanılan Simülasyon Programları 41
3.3.1. HOMER 41
3.3.2. SAM 44
3.3.3. RETScreen 47
3.3.4. PVSOL 49
3.3.5. PVsyst 52
3.3.6. PVWatts 53
3.3.7. PVGIS 55
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 58
4.1. HOMER Simülasyon Programı 58
4.1.1. HOMER PV güç sisteminde elektrik üretimi 58
4.1.2. HOMER PV güç sisteminde emisyon durumu 59
4.1.3. HOMER PV güç sisteminde maliyet analizi 60
4.2. SAM Simülasyon Programı 62
4.2.1. SAM PV güç sisteminde elektrik üretimi 62
4.2.2. SAM PV güç sisteminde emisyon durumu 62
4.2.3. SAM PV güç sisteminde maliyet analizi 63
4.3. RETScreen Simülasyon Programı 66

4.3.1. RETScreen PV güç sisteminde elektrik üretimi 66
4.3.2. RETScreen PV güç sisteminde emisyon durumu 66
4.3.3. RETScreen PV güç sisteminde maliyet analizi 67
4.4. PVSOL Simülasyon Programı 70
4.4.1. PVSOL PV güç sisteminde elektrik üretimi 70
4.4.2. PVSOL PV güç sisteminde emisyon durumu 70
4.4.3. PVSOL PV güç sisteminde maliyet analizi 71
4.5. PVsyst Simülasyon Programı 74
4.5.1. PVsyst PV güç sisteminde elektrik üretimi 74
4.5.2. PVsyst PV güç sisteminde emisyon durumu 74
4.5.3. PVsyst PV güç sisteminde maliyet analizi 75
4.6. PVWatts Simülasyon Programı 78
4.6.1. PVWatts PV güç sisteminde elektrik üretimi 78
4.6.2. PVWatts PV güç sisteminde emisyon durumu 78
4.6.3. PVWatts PV güç sisteminde maliyet analizi 79
4.7. PVGIS Simülasyon Programı 82
4.7.1. PVGIS PV güç sisteminde elektrik üretimi 82
4.7.2. PVGIS PV güç sisteminde emisyon durumu 82
4.7.3. PVGIS PV güç sisteminde maliyet analizi 83
5. SONUÇLAR 88
KAYNAKLAR 90
EKLER 100
EK-1 Güneş radyasyon değerleri 100
EK-2 Normalize edilmiş güneş radyasyon değerleri 101
ÖZGEÇMİŞ 102

ÖZET

YAPAY ZEKA KULLANILARAK SOLAR IŞINIM TAHMİNİ VE DENİZ TAŞITLARINDA PV SİSTEM EKONOMİK ANALİZİ

Dünya nüfusundaki artış ve gelişen teknoloji ile doğru orantılı olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılamada kaynakların yetersiz kalması ve fosil yakıtların gün geçtikçe tükenmesi, çevre kirliliği ve iklim değişikliğine sebep olmasından dolayı alternatif enerji kaynaklarını bulma ve geliştirme çalışmaları hız kazanmıştır. Bu durum deniz taşıtlarında da alternatif çözüm arayışına neden olmuştur. Temiz enerji ihtiyacı, Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) ile deniz taşıtlarında enerji üretimini hızlandırmıştır. Gelişen güneş enerjisi teknolojisi ile birlikte günümüzde PV sistemlerin performans tahmin uygulamalarının analizleri için sanal ortamda çeşitli simülasyon programlarında tasarımların yapıldığı görülmektedir. Bu simülasyon programları PV sistemlerin enerji üretim değerlerinin verimliliğini temel olarak tahmin edebilmekte olup, aynı zamanda çalışma davranışını da tahmin edebilmede önemli bir özelliktir. Bu çalışmada, Marmara Denizi üzerinde belirlenmiş bir alan üzerinde seyir eden ticari bir deniz aracının güzergahı boyunca üzerine düşen güneş radyasyon değerlerinin tahmin edilmesi amacıyla yapay zeka yöntemi kullanılmıştır. Yapay zekadan elde edilen güneş radyasyon tahmin değerleri ile bir deniz taşıtı üzerinde HOMER, SAM, RETScreen, PVSOL, PVsyst, PVWatts ve PVGIS simülasyon programları kullanılarak PV güç sistemi modellemesi oluşturulmuş ve deniz taşıtının yıl içerisindeki elektrik enerjisi üretimi ve depolamasının teknik ve ekonomik analizi yapılarak karşılaştırılmalı olarak öneriler sunulmuştur. Bu yeni yaklaşım yöntemi ile hareket halindeki deniz taşıtlarında güneş ışınımından maksimum fayda sağlayarak elektrik üretimine yönelik literatüre yenilik getirilmeye çalışılmıştır.

Nisan 2025 **Batuhan TURAL**

ABSTRACT

SOLAR IRRADIANCE ESTIMATION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND PV SYSTEM ECONOMIC ANALYSIS IN MARINE VESSELS

The increase in the world population and the developing technology are directly proportional to the energy requirement. The inadequacy of the resources to meet the increasing energy requirement and the depletion of fossil fuels day by day, due to environmental pollution and climate change, have accelerated the efforts to find and develop alternative energy sources. This situation has also led to the search for alternative solutions in marine vehicles. The need for clean energy has accelerated the energy production in marine vehicles with Renewable Energy Resources (RES). With the developing solar energy technology, it is seen that designs are made in various simulation programs in the virtual environment for the analysis of the performance estimation applications of PV systems. These simulation programs can basically estimate the efficiency of the energy production values of PV systems and are also an important feature in estimating the operating behavior. In this study, the Artificial Intelligence method was used to estimate the solar radiation values falling on a commercial marine vessel along its route navigating over a designated area on the Marmara Sea. With the solar radiation estimate values obtained from Artificial Intelligence, a PV power system model was created on a marine vessel using HOMER, SAM, RETScreen, PVSOL, PVsyst, PVWatts and PVGIS simulation programs, and technical and economic analysis of the electrical energy production and storage of the marine vessel during the year were made and comparative suggestions were presented. With this new approach method, it was tried to bring innovation to the literature on electricity production by providing maximum benefit from solar radiation in moving marine vessels.

April 2025 **Batuhan TURAL**

SEMBOLLER

A : Modül alanı

Ah : Amper saat (Amper hour)

$\mathbf{A_{PV}}$: PV panelinin yüzey alanı (m^2)

B : Net değer faktörü

$\mathbf{C_{ann,\ total}}$: Toplam yıllık maliyeti ($/yıl)

$\mathbf{C_{BAT}}$: Pil kapasitesi (Ah)

COE : Enerjinin seviyelenmiş maliyeti (Cost of Energy) ($/kWh)

$\mathbf{CO_2}$: Karbon dioksit

CRF(i, N) : Sermaye geri kazanım faktörü (Capital Recovery Factor) (1/yıl)

$\mathbf{C_t}$: Oluşturulan sistemin işletme maliyeti

CV : Nakit değeri (Cash Value)

$\mathbf{C_{Wh}}$: Pil paketi kapasitesi (Wh)

$\mathbf{C_0}$: Başlangıç sistemin oluşturulması

$^{\circ}\mathbf{C}$: Santigrat derece (Celsius)

$\mathbf{E_{AA}}$: Birincil AA yükü (kWh/yıl)

$\mathbf{E_{DA}}$: Birincil DA yükü (kWh/yıl)

$\mathbf{E_{grid}}$: Toplam grid satışı (kWh/yıl)

$\mathbf{E_t}$: Yıllık elektrik satışından elde edilen gelir

$\mathbf{ft^2}$: Feet kare

$\mathbf{f_{PV}}$: PV dizisinin kayıp faktörü (%)

G : Mevcut güneş ışınımı (W/m^2)

$\mathbf{G'}$: Panel yüzeyine gelen normalize edilmiş ışınım miktarı (W/m^2)

$\mathbf{G_i}$: W/m^2 cinsinden sahaya gelen güneş ışınımı

G_{STC} : Standart test koşullarındaki ışınım değeri (W/m^2)

G_T : Güneş ışınımı (kW/m^2)

$G_{T,stc}$: STC'de güneş ışınımı (1 kW/m^2)

H_{at} : Yüzeye düşen toplam güneş radyasyonu

H_o : Atmosferin dışındaki yatay bir PV modülündeki güneş radyasyonu

Hz : Hertz

ı : Alternatif yatırımlardan elde edilebilecek iskonto oranı

i : Reel faiz oranını (%)

kg : Kilo gram

km : Kilo metre

K_T : Açıklık indeksi

kW : Kilo watt

kWh : Kilowatt-saat (Kilowatt-hour)

kWp : Kilowatt-tepe (Kilowatt-peak)

MW : Mega watt

m^2 : Metre kare

n : Veri noktalarının sayısı

N : Proje ömrü (yıl)

Ñ : Toplam modül sayısı

N_{BAT} : Pil sayısı

NOCT : Panelin nominal çalışma hücresi sıcaklığı (Nominal Operating Cell Temperature of the Panel)

NPC : Net bugünkü maliyeti (Net Present Cost) ($)

NPV : Nakit akışının net bugünkü değeri (Net Present Value of Cash Flow)

P_a : Güneş panelinin üretim gücü

$P(G',T')$: Panelin gücü (W)

P_{MP} : Panel tarafından üretilen güç

$P_{MP,STC}$: W cinsinden STC koşullarında modül tarafından üretilen maksimum güç

P_{PV} : PV tarafından üretilen güç (kW)

$P_{STC,m}$: Standart test koşullarındaki maksimum gücü (W)

PV : Fotovoltaik (Photovoltaic)

PW : Peta watt

r : Fiyat değişim faktörü

R_d : Eğim faktörü

SO_2 : Sülfür dioksit

q : Basit faiz faktörü

r : İndirim oranı

$R_t(t)$: Yılın net bakiyesi

T : Modülün gerçek sıcaklığı

T' : Modül sıcaklık farkı

T_{AMB} : ℃ cinsinden ortam sıcaklığı

T_C : PV hücre sıcaklığı (℃)

$T_{C,stc}$: STC'de PV hücre sıcaklığı (25 ℃)

T_{cell} : Hücrenin sıcaklığı

T_{mod} : Panel sıcaklığı (℃)

T_{ref} : Referans sıcaklığı

T_{STC} : Standart test koşullarındaki sıcaklık (℃)

V : Volt

W : Watt

W_p : Watt-tepe (Watt-peak)

Y_{PV} : STC'de PV tarafından üretilen güç (kW)

y_T : Ağırlık faktörü

y_1 : Gerçek değerler

$y_{_1}$: Gerçek değerler ortalaması

y_2 : Tahmin edilen değerler

$y_{_2}$: Tahmin edilen değerler ortalaması

Z : Ödeme süresi

α : Güç sıcaklık katsayısı (-0.485%/°C)

β_T : Sıcaklık katsayısı

η : Panelin verimlilik katsayısı

η_{rel} : Göreceli verim (Relative efficiency)

η_{stc} : STC'de PV panel verimliliği (%)

δ_{MP} : Sıcaklık katsayısı

$: Dolar

KISALTMALAR

A : Amper

AA : Alternatif Akım

CI : Clarity Index (Netlik İndeksi)

COE : Cost of Energy (Enerjinin Seviyelenmiş Maliyeti)

CRF : Capital Recovery Factor (Sermaye Geri Kazanım Faktörü)

CV : Cash Value (Nakit Değeri)

DA : Doğru Akım

GEPA : Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası

HOMER : Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (Çoklu Enerji Kaynaklarının Hibrit Optimizasyonu)

kWh : Kilowatt-hour (Kilowatt-saat)

LCOE : Levelized Cost of Energy (Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti)

MAUI : Multi-platform App UI (Çok Platformlu Uygulama Kullanıcı Arayüzü)

MSE : Mean Square Error (Ortalama Kare Hata)

M/V : Motor Vessel (Motorlu Gemi)

NASA : National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)

NOCT : Nominal Operating Cell Temperature of the Panel (Panelin Nominal Çalışma Hücresi Sıcaklığı)

NPC : Net Present Cost (Net Bugünkü Maliyeti)

NPV : Net Present Value of Cash Flow (Nakit Akışının Net Bugünkü Değeri)

NREL : National Renewable Energy Laboratory (Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı)

NSRDB : National Solar Radiation Data Base (Ulusal Güneş Radyasyonu Veri

Tabanı)

OPEX : Operating Expenditure (İşletme Giderleri)

POLYSUN : Photovoltaic and Solar Systems (Fotovoltaik ve Güneş Sistemleri)

POWER : Prediction of Worldwide Energy Resources (Dünya Çapındaki Enerji Kaynaklarının Tahmini)

PV : Photovoltaic (Fotovoltaik)

PVGIS : Photovoltaic Geographical Information System (Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi)

PVLIB : Photovoltaic Library (Fotovoltaik Kütüphane)

PVSOL : Photovoltaic Solar Simulation (Fotovoltaik Güneş Simülasyonu)

PVSYST : Photovoltaic System Simulation Tool (Fotovoltaik Sistem Simülasyon Aracı)

PVWATTS : Photovoltaic Watts Calculator (Fotovoltaik Watt Hesaplayıcı)

R : Regression (Regresyon)

RES : Renewable Energy Resources (Yenilenebilir Enerji Kaynakları)

RETSCREEN:Renewable Energy Technology Screen (Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Ekranı)

SAM : System Advisor Model (Sistem Danışmanı Modeli)

SOLARGIS : Solar Global Information System (Solar Küresel Bilgi Sistemi)

STC : Standard Test Conditions (Standart Test Koşulları)

TRNSYS : Transient System Simulation Tool (Geçici Sistem Simülasyon Aracı)

USD : United States Dollar (ABD Doları)

YSA : Yapay Sinir Ağları

YEK : Yenilenebilir Enerji Kaynakları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. YEK tabanlı elektrik üretim dağılımı 2

Şekil 1.2. Dünya üzeri güneş enerjisi potansiyeli 4

Şekil 1.3. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası 5

Şekil 1.4. Türkiye global radyasyon verileri (kWh/m^2-gün) ve güneşlenme periyotları (saat). 6

Şekil 1.5. Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi 6

Şekil 1.6. Türkiye'nin enerji kaynaklarına göre kurulu güç dağılımı 7

Şekil 1.7. PV güneş enerjisi sistemi 8

Şekil 1.8. PV hücre çalışma prensibi 9

Şekil 1.9. Panel çeşitleri 10

Şekil 1.10. Şebekeye bağlı PV sistem 13

Şekil 1.11. Şebekeden bağımsız PV sistem 14

Şekil 2.1. Solar Albatross isimli gemi 17

Şekil 2.2. Auriga Leader isimli gemi 18

Şekil 2.3. Planet Solar isimli gemi 19

Şekil 2.4. Solar Impact isimli tekne 20

Şekil 2.5. Silent 55 isimli yat 20

Şekil 2.6. Sea Zero isimli gemi 21

Şekil 3.1. Enerji üretim süreci akış diyagramı 25

Şekil 3.2. Marmara Denizi üzerinde güneş radyasyonu değerleri için belirlenen alan 26

Şekil 3.3. Marmara Denizi üzerinde faaliyet alanı 26

Şekil 3.4. PV sistemi kurulacak deniz taşıtı (ÇAMLİMANI) 27

Şekil 3.5. PV sistem kurulumu 27

Şekil 3.6. Simülasyon şeması 28

Şekil 3.7. Enerji tüketim grafiği 30

Şekil 3.8. Ortalama küresel yatay ışınım ve şeffaflık endeksi verileri 30

Şekil 3.9. Depolama sistemi 33

Şekil 3.10. Dönüştürücü 34

Şekil 3.11. Jeneratör 34

Şekil 3.12. YSA temel blok yapısı 36

Şekil 3.13. YSA modeli 39

Şekil 3.14. Yapılan tahminin örtüşme grafiği 40

Şekil 3.15. YSA'dan elde edilen tahminin 3D görüntüsü 40

Şekil 3.16. HOMER Pro 3.18.3 programı kullanıcı arayüzü 42

Şekil 3.17. Simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki ilişki 43

Şekil 3.18. SAM 2023.12.17 programı kullanıcı arayüzü 45

Şekil 3.19. RETScreen Expert 9.1 programı kullanıcı arayüzü 48

Şekil 3.20. PVSOL Premium 2024 programı kullanıcı arayüzü 50

Şekil 3.21. PVsyst 7.4 programı kullanıcı arayüzü 52

Şekil 3.22. PVWatts Calculator programı kullanıcı arayüzü 54

Şekil 3.23. PVGIS 5.3 programı kullanıcı arayüzü 56

Şekil 4.1. HOMER PV sistem ve jeneratör aylık ortalama güç üretimi 58

Şekil 4.2. HOMER PV sistem emisyon durumu 59

Şekil 4.3. HOMER PV sistem maliyet analizi 60

Şekil 4.4. SAM PV sistem ve jeneratör aylık ortalama güç üretimi 62

Şekil 4.5. SAM PV sistem emisyon durumu 63

Şekil 4.6. SAM PV sistem maliyet analizi 64

Şekil 4.7. RETScreen PV sistem ve jeneratör aylık ortalama güç üretimi 66

Şekil 4.8. RETScreen PV sistem emisyon durumu 67

Şekil 4.9. RETScreen PV sistem maliyet analizi 68

Şekil 4.10. PVSOL PV sistem ve jeneratör aylık ortalama güç üretimi 70

Şekil 4.11. PVSOL PV sistem emisyon durumu 71

Şekil 4.12. PVSOL PV sistem maliyet analizi 72

Şekil 4.13. PVsyst PV sistem ve jeneratör aylık ortalama güç üretimi 74

Şekil 4.14. PVsyst PV sistem emisyon durumu 75

Şekil 4.15. PVsyst PV sistem maliyet analizi 76

Şekil 4.16. PVWatts PV sistem ve jeneratör aylık ortalama güç üretimi 78

Şekil 4.17. PVWatts PV sistem emisyon durumu 79

Şekil 4.18. PVWatts PV sistem maliyet analizi 80

Şekil 4.19. PVGIS PV sistem ve jeneratör aylık ortalama güç üretimi 82

Şekil 4.20. PVGIS PV sistem emisyon durumu 83

Şekil 4.21. PVGIS PV sistem maliyet analizi 84

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Literatür çalışmaları 24

Tablo 3.1. Gemi elektrik yük profili 29

Tablo 3.2. Panel özellikleri 31

Tablo 3.3. Dönüştürücü özellikleri 33

Tablo 3.4. MSE ve R değerleri 41

Tablo 4.1. HOMER teknik ve ekonomik durum analizi 61

Tablo 4.2. SAM teknik ve ekonomik durum analizi 65

Tablo 4.3. RETScreen teknik ve ekonomik durum analizi 69

Tablo 4.4. PVSOL teknik ve ekonomik durum analizi 73

Tablo 4.5. PVsyst teknik ve ekonomik durum analizi 77

Tablo 4.6. PVWatts teknik ve ekonomik durum analizi 81

Tablo 4.7. PVGIS teknik ve ekonomik durum analizi 85

Tablo 4.8. Teknik ve ekonomik durum analizi 86

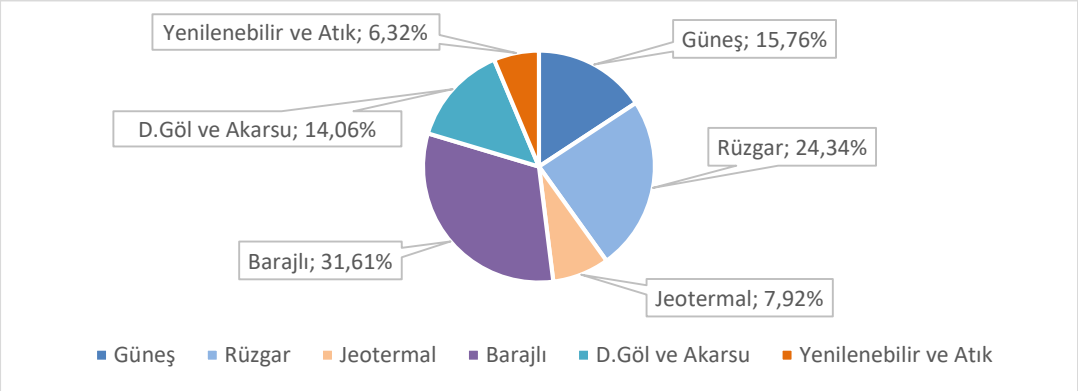
1. GİRİŞ

Dünya genelinde yıllık olarak % 4-5 miktarında enerji ihtiyacı artmakta olup, geleneksel kaynaklar ise süratle azalmaktadır [1]. Geleneksel yakıtlar kullanılarak sağlanan elektrik üretiminin ise dünya genelinde gün geçtikçe çoğalan negatif etkisi bulunmaktadır. Negatif etkilerinin yanısıra geleneksel yakıt stoklarının da süratle tükenmekte olduğundan yenilenebilir kaynakların kullanımı hız kazanmıştır [2]. Özellikle petrol ihtiyacındaki talebi karşılayamama nedeniyle ortaya çıkan kriz sonrasında, araştırmacılar geleneksel yakıtların yerini alabilecek, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji üzerine çalışmalar yapmaya başlamışlardır. YEK doğada sürekli olarak var olan ve tükenmeyen enerji kaynakları arasında yer almaktadır [3]. YEK'lerden birisi olan güneş enerjisi, klasik enerji kaynaklarına karşı güçlü bir alternatif olarak öne çıkar ve söz konusu problemleri çözmek için büyük bir potansiyele sahiptir [4]. Dünya günlük 120 petawatt miktarında güneş enerjisi almaktadır; bu miktar, güneş sayesinde üretilen bir günlük enerji ile yaklaşık yirmi yıl süresince dünya üzerinde ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılayabileceği anlamına gelmektedir [5]. Elektrik üretiminde solar enerji kullanmak, küresel ısınmaya sebebiyet veren karbondioksit ve diğer sera gazlarının üretimini engellemektedir. Güneş dünyanın varoluşundan itibaren yeryüzündeki hayat için temel bir enerji üretim kaynağı olup canlıların hayatlarını sürdürmek için ihtiyaç duydukları enerjiyi üretmektedir. Bu faydaları sayesinde güneş enerjisinden yararlanmak insanoğlunun hayattaki amaçlarından birisi olmuş ve bu yönde sürekli çalışmalar gerçekleştirmişlerdir [6]. Dünya çapındaki bilim insanları ve araştırmacılar, kapsamlı çalışmalar ve en yeni teknolojik gelişmeler doğrultusunda, güneşin gelecekte küresel enerji ihtiyacını karşılayabilecek büyük bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuştur [7]. Bir fotovoltaik (Photovoltaic, PV) güneş enerjisi sistemi güneşten doğrudan almış olduğu enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmede kullanılmaktadır. Yaz dönemi süresince çoğalan güneşlenme süreleri sebebiyle sistemin çıkış gücü maksimum miktarlara ulaşmaktadır. Bu durumun yanısıra elde edilen elektrik enerjisi güneşlenme sürelerine, iklim koşullarına, almış olduğu güneş radyasyonu oranına ve güneş panelleri üzerine etki eden etmenlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. PV enerji sisteminden elde edilen elektrik doğrudan kullanılabilmekte olup ayrıca şebekeye geri beslenebilme veya bir pilde saklanabilme özelliklerine sahiptir. PV enerji sistemi konut, sanayi ve tarım gibi çeşitli alanlarda

kullanılabilen güvenilir ve temiz bir elektrik kaynağıdır [8]. Denizcilik endüstrisinde, yükselen çevre hassasiyeti ve artan enerji maliyetleri nedeniyle, farklı enerji çözümleri konusunda çalışmalar hızlanmıştır. Deniz araçlarında elektrik tüketiminde etkinliği artırmak için, başta güneş panelleri, rüzgar türbinleri ve limandan elektrik sağlama gibi yenilenebilir enerji çözümlerinin uygulanması konusuna ağırlık verilmektedir [9].

1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji doğada sınırsız bir şekilde bulunarak kendisini sürekli olarak yenileyebilen ve çevreye zararı olmayan bir enerjidir. Gün geçtikçe dünya üzerinde diğer ülkelerde görüldüğü üzere ülkemizde de temiz elektrik üretime gösterilen değer katlanarak büyümüştür. YEK enerjide dış ülkelere bağımlılığı azaltmada önemli bir rol oynamaktadır. YEK olarak güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle ve hidrojen enerjisi gösterilebilir [10]. Ülkeler fosil yakıt bağımlılığını azaltmak için yenilenebilir enerjiye yönelmekte, bu alandaki kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Yenilenebilir enerji çevresel sürdürülebilirlik, enerji güvenliği ve iklim değişikliğiyle mücadelede önemli avantajlar sunarak sera gazı emisyonlarını azaltmakta, enerji bağımsızlığını artırmakta ve ekonomik büyümeyi desteklemektedir. Bu nedenle dünya genelinde her geçen gün kullanımı yaygınlaşmaktadır. YEK içinde güneş enerjisi en erişilebilir, sürdürülebilir ve çevre dostu seçeneklerden birisidir. Sonsuz ve temiz bir enerji kaynağı olan güneş paneller aracılığıyla elektrik üretiminde kullanılmaktadır [11,12]. Türkiye üzerinde 2023 yılı YEK tabanlı elektrik enerjisi üretiminin dağılımı Şekil 1.1'de sunulmuştur [13]. Dağılım grafiği incelendiğinde güneş enerjisi % 15,76 gibi ciddi bir orana sahiptir.



Şekil 1.1. YEK tabanlı elektrik üretim dağılımı

1.2. Güneş Enerjisi

Güneş canlı yaşamının sürdürülebilmesi için hayati bir enerji kaynağıdır ve dünyadan yaklaşık 150 milyon km uzaklıkta bulunmaktadır. Dünya kendi ekseni etrafında dönerken aynı zamanda güneşin etrafında eliptik bir yörüngede hareket etmektedir. Bu nedenle Dünya'ya ulaşan güneş enerjisi günlük ve yıllık olarak değişkenlik göstermektedir. Güneşten gelen ışınların yalnızca % 50'si yeryüzüne ulaşırken, % 30'u uzaya yansımakta, % 20'si ise atmosfer ve bulutlar tarafından emilmektedir. Buna rağmen güneşin dünyaya sağladığı enerji yıllık tüketilen enerjinin 20 bin katına eşittir [14]. Güneş enerjisi bol ve çevre dostu olması nedeniyle yoğun olarak kullanılan yenilenebilir kaynaklardandır. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli bakımından birçok ülkeye kıyasla daha iyi konumda olmasına rağmen, Avrupa'daki büyük güneş enerji sahalarına sahip ülkelerle karşılaştırıldığında güneş enerjisinden faydalanma oranının daha düşük olduğu görülmektedir. Son yıllarda yapılan yatırımlar ve teşviklerle ülkemizde güneş enerjisinden faydalanma oranının hızla arttığı görülmektedir [15].

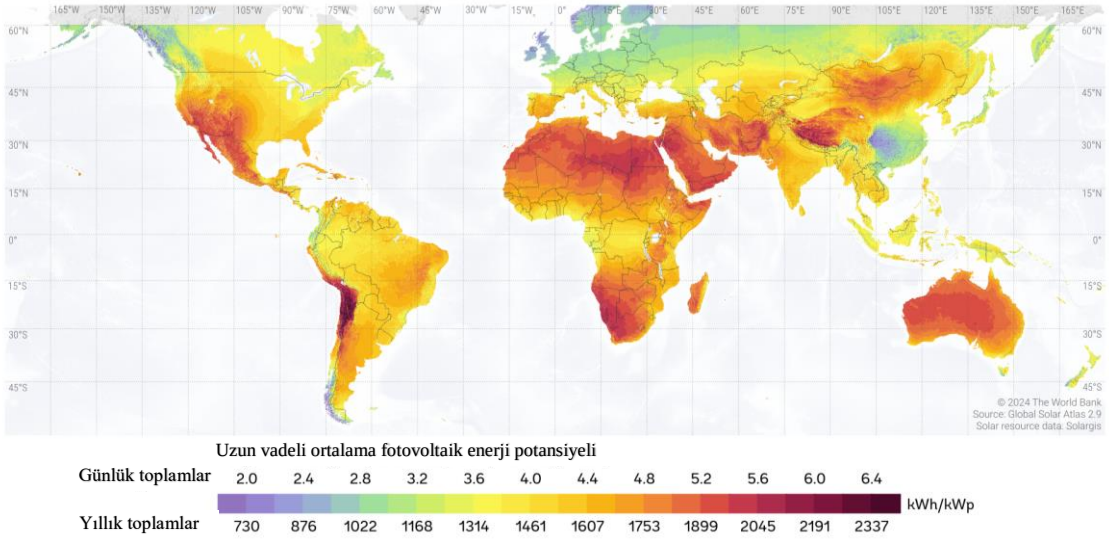
1.2.1. Güneş radyasyonu ölçümleri ve güneşlenme süresi

Güneş ışınları dünyaya direkt ve difüz radyasyon olarak gelmektedir. Direkt olarak gelen radyasyon atmosferde kırılma yaşamadan doğrudan gelen ışımayı, difüz olarak gelen radyasyon ise bulutlar ve atmosfer aracılığıyla saçıldıktan sonra yeryüzüne gelen ışımayı ifade etmektedir. Bu iki bileşenin toplamı global güneş radyasyonu olarak adlandırılır ve aktinometre, aktinograf ve piranometre gibi cihazlarla ölçülmektedir. Güneş enerjisi sistemlerinin verimli tasarlanabilmesi için güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi gibi verilerin bilinmesi önemlidir. Güneşlenme süresi belirli bir bölgeye günlük, aylık veya yıllık olarak ulaşan güneş ışığı süresini ifade eder ve genellikle saat/gün cinsinden belirtilmektedir. Global, direkt ve difüz güneşlenme şiddeti parametrelerinin belirli aralıklarla ölçülmesiyle elde edilen bu veriler bölgedeki güneş enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır [16,17].

1.2.2. Dünyada güneş enerjisi

Güneş enerjisi dünya tarafından ihtiyaç duyulan enerjinin karşılanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu enerji güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi sırasında açığa

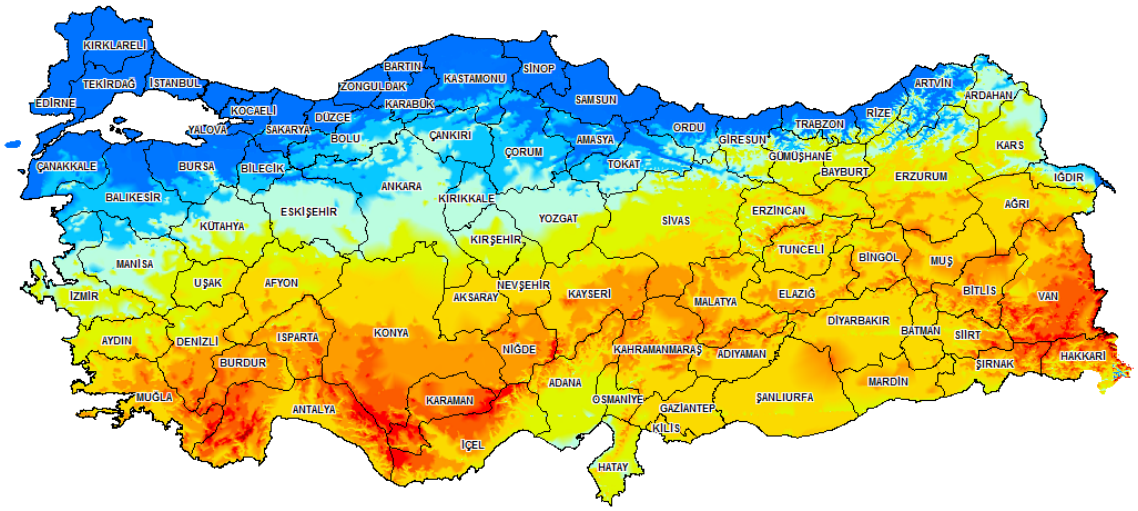
çıkan ışıma enerjisidir. Güneş enerjisi yenilenebilir ve temiz bir kaynak olarak elektrik üretiminden ısıtmaya kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Dünyanın en fazla güneş enerjisinden faydalanan bölgesi güneş kuşağıdır. Güneş kuşağı ekvatorun 3885 km kuzey ve güneyindeki alanlardır. Bu kuşak güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanılabilecek alanları içermektedir. Kurak bölgelerde yıllık ortalama güneş radyasyonu 2000-2500 kWh/m^2 arasında değişirken, diğer enlemlerde bu değer 1000-1500 kWh/m^2 arasında değişmektedir. Örneğin ekvator bölgelerinde yıllık güneş radyasyonu yaklaşık 2200 kWh/m^2, Akdeniz bölgesinde 1700 kWh/m^2, Orta Avrupa'da 1000 kWh/m^2 ve Kuzey Avrupa'da ise 800 kWh/m^2 civarındadır [18]. Küresel enerji ihtiyacı içerisinde güneş kayda değer ölçüde öne çıkmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı'na göre, 2050 yılında dünya genelinde üretilen elektriğin %11'inin güneş sayesinde elde edileceği tahmin edilmektedir [19]. Dünya üzeri güneş enerjisi potansiyeli Şekil 1.2'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere dünyada güneş enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu yerler koyu kahverengi tonlarıyla boyanmış bölgelerdir. Güneş enerjisi potansiyeli koyu kahverengiden açık mavi renge doğru düşmektedir. En düşük enerji potansiyeli olan bölge açık mavi renk ile gösterilmiştir [20].



Şekil 1.2. Dünya üzeri güneş enerjisi potansiyeli

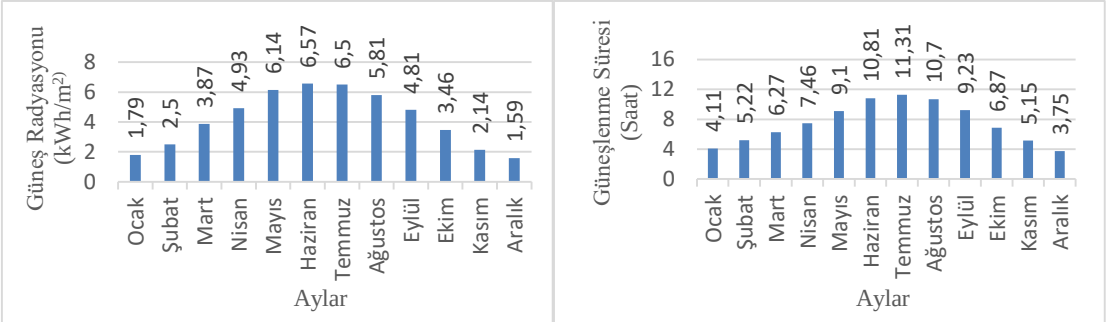
1.2.3. Türkiye'de güneş enerjisi

Türkiye, yenilenebilir enerji potansiyeli yüksek bir ülke olup, özellikle güneş enerjisi açısından avantajlı bir konuma sahiptir. Coğrafi yapısı ve jeopolitik konumu sayesinde güneş enerjisinden verimli şekilde faydalanabilmektedir. 36°- 42° kuzey enlemleri ile 26°-45° doğu boylamları içerisinde yer alan Türkiye için, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerine göre yapılan araştırmalar, yıllık ortalama güneşlenme süresinin 2741 saat, yıllık toplam ışınım değerinin ise 1527,46 kWh/m² olduğunu göstermektedir [21]. Türkiye'nin sahip olduğu potansiyel güneş enerjisi haritası Şekil 1.3'de sunulmuştur. Şekil 1.3'e göre koyu mavi olan bölgeler yani Türkiye'nin kuzeyinde kalan yerler 1400-1450 kWh/m²-yıl en az güneş radyasyonuna sahip, koyu kırmızı olan yerler ise 1800-2000 kWh/m²-yıl en fazla güneş radyasyonuna sahip yerlerdir.



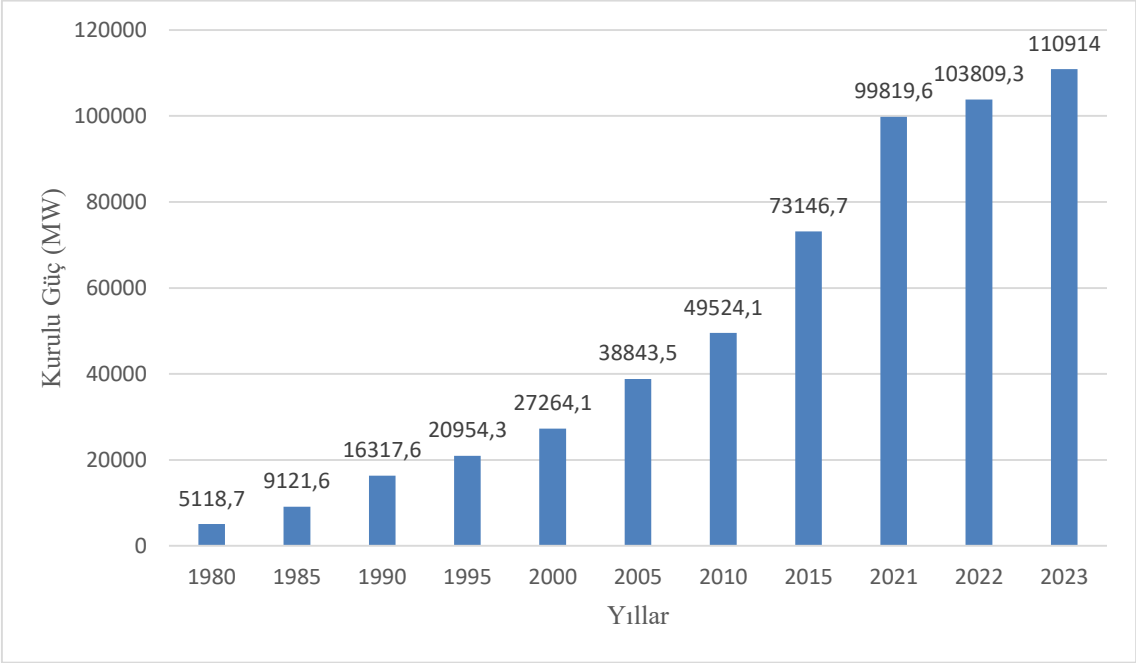
Şekil 1.3. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası

Türkiye'nin sahip olduğu güneşlenme periyot süreleri ve global radyasyon verileri Şekil 1.4'de gösterilmiştir [22]. Türkiye'nin güneş radyasyon değeri en az 1400 kWh/m²-yıl, en fazla ise 2000 kWh/m²-yıl'dır. Türkiye'de güneş radyasyonunun en yüksek değeri haziran ayında 6,57 kWh/m², en düşük değeri ise aralık ayında 1,59 kWh/m² olarak ölçülmüştür. Türkiye'de güneşlenme süresinin en yüksek değeri 11,31 saat ile temmuz ayında, en düşük değeri ise 3,75 saat ile aralık ayında ölçülmüştür.



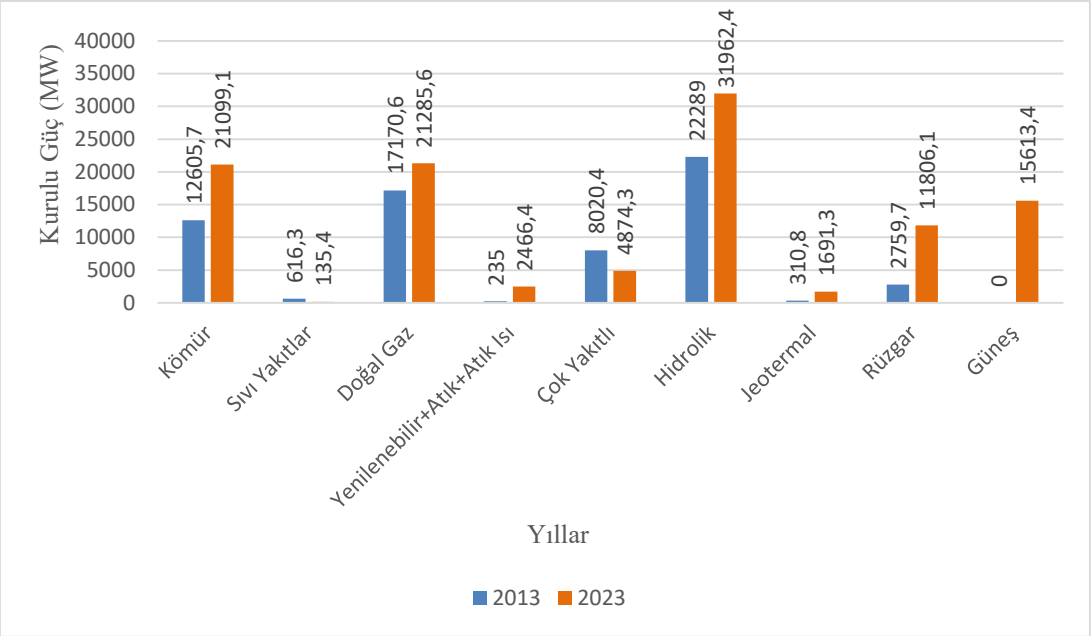
Şekil 1.4. Türkiye global radyasyon verileri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme periyotları (saat).

2024 yılı Aralık ayı sonu itibarıyla ülkemiz kurulu gücü 115975 MW'a ulaşmıştır. Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi Şekil 1.5'de sunulmuştur.



Şekil 1.5. Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi

2024 yılı Aralık ayı sonu itibarıyla kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; % 27,8'i hidrolik enerji, % 21,3'ü doğal gaz, % 18,9'u kömür, % 11,1'i rüzgâr, % 17,1'i güneş, % 1,5'i jeotermal ve % 2,3'ü ise diğer kaynaklar şeklindedir. Türkiye kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı yıllar itibariyle Şekil 1.6'da sunulmuştur [13,23].

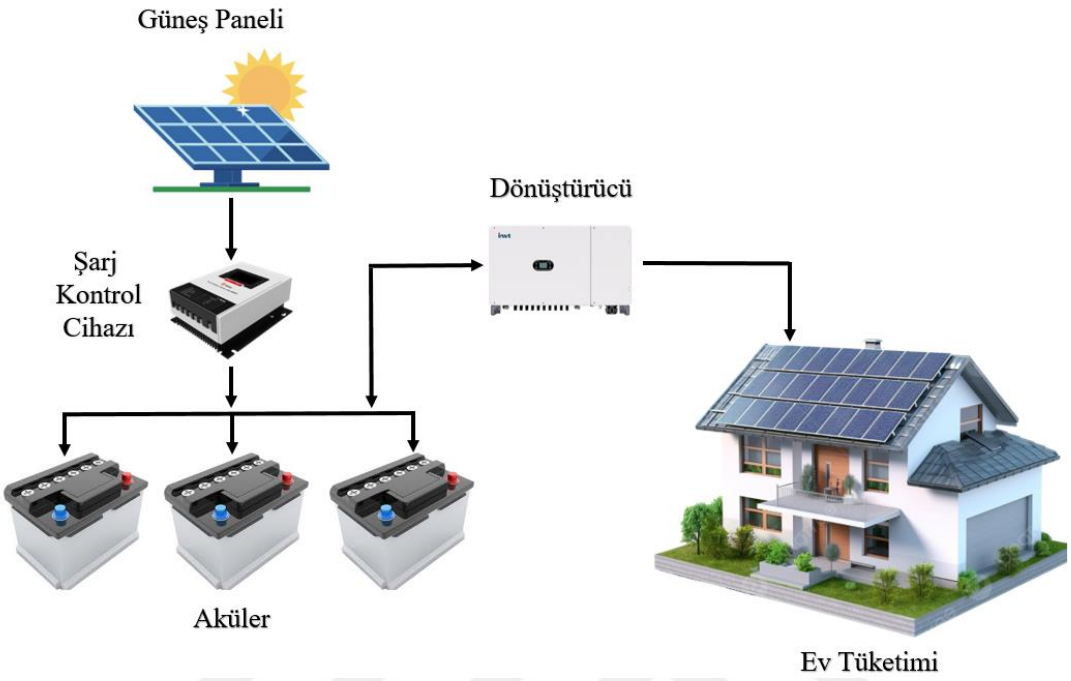


Şekil 1.6. Türkiye'nin enerji kaynaklarına göre kurulu güç dağılımı

1.3. PV Güç Sistemi Bileşenleri

PV güneş enerji sistemleri, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bu sistemler güneş panelleri, dönüştürücü, depolama sistemi, Doğru Akım (DA) ve Alternatif Akım (AA) kabloları, transformatörler ve koruma elemanları gibi çeşitli bileşenlerin bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Güneş panelleri PV hücreler aracılığıyla güneş ışığını soğurarak DA elektrik üretir. Dönüştürücüler ise bu DA'yı evlerde ve şebekelerde kullanılan AA'ya çevirir. Sistemin diğer bileşenleri üretilen enerjinin güvenli ve verimli bir şekilde iletilmesini ve kullanılmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte PV sistemlerin performansı güneş ışınımı, panel verimliliği, sıcaklık ve gölgelenme gibi çeşitli çevresel ve teknik faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Depolama sistemleri özellikle şebekeden bağımsız çalışan sistemlerde üretilen enerjinin daha verimli kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca modern PV sistemlerinde izleme ve kontrol yazılımları kullanılarak sistemin anlık performansı takip edilmekte ve gerektiğinde müdahalelerde bulunma imkanı bulunmaktadır. Genel anlamda örnek bir PV

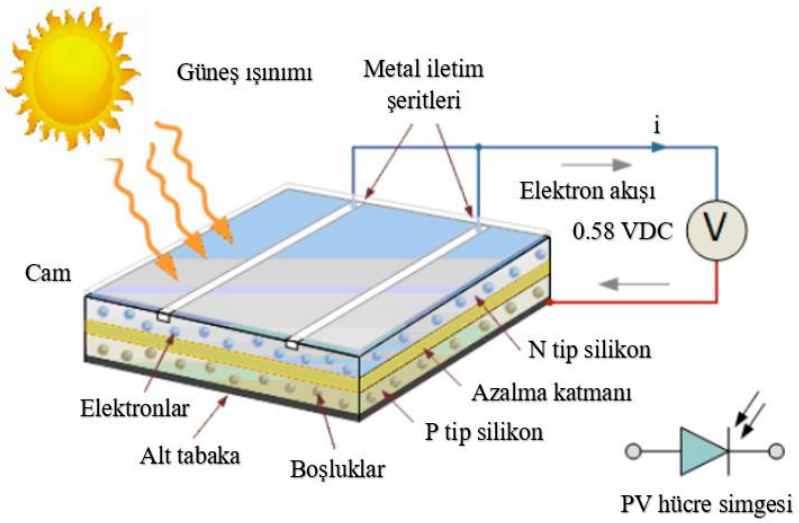
güneş enerjisi sistemi Şekil 1.7'de sunulmuştur [24].



Şekil 1.7. PV güneş enerjisi sistemi

1.3.1. PV hücreler

PV hücreler yarı iletken malzemeler kullanarak güneş ışığını doğrudan DA elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Bu hücreler p-tipi (pozitif) ve n-tipi (negatif) olmak üzere zıt kutuplara sahip iki yarı iletken katmanın birleşiminden oluşur. Güneş ışığı hücrenin en üst katmanında yer alan yarı iletkene çarptığında elektronlar uyarılır ve alt katmana doğru hareket eder. İki katman arasında oluşan bu elektron hareketliliği bir elektrik akımının ortaya çıkmasını sağlamaktadır. PV hücrelerin verimliliği kullanılan yarı iletken malzemenin türüne, ışınım seviyesine, sıcaklık koşullarına ve üretim teknolojisine bağlı olarak değişmektedir. Genellikle silikon bazlı PV hücreler yaygın olarak kullanılmakta olup monokristal, polikristal ve ince film teknolojileri farklı verimlilik seviyeleri sağlamaktadır. Ayrıca gelişmiş hücre tasarımları ve yüzey kaplama teknikleri, ışığın daha iyi soğurulmasını sağlayarak enerji dönüşüm verimliliğini artırmaktadır. PV hücrenin çalışma prensibi Şekil 1.8'de sunulmuştur [25].



Şekil 1.8. PV hücre çalışma prensibi

1.3.2. Güneş panelleri

Güneş panelleri temel olarak yarı iletken materyallerden meydana gelen ve zıt kutuplara sahip iki katmanın birleşimiyle çalışmaktadır. Anılan katmanlar p-tipi (pozitif) ve n-tipi (negatif) yarı iletkenlerden oluşmaktadır. Güneş ışınları belirtilen iki malzemenin birleşim bölgesine ulaştığında, N-tipi malzeme P-tipine kıyasla daha pozitif bir gerilim oluşturmaktadır. Materyalin üzerine gelen ışık şiddetine bağlı olarak çıkış gerilimi değişmektedir. Çıkış tarafına bir yük bağlandığı zaman bir akım oluşmaktadır. Bahse konu akımın büyüklüğü, elemanın yüzeyine gelen ışık yoğunluğuna ve elemanın kendisine bağlı olarak değişmektedir. Bu hücreler, seri veya paralel şekillerde bağlanarak üretilen akım ve gerilim değerleri artırılabilir [26]. Monokristal, Polikristal, İnce Film, Flexible gibi güneş paneli çeşitleri bulunmaktadır. Panel çeşitlerini gösteren örnek Şekil 1.9'da sunulmuştur [27].



Şekil 1.9. Panel çeşitleri

1.3.2.1. Monokristal paneller

Monokristal PV hücrelerin üretiminde yüksek saflıkta silikon kullanılmaktadır. Tercih edilen silikon malzemenin saflık oranının artmasına bağlı olarak panellerin verimliliği de artmaktadır. Monokristal PV hücreler tek kristal yapıları sayesinde yüksek verimlilik sunmakta ve sınırlı alanlarda daha fazla enerji üretimi sağlamaktadır. Özellikle çatı üstü güneş enerjisi sistemleri ve endüstriyel enerji projelerinde tercih edilen bu hücreler enerji dönüşümünde önemli bir rol oynamaktadır. Monokristal paneller polikristal panellere kıyasla daha saf silikon kullanılarak üretildiğinden daha homojen ve koyu bir görünüme sahiptirler. Koyu renkleri sayesinde güneş ışığını daha etkili bir şekilde absorbe edebilme özelliklerine sahiptirler. Bu özellikleri düşük ışınım koşullarında bile yüksek performans göstermelerini sağlamaktadır. Yüksek verimlilikleri özellikle alanların sınırlı olduğu projelerde önem göstermektedir [28,29].

1.3.2.2. Polikristal paneller

Polikristal panellerin ortaya çıkışında monokristal panel üretiminin zorluğu ve yüksek maliyeti önemli bir rol oynamıştır. Polikristal panellerin üretiminde monokristal panellerde olduğu gibi silikonun saflaştırılması için ek işlemler yapılmamaktadır. Bu sayede üretim maliyetleri düşmektedir. Ancak silikonun saflığının daha düşük olması

nedeniyle polikristal panellerde monokristal panellere nazaran verim kaybı yaşanmaktadır. Ayrıca safsızlıklar nedeniyle yüzey görünümleri monokristal panellerde olduğu gibi koyu ve homojen şekilde değildir. Polikristal panellerin üretiminin basit ve maliyetinin ucuzluğu, bu panelleri daha çok kullanılan panel çeşidi haline getirmiştir [29,30].

1.3.2.3. İnce film paneller

Güneş panellerinde yaşanan teknolojik gelişmeler, maliyetlerin düşürülmesi ve işçilik giderlerinin azaltılması amacıyla yapılan çalışmalar geniş yüzey alanlarına sahip ince film kaplama yönteminin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu tür güneş panellerinin avantajları, esnek bir şekilde üretilebilmeleri, ışınım ve sıcaklık değişimlerinden daha az etkilenmeleri ve üretimlerinin basit ve düşük maliyetli olmalarıdır. Ancak ömürlerinin kısa olması, verimliliklerinin düşük olması ve bozulma oranlarının yüksek olması nedeniyle genellikle tercih edilmezler. Elektrik enerjisi üretiminde piyasada en az kullanılan güneş paneli tipidir [30].

1.3.2.4. Flexible paneller

Flexible paneller, geleneksel sert yüzeyli güneş panellerine alternatif olarak geliştirilen, hafif ve dayanıklı yapılarıyla öne çıkan bir teknolojidir. Bu paneller, polimer bazlı esnek alt tabakalar kullanılarak üretilmekte olup, düşük maliyetleri ve benzersiz avantajları sayesinde son yıllarda büyük ilgi görmektedir. Esnek güneş hücreleri, katlanabilir, dürülebilir ve hafif olmaları sayesinde taşınabilir enerji çözümleri, giyilebilir teknolojiler gibi çeşitli alanlarda kullanım potansiyeline sahiptir [31].

1.3.3. Dönüştürücüler

Dönüştürücüler PV panellerin çıkışında üretilen DA'yı AA'ya çeviren sistem bileşenleridir. Sistemde dönüştürücüler sahip oldukları yazılımlar aracılığıyla maksimum güç ayarı yapmaktadırlar. Ayrıca sistemin üretmiş olduğu enerjiye ait veriler dönüştürücüler yardımıyla biriktirilmektedir. Bu bilgiler gerektiğinde eviricilere uzaktan erişim sağlanarak elde edilebilmektedir. Tüm bunlara ek olarak PV dizilerde oluşacak hatalara karşı koruyucu özellikleri bulunmaktadır [32]. Dönüştürücüler genel anlamda

şebeke bağlı ve şebekeden bağımsız olarak sınıflandırılmaktadır. Şebekeden bağımsız dönüştürücü türü daha çok depolamalı sistemlerde görülmektedir. Güneş panellerinde üretilip aküde depolanan DA elektrik dönüştürücü ile AA'ya dönüştürülerek bir yük beslenebilmektedir. Şebekeye bağlı dönüştürücü türünde ise güneş panellerinden üretilen DA elektrik doğrudan AA elektriğe dönüştürerek elektrik şebekesine verilmektedir [33].

1.3.4. Aküler

Aküler özellikle şebekeden bağımsız PV enerji sistemlerinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu sistemlerde, güneş panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisi, akülerde kimyasal enerji olarak depolanır ve ihtiyaç duyulduğunda tekrar elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılır. Bu sayede, güneş ışığının olmadığı gece saatleri veya bulutlu günlerde de enerji temini sağlanmış olmaktadır [34]. Aküler genel anlamda kurşun asit, lityum iyon ve vanadyum redoks olmak üzere 3 başlıkta incelenmektedir. Kurşun asit aküler eski tip üretilen akülerdendir. Akü hücresi, kurşun ve kurşun dioksit elektrolitler, sülfürik asit çözeltisi ve kurşunlu akım toplayıcı elemanlardan meydana gelmektedir. Trafo merkezlerinde, güç sistemlerinde, kesintisiz güç kaynaklarında ve otomotiv sistemleri gibi alanlarda kullanılmaktadırlar. Lityum iyon aküler sıvı elektrolit içermeyen ve lityum elektrolitlerine sahip olan akülerdir. Anot ve katot arasında iyonların akım akışıyla hareket etmesine göre çalışmaktadırlar. Vanadyum redoks aküler kurşun asit bataryalar için yedekleme sistemi oluşturma maksadıyla Avustralya'da geliştirilmiştir. Vanadyum redoks aküler elektrolit çiftlerini kullanarak enerjiyi depolamaktadırlar [35].

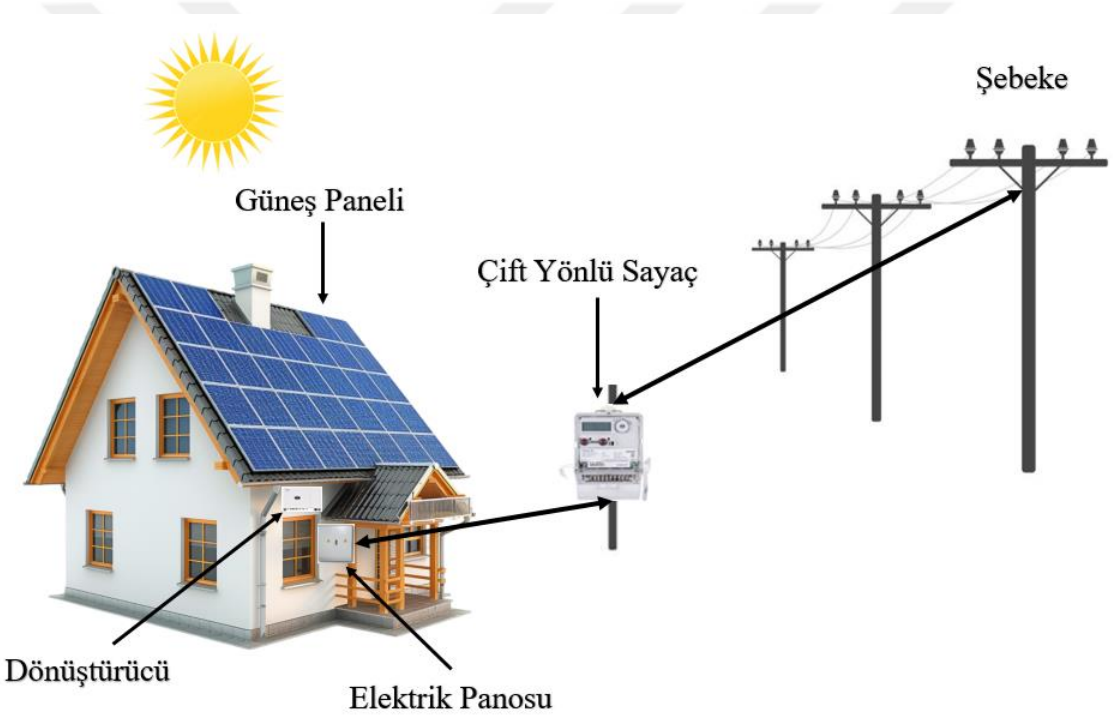
1.4. PV Güç Sistemi Bağlantı Çeşitleri

PV güneş sistemleri genel anlamda şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olmak üzere iki gruba ayrılır.

1.4.1. Şebekeye bağlı sistemler

Şebekeye bağlı solar sistemler güneş panelleri tarafından sağlanan enerjinin evlerde ve işyerlerinde kullanılmasını ve ihtiyaç fazlasının elektrik şebekesine aktarılmasını sağlamaktadır. Bu sistemlerde güneş panelleri tarafından üretilen DA elektrik enerjisi dönüştürücüler aracılığıyla AA'ya dönüştürülerek şebekeye veya doğrudan tüketime

sunulmaktadır. Eğer üretilen enerji anlık talebi karşılamazsa eksik kalan enerji miktarı otomatik olarak şebekeden temin edilmektedir. Bu sayede enerji kesintisi yaşanmadan sürekli bir elektrik arzı sağlanmış olur [25]. Şebekeye bağlı sistemlerde çift yönlü sayaçlar yardımıyla elde edilen ve kullanılan elektrik miktarı ölçülebilmekte ve fazla enerjinin şebekeye satılabilme imkanı bulunmaktadır. Bu sayede kullanıcılar tüketim fazlası enerjiyi şebekeye satarak maliyetlerini düşürebilmektedirler. Ayrıca modern izleme sistemleri sayesinde anlık üretim ve tüketim verileri takip edilerek sistemin performansı optimize edilebilmektedir. Örnek bir şebekeye bağımlı PV enerji sistemi Şekil 1.10'da sunulmuştur [36].

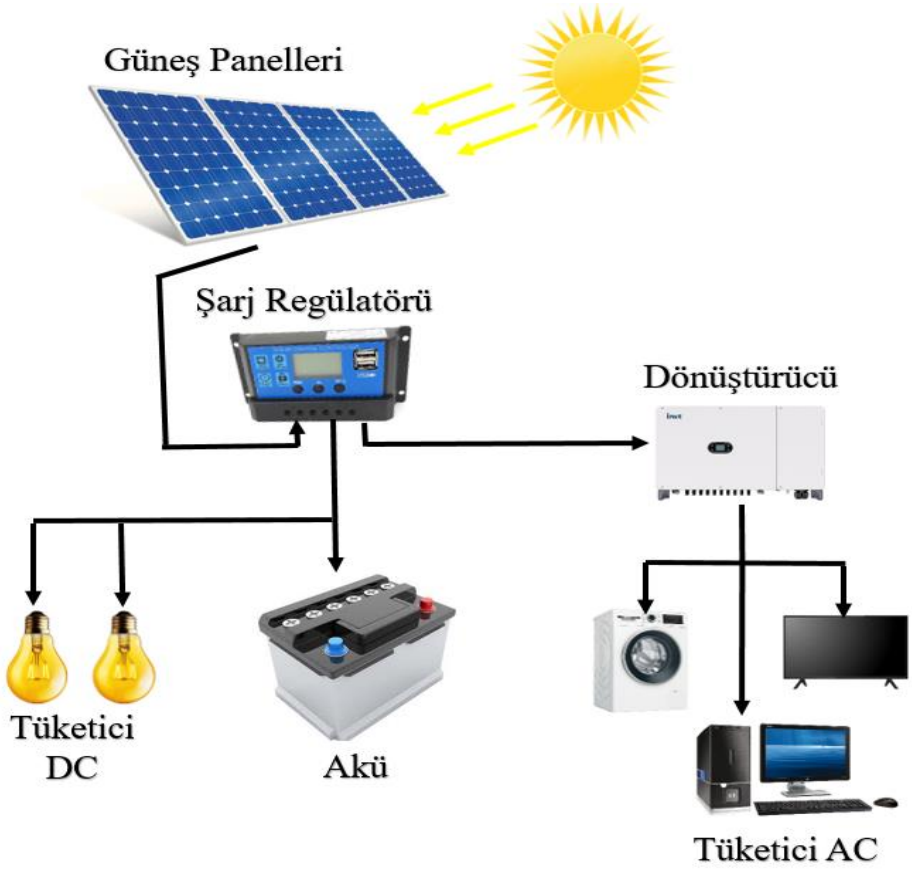


Şekil 1.10. Şebekeye bağlı PV sistem

1.4.2. Şebekeden bağımsız sistemler

Şebekeden bağımsız PV sistemler elektrik şebekesinin bulunmadığı veya ihtiyacı tam olarak karşılayamadığı bölgelerde tercih edilmektedir. Bu sistemlerde güneş panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisi akülerde depolanarak ihtiyaç anında kullanılmaktadır. Gün boyunca üretilen ihtiyaç fazlası enerji akülerde depolanır ve gece veya bulutlu

günlerde enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılır [37]. Bu sistemler özellikle kırsal bölgelerde, dağlık alanlarda, tarımsal sulama projelerinde ve afet durumlarında önemli bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemlerde enerji sürekliliğini sağlamak için akülerin kapasitesi ve sistem bileşenlerinin doğru şekilde tasarlanması büyük önem arz etmektedir. Ayrıca sistemin verimliliğini artırmak ve akü ömrünü uzatmak için akü şarj kontrol cihazları ve akıllı enerji yönetim sistemleri de kullanıldığı görülmektedir. Bazı uygulamalarda, rüzgar türbinleri veya jeneratörler ile hibrit sistemler oluşturularak enerji talebi karşılanmaya çalışılmaktadır. Örnek bir şebekeden bağımsız PV enerji sistemi Şekil 1.11'de sunulmuştur [38].



Şekil 1.11. Şebekeden bağımsız PV sistem

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde incelendiğinde, her geçen gün artan küresel ısınma ve giderek daha da azalan fosil kaynakların dünyanın dört bir yanındaki bilim insanlarını harekete geçirdiğini ve toplumun enerji ihtiyaçlarını karşılamak için çözümler aramaya devam ettiklerini göstermektedir. Bu arayışta YEK kullanımı çok önemli bir rol oynamaktadır [39]. Yenilenebilir kaynaklar içerisinde diğerleri ile karşılaştırıldığında, güneş enerjisi kullanımı en pratik, yaygın ve ekonomik yollarından biridir [40]. Güneş enerjisi artan enerji talebini karşılamak ve enerji sektörü emisyonlarını azaltma konusunda toplumun karşı karşıya olduğu endişelerin çoğunu gidermek için temiz ve ekonomik bir enerji kaynağı sağlama potansiyeline sahiptir [41]. Diğer ihtiyaçlarda olduğu gibi artan çevresel tehditlere karşı daha güvenilir enerji kaynaklarını teşvik etmek ve daha uygun maliyetli enerji kaynakları kullanmak için gemilerde alternatif enerji sistemlerinin kullanımıyla ilgili çalışmalar başlatılmıştır [42]. Yapılan çalışmalarda Yapay Sinir Ağları (YSA) ile güneş radyasyon değeri analizi üzerine çalışmaların olduğu görülmüştür [43,44]. YSA metodunun birçok mühendislik uygulamasında kullanılabildiği bilinmektedir. Bu metodun tercih edilmesinde en önemli nedenler işlemlerin hızlı oluşu ve yüksek öğrenme kapasitesinin olmasıdır [45]. YSA'da ''ağ mimarisi'' nöronlar arasındaki ilişki düzeni olarak adlandırılmaktadır. En çok kullanılan ve kullanışlı YSA mimarilerinden biri çok katmanlı algılayıcı ağıdır. Bu tür bir yapıda her nöron değişkenlik gösterir ve çevresindeki nöronlara farklı ağırlık değerleriyle bağlanır. Bu ağırlıklar bir nöronun girdisinin diğer nöronlar üzerindeki göreceli etkisini belirlemektedir [46]. Gelen verilerin ağırlıklandırılmış toplamı bir etkinleştirme fonksiyonundan geçirilerek ara katmandaki nöronlara aktarılmaktadır. Bu ara nöronlardan elde edilen sonuçlar ise başka bir dönüşüme tabi tutularak çıkış nöronuna veri olarak sunulmaktadır [47]. YSA genelleme yapabilme yeteneği, öğrenme kapasitesi ve hata minimizasyonu gibi üstünlükleri sayesinde doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesinde çok çeşitli alanlarda uygulanmaktadır [48].

2.1. Dünya Üzerinde Kara ve Deniz Tabanlı Güneş Enerjisi Kıyaslamaları

Açık deniz güneş enerjisi projeleri kara tabanlı güneş enerji projeleri ile karşılaştırıldığında daha geniş bir alanı kapsayabilir ve bu da onları daha fazla enerji

üretebilir hale getirmektedir [49]. PV enerji endüstrisi PV panelleri kara üzerine monte etmek yerine yüzer bir platform yardımıyla su kütlesi üzerine kurulmasını sağlayan Yüzer PV Teknoloji olarak bilinen yeni bir çalışma alanı olarak ortaya çıkmıştır [50]. Yüzer güneş enerjisi endüstrisi arazi kısıtlamaları nedeniyle hızla tercih edilmeye devam etmiş ve yüzer güneş enerjisi kapasitesi yıllara göre sürekli artış göstermiştir [51]. PV sistemleri esas olarak gelişmekte olan ülkelerde uzak bölgelerde elektriğe daha iyi erişim sağlamak, iletim kayıplarını ve karbon emisyonlarını azaltmak için kullanılan şebekeden bağımsız güç sistemleri olarak kullanılmaktadır [52]. Literatürde deniz üstü ve deniz araçlarında YEK ile elektrik üretimi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Brezilya'nın yarı kurak bölgesindeki üç rezervuarın belirli bir alanına kurulu yüzen PV modüllerinin performansı analiz edilmiştir. Yapılan çalışmada yüzer PV santralinin üretim verimliliğinin yere monteli PV santralinden % 12,5 daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır [53]. Malezya Yarımadası'ndaki bir gölete 80 Wp'lik PV paneller kurulmuş ve kurulu panellerden üretilen elektrik miktarı genel PV panellerle karşılaştırılmıştır. Deneysel bulgular yüzen PV panellerin aynı kapasiteye sahip yere monteli PV santralinden % 15,5 daha fazla güç ürettiğini doğrulamıştır [54].

2.2. PV Sistemlerin Deniz Üzeri Kullanımı ile İlgili Çalışmalar

Deniz araçları işletiminde de çevreye olan duyarlılık kara bölgelerinde olduğu gibi oldukça önemlidir. Yerel ve global düzenleyici kurumlar içten yanmalı motorların sebep olduğu kirletici gazları azaltmak amacıyla çeşitli standartlar ve yönetmelikler oluşturmaktadır. Bu çabalara örnek olarak Deniz Çevresini Koruma Komitesi'nin aldığı bir kararla, 2020 yılı başından itibaren gemilerde kullanılan yakıtlardaki kükürt oranının maksimum % 0,5 ile sınırlandırılması gösterilebilir [55]. Bu bağlamda gemi motorlarından kaynaklanan emisyonları düşürmek için teknolojik yenilikler hızla geliştirilmektedir. Çin'de yürütülen bir araştırmada tanker gemilerinde güneş enerjisi kullanımını temel alan bir proje çerçevesinde güneş panelleri, dizel motor ve akü sistemlerini birleştiren hibrit bir güç düzeneği incelenmiştir. Söz konusu projede gemiye yerleştirilecek sistemin 300 kW kapasiteli güneş panelleri, 2000 kW güç üreten dizel jeneratör ve 10 adet aküden oluşması planlanmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, bu sistemin 25 yıllık kullanım süresince toplam 9735632,5 kilogram sera gazı salınımını önleyeceği ve 2010475 litre yakıt ekonomisi sağlayacağı öngörülmüştür [56]. Bir gezi

teknesi için elektrik gereksiniminin solar enerji kullanılarak karşılanması yoluyla çevresel etkileri azaltma çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada öncelikle bilgisayar modellemeleri üzerinden analizler gerçekleştirilmiş ardından teknenin bir yıllık gerçek kullanım verileri incelenmiştir. Sonuç olarak güneş enerjisi sisteminin uygulanmasıyla yakıt tüketiminde % 16 oranında düşüş sağlandığı tespit edilmiştir [57]. Solar enerji, enerji saklama ünitesi ve jeneratör gruplarını birleştiren hibrit sistemli bir deniz aracında güneş panellerinden elektrik üretimini hesaplamak için matematiksel bir formülasyon geliştirilmiştir. Oluşturulan formülasyon ile değişik çözüm önerileri belirlenerek güneş enerjisinden elde edilecek elektrik enerjisi parametreleri değerlendirilmiştir. Çıkış gücü kalitesini artırmak için ise enerji depolama sistemi tasarımı önerilmiştir [58]. Hong Kong Jokey Kulübü için yapılan Solar Eagle, Solar Albatross, Solar Golf ve Solar Birdie adlı deniz araçlarının mevcut araçlara göre % 17 oranında bir yakıt avantajı sağladığı belirtilmiş olup Şekil 2.1'de sunulmuştur [59,60].



Şekil 2.1. Solar Albatross isimli gemi

2008 yılında inşa edilen Şekil 2.2'de gösterilen ''Motorlu Gemi (Motor Vessel, M/V) Auriga Leader'' kısmen solar enerji ile itme gücü sağlayan ilk deniz aracı olarak adlandırılmıştır. Toplamda 40 kW kurulu güce sahip olan güç tesisi deniz aracının ihtiyaç duyduğu enerjinin %10'unu karşılamaktadır. Bu kapasite deniz aracına monte edilen 328 adet PV panel ile karşılanmaktadır. Yıllık olarak yakıt tüketiminden yaklaşık 13 ton ve CO_2 emisyonundan 40 tonluk bir azalma sağlandığı bildirilmiştir [61-63].



Şekil 2.2. Auriga Leader isimli gemi

Planet Solar isimli Şekil 2.3'de gösterilen gemi 2010 yılında güneş enerjisini kullanarak dünya turunu tamamlayan ilk gemi olmuştur. Gemi güvertesi 38000 PV panelin bulunduğu bir alana sahip ve 110 kW'lık elektrik enerjisi ile çalışan 4 büyük elektrik motorunu besleyebilmektedir. Üretilen elektrik enerjisi güneş panellerinden bağımsız olarak Lityum iyon bataryalarda depolanmaktadır. Tekne piller tam dolu olduğunda karanlıkta 72 saat boyunca seyredebilmektedir [64,65].



Şekil 2.3. Planet Solar isimli gemi

Solar Impact isimli Şekil 2.4'de gösterilen teknede güneşten yüksek oranda verim alabilmek için yata ait gövde tasarımı ve diğer alanları güneş panellerinden maksimum oranda faydalanacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Toplamda 297 m^2 alanda yer alan paneller, havanın bulutlu olmadığı günlerde tam verimlilikle çalışarak üretim sağlamakta, enerji ihtiyacı arttığında ise kullanılmaya hazır iki dizel motoru devreye girmektedir. Güneş panelleri bilinen kullanım alanlarının yanı sıra farklı ihtiyaçlara yönelik çeşitli şekillerde de kullanılabilmektedir. Esnek yapıya sahip solar paneller monte edildikleri yüzeyin formunu alarak kurulumu ve sökümü oldukça pratik hale getirmektedir. Ancak tekne sahipleri genelde her seferinde kurulum yapmak yerine sabit güneş paneli sistemlerini tercih etmektedirler [66,67].



Şekil 2.4. Solar Impact isimli tekne

Silent 55 adındaki Şekil 2.5'de gösterilen yat 30 adet güneş paneli ile günde 160 km mesafeyi kat edebilmektedir. Yat enerjiyi uzun süreler kullanılabilmek için gündüzleri normal hızda geceleri ise düşük hızda seyretmektedir. Yenilenebilir enerjiyle tasarlanmış teknenin 40 m^2 yaşam alanı bulunmaktadır [68].



Şekil 2.5. Silent 55 isimli yat

Zaman içerisinde yaşanan teknolojik gelişmelerle birlikte Norveçli Hurtigruten şirketi türünün ilk örneği olan sıfır emisyonlu gemi planlarını açıklamışlardır. Elektrikle çalışan yolcu gemisinde rüzgar ve güneşten gelen enerjiyi güçlü bataryalarda depolamak için üzerinde güneş panelleri bulunan yelkenlerin yer aldığı görülmektedir. 2030'da yola çıkacak olan ilk gemi "Sea Zero" nun dünyanın enerji açısından en verimli yolcu gemisi olması beklenmektedir. Güneş enerjisinin yanı sıra rüzgardan da faydalanmak isteyen şirket yelken görevi gören hareketli panellere yer vermektedir. Üç adet geri çekilebilir otonom kanat donanımı geminin aerodinamiğini geliştireceğini ve ek itme gücü için 164 feet yüksekliğe kadar hava akımları çekeceğini belirtmişlerdir. Bu yelkenlerin ayrıca toplam 16000 ft^2'den fazla bir yüzey alanı için güneş panelleriyle kaplanacağını belirtmişlerdir. Sistem modeli Şekil 2.6'da gösterilmektedir [69].



Şekil 2.6. Sea Zero isimli gemi

2.3. PV Sistemlerin Simülasyon Programlarında Modellenmesi

Bu çalışma için öncelikle yenilenebilir enerji sistemlerinin modellenmesine yönelik mevcut yazılım araçları gözden geçirilmiştir. Yenilenebilir enerji sistemlerinin simülasyonu için çok çeşitli yazılım araçları geliştirilmiştir. PV sistem tasarımcıları

simülasyon programları aracılığıyla sistemin farklı bileşenlerini kurulumun yapılacağı coğrafi bölgeye, enerji talebine ve sistem güvenilirliği gibi parametrelere göre en uygun durumun seçilebileceği bir sistem tasarlayabilmiştir [70]. Güneş enerjili güç sistemi kurulumunda simülasyon yazılımları tercihinin büyük bir öneme sahip olduğu vurgulanmıştır. Fotovoltaik Sistem Simülasyon Aracı (Photovoltaic System Simulation Tool, PVsyst) simülasyon yazılımının, PV sistem analizi maksadıyla kullandığı araçlar ile kapsamlı çözüm kabiliyeti sağladığından dolayı simülasyon yazılımları arasında ileri çıktığı belirtilmiştir [1].

2.4.Deniz Taşıtlarında PV Destekli Simülasyon Programları

Araştırmacılar yaptıkları çalışmada PV uygulamaları için 12 adet PV simülasyon yazılım aracını incelenmiştir. Her yazılımın kullanım amacına bağlı olarak güvenilir sonuçlar verebileceği belirtilmiştir [71]. Güney Afrika'nın Kuzey Cape Bölgesi'ndeki Kalkbult'ta 75 MW'lık bir PV santralini modellemek için PVsyst, Sistem Danışmanı Modeli (System Advisor Model, SAM) ve Fotovoltaik Kütüphane (Photovoltaic Library, PVLib) simülasyon programları kullanılmıştır. Sonuçlar gerçek verime kıyasla PVsyst'in % 3,37'lik bir farkla en yüksek güç üretimi doğruluğunu sağladığını, SAM ve PVLib'in ise sırasıyla % 3,86 ve % 5,07'lik bir farka sahip olduğu gösterilmektedir [72]. Hindistan'ın Ramagundam kentindeki 10 MW'lık bir PV şebekeye bağlı enerji santralinin PVsyst ve Solar Küresel Bilgi Sistemi (Solar Global Information System, Solargis)'i kullanarak ayrıntılı bir analizi gerçekleştirilmiş ve sırasıyla % 2,8 ve % 5,1'lik bir hata oranı bildirilmiştir [73]. Geçici Sistem Simülasyon Aracı (Transient System Simulation Tool, TRNSYS), Archelios, Fotovoltaik ve Güneş Sistemleri (Photovoltaic and Solar Systems, Polysun), PVsyst, Fotovoltaik Güneş Simülasyonu (Photovoltaic Solar Simulation, PVSOL) ve Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (Photovoltaic Geographical Information System, PVGIS) simülasyon programlarının hesaplama doğruluğunu görmek için bir şebekeye bağlantılı 19,8 Kilowatt-saat (Kilowatt-hour, kWh)'lık PV sistemin ürettiği elektrik enerjisi verilerinin kıyaslanması incelenmiştir. Değerlendirme gerçek iklim verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak simülasyon araçlarının PV modüllerden elde edilen elektrik enerjisini tahmin etmede yaklaşık sonuçlar verdiği belirtilmiştir [74]. 2,45 kWp'lik bir güneş PV sistemi kullanarak Birleşik Krallık'taki sıfır karbonlu binaları modellemek için Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Ekranı (Renewable

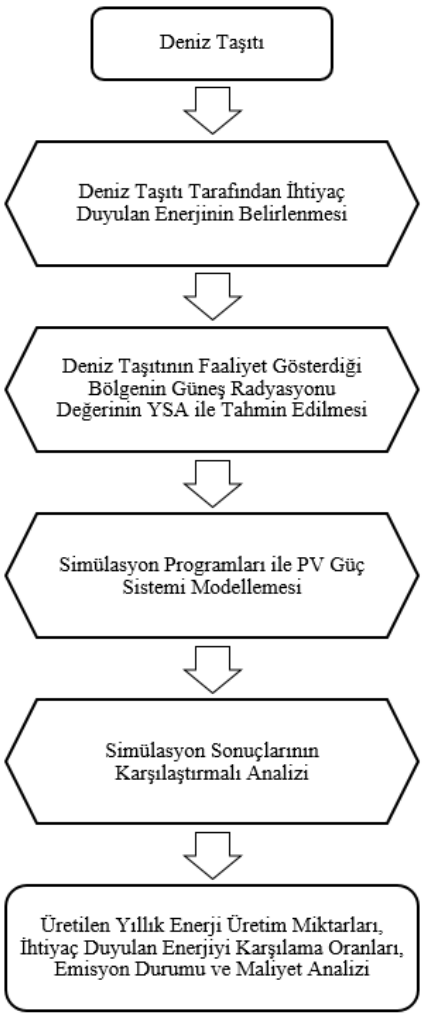
Energy Technology Screen, RETScreen), Çoklu Enerji Kaynaklarının Hibrit Optimizasyonu (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources, HOMER) ve PVSOL simülasyon programları kullanılmıştır. Enerji üretimi sonuçları sırasıyla % 9,1, % 8,4 ve % 4,3 oranında fazla tahmin edildiği bildirilmiştir [75]. Fotovoltaik Watt Hesaplayıcı (Photovoltaic Watts Calculator, PVWatts), PVsyst, Çok Platformlu Uygulama Kullanıcı Arayüzü (Multi-platform App UI, MAUI), Clean Power Estimator, SAM ve RETScreen'de geliştirilen altı model, tahmini aylık, mevsimsel ve yıllık güç üretimi Phoenix Metropolitan Arizona'daki yirmi üç PV sisteminden alınan saha verileriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar PVsyst'in yıllık getiriyi maksimum % 22'lik bir hatayla sürekli olarak fazla tahmin ettiğini, geri kalanının ise maksimum % 15'lik sapma içerdiğini göstermiştir. Sezonluk verimde maksimum sapma ise % 31 olmuştur [76]. Literatür incelendiğinde güneş enerjisinden faydalanmada daha çok kıyı bölgeleri ve limanlar kullanılmış, teknik ve ekonomik analizler için de farklı simülasyon araçları tercih edilmiştir. Yapmış olduğumuz çalışmada ise kıyı bölgeleri ve limanlardan ziyade hareket halindeki bir deniz taşıtının Marmara Denizi üzerinde belirlenen güzergah bölgesinin tamamı kullanılmaya çalışılmış ve bu bölgenin güneş radyasyon değerlerinin yapay zeka yöntemi kullanılarak tahmini yapılmıştır. Ayrıca yapay zeka tekniği olan YSA kullanılarak deniz üzeri radyasyon tahmini gerçekleştirilen güneş radyasyonu değerleri kullanılarak deniz taşıtında ihtiyaç duyulan PV panel sayısı ve gücü, akü, invertör gibi teknik özellikler karşılaştırma yapabilmek maksadı ile HOMER, SAM, RETScreen, PVSOL, PVsyst, PVWatts ve PVGIS olmak üzere 7 adet simülasyon programı ile modellenip, karşılaştırmalı çoklu teknik ve ekonomik analizler gerçekleştirilerek sonuçlar sunulmuştur. Literatürde YEK ile yapılan simülasyon çalışmalarını içeren blok diyagram Tablo 2.1'de sunulmuştur.

Tablo 2.1. Literatür çalışmaları

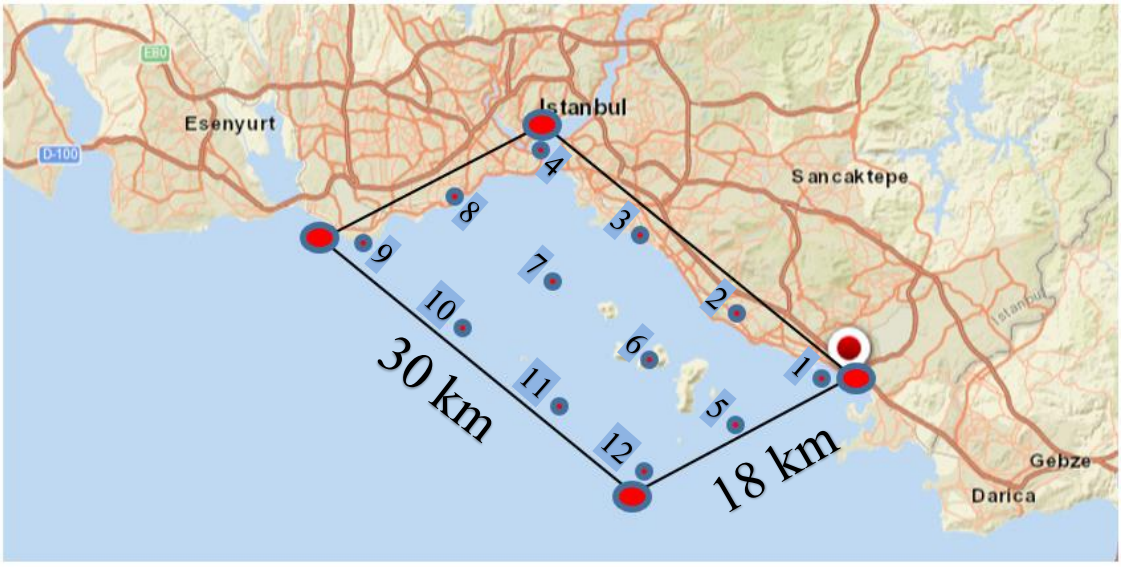
Kaynak / Program	[71]	[72]	[73]	[74]	[75]	[76]
RETScreen	✓				✓	✓
TRNSYS	✓			✓		
HOMER	✓				✓	
INSEL	✓					
PV F-Chart	✓					
SAM	✓	✓				✓
PVsyst	✓	✓	✓	✓		✓
SolarDesignTool	✓					
ESP-r 11.5	✓					
SolarPro	✓					
PV Design Pro-G	✓					
PVSOL	✓			✓	✓	
PVLib		✓				
Solargis			✓			
Archelios				✓		
Polysun				✓		
PVGIS				✓		
PVWatt						✓
MAUI						✓
Clean Power Estimator						✓

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration, NASA)'nın Dünya Çapındaki Enerji Kaynaklarının Tahmini (Prediction of Worldwide Energy Resources, POWER) veritabanından yararlanılarak Marmara Denizi üzerinde Şekil 3.2'de görüldüğü gibi alan üzerinde referans noktaları belirlenmiş ve bu noktalardaki ortalama güneş radyasyonu değerleri elde edilmiştir [77]. Bu referans noktaları ile Marmara Denizi üzerinde 41°1'55"K, 28°59'39"D, 40°57'21"K, 28°48'28"D, 40°46'31"K, 29°05'04"D, 40°51'33"K, 29°16'10"D koordinatları arasındaki bölgede yolcu taşımacılığı yapan 9,919 kWh yük ihtiyacı olan bir deniz taşıtı için tahmin yapılmıştır. Enerji üretim sürecine ilişkin akış diyagramı Şekil 3.1 ile belirlenen alan Şekil 3.2 ile sunulmuştur.

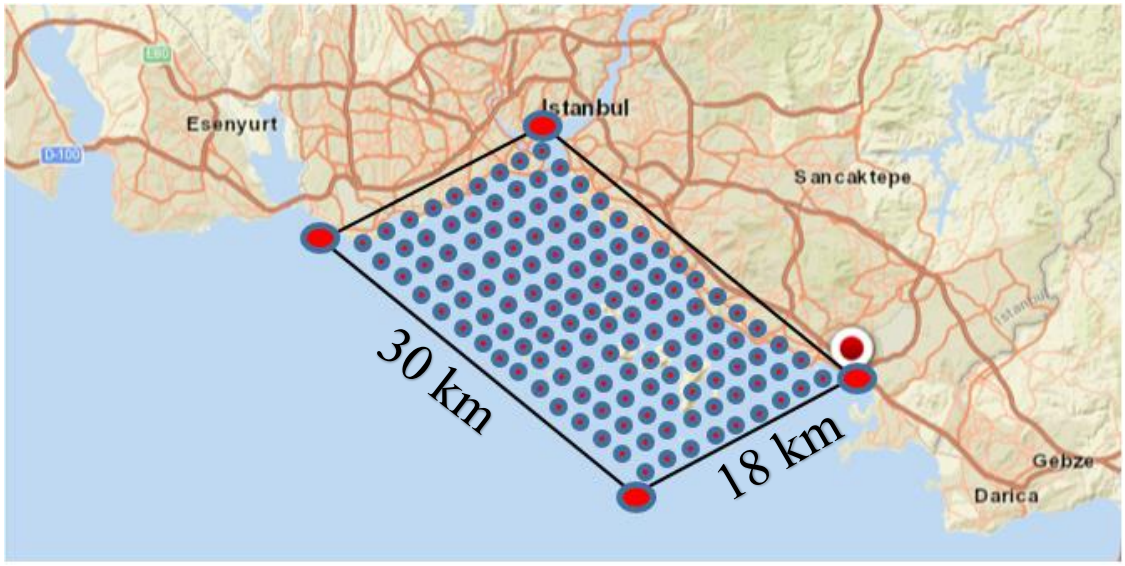


Şekil 3.1. Enerji üretim süreci akış diyagramı



Şekil 3.2. Marmara Denizi üzerinde güneş radyasyonu değerleri için belirlenen alan

Ortalama güneş radyasyonu hesabı için Şekil 3.2'de belirlenen alanda seçilen her bir nokta arası 8 km olan 12 referans noktaya ait 12 aylık güneş radyasyon değerleri kullanılarak Şekil 3.3'deki düşey ve yatay düzlemde her bir nokta arası 2 km olan 135 noktaya ait 12 aylık güneş radyasyon değerlerinin kullanılması engellenmiş, bu sayede zamandan ve insan gücünden tasarruf sağlanmıştır. Referans noktalara ilişkin güneş radyasyon değerleri EK-1'de sunulmuştur. YSA modelinde kullanılmak üzere EK-1'deki değerler normalizasyon işlemi yapılarak 0-1 arasına dönüştürülmüştür. Normalize edilen veriler EK-2'de sunulmuştur.



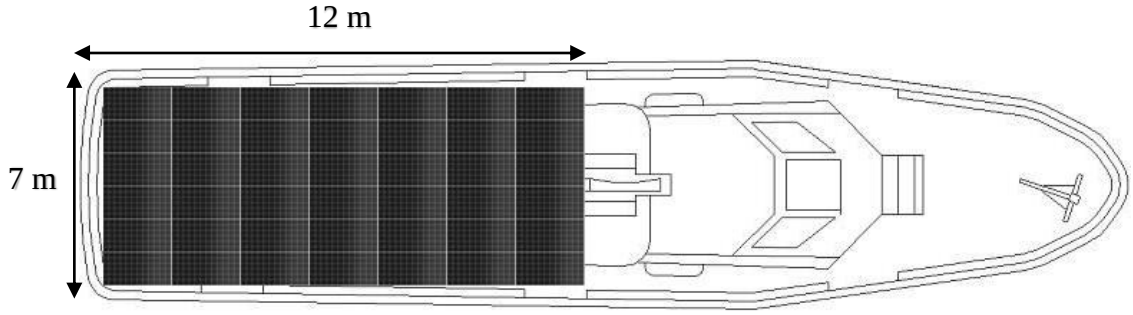
Şekil 3.3. Marmara Denizi üzerinde faaliyet alanı

Belirlenen referans noktalar kullanılarak alanın tamamının güneş radyasyon değerleri YSA ile tahmin edilmiştir. Yapılan işlemler sonucunda elde edilen ortalama değerler kullanılarak Şekil 3.2'de gösterilen alanda yolcu taşımacılığı yapan Şekil 3.4'de görülen deniz taşıtı üzerine güç ihtiyacını karşılamaya yönelik panel kurulumu yapılmıştır [78].



Şekil 3.4. PV sistemi kurulacak deniz taşıtı (ÇAMLİMANI)

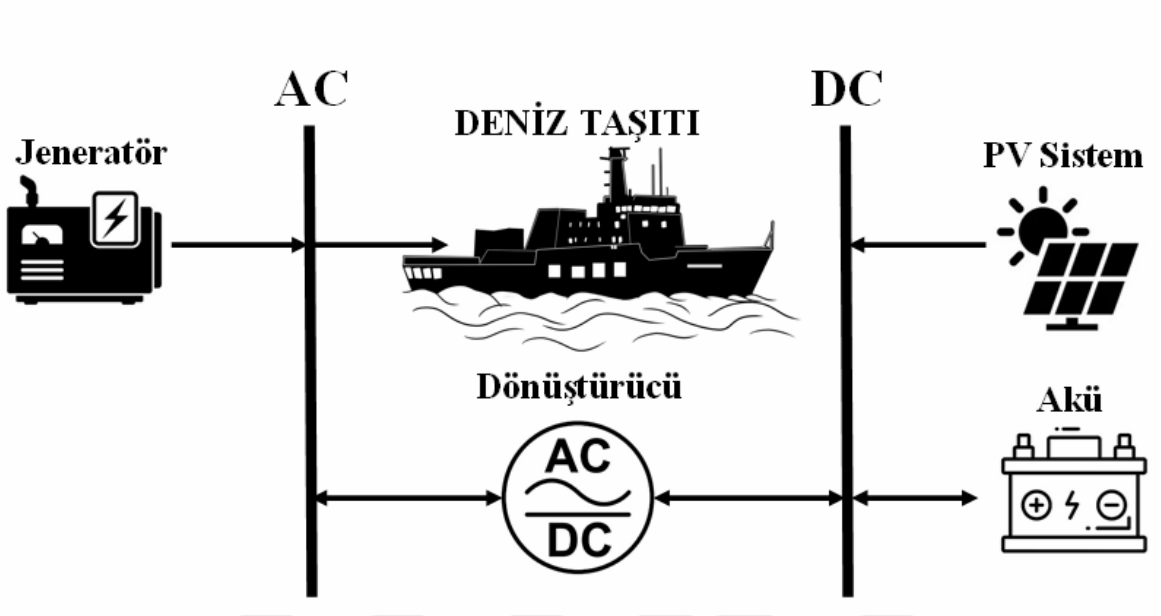
Güç ihtiyacını karşılamaya yönelik Şekil 3.4'de görülen deniz taşıtı üzerine Şekil 3.5'de görüldüğü gibi panel kurulumu yapılmıştır [79].



Şekil 3.5. PV sistem kurulumu

3.1. Sistem Modeli

PV güç sistemine ait tasarım şeması Şekil 3.6'da sunulmuştur. Sistem Deniz taşıtı, PV sistem, Akü, Dönüştürücü ve Jeneratörden oluşmaktadır.



Şekil 3.6. Simülasyon şeması

Oluşturulan PV güç sistemi deniz taşıtlarında emisyonları azaltıp enerji verimliliğini artırarak birim maliyetleri düşürmeyi amaçlamaktadır. PV paneller sayesinde güneş enerjisinden maksimum faydalanarak elektrik üretimi sağlanmaktadır. Aküler ile üretilen elektrik enerjisinin fazlası depolanarak ihtiyaç halinde sisteme vermek suretiyle sistemin gün boyu kesintisiz çalışması amaçlanmaktadır. Dönüştürücü gerekli dönüşümleri yaparak cihazların güvenli ve stabil bir şekilde elektrik enerjisi ile beslenmesini sağlamaktadır. Jeneratör yedek güç kaynağı olarak görev yaparak enerji talebinin arttığı veya güneş panellerinin yetersiz kaldığı durumlarda devreye girmektedir. Kurulan bu güç sistemi ile üretim ve tüketim dinamik olarak dengelenerek gereksiz enerji kayıpları önlenmektedir. Bu sayede sistem hem çevre dostu hem de ekonomik bir çözüm sunarak uzun vadede sürdürülebilir bir enerji yönetimi sağlamaktadır. Güç sistemi özellikle deniz yolculuklarında, dalgalı hava koşulları ve değişken enerji ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda güvenilir bir güç kaynağı sunmaktadır.

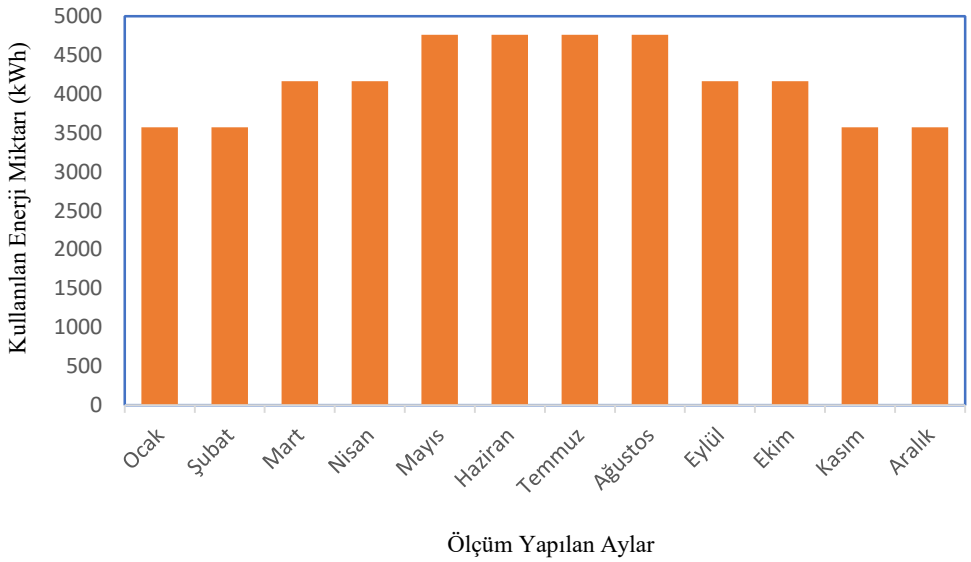
3.1.1. Gemi elektrik yük profili

Deniz taşıtının, ihtiyaç duyduğu gücü seyir sürelerine göre oluşturulmuştur. Deniz taşıtında 1 adet 0,025 kW'lık elektronik harita, 1 adet 0,025 kW'lık radar cihazı, 2 adet 0,072 kW'lık telsiz cihazı, 3 adet 2,1 kW'lık klima, 50 adet 0,06 kW'lık aydınlatma lambası, 9 adet 0,004 kW'lık kamera, 1 adet 0,025 kW'lık otomatik tanımlama sistemi cihazı, 1 adet 0,04 kW'lık anons sistemi cihazı ve genel ihtiyaç içinde 0,324 kW'lık enerji gereksinimi bulunmakta olup toplamda 9,919 kWh enerji ihtiyacı bulunmaktadır. Gemi elektrik yük profili Tablo 3.1 ile sunulmuştur.

Tablo 3.1. Gemi elektrik yük profili

	Cihaz	**Miktar**	**Güç**
Deniz Taşıtı	Elektronik Harita	1 adet	0,025 kW
	Radar	1 adet	0,025 kW
	Telsiz	2 adet	0,072 kW
	Klima	3 adet	2,1 kW
	Aydınlatma Lambası	50 adet	0,06 kW
	Kamera	9 adet	0,004 kW
	Otomatik Tanımlama Sistemi	1 adet	0,025 kW
	Anons Sistemi	1 adet	0,04 kW
	Genel İhtiyaç	-	0,324 kW
	Toplam	-	9,919 kW

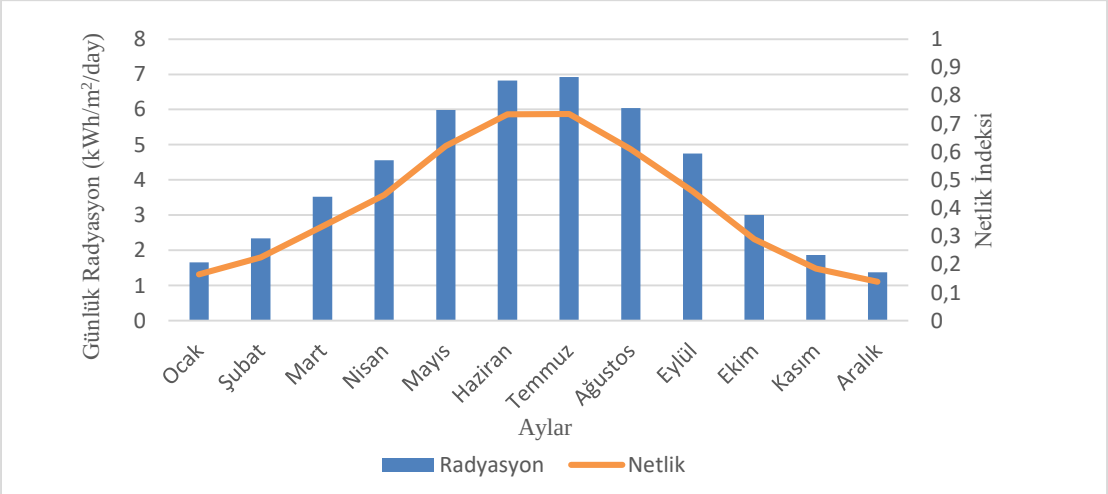
Deniz taşıtında bulunan cihazların aylara göre bir yıllık enerji tüketim grafiği Şekil 3.7'de sunulmuştur. Enerji tüketim grafiği incelendiğinde yaz aylarında seyir sürelerinin artmasına bağlı olarak enerji tüketiminin de arttığı görülmektedir.



Şekil 3.7. Enerji tüketim grafiği

3.1.2. Güneş radyasyonu ve PV sistem

Bir bölgeye ait enerji miktarı güneş ışınlarının geliş açısına, dünya ile güneş arasındaki mesafeye, iklim koşullarına ve zamana bağlıdır [80]. Marmara Denizi üzerinde belirlenen alanda her ay için elde edilen toplam güneş radyasyonu miktarı Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Yatay radyasyon miktarı netlik indeksine (Clarity Index, CI) bağlı olarak güneşin yapısından etkilenir [81]. Marmara Denizi üzerinde Şekil 3.2'de belirlenen alan için ortalama günlük güneş ışınım değeri YSA kullanılarak 4,075 kWh/m²/gün olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.8. Ortalama küresel yatay ışınım ve şeffaflık endeksi verileri

Hesaplanan bu sonuca göre deniz taşıtının güç ihtiyacını karşılamak için Şekil 3.4'de gösterilen deniz taşıtı çatısı üzerinde 84m²'lik alana 0°'lik açılar ile 16,8 kW'lık bir PV güç sistemi kurulmuştur. Sistem güç ihtiyacını karşılayacak şekilde her biri 400 W çıkış gücüne sahip 42 adet (her biri 2 metre boyunda ve 1 m eninde) monokristal güneş paneli ile oluşturulmuştur. Tasarımda kullanılan panellere ait teknik özellikler Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Panel özellikleri

PV Panel	Panel Gücü	400W
	Maksimum Güç Gerilimi	41,7 V
	Açık Devre Gerilimi	47,95 V
	Verimlilik	22,6 %
	Maksimum Giriş Akımı	9,83 A
	Kısa Devre Akımı	9,99 A
	Panelin Güç Toleransı	+5W

Bir PV sistemin güç çıkışı Denklem (3.1)'e göre elde edilir [25].

$$P_{PV}=Y_{PV}.f_{pv}.\frac{G_T}{G_{T,stc}}.\left(1+\propto.\left(T_C-T_{C,stc}\right)\right) \quad (3.1)$$

Denklemde;

P_{PV} : PV tarafından üretilen güç (kW)

Y_{PV} : Standart Test Koşulları (Standard Test Conditions, STC)'de PV tarafından üretilen güç (kW)

f_{PV} : PV dizisinin kayıp faktörü (%)

G_T : Güneş ışınımı (kW/m²)

$G_{T,stc}$: STC'de güneş ışınımı (1 kW/m²)

α : Güç sıcaklık katsayısı (-0.485%/°C)

T_C : PV hücre sıcaklığı (°C)

$T_{C,stc}$: STC'de PV hücre sıcaklığı (25 °C)

Bir PV serisinin verimliliği Denklem (3.2)'deki gibi hesaplanır [82].

$$\eta_{stc} = \frac{Y_{PV}}{A_{PV}. G_{T,stc}} \tag{3.2}$$

Bu denklemde;

η_{stc} : PV panel verimliliği (%)

Y_{PV} : PV dizisinin nominal kapasitesi

A_{PV} : PV panelinin yüzey alanı (m^2)

$G_{T,stc}$: STC'de güneş ışınımı (1 kW/m^2)

3.1.3. Enerji depolama sistemleri

Yaygın pil teknolojileri arasında kurşun asit, lityum iyon ve vanadyum redoks gibi türler bulunur. Elektrik enerjisinin depolanması konusunda bilinen en eski ve olgunlaşmış teknoloji kurşun asit piller tarafından sağlanmıştır. Self-deşarjı en düşük olan pillerin düşük yatırım maliyetine sahip olması ve nispeten daha kolay bakım avantajları olduğu görülmektedir [83]. Bu çalışmada kurşun asit türü piller kullanılmıştır. Kurşun asit pil teknolojilerinde elektrolit jel kıvamında olduğu için bakım gerektirmemekte ve derin deşarja dayanıklı olup geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır. Deniz taşıtının günlük güç ihtiyacı 138,86 kWh'dir. Bu çalışmada alt ürün olarak 8 adet her biri 6 V gerilimde toplam 20,2 kWh kapasiteli BAE SUNDEPOT marka pil seçilmiştir. Pilin kapasite değeri Denklem (3.3)'de, depolama sistemi Şekil 3.9'da sunulmuştur [84-86].

$$N_{BAT} = \frac{C_{Wh}}{C_{BAT}} \tag{3.3}$$

Bu denklemde;

N_{BAT} : Pil sayısı (sayı)

C_{Wh} : Pil paketi kapasitesi (Wh)

C_{BAT} : Pil kapasitesi (Ah)



Şekil 3.9. Depolama sistemi

3.1.4. Dönüştürücü

Dönüştürücüler yenilenebilir enerji sistemlerinde konvertör modda çalışıp AA gücünü ihtiyaç duyulan DA gücüne dönüştürüp pilleri şarj etmek veya inverter modda çalışarak DA güçleri AA güce çevirmek için kullanılmaktadırlar [87]. PV güç sisteminde deniz taşıtının saatlik gücüne göre SMA marka CAT BDI-SI-1Ph isimli 18 kW güç kapasiteli bir dönüştürücü kullanılmıştır. Kullanılan dönüştürücüye ait teknik özellikler Tablo 3.3 ile sunulmuştur.

Tablo 3.3. Dönüştürücü özellikleri

Dönüştürücü	Maksimum Güç Akımı	9,75A
	Verimlilik	98,6 %
	Toplam Harmonik Bozulma	< 3%
	Çalışma Gerilimi	200–1000 V
	Nominal Grit Frekansı	50/60 Hz
	MPPT Numarası	10

PV güç sisteminde kullanılan dönüştürücü Şekil 3.10'da sunulmuştur [88].



Şekil 3.10. Dönüştürücü

3.1.5. Jeneratör

Jeneratör yedek güç kaynağı olarak görev yapmakta olup enerji talebinin arttığı veya güneş panellerinin yetersiz kaldığı durumlarda kullanılmaktadır. PV güç sisteminde CAT marka CAT-20kVA-50Hz-PP isimli 16 kW güç kapasiteli bir dizel jeneratör kullanılmıştır. Kullanılan jeneratör Şekil 3.11 ile sunulmuştur [89].



Şekil 3.11. Jeneratör

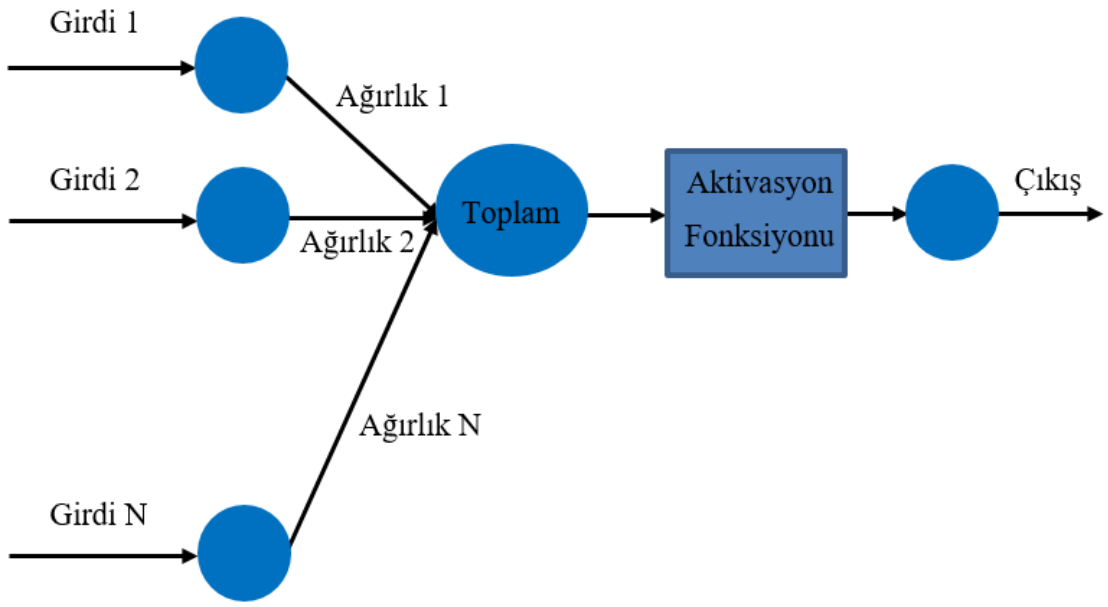
3.2. Yapay Zeka Metodu

Yapay zeka, insan gibi düşünme ve problem çözme yeteneklerini taklit eden, veri analizine dayalı kararlar alabilen ve birçok sektörde verimliliği artıran bir teknolojidir. YSA, Derin Öğrenme, Destek Vektör Makineleri, Karar Ağaçları, Genetik Algoritmalar, Bulanık Mantık veTakviyeli Öğrenme gibi türleri bulunmaktadır. Çalışmamızda YSA kullanılmıştır.

3.2.1. YSA

Yapay zeka metodu olarak YSA insan beyninin çalışma prensiplerinden esinlenerek geliştirilmiş, karmaşık problemlerin çözümünde etkili bir yapay zeka yöntemidir. Bu sistemler biyolojik sinir hücreleri olan nöronların çalışma mekanizmasını matematiksel modellerle taklit ederek veri işleme, sınıflandırma, tahmin ve optimizasyon gibi birçok farklı alanda kullanım imkanı vermektedir. YSA kendisine verilen örnekler üzerinden öğrenme sürecini gerçekleştirerek veriler arasındaki ilişkileri analiz etmekte ve belirli kalıpları tanıyarak genelleştirme yapabilmektedir. Bu şekilde büyük ve karmaşık veri kümeleri üzerinde yüksek doğrulukla tahminler yapabilen esnek bir modelleme tekniği sunmaktadır. Özellikle makine öğrenmesi ve yapay zeka alanlarında yaygın olarak kullanılan YSA görüntü işleme, doğal dil işleme, finansal tahminleme, medikal teşhis ve yenilenebilir enerji sistemleri gibi birçok farklı uygulama alanında önemli bir rol oynamaktadır. YSA'yı oluşturan temel bileşenlerden biri olan yapay nöronlar biyolojik sinir hücrelerinin çalışma prensiplerini taklit edecek şekilde tasarlanmıştır. Bir yapay nöronun genel yapısı; girdiler, ağırlıklar, toplam (birleştirme) fonksiyonu, aktivasyon (transfer) fonksiyonu ve çıkış (tahmin değeri) olmak üzere beş temel bileşenden oluşmaktadır. Öncelikle her bir girdi kendisine karşılık gelen ağırlık ile çarpılmaktadır. Ağırlıklar modelin öğrenme sürecinde ayarlanarak girdilerin önem derecesi belirlenmektedir. Bu çarpımların toplamı birleştirme (toplam) fonksiyonu aracılığıyla hesaplanarak nörona ulaşan net giriş değeri elde edilmektedir. Daha sonra bu net giriş değeri aktivasyon fonksiyonu ile işlenerek doğrusal veya doğrusal olmayan bir dönüşüme tabi tutulmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu modelin öğrenme kapasitesini artırarak karmaşık ilişkileri öğrenmesine olanak sağlamakta ve YSA'nın çıkış değerini belirlemede kritik bir rol oynamaktadır. Son olarak aktivasyon fonksiyonundan elde edilen çıktı sinir

ağının tahmin değeri olarak değerlendirilmektedir. Bu süreç YSA'nın öğrenme mekanizmasının temelini oluşturmaktadır. YSA bu işlem adımları sayesinde veri analizi, tahminleme, sınıflandırma ve optimizasyon gibi birçok farklı alanda güçlü bir hesaplama yöntemi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bir YSA'nın temel blok yapısı Şekil 3.12'de sunulmuştur [90,91].



Şekil 3.12. YSA temel blok yapısı

YSA öğrenme süreci katmanlar arasındaki bağlantıları düzenleyen ve ağırlıkları optimize eden belirli algoritmalar yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Öğrenme sürecinde yaygın olarak kullanılan İleri Yayılım (Feedforward Propagation) ve Geri Yayılım (Backpropagation) olmak üzere iki temel algoritma bulunmaktadır. İleri yayılım algoritmasında ağın giriş katmanına verilen veriler gizli katmanlar aracılığıyla çıkış katmanına doğru iletilir. Her bir nöron aldığı girdileri ağırlıklarla çarparak birleştirme fonksiyonunu uygular ve aktivasyon fonksiyonu ile dönüşüme tabi tutarak bir çıktı üretmektedir. Ancak ileri yayılım tek başına modelin öğrenmesini sağlamamaktadır; çünkü hata hesaplama işlemi gerçekleştirilmemektedir. Bu noktada geri yayılım algoritması devreye girmektedir. Geri yayılım algoritması denetimli öğrenme prensibini kullanarak modelin ürettiği tahminlerle gerçek değerler arasındaki hatayı hesaplar ve bu

hatayı minimize etmek için ağırlıkları güncellemektedir. Özellikle Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmasını kullanan geri yayılımlı YSA modelleri en etkili ve hızlı öğrenme yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu algoritma hata fonksiyonunu optimize etmek için hem Gauss-Newton yöntemi hem de gradyan inişi yöntemini birleştirerek daha hızlı ve stabil bir öğrenme süreci sağlamaktadır. Bu süreç modelin eğitim verilerini öğrenene kadar tekrarlanmaktadır. Katmanlı ileri yayılımlı YSA'larda kullanılan geri yayılım algoritması özellikle karmaşık veri setlerinde yüksek doğruluk elde etmek için oldukça etkilidir. Görüntü işleme, finansal tahminleme, doğal dil işleme ve mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bu algoritma YSA'nın genelleme yeteneğini artırarak bilinmeyen verilere karşı güçlü tahminler yapmasını sağlamaktadır [92,93].

3.2.2. YSA modeli matematiksel başarı parametreleri

Literatürde genel olarak modellerin performansı, ortalama karesel hata (Mean Square Error, MSE) ve regresyon (Regression, R) olmak üzere iki temel metrik kullanılarak değerlendirilmiştir [94-98]. Bu metrikler modelin tahmin doğruluğunu belirlemek ve elde edilen sonuçları gözlemlenen değerlerle karşılaştırmak için yaygın olarak kullanılan istatistiksel ölçütlerdir. MSE ve R değerlerinin hesaplanmasına ilişkin matematiksel ifadeler Denklem (3.4) ve Denklem (3.5)'de verilmiştir [99].

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{(y_1 - y_2)^2}{n} \tag{3.4}$$

Denklemde;

MSE : Ortalama kare hatası

n : Veri noktaları sayısı

y_1 : Gerçek değerler

y_2 : Tahmin edilen değerler

$$R = \frac{\sum(y_1 - y_{_1})(y_2 - y_{_2})}{\sqrt{\sum(y_1 - y_{_1})^2 \sum(y_2 - y_{_2})^2}} \quad (3.5)$$

Denklemde;

R : Regresyon

y_1 : Gerçek değerler

y_2 : Tahmin edilen değerler

$y_{_1}$: Gerçek değerlerin ortalaması

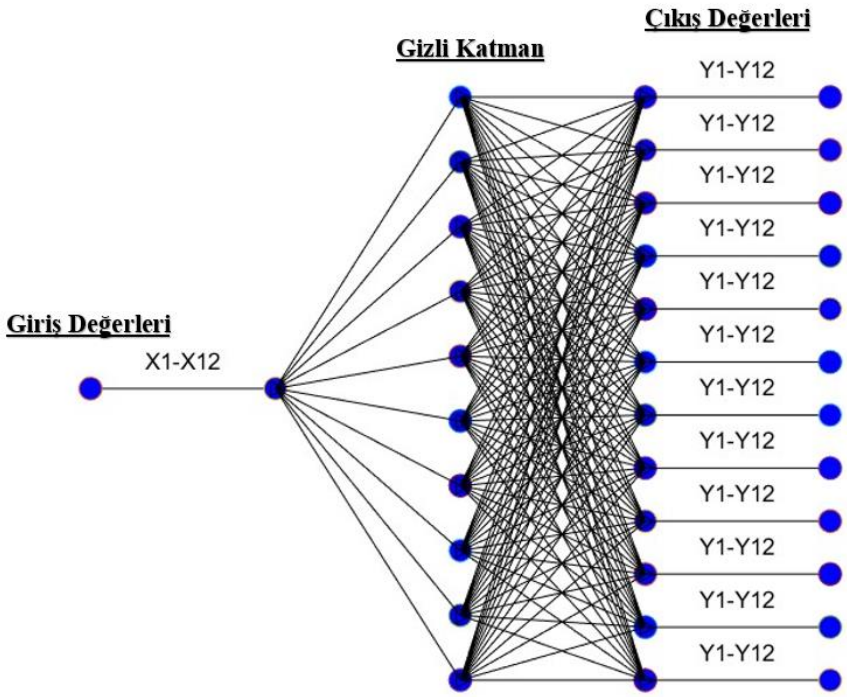
$y_{_2}$: Tahmin edilen değerlerin ortalaması

MSE modelin tahmin performansını değerlendirmek için kullanılan temel hata metriklerindendir. Bu ölçüt tahmin edilen ve gerçek değerler arasındaki farkların karesinin ortalaması olarak tanımlanmaktadır. Daha düşük elde edilen MSE değeri modelin daha başarılı tahminler yaptığını gösterirken daha yüksek bir MSE değeri modelin hata oranının yüksek olduğunu ve iyileştirilmesi gerektiğini belirtmektedir. Diğer yandan R tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki doğrusal ilişkiyi ölçen istatistiksel bir katsayıdır. R katsayısının 1'e yakın olması modelin tahminlerinin gerçek değerleriyle yüksek oranda uyumlu olduğunu gösterirken R'nin 0'a yakın veya negatif olması modelin tahmin performansının zayıf olduğunu ifade etmektedir. Bu performans ölçütleri farklı YSA modellerinden elde edilen sonuçları karşılaştırmak, model doğruluğunu değerlendirmek ve tahmin hatalarını analiz etmek amacıyla kullanılmaktadır. Böylece hangi modelin en iyi tahmin performansına sahip olduğu belirlenerek güneş radyasyonu tahmini için en uygun YSA modelinin seçilmesi sağlanmaktadır.

3.2.3. YSA kullanımı

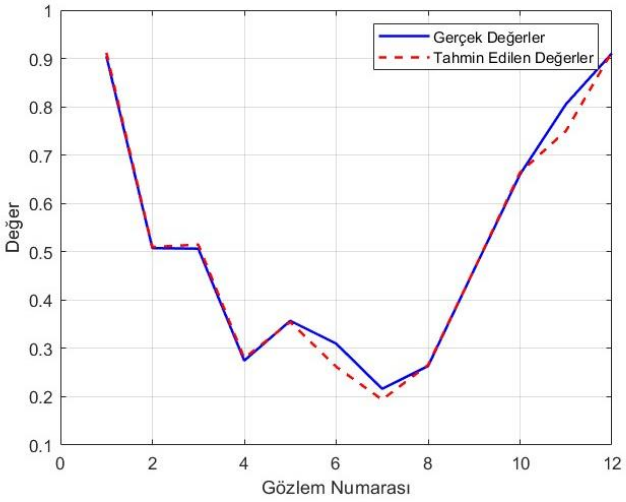
Yapay zeka metodu olarak YSA tercih edilmiş ve bilgisayar (DESKTOP-RBH9GIB markalı) üzerinde MATLAB (R2023b versiyonu) programı kullanılarak uygulanmıştır. Bu metot deniz taşıtı güzergahı olan Marmara Denizinde enine 18 km, boyuna 30 km aralığında belirlenen bölgede yapılan güneş radyasyonu ölçümleri kullanılmıştır. Ölçüm

yapılan değerler kullanılarak bölgenin tamamına ait güneş radyasyonu değeri YSA ile tahmin edilmiştir. Şekil 3.13'de 12 girişli/çıkışlı YSA modeli görülmektedir. Tahmin işlemi için YSA modeli olarak ileri beslemeli geri yayılım seçilmiştir. İleri beslemede giriş verisi ağ boyunca giriş katmanından çıkış katmanına doğru ilerlemektedir. Ağırlıkların güncellenmesi sırasında ise geri yayılım kullanılarak hata fonksiyonu üzerinden türev alınmakta ve bu türev ağırlıkların optimizasyonu için kullanılmaktadır. Bu sayede hata oranı minimize edilmektedir. Eğitim fonksiyonu olarak Trainlm ve performans fonksiyonu olarak ise MSE kullanılmıştır [91,100].



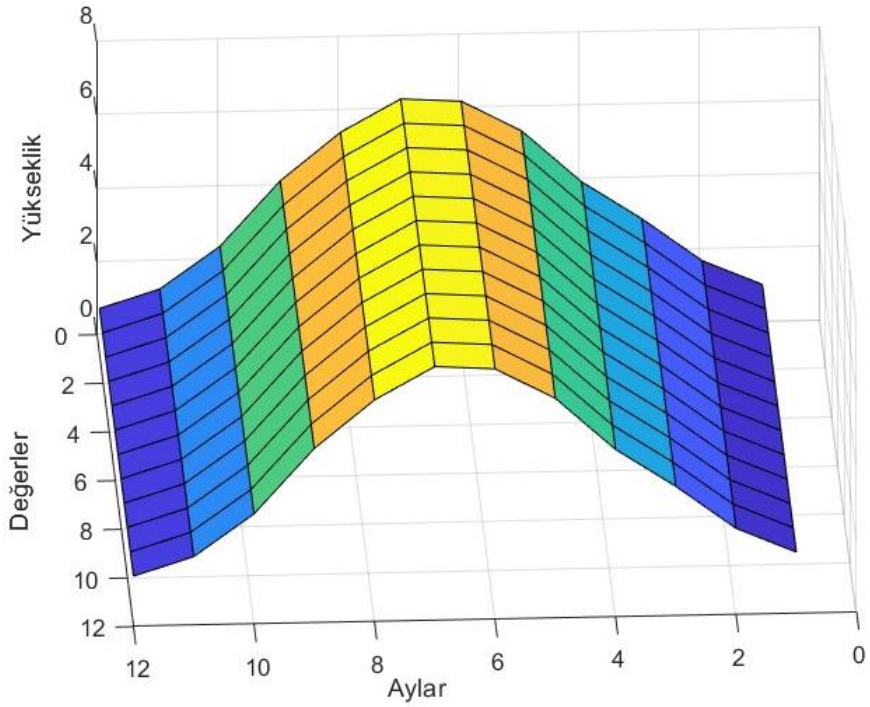
Şekil 3.13. YSA modeli

Oluşturulan YSA modelinde giriş olarak Şekil 3.2'de belirtilen 12 adet referans noktaya ait 12 aylık ölçüm değerleri kullanılmıştır. Gizli katmanda 10 adet nöron kullanılmıştır. Çıkışta ise giriş değerlerinin ortalamasını içeren 12 adet değer tahmin edilmiştir. Modelde aktivasyon fonksiyonu olarak tansig (Tanjant Sigmoid) kullanılmış olup epoch sayısı 8'dir. Şekil 3.14 yapılan tahminin örtüşme durumunu göstermektedir.



Şekil 3.14. Yapılan tahminin örtüşme grafiği

YSA tahmini sonucu ulaşılan verilerin 3 boyutlu grafiği Şekil 3.15'de sunulmuştur. Grafikte sarı renk skalasının daha parlak ve net olması güneş radyasyon değerlerinin arttığını, koyu mavi renge doğru yaklaşması ise değerlerin azaldığını ifade etmektedir.



Şekil 3.15. YSA'dan elde edilen tahminin 3D görüntüsü

Yapay zeka tahmini sonucunda elde edilen MSE ve R değerleri Tablo 3.4'de görülmektedir. MSE değerinin oldukça düşük olup sıfıra yakınlığı modelin başarılı olduğunu göstermektedir. R değerlerinin 1'e yakın olmasıda modelin başarılı tahmin

yaptığını göstermektedir.

Tablo 3.4. MSE ve R değerleri

	Örnekler	MSE	R
Eğitim	8	2.0867e-05	0.99992
Doğrulama	2	0.00026475	1
Test	2	0.0026679	1

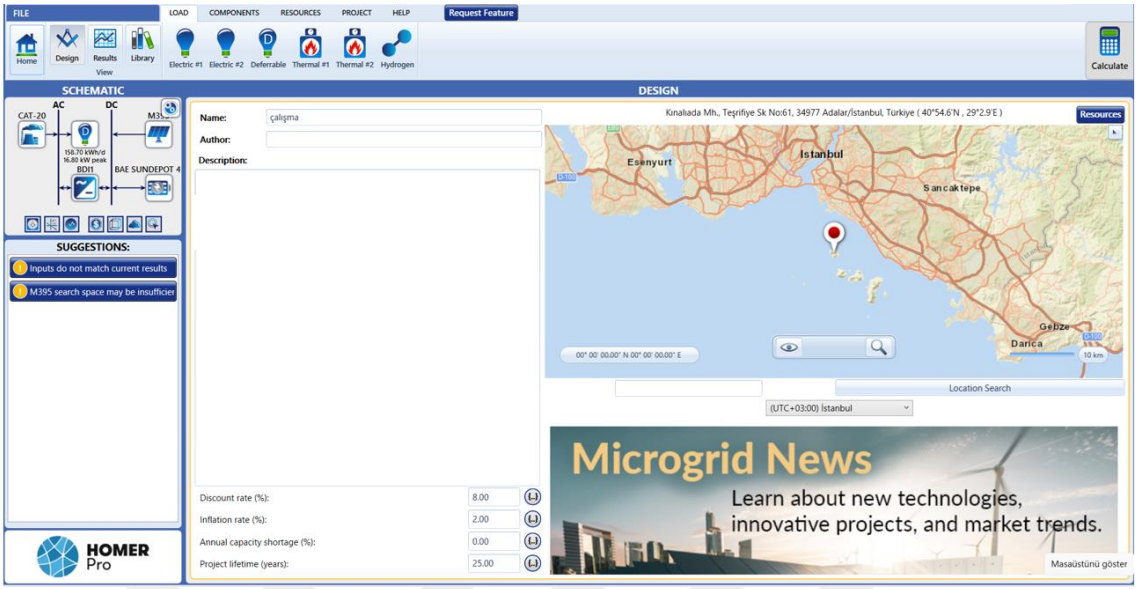
3.3. YEK'te Yaygın Olarak Kullanılan Simülasyon Programları

Literatür incelendiğinde YEK simülasyonları için RETScreen, TRNSYS, HOMER, INSEL, PV F-Chart, SAM, PVsyst, SolarDesignTool, ESP-r 11.5, SolarPro, PV Design Pro-G, PVSOL, PVLib, Solargis, Archelios, Polysun, PVGIS, PVWatt, MAUI ve Clean Power Estimator gibi programlar kullanıldığı görülmektedir. Yaptığımız çalışma ile ilgili olarak HOMER, SAM, RETScreen, PVSOL, PVsyst, PVWatts ve PVGIS simülasyon programları kullanılmıştır.

3.3.1. HOMER

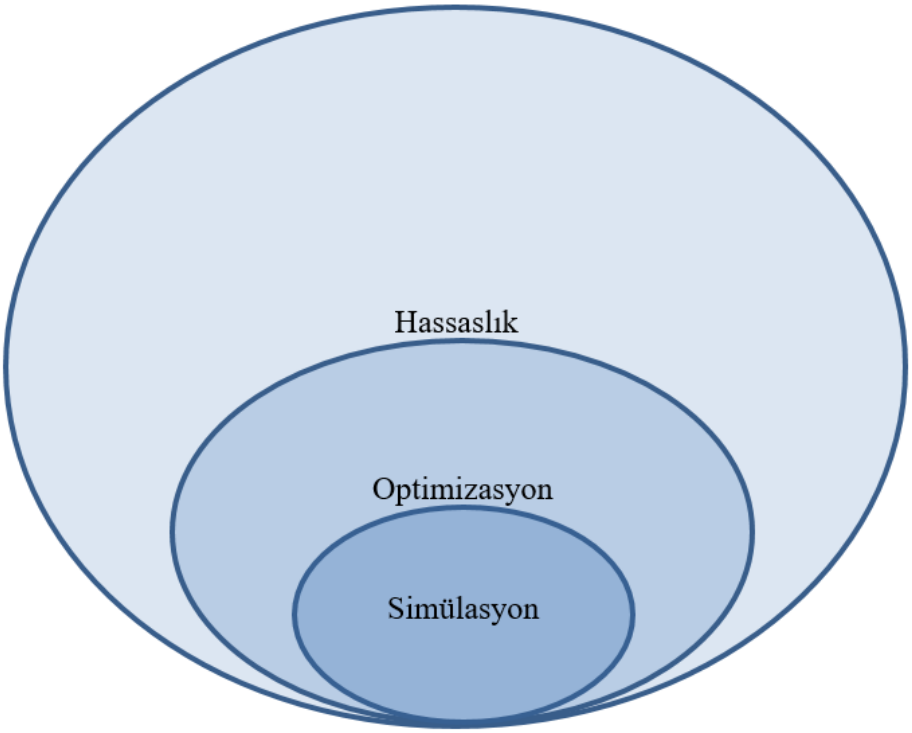
HOMER simülasyon programı ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (National Renewable Energy Laboratory, NREL) tarafından geliştirilmiştir. HOMER tasarlanmak istenen sistemin başlangıç maliyeti ile sistemin proje ömrü süresince işletme maliyetinin toplamından meydana gelen toplam net bugünkü maliyeti elde etmekte kullanılmaktadır [101]. HOMER programı birden fazla enerji kaynağı için hibrit bir optimizasyon modeli sunmaktadır. Kullanıcılara geniş bir çerçeve sunarak enerji kaynaklarını etkili bir şekilde kullanmalarını ve sistemlerini optimize etmelerini sağlamaktadır [102]. HOMER, rüzgar türbinleri, güneş panelleri, hidroelektrik, piller, yakıt hücreleri, biyokütle, konvansiyonel jeneratörler, kojenerasyon üniteleri ve farklı birimlerden bir araya gelen hibrit enerji santrallerinin tasarımı ve analizi maksadıyla kullanılmaktadır. Program hem off-grid hem de şebekeye bağlı elektrik sistemleri için kullanılabilmektedir [33]. HOMER programı

kullanıcı arayüzü Şekil 3.16'da sunulmuştur [103].



Şekil 3.16. HOMER Pro 3.18.3 programı kullanıcı arayüzü

HOMER programı temelde üç ana işlevi yerine getirmektedir. Bu işlevler; simülasyon (benzetim), optimizasyon (iyileştirme) ve hassaslık (duyarlılık) analizidir. Simülasyon işlevinde kurulacak enerji sisteminin performansı modellenmekte olup sistemin gerçekleştirilebilirliği ile işletme maliyeti hesaplanmaktadır. Optimizasyon işleminde birbirinden farklı olarak oluşturulmuş sistemler içerisinden en düşük maliyetli tasarım ve en iyi çözüm getiren sistem konfigürasyonunu ortaya koyma amaçlanmaktadır. Hassaslık analizinde ise kullanıcının sisteme tanıttığı giriş parametrelerinde yer alan değişikliklerin sisteme olan etkilerini ortaya koymaktadır. Hassaslık analizinde sıcaklık, yakıt fiyatları, güneş radyasyonu gibi değişken parametrelerin etkilerinin gözlemlenmesini sağlamaktadır [104]. Simülasyon, optimizasyon ve hassasiyet analizi arasındaki ilişkiyi gösteren şema Şekil 3.17'de sunulmuştur. Hassaslık analizi dairesinin optimizasyon dairesini kapsaması ve optimizasyon dairesinin de simülasyon dairesini kapsaması hassaslık analizi dairesinin birden fazla optimizasyon ve simülasyon çemberinden oluştuğunu belirtmektedir [105].



Şekil 3.17. Simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki ilişki

Net Bugünkü Maliyet (Net Present Cost, NPC) sistemin ömrü boyunca meydana gelen kurulum ve işletme maliyetlerini içermektedir. Sistemin ekonomik çıktıları net bugünkü maliyeti hesaplamak için kullanılır. NPC hesaplamada Denklem (3.6) kullanılır.

$$NPC=\frac{C_{ann,\,total}}{CRF(i\,,N)} \tag{3.6}$$

Bu denklemde;

NPC : Net bugünkü maliyet ($)

$C_{ann,\,total}$: Toplam yıllık maliyet ($/yıl)

CRF(i, N) : Sermaye geri kazanım faktörü (Capital Recovery Factor, CRF) (1/yıl)

CRF Denklem (3.7) ile yıllık gelir ve gider akışının bugünkü değerini hesaplamak için kullanılır.

$$CRF\ (i,N)=\frac{i.(i+1)^{N}}{(i+1)^{N}-1} \tag{3.7}$$

Bu denklemde;

CRF(i, N) : Sermaye geri kazanım faktörü (1/yıl)

i : Reel faiz oranı (%)

N : Proje ömrü (yıl)

Birim enerji maliyeti HOMER tarafından kullanılan elektrik üretimi ile üretilen kullanılabilir enerjinin kWh başına ortalama maliyeti olarak tanımlanmakta ve Denklem (3.8) ile açıklanmaktadır [106,107].

$$COE=\frac{C_{ann,\,total}}{E_{AA}+E_{DA}+E_{grid}} \tag{3.8}$$

Bu denklemde;

COE : Cost of Energy (Enerjinin Seviyelenmiş Maliyeti, COE) ($/kWh)

$C_{ann,\,total}$: Toplam yıllık maliyet ($/yıl)

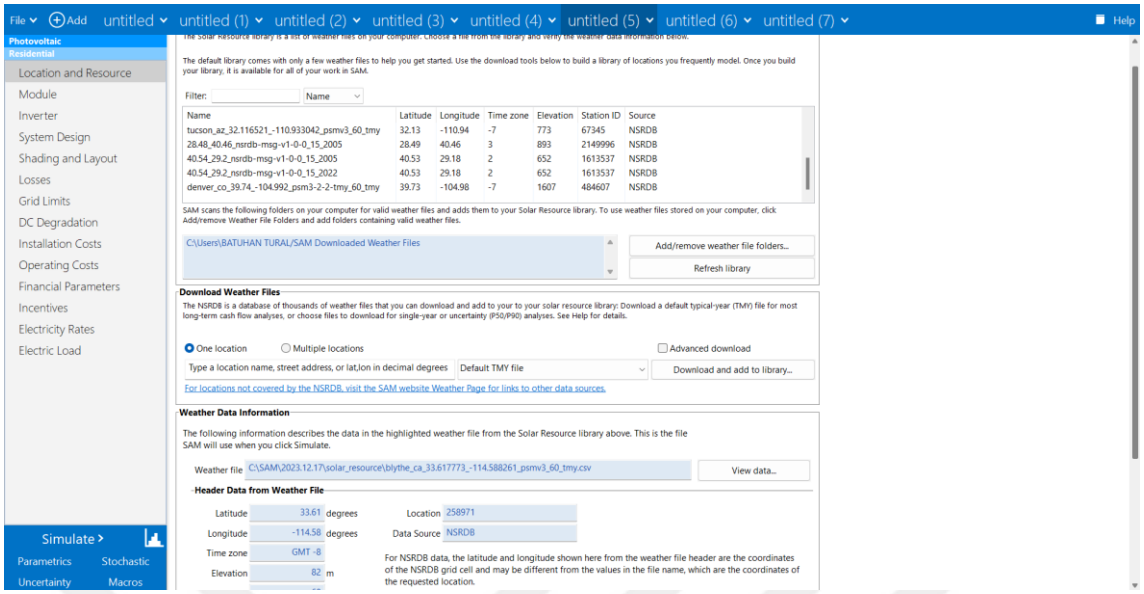
E_{AA} : Birincil AA yük (kWh/yıl)

E_{DA} : Birincil DA yük (kWh/yıl)

E_{grid} : Toplam grid satış (kWh/yıl)

3.3.2. SAM

ABD'ye ait NREL tarafından geliştirilen SAM proje yöneticileri ve mühendisler, politika analistleri, teknoloji geliştiricileri ve araştırmacılar dahil olmak üzere yenilenebilir sistemler ile uğraşan kişilerin karar vermesini hızlandırmak maksadıyla yapılmış programdır. SAM programı kullanıcı arayüzü Şekil 3.18'de sunulmuştur [108].



Şekil 3.18. SAM 2023.12.17 programı kullanıcı arayüzü

SAM aşağıda belirtilen birçok yenilenebilir enerji sistemi türünü modelleyebilme imkanı sağlamaktadır [108].

- PV sistemler, küçük konut çatılarından büyük şebeke ölçekli sistemlere kadar
- Sayaç önü veya sayaç arkası uygulamalar için lityum iyon, kurşun asit veya akış aküleri ile pil depolama
- Parabolik oluk, güç kulesi ve doğrusal Fresnel dahil olmak üzere elektrik enerjisi üretimi için konsantre güneş enerjisi sistemleri
- Parabolik oluk ve lineer Fresnel sistemlerinden endüstriyel proses ısısı
- Bireysel türbinlerden büyük rüzgar çiftliklerine kadar rüzgar enerjisi
- Deniz enerjisi, dalga ve gelgit sistemleri
- Güneş enerjili su ısıtma
- Yakıt hücreleri
- Jeotermal enerji üretimi
- Enerji üretimi için biyokütle yakma
- Yüksek konsantrasyonlu PV sistemler

SAM simülasyon programının Detaylı PV modeli, PVWatts modeli, Konsantre PV

modeli olmak üzere 3 modeli bulunmaktadır.

Detaylı PV modeli PV sistemlerin elektrik üretimini hesaplamak için kullanılarak, modül ve invertör özelliklerini ayrı ayrı değerlendirerek şebekeye bağlı sistemlerin performansını analiz etmektedir. Bu model sistemdeki modül ve invertör sayısı hakkında detaylı bilgi gerektirmektedir. Model sıcaklık değişimlerinin modül performansına etkisini dikkate alarak kayıpları tahmin etmekte ve gölgeleme gibi çeşitli kayıp faktörlerini hesaplama imkanı sunmaktadır. Ayrıca sistemde kullanılacak modül ve invertör sayısını kolayca belirlemek için bir boyutlandırma asistanı içermektedir.

PVWatts modeli NREL'in popüler çevrimiçi PV hesaplayıcısının yazılım tabanlı bir uygulamasıdır. Bu model şebekeye bağlı bir PV sistemin performansını tahmin etmek için sistem kapasitesi, dizi yönü, montaj tipi ve sistem kayıpları gibi temel girişleri kullanmaktadır. PVWatts üç farklı modül tipi için modül ve invertör özelliklerini varsayılan değerler üzerinden otomatik olarak belirlemektedir. SAM'ın PVWatts uygulaması çevrimiçi sürümde bulunmayan ek modelleme seçenekleri ve gölgeleme analiz araçları sunarak daha ayrıntılı simülasyon imkanı sağlamaktadır.

Konsantre PV modeli yüksek konsantrasyonlu PV modüllerle çalışan şebekeye bağlı sistemler için tasarlanmıştır. Bu model modül ve invertör bileşenlerini ayrı ayrı temsil eden detaylı alt modeller kullanmaktadır. Sistemin doğru bir şekilde simüle edilebilmesi için yoğunlaştırıcının tasarım özellikleri ve hücrenin farklı ışınım seviyelerindeki verimlilik performansı gibi bilgiler gereklidir [108].

SAM güneş PV sistemleri, pil depolama, güneş enerjili su ısıtma, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi dahil olmak üzere çeşitli teknolojileri modellemektedir. Her teknoloji ayrı ayrı modellenmiştir; SAM kullanımını sınırlayabilecek birden fazla teknolojinin entegrasyonunu modelleyemez [109]. SAM'ın çıktıları enerji hizmeti ölçeğindeki projeler için seviyelendirilmiş enerji maliyeti, enerji satın alma fiyatı, getiri oranı ve diğer mali ölçümlerdir. Ayrıca konut ve ticari projeler için geri ödeme süresi ve net bugünkü değer sağlamaktadır. Net elektrik çıkışı ve bileşen verimlilikleri de dahil olmak üzere sistem performansına ilişkin saatlik, aylık ve yıllık ortalama tahminler verilmektedir. Bu çalışmada yapay zeka yöntemi ile ulaşılan ortalama güneş radyasyonu değeri kullanılarak SAM programı sayesinde deniz taşıtı üzerine panel kurulumu yapılmıştır.

Sisteme ait geri ödeme süresi Denklem (3.9)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır [110].

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \frac{\text{Toplam PV Yatırım Yapılacak Sistem Maliyeti}}{\text{Tahmini Yıllık Net Nakit Akışı}} \quad (3.9)$$

Sisteme ait nakit akışının net bugünkü değeri Denklem (3.10)'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır [110].

$$NPV = \sum_{t=0}^{N} \frac{E_{t-C_t}}{(1+r)^t} - C_0 \quad (3.10)$$

Bu denklemde;

NPV : Nakit akışının net bugünkü değeri (Net Present Value of Cash Flow, NPV)

E_t : Yıllık elektrik satışından elde edilen gelir

C_t : Oluşturulan sistemin işletme maliyeti

N : Proje ömrü (yıl)

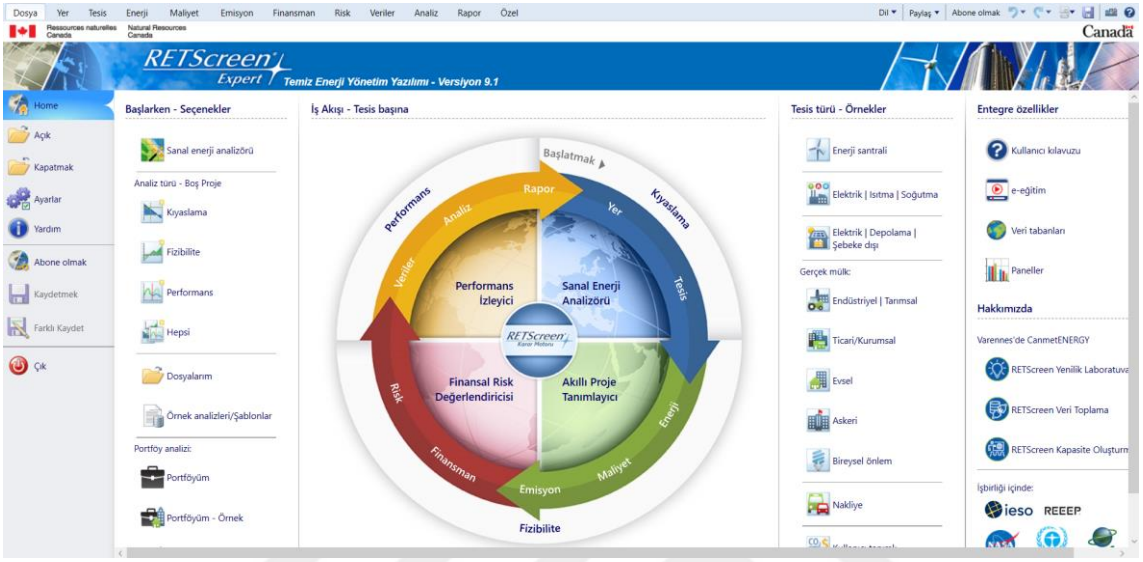
r : İndirim oranı

C_0 : Başlangıç sistemin oluşturulması

3.3.3. RETScreen

RETScreen Kanada ülkesi tarafından geliştirilmekte ve sürdürülmektedir. Yenilenebilir enerji farkındalığı, karar verme süreçlerine destek ve kapasite artırımı konularına odaklanan modern bir programdır [111,112]. RETScreen tipik olarak geleneksel teknoloji veya önlem olan bir temel durum ile temiz enerji teknolojisi olan önerilen durum arasındaki karşılaştırmayı simüle eden enerji modelleme programıdır. Dünyanın önde gelen yazılımı olarak daha temiz enerji kararlarını güçlendirmek için gelişmiş teknolojiler sunmaktadır. RETScreen yenilenebilir enerji, enerji verimliliği ve kojenerasyon projeleriyle ilgili karar verme sürecini kolaylaştırmak için gelişmiş algoritmalardan yararlanmaktadır. NASA uydularından elde edilen küresel iklim verileri de dahil olmak üzere geniş veri tabanlarıyla entegre çalışan bu yazılım önerilen enerji projelerinin finansal açıdan mantıklı olup olmadığını değerlendirmeye yardımcı olmaktadır. Ticari ve kurumsal binalar, fabrikalar, enerji santralleri veya bireysel evler için kullanım imkanı

bulunmaktadır. Uygulamadan sonra enerji performansını ölçebilmekte veya birden fazla tesisten oluşan bir portföy oluşturabilme imkanı sunmaktadır. RETScreen programı kullanıcı arayüzü Şekil 3.19'da sunulmuştur [113].



Şekil 3.19. RETScreen Expert 9.1 programı kullanıcı arayüzü

RETScreen, enerji projeleri için maliyetleri düşürürken yatırımların uzun vadede beklenen performansı göstermeye devam etmesinide sağlamaktadır. Kanada Hükümeti tarafından çeşitli ortaklarla geliştirilen bu yazılım enerji projelerinin analizi, planlanması, uygulanması ve izlenmesi için kamu ve özel sektör tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca dünya genelindeki üniversite ve kolejlerde öğretim ve araştırma amaçlı olarak da tercih edilmektedir. RETScreen simülasyon programı 36 farklı dilde kullanım imkanı vermektedir [113]. Program hem enerji üretim projelerinden temiz enerji üretiminden elde edilen faydaları hem de enerji verimliliği projeleri yoluyla sağlanan tasarrufları değerlendirmek, proje maliyetlerini, emisyonu, azaltımları ve finansal riski hesaba katmak için kullanılmaktadır [114].

Sisteme ait tek bir panel tarafından üretilen maksimum güç ve sıcaklık değerleri Denklem (3.11) ve Denklem (3.12) kullanılarak hesaplanır [115].

$$P_{MP}=\frac{G_i}{1000}\times P_{MP,STC}\times[(T-25)\delta_{MP}+1] \qquad (3.11)$$

$$T=T_{AMB}+(NOCT-20)\times\frac{G_i}{800} \quad (3.12)$$

Bu denklemlerde;

P_{MP} : Panel tarafından üretilen güç

G_i : W/m² cinsinden sahaya gelen güneş ışınımı

$P_{MP,STC}$: W cinsinden STC koşullarında modül tarafından üretilen maksimum güç

δ_{MP} : Sıcaklık katsayısı

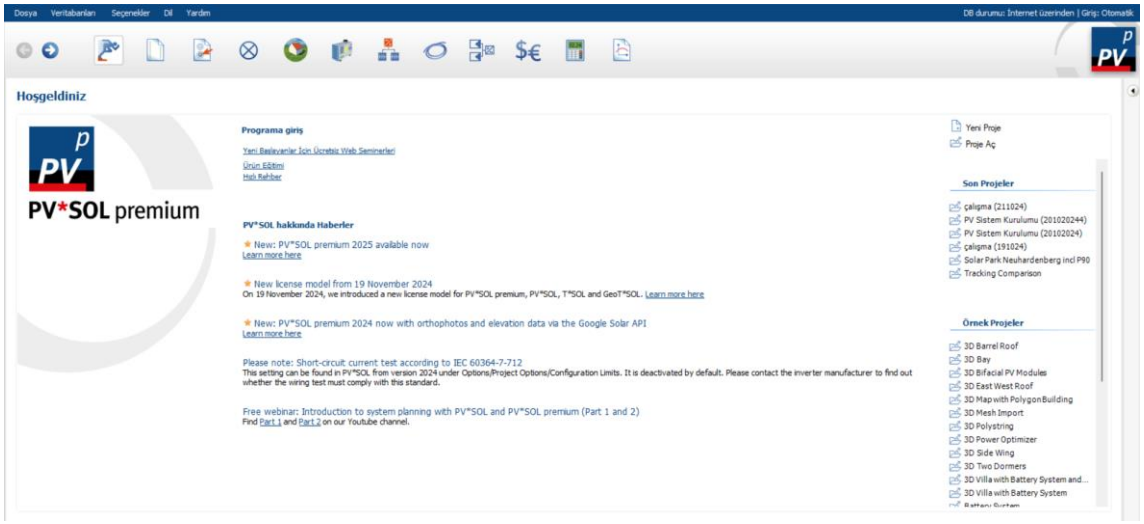
T : Modülün gerçek sıcaklığı

T_{AMB} : °C cinsinden ortam sıcaklığı

NOCT : Panelin nominal çalışma hücresi sıcaklığı (Nominal Operating Cell Temperature of the Panel, NOCT)

3.3.4. PVSOL

PVSOL arazi tipi ve çatı tipi güneş enerjisi santrallerinin gerçekçi tasarımını ve simülasyonunu gerçekleştiren güneş enerjisi santrali analiz programıdır. Şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız sistemlerin kurulumunu gerçekleştirmek için kullanılan çok yönlü bir programdır. Bu program sayesinde bir PV sistemin çevresinde gölgeleme oluşturan bileşenlerin sistem üzerindeki etkisi açık ve doğru bir şekilde verilen raporda incelenmekte ve sistemin verimliliği daha doğru hesaplanmaktadır [87]. PVSOL programı kullanıcı arayüzü Şekil 3.20'de sunulmuştur [116].



Şekil 3.20. PVSOL Premium 2024 programı kullanıcı arayüzü

PVSOL programı 3 boyutlu görüntüleme yaparak günlük ya da yıllık gölge seyrindeki bilgilerden yararlanılmasını sağlamaktadır. PV modüllerin herhangi biri için 10 dakikalık periyotlarla gölgeleme ve verim simülasyonu yapılabilmesine imkan tanımaktadır [116]. PVSOL programının veri tabanında bulunan PV modüller için matematiksel karakteristik tekrardan hesaplanabilmektedir. Bu hesaplama sayesinde PV modül veriminin eksiksiz olacak şekilde hesaplanacağını göstermektedir. PVSOL simülasyon programı ile çatıya entegre veya monte edilmiş tüm sistemleri 5000'e kadar modülle 3 boyutlu olarak görselleştirebilme ve 3 boyutlu nesneler üzerinden gölgelendirme hesaplama imkanına sahip olunmaktadır. Program ile kullanılacak aküleri hızlı ve kolay bir şekilde seçerek akü invertörünü ve şarj stratejisini tanımlayarak akü depolama sistemi planlanabilmektedir. Alternatif olarak önde gelen üreticilerin pil depolama sistemleride yüklenebilmektedir. Kat planı çizimleri ve uydu haritaları kullanılarak binalar ve nesneler hızlı ve kolay bir şekilde oluşturulabilmektedir. Kapsamlı veritabanı otomatik güncelleme sayesinde sürekli olarak güncellenen ve genişletilen PV modülleri, invertör sistemleri, akü sistemleri ve ekonomik tarifeler içermektedir. Veriler doğrudan ilgili üreticiler tarafından çevrimiçi olarak tutulmaktadır. Veritabanı konut ve ticari tüketiciler için çok sayıda ilgili yük profili içermektedir. Tüm yük profilleri entegre yük profili düzenleyicisi kullanılarak özelleştirilebilmektedir. Proje raporu yapılandırılabilmekte ve hangi içeriğin görüntüleneceğinin seçilmesine olanak sağlamaktadır. Müşteri sunumu veya proje

dokümantasyonu amaçları için birden fazla şablon mevcuttur. Elde edilen sonuçları kolayca dışarı aktarma imkanı tanımaktadır [116].

PVSOL programı; akü sistemleri, inverterler, paneller ve cihazlarla PV hesapların yapılabilmesi için üç boyutlu görselleştirme ve ayrıntılı gölgeleme analizine sahip bir simülasyon programıdır. Küçük, orta ve büyük ölçekli olarak tüm PV sistemlerde kullanılabilmektedir [30].

PVSOL programıyla ekonomik verimlilik Denklem (3.13) ve Denklem (3.14) ile hesaplanmaktadır.

$$CV=Z.b(N,q,r) \tag{3.13}$$

Bu denklemde;

CV : Nakit değer (Cash Value, CV)

Z : Ödeme süresi

b : Net değer faktörü

N : Proje ömrü

q : Basit faiz faktörü

r : Fiyat değişim faktörü

Net değer faktörü aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenmektedir.

$$b(N,q,r)=\begin{cases}\dfrac{1-\left(\dfrac{r}{q}\right)^{N}}{(q-r)}, & r\neq q\\ \dfrac{N}{q}, & r=q\end{cases} \tag{3.14}$$

Bu denklemde;

b : Net değer faktörü

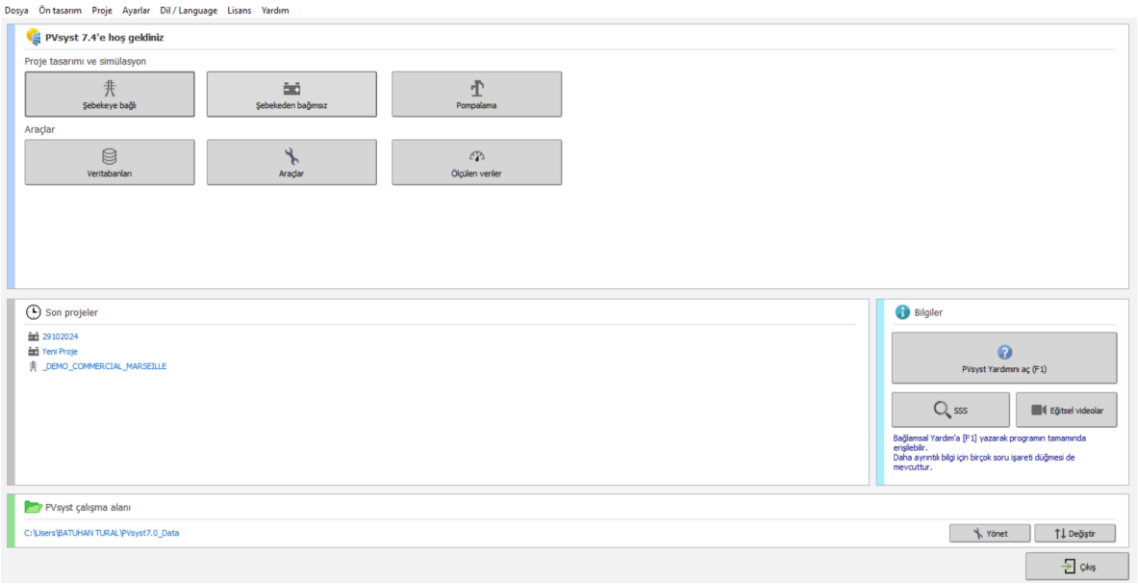
N : Proje ömrü

q : Basit faiz faktörü

r : Fiyat değişim faktörü

3.3.5. PVsyst

PVsyst PV sistemlerin incelenmesinde, boyutlandırılmasında ve veri analizlerinin yapılmasında kullanılan simülasyon programıdır. Yenilenebilir enerji endüstrisindeki mimarlar, mühendisler ve araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. PVsyst şebekeye bağımlı, şebekeden bağımsız ve DA üretim sistemleriyle ilgili bir programdır [117]. PVsyst programı kullanıcı arayüzü Şekil 3.21'de sunulmuştur [118].



Şekil 3.21. PVsyst 7.4 programı kullanıcı arayüzü

Bu simülasyon programı sonuçları tam bir rapor, belirli grafikler/tablolar ve diğer yazılım araçlarında kullanılmak üzere dışa aktarılabilecek veriler şeklinde sunmaktadır. Program şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız veya pompalama PV sistemlerini hızla tasarlama imkanı sunmaktadır. Projeyi boyutlandırmak için bileşen seçiminde rehberlik etmektedir. Optimum invertör boyutlandırmasına ve kapsamlı kayıp analizine odaklanarak modüller ve invertörler için boyutlandırma kısıtlamalarını görselleştirme imkanı sunmaktadır. Hızlı tasarım araçları, oryantasyon tanımlama, sahne doğrulama ve gelişmiş çoklu iş parçacığı hesaplamaları ve sistemi mümkün olduğunca gerçeğe yakın bir şekilde tanımlamaya olanak sağlamaktadır. Şebeke depolama, PV diziden gelen fazla enerjinin depolanmasını, enerji yönetiminin ve güvenilirliğin iyileştirilmesini içermektedir. Öz tüketim, PV enerjinin üretim sahasında doğrudan kullanılmasını, şebekeye bağımlılığın en aza

indirilmesini ve güneş enerjisi kullanımının optimize edilmesini içermektedir. Tek veya çift eksenli izleyicilerde iki yüzeyli kurulumları ve PV sistemleri simüle etme imkanı sağlamaktadır. Proje için yerleşik haritalamayı kullanma ve meteorolojik verileri veritabanlarından birinden otomatik olarak seçme olanağı sunmaktadır. Gelişmiş tasarım kararları için ayrıntılı sonuçlar sağlayan gelişmiş araçlar paketi bulunmaktadır. Sıra aralığı ve iki yüzeyli yükseklik ayarlamaları ve PV modül yaşlandırma dahil olmak üzere seri numarası verilmiş simülasyonlar için çok yıllı toplu simülasyon oluşturma imkanı bulunmaktadır. Gerçekçi simülasyonlar için PV paneller, invertörler, piller, pompalar ve optimize ediciler dahil olmak üzere doğrulanmış ve düzenli olarak güncellenen bir veritabanına erişim sağlamaktadır. Bağımsız sistemlerin doğru bir şekilde değerlendirilmesi için kullanıcının elektrik ihtiyaçlarını tanımlamaya odaklanarak enerji depolama ile şebekeden bağımsız sistemlerin enerji verimliliğini değerlendirme imkanı sunmaktadır [118]. PVsyst programı ile güneş panellerinin açısı belirlenebilmekte olup güneş ışınımından maksimum oranda faydalanılabilmektedir [119]. Net bugünkü değer belirli bir dönemdeki nakit girdilerin net bugünkü değeri ile nakit çıktılarının net bugünkü değeri arasındaki farkı ifade etmektedir. Bu değer Denklem (3.15) kullanılarak hesaplanmaktadır [87].

$$NPV=\sum_{t=1}^{N}\frac{R_t}{(1+ı)^t} \tag{3.15}$$

Bu denklemde;

NPV : Nakit akışının net bugünkü değeri

$R_t(t)$: Yılın net bakiyesi

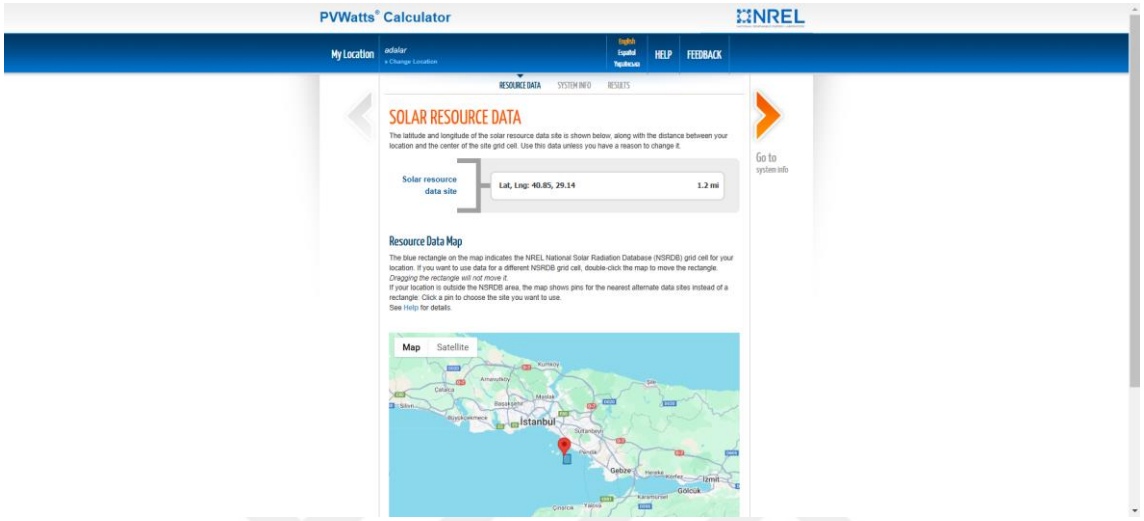
ı : Alternatif yatırımlardan elde edilebilecek iskonto oranı

N : Proje ömrü (yıl)

3.3.6. PVWatts

PVWatts Amerika Birleşik Devletleri tarafından geliştirilmiş çevrimiçi kullanılan ücretsiz bir modelleme aracıdır. PVWatts NREL Ulusal Güneş Radyasyonu Veritabanından (National Solar Radiation Data Base, NSRDB) hazırlanan bir dizi hava

durumu verisi ve dünyanın geri kalanı için diğer kaynaklardan gelen bir veri koleksiyonu kullanmaktadır [120]. PVWatts programı kullanıcı arayüzü Şekil 3.22'de sunulmuştur [121].



Şekil 3.22. PVWatts Calculator programı kullanıcı arayüzü

PVWatts simülasyon programı sistemin aylık ve yıllık elektrik üretimi tahminlerini hesaplamaktadır. PVWatts kristal silikon veya ince film PV hücreli modüller kullanan bir PV sistemin ön hazırlık çalışmaları için uygundur. PVWatts çok yıllık bir süre boyunca güneş kaynağını temsil eden bir yıllık veri olan saatlik tipik meteorolojik yıl verilerini kullanmaktadır. PV dizi hakkında yalnızca temel bilgiler sağlamak yeterlidir. PVWatts modüller, invertörler ve sistemin diğer parçaları hakkında varsayımlarda bulunmaktadır, bu nedenle sistemin bu parçaları hakkında ayrıntılı bilgi sağlanması gerekmemektedir. PVWatts yıllık ve aylık enerji üretim tahminlerini kilowatt-saat cinsinden, aylık ve yıllık ortalama güneş radyasyonunu ise metrekare başına kilowatt/gün cinsinden görüntülemektedir. Ayrıca ek performans ölçümleriyle girdilerin bir özetini görüntülemektedir. Elde edilen sonuçları kullanmak için sonuçları PDF dosyası olarak yazdırabilir veya sonuçları indirerek sistemin saatlik veya aylık sonuçlarının virgülle ayrılmış değerlerini içeren metin dosyaları oluşturabilme imkanı sağlamaktadır [121].

Atmosferik koşullara sahip eğimli bir PV santralinde günlük güneş radyasyonu olayı Denklem (3.16)'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır [122].

$$H_{at}=\left[\left(1-y_T\right)R_d+y_T\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right)+\rho\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)\right] \text{ x } K_T x H_o \quad (3.16)$$

Bu denklemde;

H_{at} : Yüzeye düşen toplam güneş radyasyonu

y_T : Ağırlık faktörü

R_d : Eğim faktörü

K_T : Açıklık indeksi

H_o : Atmosferin dışındaki yatay bir PV modülündeki güneş radyasyonu

Sistemin ideal durumda ürettiği enerji Denklem (3.17) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$P_a=H_{at}x\eta xAx\tilde{N}x\left(1+\beta_T(T_{cell}-T_{ref})\right) \quad (3.17)$$

Bu denklemde;

P_a : Güneş panelinin üretim gücü

H_{at} : Yüzeye düşen toplam güneş radyasyonu

η : Panelin verimlilik katsayısı

A : Her modülün alanı

$\tilde{N}$: Toplam modül sayısı

β_T : Sıcaklık katsayısı

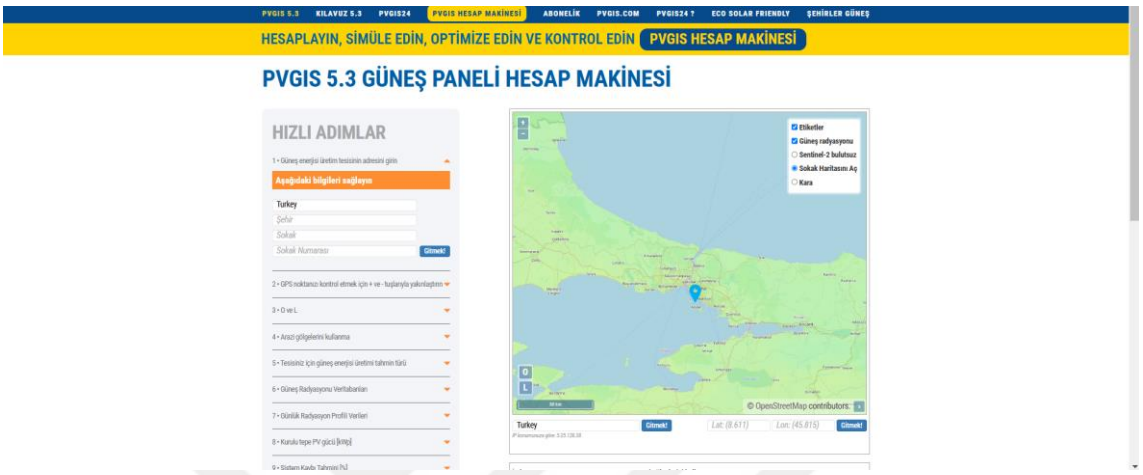
T_{cell} : Hücrenin sıcaklığı

T_{ref} : Referans sıcaklığı

3.3.7. PVGIS

PVGIS Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi tarafından desteklenen güneş radyasyon haritalarına göre meteorolojik verileri kullanarak güneş ışınımından elde edilebilecek enerjiyi hesaplama da kullanılan bir simülasyon programıdır. PVGIS veri tabanından alınan bilgiye istinaden arzu edilen güneş paneli açı değerine göre ortalama günlük, aylık ve yıllık ışınım değerlerine ulaşılabilmektedir. Güneş enerjili sistemin

kapasitesi ise güneş panelinin türü, sisteme ait verimlilik oranı, eğim açısı ve azimut açısı değerleri kullanılarak yapılmaktadır [123]. PVGIS programı kullanıcı arayüzü Şekil 3.23'de sunulmuştur [124].



Şekil 3.23. PVGIS 5.3 programı kullanıcı arayüzü

Program güneş paneli kurulumu için hangisinin en iyi olduğunu belirlemek amacıyla farklı konumları karşılaştırmak için kullanılabilmektedir. Bu sayede güneş enerjisi üretimini en üst düzeye çıkarmak için en iyi konumun seçilmesini sağlamaktadır. PVGIS beklenen PV üretim hakkında açık ve anlaşılır veriler sağlayarak projelerin planlamasına yardımcı olmaktadır. PVGIS optimum eğim ve azimut hakkında bilgi sağlayarak görünürlüğün artırılmasına yardımcı olmaktadır. Program bölge olarak dünyanın büyük bir bölümünü kapsamaktadır ve her yerde kullanılabilmektedir. Dünyanın birçok yerinde kullanılması çeşitli yerlerde yaşayan insanlara fayda vermesini sağlamaktadır. Güneş enerjisi kurulumu çalışır hale geldiğinde gerçek sonuçları sağlanan tahminlerle karşılaştırabilme imkanı sağlamaktadır. Sistemin performansını değerlendirmek ve olası sorunları belirlemek için önemli bir özelliktir. Beklenen PV üretime ilişkin doğru bir tahmin elde ederek yatırımı yapabilmekte ve böylece gereksiz finansal risklerden kurtulma imkanı vermektedir [124].

PVGIS güneş radyasyonu ve güneş paneline ait sıcaklığın tesirlerini aşağıda gösterilen Denklem (3.18), Denklem (3.19), Denklem (3.20) ve Denklem (3.21) ile hesaplamaktadır

[125].

$$P(G',T')=G'(P_{STC,m}+k_1 In(G')+k_2 In(G')^2+k_3 T'+k_4 T' In(G')+k_5 T' In(G')^2+k_6 T'^2 \quad (3.18)$$

$$G' \equiv G/G_{STC} \quad (3.19)$$

$$T' \equiv T_{mod}-T_{STC} \quad (3.20)$$

$$\eta_{rel}(G', T') \equiv P(G',T')/P_{STC,m}G' \quad (3.21)$$

Denklem (3.18)'de verilen;

$P(G',T')$: Panelin gücü (W)

G' : Panel yüzeyine gelen normalize edilmiş ışınım miktarı (W/m^2)

$P_{STC,m}$: Standart test koşullarındaki maksimum güç (W)

k_1- k_6 : Ölçüm yapılan verilere göre değerler

Denklem (3.19) ve (3.20)'de,

G : Mevcut güneş ışınımı (W/m^2)

G' : Güneş ışınımının normalize edilmiş hali

G_{STC} : Standart test koşullarındaki ışınım değeri (W/m^2)

T' : Modül sıcaklık farkı

T_{mod} : Panel sıcaklığı (^{o}C)

T_{STC} : Standart test koşullarındaki sıcaklığı (^{o}C)

Denklem (3.21)'de,

η_{rel} : Göreceli verim

$P(G',T')$: Panelin gücü (W)

$P_{STC,m}$: Standart test koşullarındaki maksimum güç (W)

G' : Güneş ışınımının normalize edilmiş hali

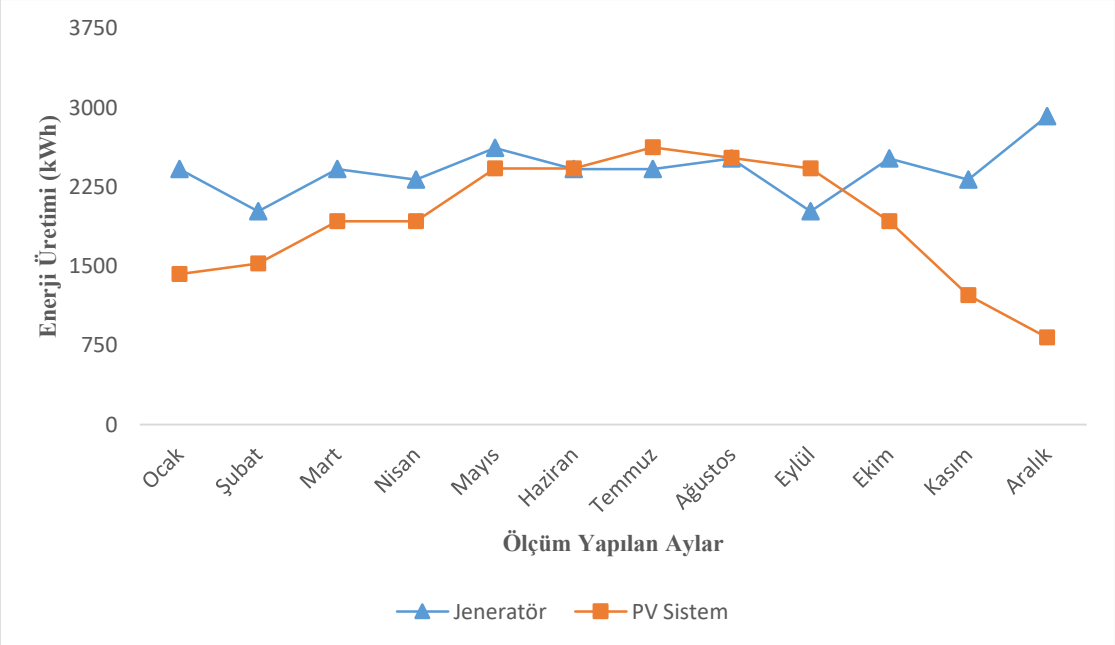
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada güncel teknoloji ve gelişmeler dikkate alınarak simülasyonlar yapılmıştır. Çeşitli simülasyon programları kullanılarak deniz taşıtlarında PV güç sistemi modellemesi yapılmış ve deniz taşıtlarında güneş enerjisi ile elektrik üretimi, emisyon, maliyet ve depolanmasının teknik ve ekonomik analizi yapılmıştır.

4.1. HOMER Simülasyon Programı

4.1.1. HOMER PV güç sisteminde elektrik üretimi

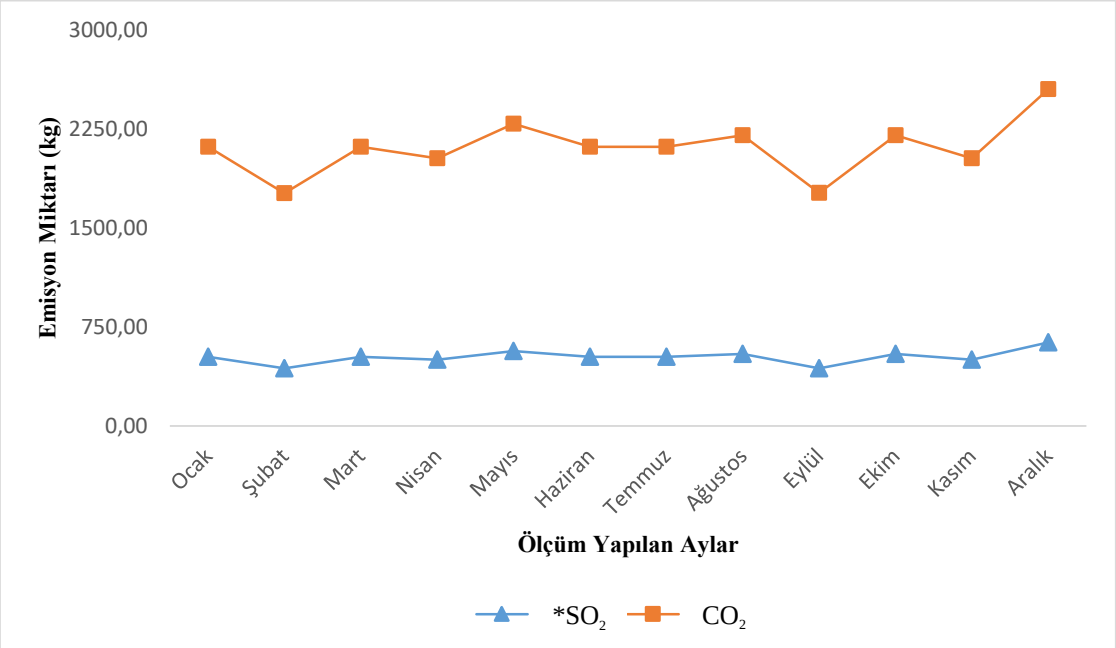
HOMER programı kullanılarak güneş panellerine ait yıllık enerji üretimi değerlendirilmiştir. Şekil 4.1'de PV sistemi ve jeneratörün güç sistemi için sağladığı yıllık ortalama elektrik enerjisi üretimi aylara göre gösterilmiştir. Deniz taşıtının günlük 138,866 kW güç ihtiyacı bulunmakta olup yıllık ihtiyaç duyduğu güç miktarı ise 49991 kW'tır. Yıl boyunca PV güç sistemi ile 23193 kW elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Sonuçlar incelendiğinde PV güç sistemi ile deniz taşıtı tarafından ihtiyaç duyulan enerji miktarının % 46,39'luk kısmının karşılandığı görülmektedir.



Şekil 4.1. HOMER PV sistem ve jeneratör aylık ortalama güç üretimi

4.1.2. HOMER PV güç sisteminde emisyon durumu

HOMER güç sistemi ile alakalı simülasyon yapmadan her bir emisyon salan sistem için emisyona ilişkin faktörü tespit etmektedir. Simülasyon devamında ise emisyona ilişkin faktörü toplam elde edilen yakıt tüketimi ile çarparak emisyon salan sistemin yıllık olarak emisyonunu hesaplamaktadır. Simülasyon sonuçları incelendiğinde sistem tarafından doğaya yıllık 62,7 kg SO_2 ve 25273 kg CO_2 salınımı olduğu görülmektedir. Emisyon durumunu gösteren grafik Şekil 4.2'de sunulmuştur. Eğer kurulan PV güç sistemi yerine ilave jeneratör kullanılsaydı SO_2 salınımı 50,3 kg ve CO_2 salınımı da 20276 kg daha artış gösterecekti. PV güç sistemi ile bu salınım engellenmiştir. Bu engelleme PV güç sisteminin emisyon azaltımındaki önemli rolünü açıkça sergilemektedir. PV güç sistemi sadece yenilenebilir enerji üretmek sağlamakla kalmayıp aynı zamanda doğaya ilave jeneratörler tarafından salınan kirleticilerin azaltılmasına da büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Bu durum da enerji üretiminde sürdürülebilir ve çevre dostu yaklaşımların önemini bir kez daha gözler önüne sermektedir. PV güç sisteminin sağladığı bu avantajlar sayesinde özellikle fosil yakıt kullanımının yoğun olduğu sistemlere kıyasla PV sistemlerin çevresel faydalarını net bir şekilde göstermektedir.

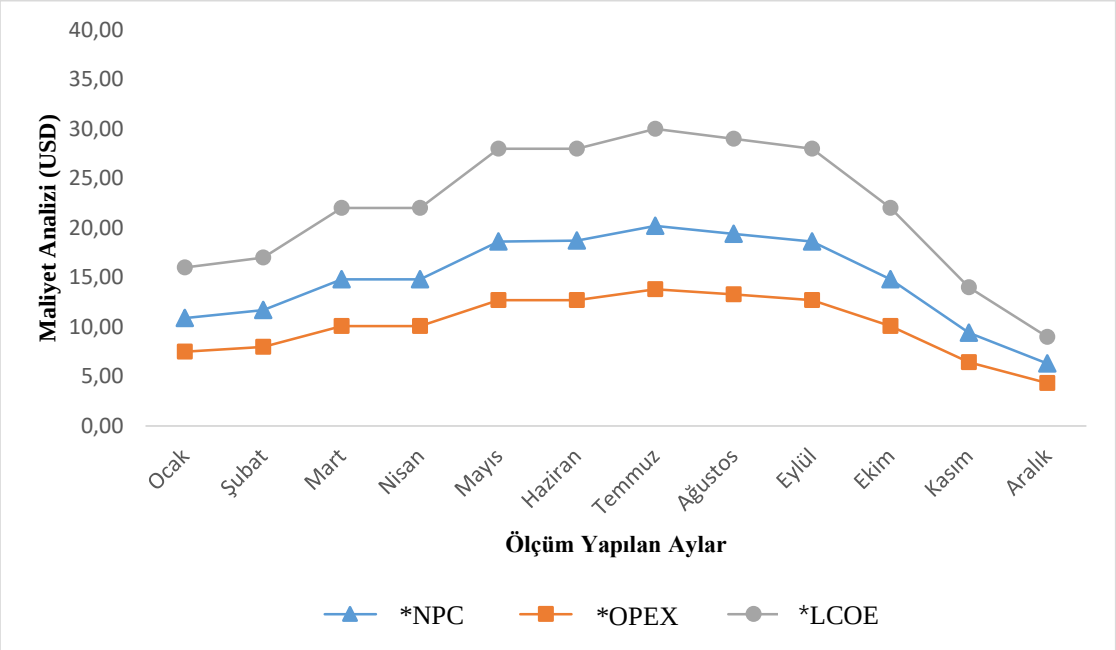


Şekil 4.2. HOMER PV sistem emisyon durumu

* Grafikte kullanılan SO_2 değerleri, X 10 faktörüyle ölçeklendirilen gerçek değerlerdir.

4.1.3. HOMER PV güç sisteminde maliyet analizi

Bu çalışmada gerekli PV güç sistemi çözümü ekonomik bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Tasarım sonucunda yapılan hesaplamalara göre PV güç sisteminin işletme giderleri (Operating Expenditure, OPEX) 12234,94 ABD Doları (United States Dollar, USD), Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (Levelized Cost of Energy, LCOE) 0,2728 USD ve NPC 178912,40 USD olduğu görülmektedir. Maliyet analizini gösteren grafik Şekil 4.3'de sunulmuştur. Analiz sonuçları incelendiğinde PV güç sistemi fosil yakıtlar kullanılan enerji üretim yöntemlerine nazaran belirli bir başlangıç yatırımına ihtiyaç duysa da düşük işletme maliyetleri ile uzun vadede avantaj sağladığı görülmektedir. LCOE değeri sistemin enerji maliyetlerini küresel piyasa koşullarıyla karşılaştırmak için önemli bir kriter olup sistemin ekonomik açıdan etkili bir çözüm seçeneği olduğunu göstermektedir. Bu duruma ilave olarak sisteme ilişkin NPC değeri tüm yatırım, işletme ve bakım maliyetlerini içeren bir bakış açısı sunarak projenin yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkacak toplam giderleri göstermektedir. Bu maliyet verileri elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının ekonomik açıdan da uygunluk durumunu göstermektedir.



Şekil 4.3. HOMER PV sistem maliyet analizi

* Grafikte kullanılan NPC değeri 1/1000 faktörüyle, OPEX değeri 1/100 faktörüyle ve LCOE değeri ise X 1000 faktörüyle ölçeklendirilen gerçek değerlerdir.

Deniz taşıtının yıllık ihtiyaç duyduğu enerji miktarı 49991 kW olup HOMER simülasyon programı tarafından üretilen enerji miktarı, ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranı, emisyon durumu ve maliyet analizine ilişkin sonuçlar Tablo 4.1'de sunulmuştur.

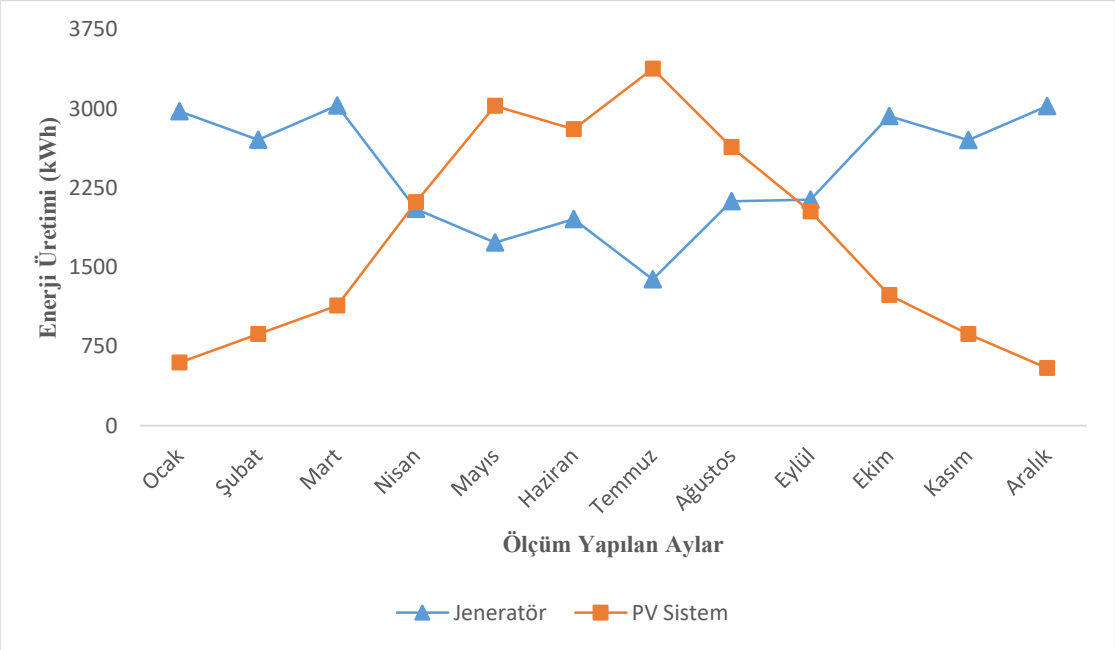
Tablo 4.1. HOMER teknik ve ekonomik durum analizi

PV Güç Sistemi	Yıllık Enerji Karşılama Oranları	Teknik ve Ekonomik Durum		Aylar												
				Ocak	**Şubat**	**Mart**	**Nisan**	**Mayıs**	**Haziran**	**Temmuz**	**Ağustos**	**Eylül**	**Ekim**	**Kasım**	**Aralık**	**Yıllık Toplam**
HOMER	**46,39%**	**Enerji Üretim Miktarı (kW)**		1424	1525	1924	1925	2424	2425	2624	2525	2424	1925	1224	825	**23193**
		Emisyon Durumu	**SO_2 (kg)**	5,24	4,37	5,24	5,02	5,67	5,24	5,24	5,45	4,37	5,45	5,02	6,32	**62,7**
			CO_2 (kg)	2113,8	1763,2	2113,8	2025,5	2288,6	2112,9	2113,8	2200,3	1764,1	2200,3	2026,3	2550	**25273**
		Maliyet Analizi	**NPC (USD)**	10984	11763	14841	14849	18698	18706	20241	19477	18698	14849	9441	6364	**178912,4**
			OPEX (USD)	751	804	1014	1015	1278	1279	1384	1331	1278	1015	645	435	**12234,94**
			LCOE (USD)	0,016	0,017	0,022	0,022	0,028	0,028	0,03	0,029	0,028	0,022	0,014	0,009	**0,2728**

4.2. SAM Simülasyon Programı

4.2.1. SAM PV güç sisteminde elektrik üretimi

SAM simülasyon programı kullanılarak güneş panellerine ait yıllık enerji üretimi değerlendirilmiştir. Şekil 4.4'de PV güç sisteminin deniz taşıtı için sağladığı yıllık ortalama elektrik enerjisi üretimi aylara göre gösterilmiştir. Deniz taşıtının günlük 138,866 kW güç ihtiyacı bulunmakta olup yıllık ihtiyaç duyduğu güç miktarı ise 49991 kW'tır. Yıl boyunca PV güç sistemi ile 21238 kW üretim gerçekleşmektedir. Sonuçlar incelendiğinde PV güç sistemi ile deniz taşıtı tarafından ihtiyaç duyulan enerji miktarının % 42,48'lik kısmının karşılandığı görülmektedir.

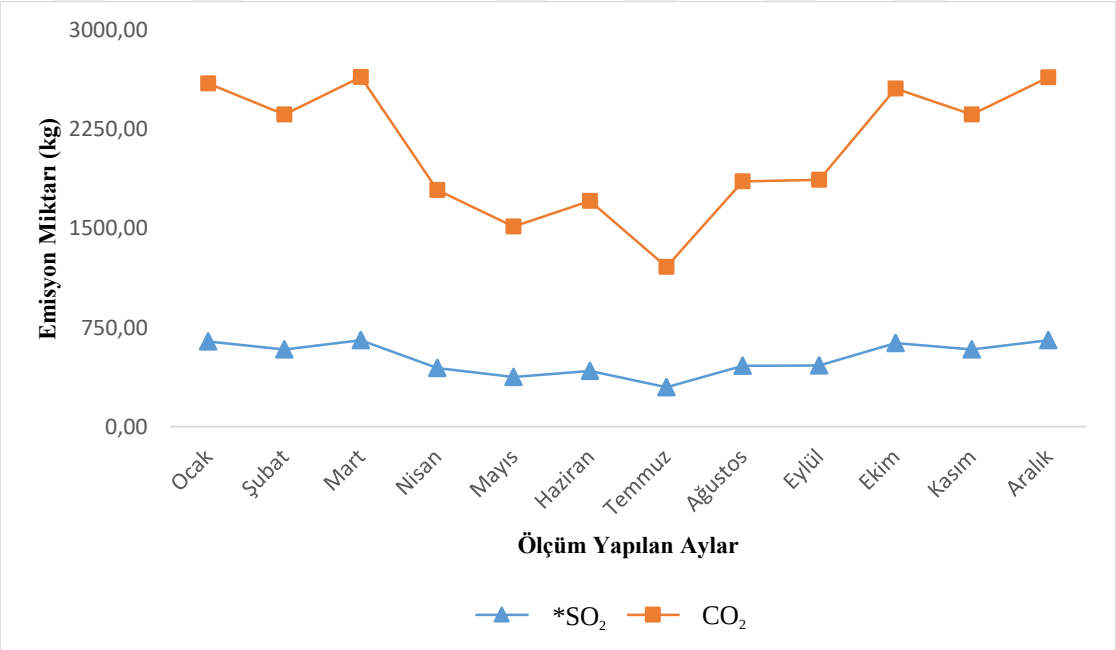


Şekil 4.4. SAM PV sistem ve jeneratör aylık ortalama güç üretimi

4.2.2. SAM PV güç sisteminde emisyon durumu

Simülasyon sonuçları incelendiğinde sistem tarafından doğaya yıllık 62,3 kg SO_2 ve 25135 kg CO_2 salınımı olduğu görülmektedir. Emisyon durumunu gösteren grafik Şekil 4.5'de sunulmuştur. Eğer kurulan PV güç sistemi yerine ilave jeneratör kullanılsaydı SO_2

salınımı 46 kg ve CO_2 salınımı da 18565 kg daha artış gösterecekti. PV güç sistemi ile bu salınım engellenmiştir. Bu engelleme PV güç sisteminin emisyon azaltımındaki önemli rolünü açıkça sergilemektedir. PV güç sistemi sadece yenilenebilir enerji üretmek sağlamakla kalmayıp aynı zamanda doğaya ilave jeneratörler tarafından salınan kirleticilerin azaltılmasına da büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Bu durum da enerji üretiminde sürdürülebilir ve çevre dostu yaklaşımların önemini bir kez daha gözler önüne sermektedir. PV güç sisteminin sağladığı bu avantajlar sayesinde özellikle fosil yakıt kullanımının yoğun olduğu sistemlere kıyasla PV sistemlerin çevresel faydalarını net bir şekilde göstermektedir.



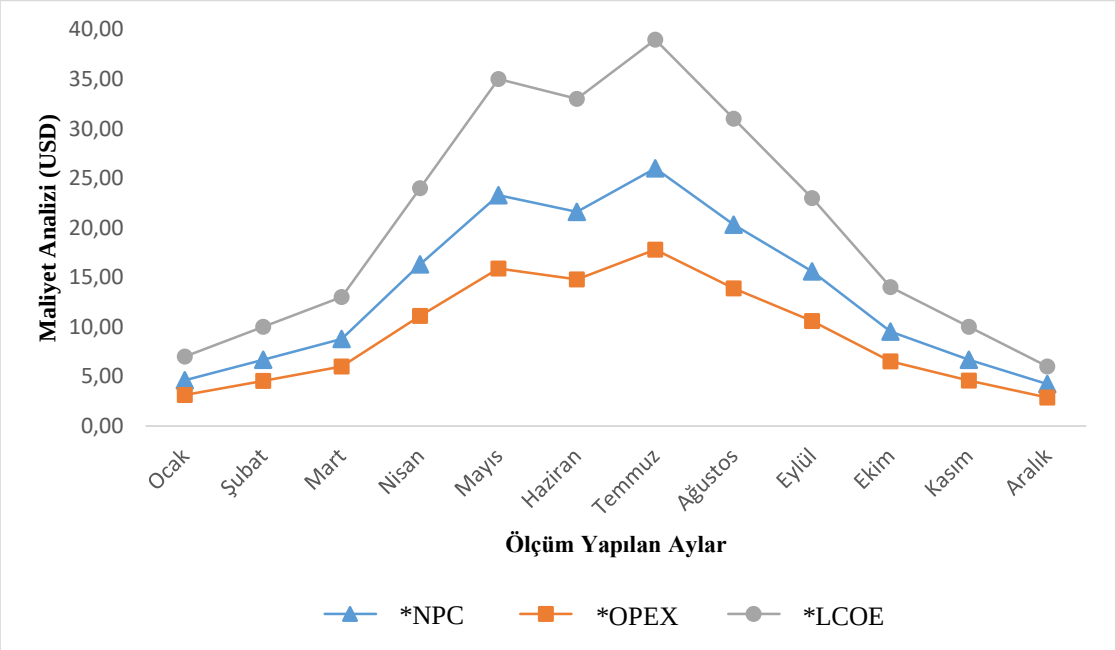
Şekil 4.5. SAM PV sistem emisyon durumu

* Grafikte kullanılan SO_2 değerleri, X 10 faktörüyle ölçeklendirilen gerçek değerlerdir.

4.2.3. SAM PV güç sisteminde maliyet analizi

Bu çalışmada gerekli PV güç sistemi çözümü ekonomik bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Tasarım sonucunda yapılan hesaplamalara göre PV güç sisteminin OPEX 11203,62 USD, LCOE 0,2498 USD ve NPC 163831,39 USD olduğu

görülmektedir. Maliyet analizini gösteren grafik Şekil 4.6'da sunulmuştur. Analiz sonuçları incelendiğinde PV güç sistemi fosil yakıtlar kullanılan enerji üretim yöntemlerine nazaran belirli bir başlangıç yatırımına ihtiyaç duysa da düşük işletme maliyetleri ile uzun vadede avantaj sağladığı görülmektedir. LCOE değeri sistemin enerji maliyetlerini küresel piyasa koşullarıyla karşılaştırmak için önemli bir kriter olup sistemin ekonomik açıdan etkili bir çözüm seçeneği olduğunu göstermektedir. Bu duruma ilave olarak sisteme ilişkin NPC değeri, tüm yatırım, işletme ve bakım maliyetlerini içeren bir bakış açısı sunarak projenin yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkacak toplam giderleri göstermektedir. Bu maliyet verileri elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının ekonomik açıdan da uygunluk durumunu göstermektedir.



Şekil 4.6. SAM PV sistem maliyet analizi

* Grafikte kullanılan NPC değeri 1/1000 faktörüyle, OPEX değeri 1/100 faktörüyle ve LCOE değeri ise X 1000 faktörüyle ölçeklendirilen gerçek değerlerdir.

Deniz taşıtının yıllık ihtiyaç duyduğu enerji miktarı 49991 kW olup SAM simülasyon programı tarafından üretilen enerji miktarı, ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranı, emisyon durumu ve maliyet analizine ilişkin sonuçlar Tablo 4.2'de sunulmuştur.

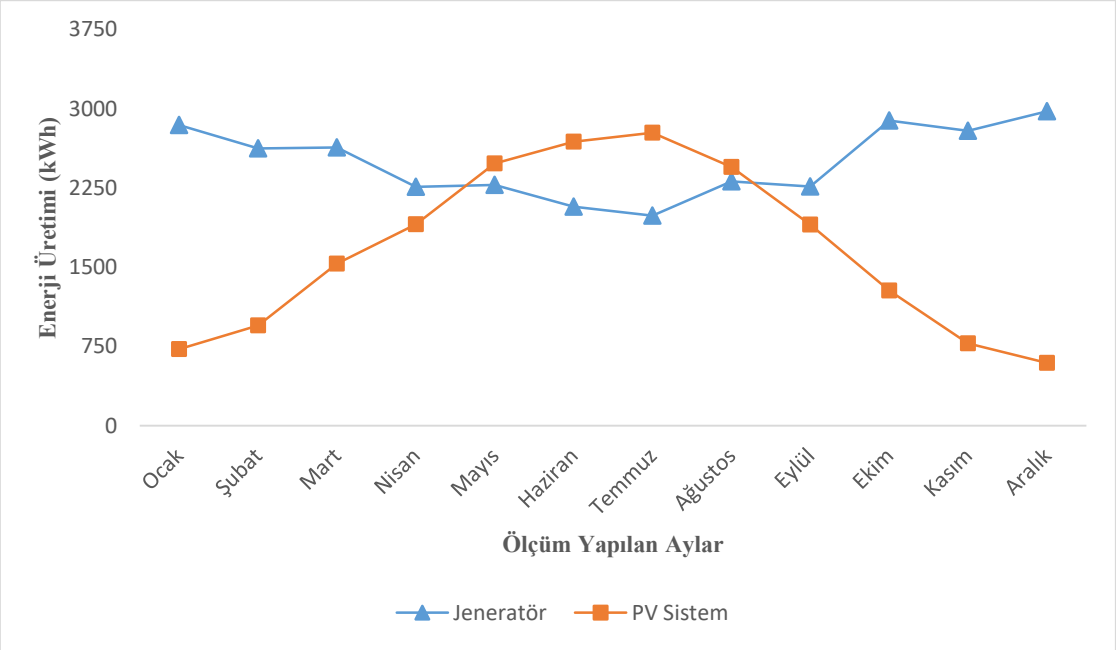
Tablo 4.2. SAM teknik ve ekonomik durum analizi

PV Güç Sistemi	Yıllık Enerji Karşılama Oranları	Teknik ve Ekonomik Durum		Aylar												
				Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Toplam
SAM	**42,48%**	**Enerji Üretim Miktarı (kW)**		597	866	1137	2116	3027	2806	3377	2636	2027	1236	867	546	**21238**
		Emisyon Durumu	**SO_2 (kg)**	6,44	5,85	6,56	4,43	3,75	4,23	2,99	4,60	4,63	6,34	5,85	6,55	**62,3**
			CO_2 (kg)	2598,9	2363,7	2646,9	1791,1	1515,8	1709	1209,8	1857,6	1868,9	2560,4	2362,8	2643,4	**25135**
		Maliyet Analizi	**NPC (USD)**	4605	6680	8770	16322	23350	21645	26050	20334	15636	9534	6688	4211	**163831,39**
			OPEX (USD)	314	456	599	1116	1596	1480	1781	1390	1069	651	457	288	**11203,62**
			LCOE (USD)	0,007	0,01	0,013	0,024	0,035	0,033	0,039	0,031	0,023	0,014	0,01	0,006	**0,2498**

4.3. RETScreen Simülasyon Programı

4.3.1. RETScreen PV güç sisteminde elektrik üretimi

RETScreen simülasyon programı kullanılarak güneş panellerine ait yıllık enerji üretimi değerlendirilmiştir. Şekil 4.7'de PV güç sisteminin deniz taşıtı için sağladığı yıllık ortalama elektrik enerjisi üretimi aylara göre gösterilmiştir. Deniz taşıtının günlük 138,866 kW güç ihtiyacı bulunmakta olup yıllık ihtiyaç duyduğu güç miktarı ise 49991 kW'tır. Yıl boyunca PV güç sistemi ile 20059 kW üretim gerçekleşmektedir. Sonuçlar incelendiğinde PV güç sistemi ile deniz taşıtı tarafından ihtiyaç duyulan enerji miktarının % 40,12'lik kısmının karşılandığı görülmektedir.

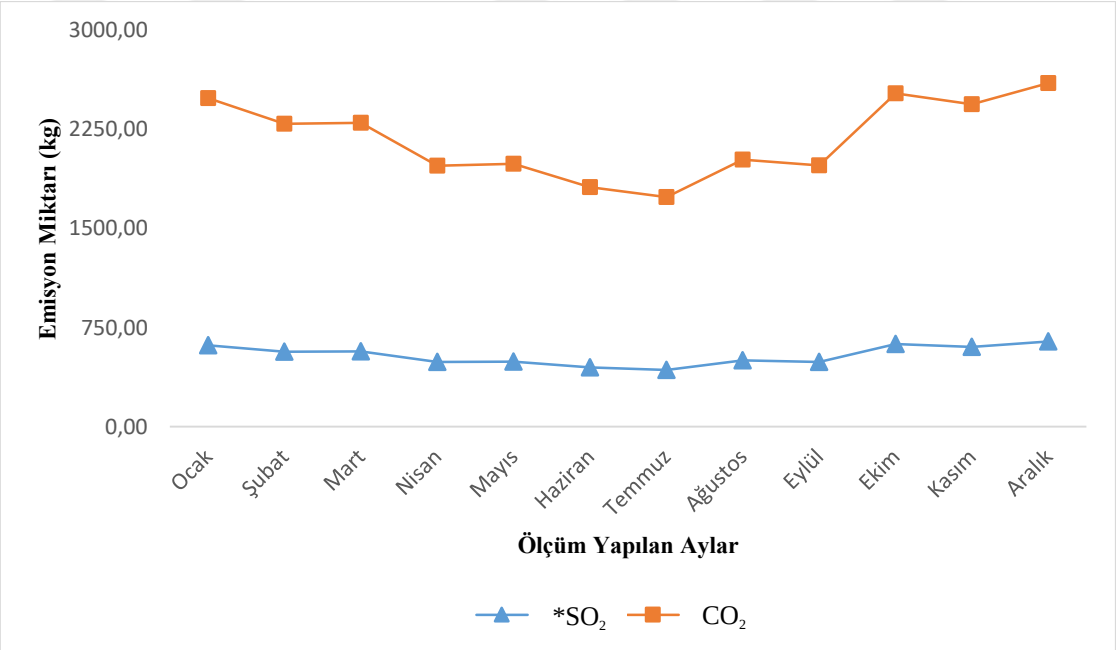


Şekil 4.7. RETScreen PV sistem ve jeneratör aylık ortalama güç üretimi

4.3.2. RETScreen PV güç sisteminde emisyon durumu

Simülasyon sonuçları incelendiğinde sistem tarafından doğaya yıllık 64,9 kg SO_2 ve 26166 kg CO_2 salınımı olduğu görülmektedir. Emisyon durumunu gösteren grafik Şekil 4.8'de sunulmuştur. Eğer kurulan PV güç sistemi yerine ilave jeneratör kullanılsaydı SO_2

salınımı 43,5 kg ve CO_2 salınımı da 17535 kg daha artış gösterecekti. PV güç sistemi ile bu salınım engellenmiştir. Bu engelleme PV güç sisteminin emisyon azaltımındaki önemli rolünü açıkça sergilemektedir. PV güç sistemi sadece yenilenebilir enerji üretmek sağlamakla kalmayıp aynı zamanda doğaya ilave jeneratörler tarafından salınan kirleticilerin azaltılmasına da büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Bu durum da enerji üretiminde sürdürülebilir ve çevre dostu yaklaşımların önemini bir kez daha gözler önüne sermektedir. PV güç sisteminin sağladığı bu avantajlar sayesinde özellikle fosil yakıt kullanımının yoğun olduğu sistemlere kıyasla PV sistemlerin çevresel faydalarını net bir şekilde göstermektedir.



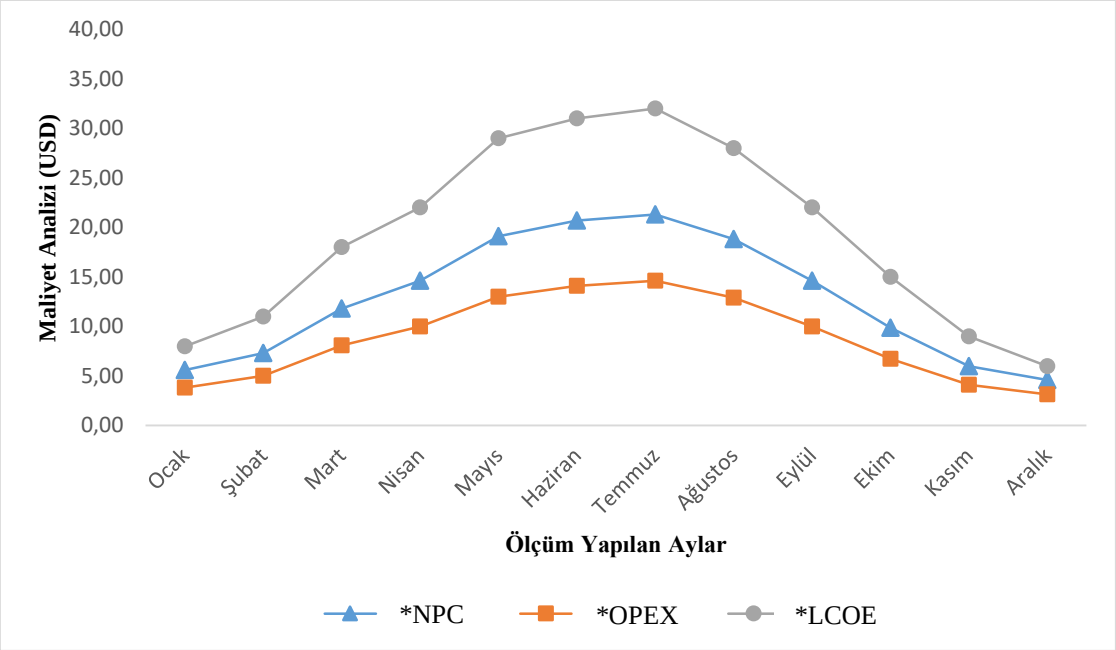
Şekil 4.8. RETScreen PV sistem emisyon durumu

* Grafikte kullanılan SO_2 değerleri, X 10 faktörüyle ölçeklendirilen gerçek değerlerdir.

4.3.3. RETScreen PV güç sisteminde maliyet analizi

Bu çalışmada gerekli PV güç sistemi çözümü ekonomik bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Tasarım sonucunda yapılan hesaplamalara göre PV güç sisteminin OPEX 10581,66 USD, LCOE 0,2359 USD ve NPC 154736,50 USD olduğu

görülmektedir. Maliyet analizini gösteren grafik Şekil 4.9'da sunulmuştur. Analiz sonuçları incelendiğinde PV güç sistemi fosil yakıtlar kullanılan enerji üretim yöntemlerine nazaran belirli bir başlangıç yatırımına ihtiyaç duysa da düşük işletme maliyetleri ile uzun vadede avantaj sağladığı görülmektedir. LCOE değeri sistemin enerji maliyetlerini küresel piyasa koşullarıyla karşılaştırmak için önemli bir kriter olup sistemin ekonomik açıdan etkili bir çözüm seçeneği olduğunu göstermektedir. Bu duruma ilave olarak sisteme ilişkin NPC değeri, tüm yatırım, işletme ve bakım maliyetlerini içeren bir bakış açısı sunarak projenin yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkacak toplam giderleri göstermektedir. Bu maliyet verileri elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının ekonomik açıdan da uygunluk durumunu göstermektedir.



Şekil 4.9. RETScreen PV sistem maliyet analizi

* Grafikte kullanılan NPC değeri 1/1000 faktörüyle, OPEX değeri 1/100 faktörüyle ve LCOE değeri ise X 1000 faktörüyle ölçeklendirilen gerçek değerlerdir.

Deniz taşıtının yıllık ihtiyaç duyduğu enerji miktarı 49991 kW olup RETScreen simülasyon programı tarafından üretilen enerji miktarı, ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranı, emisyon durumu ve maliyet analizine ilişkin sonuçlar Tablo 4.3'de sunulmuştur.

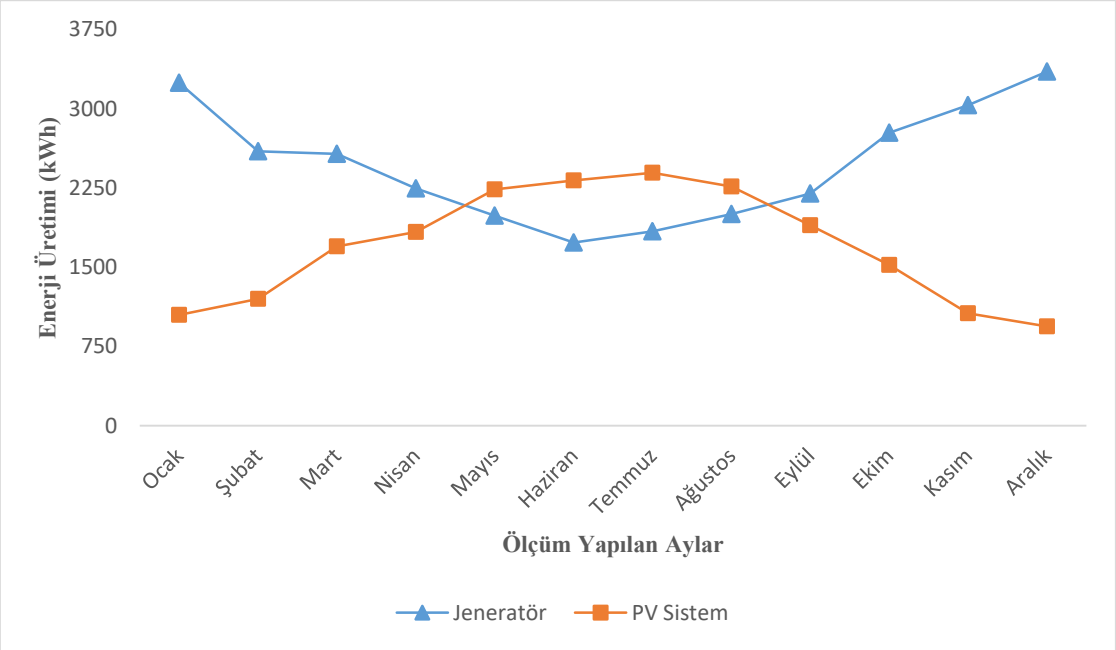
Tablo 4.3. RETScreen teknik ve ekonomik durum analizi

PV Güç Sistemi	Yıllık Enerji Karşılama Oranları	Teknik ve Ekonomik Durum		Aylar												
				Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Toplam
RETSCREEN	40,12%	Enerji Üretim Miktarı (kW)		725,4	948,2	1533,5	1905,9	2482,9	2687,1	2773,3	2448,9	1901,5	1279,3	779,3	594,1	**20059**
		Emisyon Durumu	SO_2 (kg)	6,16	5,68	5,70	4,90	4,93	4,49	4,30	5,01	4,90	6,25	6,05	6,45	**64,9**
			CO_2 (kg)	2487	2292,1	2300,8	1975,6	1991,3	1813	1736,9	2021,1	1979,1	2522,8	2439,8	2601,5	**26166**
		Maliyet Analizi	NPC (USD)	5592	7312	11825	14695	19146	20727	21391	18883	14664	9866	6009	4582	**154736,5**
			OPEX (USD)	382	500	808	1004	1309	1417	1462	1291	1002	674	410	313	**10581,66**
			LCOE (USD)	0,008	0,011	0,018	0,022	0,029	0,031	0,032	0,028	0,022	0,015	0,009	0,006	**0,2359**

4.4. PVSOL Simülasyon Programı

4.4.1. PVSOL PV güç sisteminde elektrik üretimi

PVSOL simülasyon programı kullanılarak güneş panellerine ait yıllık enerji üretimi değerlendirilmiştir. Şekil 4.10'da PV sistemi ve jeneratörün güç sistemi için sağladığı yıllık ortalama elektrik enerjisi üretimi aylara göre gösterilmiştir. Deniz taşıtının günlük 138,866 kW güç ihtiyacı bulunmakta olup yıllık ihtiyaç duyduğu güç miktarı ise 49991 kW'tır. Yıl boyunca PV güç sistemi ile 20415 kW üretim gerçekleşmektedir. Sonuçlar incelendiğinde PV güç sistemi ile deniz taşıtı tarafından ihtiyaç duyulan enerji miktarının % 40,83'lük kısmının karşılandığı görülmektedir.

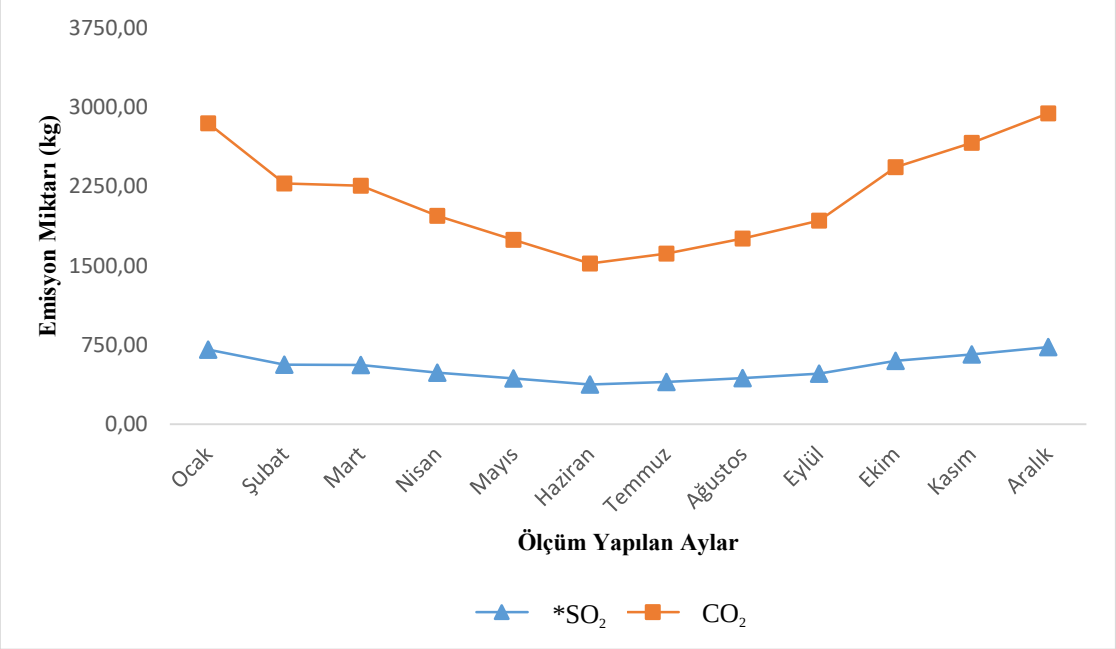


Şekil 4.10. PVSOL PV sistem ve jeneratör aylık ortalama güç üretimi

4.4.2. PVSOL PV güç sisteminde emisyon durumu

Simülasyon sonuçları incelendiğinde sistem tarafından doğaya yıllık 64,3 kg SO_2 ve 25949 kg CO_2 salınımı olduğu görülmektedir. Emisyon durumunu gösteren grafik Şekil 4.11'de sunulmuştur. Eğer kurulan PV güç sistemi yerine ilave jeneratör kullanılsaydı

SO_2 salınımı 44,3 kg ve CO_2 salınımı da 17911 kg daha artış gösterecekti. PV güç sistemi ile bu salınım engellenmiştir. Bu engelleme PV güç sisteminin emisyon azaltımındaki önemli rolünü açıkça sergilemektedir. PV güç sistemi sadece yenilenebilir enerji üretmek sağlamakla kalmayıp aynı zamanda doğaya ilave jeneratörler tarafından salınan kirleticilerin azaltılmasına da büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Bu durum da enerji üretiminde sürdürülebilir ve çevre dostu yaklaşımların önemini bir kez daha gözler önüne sermektedir. PV güç sisteminin sağladığı bu avantajlar sayesinde özellikle fosil yakıt kullanımının yoğun olduğu sistemlere kıyasla PV sistemlerin çevresel faydalarını net bir şekilde göstermektedir.



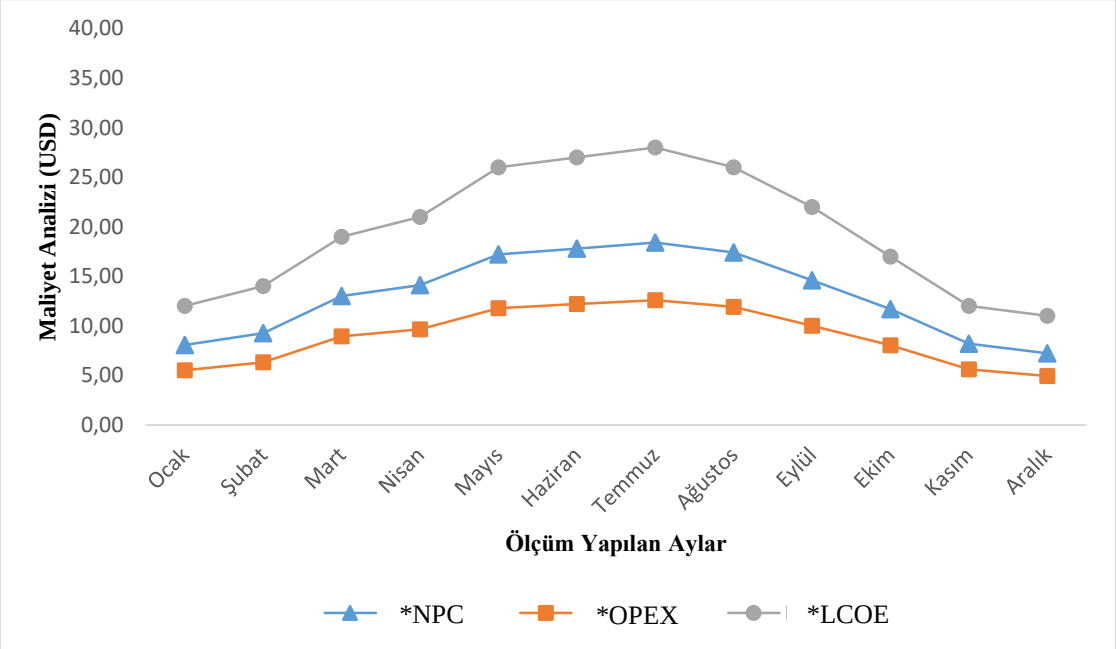
Şekil 4.11. PVSOL PV sistem emisyon durumu

* Grafikte kullanılan SO_2 değerleri, X 10 faktörüyle ölçeklendirilen gerçek değerlerdir.

4.4.3. PVSOL PV güç sisteminde maliyet analizi

Bu çalışmada gerekli PV güç sistemi çözümü ekonomik bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Tasarım sonucunda yapılan hesaplamalara göre PV güç sisteminin

OPEX 10769,46 USD, LCOE 0,2401 USD ve NPC 157482,71 USD olduğu görülmektedir. Maliyet analizini gösteren grafik Şekil 4.12'de sunulmuştur. Analiz sonuçları incelendiğinde PV güç sistemi fosil yakıtlar kullanılan enerji üretim yöntemlerine nazaran belirli bir başlangıç yatırımına ihtiyaç duysa da düşük işletme maliyetleri ile uzun vadede avantaj sağladığı görülmektedir. LCOE değeri sistemin enerji maliyetlerini küresel piyasa koşullarıyla karşılaştırmak için önemli bir kriter olup sistemin ekonomik açıdan etkili bir çözüm seçeneği olduğunu göstermektedir. Bu duruma ilave olarak sisteme ilişkin NPC değeri, tüm yatırım, işletme ve bakım maliyetlerini içeren bir bakış açısı sunarak, projenin yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkacak toplam giderleri göstermektedir. Bu maliyet verileri elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının ekonomik açıdan da uygunluk durumunu göstermektedir.



Şekil 4.12. PVSOL PV sistem maliyet analizi

* Grafikte kullanılan NPC değeri 1/1000 faktörüyle, OPEX değeri 1/100 faktörüyle ve LCOE değeri ise X 1000 faktörüyle ölçeklendirilen gerçek değerlerdir.

Deniz taşıtının yıllık ihtiyaç duyduğu enerji miktarı 49991 kW olup PVSOL simülasyon programı tarafından üretilen enerji üretim miktarı, ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranı, emisyon durumu ve maliyet analizine ilişkin sonuçlar Tablo 4.4'de sunulmuştur.

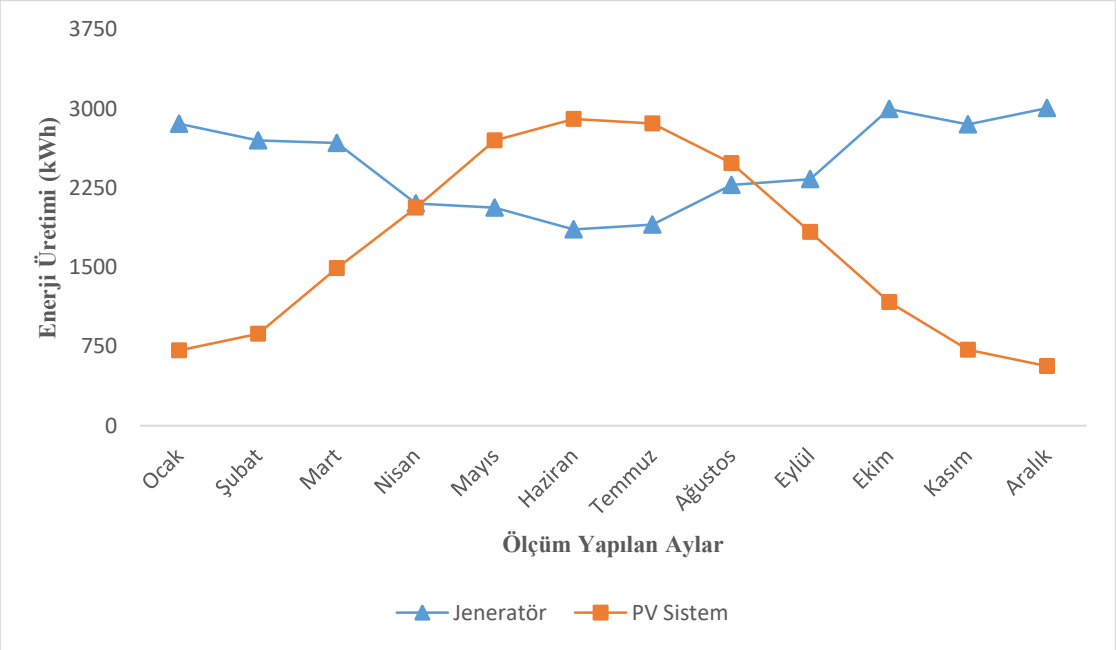
Tablo 4.4. PVSOL teknik ve ekonomik durum analizi

PV Güç Sistemi	Yıllık Enerji Karşılama Oranları	Teknik ve Ekonomik Durum		Aylar												
				Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Toplam
PVSOL	**40,83%**	**Enerji Üretim Miktarı (kW)**		1047,9	1200,8	1697,7	1832,4	2237	2319,6	2394,9	2262	1897,4	1521,5	1065	939,1	**20415**
		Emisyon Durumu	**SO_2 (kg)**	7,05	5,64	5,59	4,88	4,32	3,76	3,99	4,35	4,77	6	6,59	7,28	**64,3**
			CO_2 (kg)	2847	2278,5	2257,4	1970,5	1745	1519,5	1613,4	1756,4	1926,6	2431,1	2661,9	2940,9	**25949**
		Maliyet Analizi	**NPC (USD)**	8076	9256	13090	14132	17256	17888	18467	17449	14633	11733	8215	7243	**157482,71**
			OPEX (USD)	552	633	895	966	1180	1223	1262	1193	1000	802	561	495	**10769,46**
			LCOE (USD)	0,012	0,014	0,019	0,021	0,026	0,027	0,028	0,026	0,022	0,017	0,012	0,011	**0,2401**

4.5. PVsyst Simülasyon Programı

4.5.1. PVsyst PV güç sisteminde elektrik üretimi

PVsyst simülasyon programı kullanılarak güneş panellerine ait yıllık enerji üretimi değerlendirilmiştir. Şekil 4.13'de PV güç sisteminin deniz taşıtı için sağladığı yıllık ortalama elektrik enerjisi üretimi aylara göre gösterilmiştir. Deniz taşıtının günlük 138,866 kW güç ihtiyacı bulunmakta olup yıllık ihtiyaç duyduğu güç miktarı ise 49991 kW'tır. Yıl boyunca PV güç sistemi ile 20371 kW üretim gerçekleşmektedir. Sonuçlar incelendiğinde PV güç sistemi ile deniz taşıtı tarafından ihtiyaç duyulan enerji miktarının % 40,74'lük kısmının karşılandığı görülmektedir.

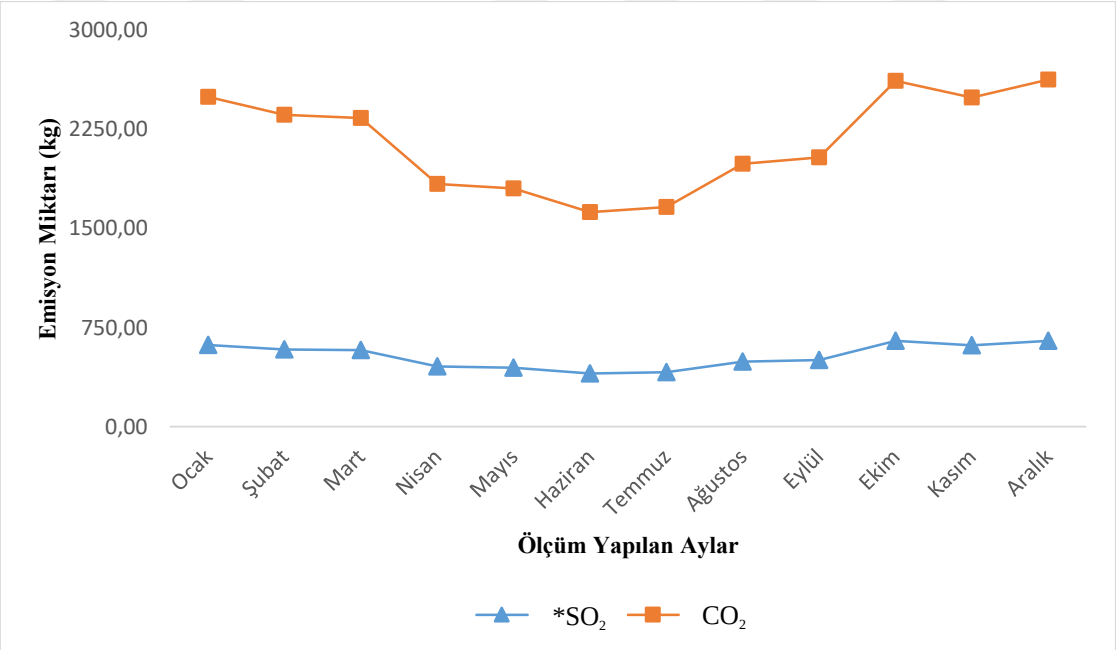


Şekil 4.13. PVsyst PV sistem ve jeneratör aylık ortalama güç üretimi

4.5.2. PVsyst PV güç sisteminde emisyon durumu

Simülasyon sonuçları incelendiğinde sistem tarafından doğaya yıllık 64,2 kg SO_2 ve 25894 kg CO_2 salınımı olduğu görülmektedir. Emisyon durumunu gösteren grafik Şekil 4.14'de sunulmuştur. Eğer kurulan PV güç sistemi yerine ilave jeneratör kullanılsaydı

SO_2 salınımı 44,1 kg ve CO_2 salınımı da 17807 kg daha artış gösterecekti. PV güç sistemi ile bu salınım engellenmiştir. Bu engelleme PV güç sisteminin emisyon azaltımındaki önemli rolünü açıkça sergilemektedir. PV güç sistemi sadece yenilenebilir enerji üretmek sağlamakla kalmayıp aynı zamanda doğaya ilave jeneratörler tarafından salınan kirleticilerin azaltılmasına da büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Bu durum da enerji üretiminde sürdürülebilir ve çevre dostu yaklaşımların önemini bir kez daha gözler önüne sermektedir. PV güç sisteminin sağladığı bu avantajlar sayesinde özellikle fosil yakıt kullanımının yoğun olduğu sistemlere kıyasla PV sistemlerin çevresel faydalarını net bir şekilde göstermektedir.



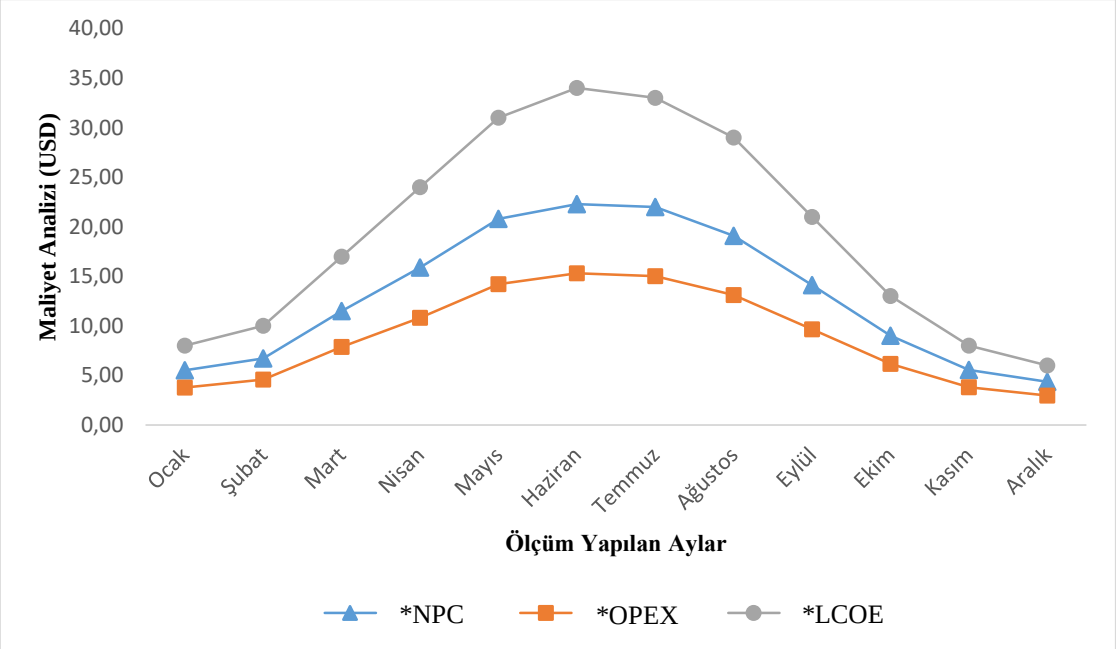
Şekil 4.14. PVsyst PV sistem emisyon durumu

* Grafikte kullanılan SO_2 değerleri, X 10 faktörüyle ölçeklendirilen gerçek değerlerdir.

4.5.3. PVsyst PV güç sisteminde maliyet analizi

Bu çalışmada gerekli PV güç sistemi çözümü ekonomik bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Tasarım sonucunda yapılan hesaplamalara göre PV güç sisteminin

OPEX 10746,25 USD, LCOE 0,2396 USD ve NPC 157143,29 USD olduğu görülmektedir. Maliyet analizini gösteren grafik Şekil 4.15'de sunulmuştur. Analiz sonuçları incelendiğinde PV güç sistemi fosil yakıtlar kullanılan enerji üretim yöntemlerine nazaran belirli bir başlangıç yatırımına ihtiyaç duysa da düşük işletme maliyetleri ile uzun vadede avantaj sağladığı görülmektedir. LCOE değeri sistemin enerji maliyetlerini küresel piyasa koşullarıyla karşılaştırmak için önemli bir kriter olup sistemin ekonomik açıdan etkili bir çözüm seçeneği olduğunu göstermektedir. Bu duruma ilave olarak sisteme ilişkin NPC değeri, tüm yatırım, işletme ve bakım maliyetlerini içeren bir bakış açısı sunarak projenin yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkacak toplam giderleri göstermektedir. Bu maliyet verileri elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının ekonomik açıdan da uygunluk durumunu göstermektedir.



Şekil 4.15. PVsyst PV sistem maliyet analizi

* Grafikte kullanılan NPC değeri 1/1000 faktörüyle, OPEX değeri 1/100 faktörüyle ve LCOE değeri ise X 1000 faktörüyle ölçeklendirilen gerçek değerlerdir.

Deniz taşıtının yıllık ihtiyaç duyduğu enerji miktarı 49991 kW olup PVsyst simülasyon programı tarafından üretilen enerji üretim miktarı, ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranı, emisyon durumu ve maliyet analizine ilişkin sonuçlar Tablo 4.5'de gösterilmiştir.

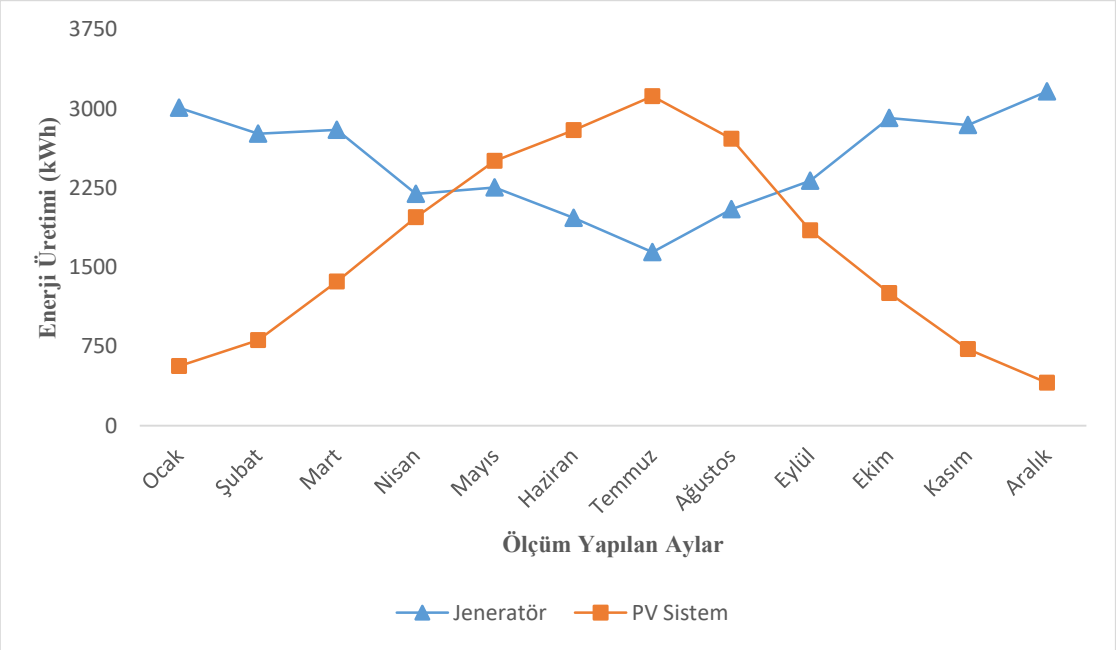
Tablo 4.5. PVsyst teknik ve ekonomik durum analizi

PV Güç Sistemi	Yıllık Enerji Karşılama Oranları	Teknik ve Ekonomik Durum		Aylar												
				Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Toplam
PVSYST	40,74%	Enerji Üretim Miktarı (kW)		713	870	1492	2064	2699	2903	2859	2484	1832	1170	720	564	**20371**
		Emisyon Durumu	SO_2 (kg)	6,19	5,85	5,79	4,55	4,46	4,02	4,12	4,93	5,05	6,49	6,17	6,51	**64,2**
			CO_2 (kg)	2497,5	2360,2	2336,6	1836,6	1802,5	1624,2	1662,6	1990,5	2039,4	2618,1	2491,4	2627,7	**25894**
		Maliyet Analizi	NPC (USD)	5500	6711	11509	15921	20820	22393	22054	19161	14132	9025	5554	4350	**157143,29**
			OPEX (USD)	376	458	787	1088	1423	1531	1508	1310	966	617	379	297	**10746,25**
			LCOE (USD)	0,008	0,01	0,017	0,024	0,031	0,034	0,033	0,029	0,021	0,013	0,008	0,006	**0,2396**

4.6. PVWatts Simülasyon Programı

4.6.1. PVWatts PV güç sisteminde elektrik üretimi

PVWatts simülasyon programı kullanılarak güneş panellerine ait yıllık enerji üretimi değerlendirilmiştir. Şekil 4.16'da PV güç sisteminin deniz taşıtı için sağladığı yıllık ortalama elektrik enerjisi üretimi aylara göre gösterilmiştir. Deniz taşıtının günlük 138,866 kW güç ihtiyacı bulunmakta olup yıllık ihtiyaç duyduğu güç miktarı ise 49991 kW'tır. Yıl boyunca PV güç sistemi ile 20080 kW üretim gerçekleşmektedir. Sonuçlar incelendiğinde PV güç sistemi ile deniz taşıtı tarafından ihtiyaç duyulan enerji miktarının % 40,16'lık kısmının karşılandığı görülmektedir.

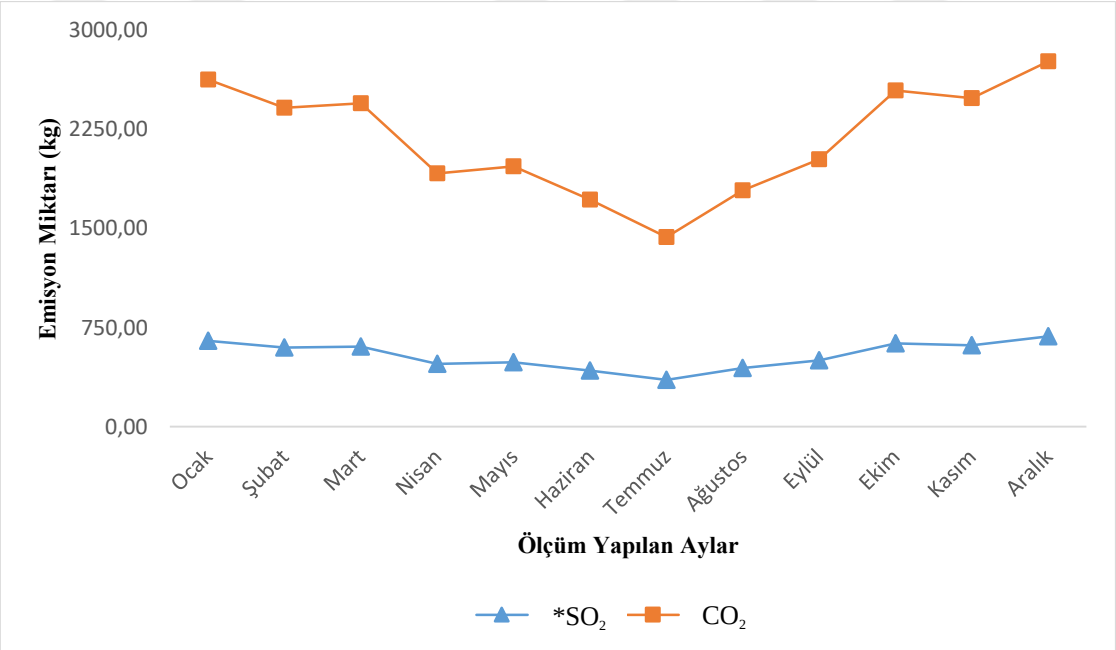


Şekil 4.16. PVWatts PV sistem ve jeneratör aylık ortalama güç üretimi

4.6.2. PVWatts PV güç sisteminde emisyon durumu

Simülasyon sonuçları incelendiğinde sistem tarafından doğaya yıllık 64,8 kg SO_2 ve 26148 kg CO_2 salınımı olduğu görülmektedir. Emisyon durumunu gösteren grafik Şekil 4.17'de sunulmuştur. Eğer kurulan PV güç sistemi yerine ilave jeneratör kullanılsaydı

SO_2 salınımı 43,5 kg ve CO_2 salınımı da 17553 kg daha artış gösterecekti. PV güç sistemi ile bu salınım engellenmiştir. Bu engelleme PV güç sisteminin emisyon azaltımındaki önemli rolünü açıkça sergilemektedir. PV güç sistemi sadece yenilenebilir enerji üretmek sağlamakla kalmayıp aynı zamanda doğaya ilave jeneratörler tarafından salınan kirleticilerin azaltılmasına da büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Bu durum da enerji üretiminde sürdürülebilir ve çevre dostu yaklaşımların önemini bir kez daha gözler önüne sermektedir. PV güç sisteminin sağladığı bu avantajlar sayesinde özellikle fosil yakıt kullanımının yoğun olduğu sistemlere kıyasla PV sistemlerin çevresel faydalarını net bir şekilde göstermektedir.



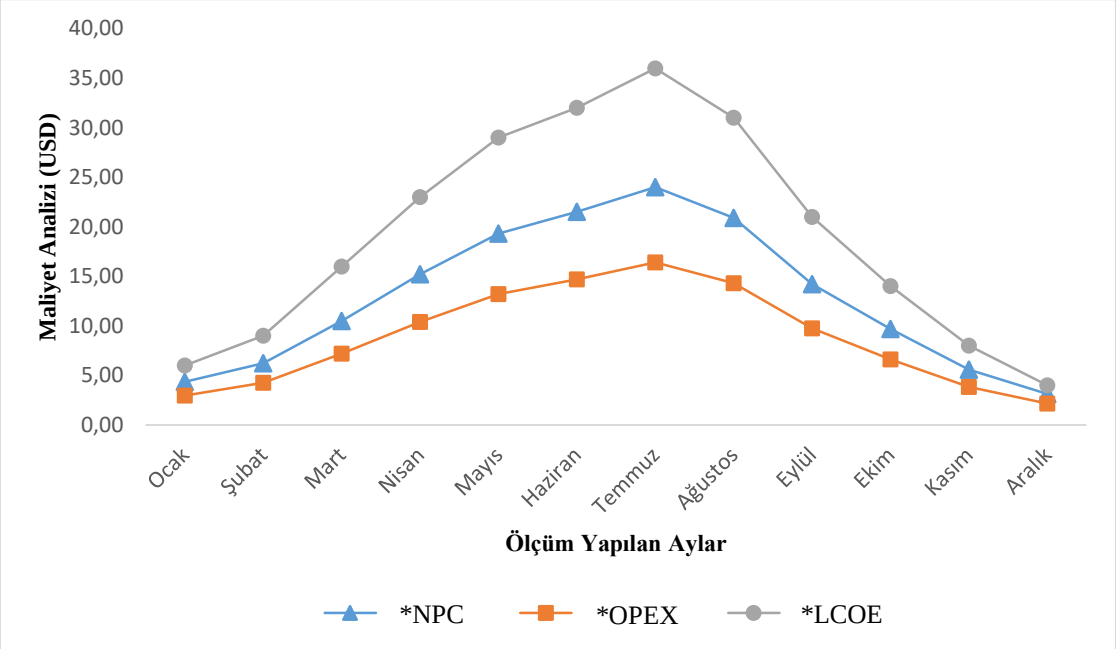
Şekil 4.17. PVWatts PV sistem emisyon durumu

* Grafikte kullanılan SO_2 değerleri, X 10 faktörüyle ölçeklendirilen gerçek değerlerdir.

4.6.3. PVWatts PV güç sisteminde maliyet analizi

Bu çalışmada gerekli PV güç sistemi çözümü ekonomik bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Tasarım sonucunda yapılan hesaplamalara göre PV güç sisteminin

OPEX 10592,74 USD, LCOE 0,2361 USD ve NPC 154898,50 USD olduğu görülmektedir. Maliyet analizini gösteren grafik Şekil 4.18'de sunulmuştur. Analiz sonuçları incelendiğinde PV güç sistemi fosil yakıtlar kullanılan enerji üretim yöntemlerine nazaran belirli bir başlangıç yatırımına ihtiyaç duysa da düşük işletme maliyetleri ile uzun vadede avantaj sağladığı görülmektedir. LCOE değeri sistemin enerji maliyetlerini küresel piyasa koşullarıyla karşılaştırmak için önemli bir kriter olup sistemin ekonomik açıdan etkili bir çözüm seçeneği olduğunu göstermektedir. Bu duruma ilave olarak sisteme ilişkin NPC değeri, tüm yatırım, işletme ve bakım maliyetlerini içeren bir bakış açısı sunarak projenin yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkacak toplam giderleri göstermektedir. Bu maliyet verileri elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının ekonomik açıdan da uygunluk durumunu göstermektedir.



Şekil 4.18. PVWatts PV sistem maliyet analizi

* Grafikte kullanılan NPC değeri 1/1000 faktörüyle, OPEX değeri 1/100 faktörüyle ve LCOE değeri ise X 1000 faktörüyle ölçeklendirilen gerçek değerlerdir.

Deniz taşıtının yıllık ihtiyaç duyduğu enerji miktarı 49991 kW olup PVWatts simülasyon programı tarafından üretilen enerji üretim miktarı, ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranı, emisyon durumu ve maliyet analizine ilişkin sonuçlar Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

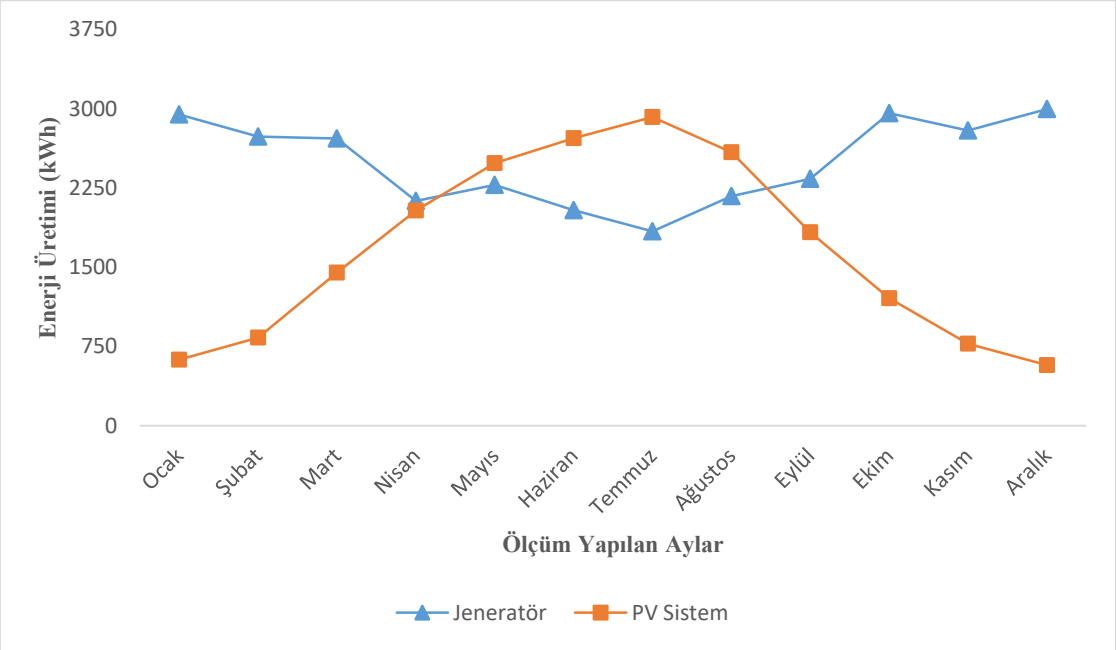
Tablo 4.6. PVWatts teknik ve ekonomik durum analizi

PV Güç Sistemi	Yıllık Enerji Karşılama Oranları	Teknik ve Ekonomik Durum		Aylar												
				Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Toplam
PVWATTS	**40,16%**	**Enerji Üretim Miktarı (kW)**		563	808	1365	1972	2507	2796	3119	2714	1849	1255	725	407	**20080**
		Emisyon Durumu	**SO_2 (kg)**	6,51	5,98	6,06	4,75	4,88	4,25	3,55	4,43	5,01	6,30	6,16	6,85	**64,8**
			CO_2 (kg)	2628,6	2414,5	2447,7	1917,1	1970,4	1717,7	1435,4	1789,4	2024,6	2543,9	2487	2765	**26148**
		Maliyet Analizi	**NPC (USD)**	4343	623	10529	15212	19339	21568	24060	20935	14263	9681	5592	3139	**154898,5**
			OPEX (USD)	296	426	720	1040	1322	1474	1645	1431	975	662	382	214	**10592,74**
			LCOE (USD)	0,006	0,009	0,016	0,023	0,029	0,032	0,036	0,031	0,021	0,014	0,008	0,004	**0,2361**

4.7. PVGIS Simülasyon Programı

4.7.1. PVGIS PV güç sisteminde elektrik üretimi

PVGIS simülasyon programı kullanılarak güneş panellerine ait yıllık enerji üretimi değerlendirilmiştir. Şekil 4.19'da PV güç sisteminin deniz taşıtı için sağladığı yıllık ortalama elektrik enerjisi üretimi aylara göre gösterilmiştir. Deniz taşıtının günlük 138,866 kW güç ihtiyacı bulunmakta olup yıllık ihtiyaç duyduğu güç miktarı ise 49991 kW'tır. Yıl boyunca PV güç sistemi ile 20043 kW üretim gerçekleşmektedir. Sonuçlar incelendiğinde PV güç sistemi ile deniz taşıtı tarafından ihtiyaç duyulan enerji miktarının % 40,08'lik kısmının karşılandığı görülmektedir.

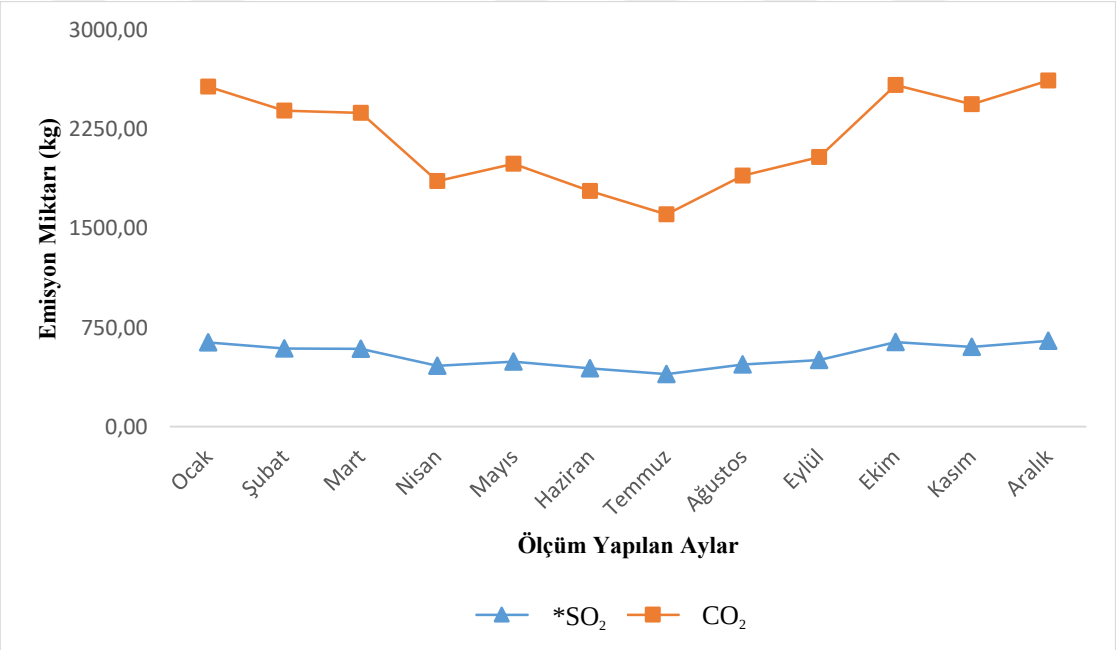


Şekil 4.19. PVGIS PV sistem ve jeneratör aylık ortalama güç üretimi

4.7.2. PVGIS PV güç sisteminde emisyon durumu

Simülasyon sonuçları incelendiğinde sistem tarafından doğaya yıllık 64,9 kg SO_2 ve 26180 kg CO_2 salınımı olduğu görülmektedir. Emisyon durumunu gösteren grafik Şekil 4.20'de sunulmuştur. Eğer kurulan PV güç sistemi yerine ilave jeneratör kullanılsaydı

SO_2 salınımı 43,4 kg ve CO_2 salınımı da 17521 kg daha artış gösterecekti. PV güç sistemi ile bu salınım engellenmiştir. Bu engelleme PV güç sisteminin emisyon azaltımındaki önemli rolünü açıkça sergilemektedir. PV güç sistemi sadece yenilenebilir enerji üretmek sağlamakla kalmayıp aynı zamanda doğaya ilave jeneratörler tarafından salınan kirleticilerin azaltılmasına da büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Bu durum da enerji üretiminde sürdürülebilir ve çevre dostu yaklaşımların önemini bir kez daha gözler önüne sermektedir. PV güç sisteminin sağladığı bu avantajlar sayesinde özellikle fosil yakıt kullanımının yoğun olduğu sistemlere kıyasla PV sistemlerin çevresel faydalarını net bir şekilde göstermektedir.



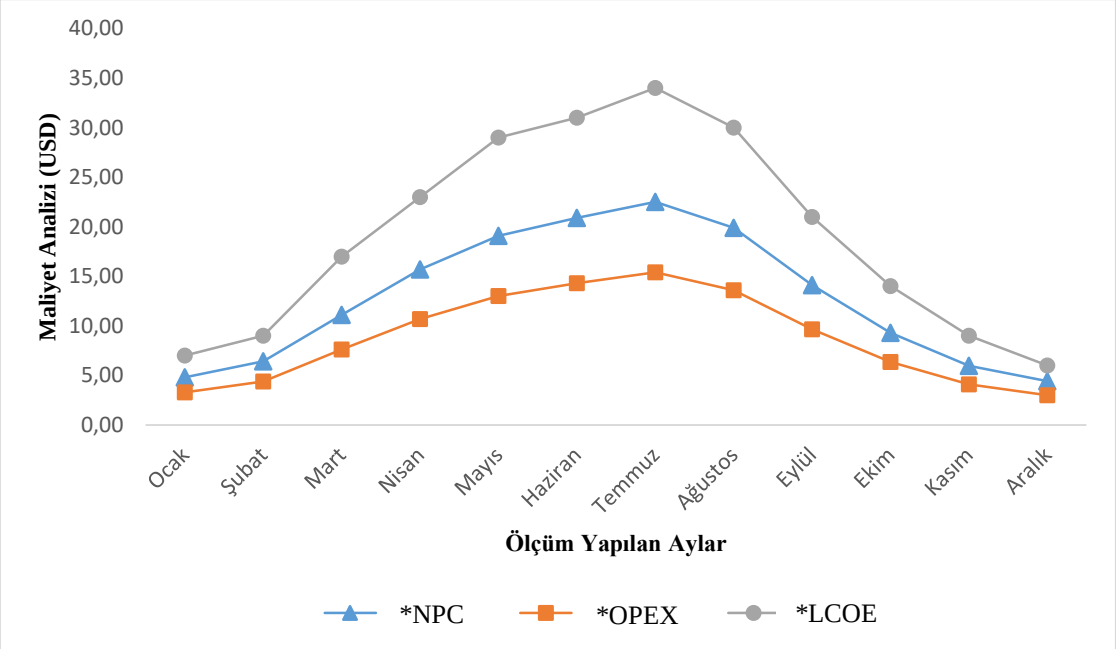
Şekil 4.20. PVGIS PV sistem emisyon durumu

* Grafikte kullanılan SO_2 değerleri, X 10 faktörüyle ölçeklendirilen gerçek değerlerdir.

4.7.3. PVGIS PV güç sisteminde maliyet analizi

Bu çalışmada, gerekli PV güç sistemi çözümü ekonomik bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Tasarım sonucunda yapılan hesaplamalara göre PV güç sisteminin

OPEX 10573,22 USD, LCOE 0,2357 USD ve NPC 154613,08 USD olduğu görülmektedir. Maliyet analizini gösteren grafik Şekil 4.21'de sunulmuştur. Analiz sonuçları incelendiğinde PV güç sistemi fosil yakıtlar kullanılan enerji üretim yöntemlerine nazaran belirli bir başlangıç yatırımına ihtiyaç duysa da düşük işletme maliyetleri ile uzun vadede avantaj sağladığı görülmektedir. LCOE değeri sistemin enerji maliyetlerini küresel piyasa koşullarıyla karşılaştırmak için önemli bir kriter olup sistemin ekonomik açıdan etkili bir çözüm seçeneği olduğunu göstermektedir. Bu duruma ilave olarak sisteme ilişkin NPC değeri, tüm yatırım, işletme ve bakım maliyetlerini içeren bir bakış açısı sunarak projenin yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkacak toplam giderleri göstermektedir. Bu maliyet verileri elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının ekonomik açıdan da uygunluk durumunu göstermektedir.



Şekil 4.21. PVGIS PV sistem maliyet analizi

* Grafikte kullanılan NPC değeri 1/1000 faktörüyle, OPEX değeri 1/100 faktörüyle ve LCOE değeri ise X 1000 faktörüyle ölçeklendirilen gerçek değerlerdir.

Deniz taşıtının yıllık ihtiyaç duyduğu enerji miktarı 49991 kW olup PVGIS simülasyon programı tarafından üretilen enerji üretim miktarı, ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranı, emisyon durumu ve maliyet analizine ilişkin sonuçlar Tablo 4.7'de sunulmuştur.

Tablo 4.7. PVGIS teknik ve ekonomik durum analizi

PV Güç Sistemi	Yıllık Enerji Karşılama Oranları	Teknik ve Ekonomik Durum		Aylar												
				Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Toplam
PVGIS	**40,08%**	**Enerji Üretim Miktarı (kW)**		625,7	833,6	1447,6	2037,3	2483,5	2720,5	2920,8	2587,7	1829,1	1207,4	776,9	572,9	**20043**
		Emisyon Durumu	**SO_2 (kg)**	6,38	5,93	5,89	4,61	4,93	4,42	3,98	4,70	5,05	6,41	6,05	6,49	**64,9**
			CO_2 (kg)	2574,4	2392,6	2376	1860,2	1990,5	1783,3	1608,4	1899,5	2042	2585,8	2441,5	2619,9	**26180**
		Maliyet Analizi	**NPC (USD)**	4821	6425	11162	15713	19154	20982	22525	19956	14109	9310	5986	4412	**154613,08**
			OPEX (USD)	329	439	763	1074	1309	1434	1540	1364	964	636	409	301	**10573,22**
			LCOE (USD)	0,007	0,009	0,017	0,023	0,029	0,031	0,034	0,03	0,021	0,014	0,009	0,006	**0,2357**

Deniz taşıtının yıllık ihtiyaç duyduğu enerji miktarı 49991 kW olup simülasyon programları tarafından üretilen enerji üretim miktarları, ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranları, emisyon durumu ve maliyet analizine ilişkin sonuçlar Tablo 4.8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Teknik ve ekonomik durum analizi

PV Güç Sistemi	Yıllık Enerji Karşılama Oranları	Teknik ve Ekonomik Durum		Aylar												
				Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Toplam
HOMER	46,39%	Enerji Üretim Miktarı (kW)		1424	1525	1924	1925	2424	2425	2624	2525	2424	1925	1224	825	**23193**
		Emisyon Durumu	SO_2 (kg)	5,24	4,37	5,24	5,02	5,67	5,24	5,24	5,45	4,37	5,45	5,02	6,32	**62,7**
			CO_2 (kg)	2113,8	1763,2	2113,8	2025,5	2288,6	2112,9	2113,8	2200,3	1764,1	2200,3	2026,3	2550	**25273**
		Maliyet Analizi	NPC (USD)	10984	11763	14841	14849	18698	18706	20241	19477	18698	14849	9441	6364	**178912,4**
			OPEX (USD)	751	804	1014	1015	1278	1279	1384	1331	1278	1015	645	435	**12234,94**
			LCOE (USD)	0,016	0,017	0,022	0,022	0,028	0,028	0,03	0,029	0,028	0,022	0,014	0,009	**0,2728**
SAM	42,48%	Enerji Üretim Miktarı (kW)		597	866	1137	2116	3027	2806	3377	2636	2027	1236	867	546	**21238**
		Emisyon Durumu	SO_2 (kg)	6,44	5,85	6,56	4,43	3,75	4,23	2,99	4,60	4,63	6,34	5,85	6,55	**62,3**
			CO_2 (kg)	2598,9	2363,7	2646,9	1791,1	1515,8	1709	1209,8	1857,6	1868,9	2560,4	2362,8	2643,4	**25135**
		Maliyet Analizi	NPC (USD)	4605	6680	8770	16322	23350	21645	26050	20334	15636	9534	6688	4211	**163831,39**
			OPEX (USD)	314	456	599	1116	1596	1480	1781	1390	1069	651	457	288	**11203,62**
			LCOE (USD)	0,007	0,01	0,013	0,024	0,035	0,033	0,039	0,031	0,023	0,014	0,01	0,006	**0,2498**
RETSCREEN	40,12%	Enerji Üretim Miktarı (kW)		725,4	948,2	1533,5	1905,9	2482,9	2687,1	2773,3	2448,9	1901,5	1279,3	779,3	594,1	**20059**
		Emisyon Durumu	SO_2 (kg)	6,16	5,68	5,70	4,90	4,93	4,49	4,30	5,01	4,90	6,25	6,05	6,45	**64,9**
			CO_2 (kg)	2487	2292,1	2300,8	1975,6	1991,3	1813	1736,9	2021,1	1979,1	2522,8	2439,8	2601,5	**26166**
		Maliyet Analizi	NPC (USD)	5592	7312	11825	14695	19146	20727	21391	18883	14664	9866	6009	4582	**154736,5**
			OPEX (USD)	382	500	808	1004	1309	1417	1462	1291	1002	674	410	313	**10581,66**
			LCOE (USD)	0,008	0,011	0,018	0,022	0,029	0,031	0,032	0,028	0,022	0,015	0,009	0,006	**0,2359**
PVSOL	40,83%	Enerji Üretim Miktarı (kW)		1047,9	1200,8	1697,7	1832,4	2237	2319,6	2394,9	2262	1897,4	1521,5	1065	939,1	**20415**
		Emisyon Durumu	SO_2 (kg)	7,05	5,64	5,59	4,88	4,32	3,76	3,99	4,35	4,77	6	6,59	7,28	**64,3**
			CO_2 (kg)	2847	2278,5	2257,4	1970,5	1745	1519,5	1613,4	1756,4	1926,6	2431,1	2661,9	2940,9	**25949**
		Maliyet Analizi	NPC (USD)	8076	9256	13090	14132	17256	17888	18467	17449	14633	11733	8215	7243	**157482,71**
			OPEX (USD)	552	633	895	966	1180	1223	1262	1193	1000	802	561	495	**10769,46**
			LCOE (USD)	0,012	0,014	0,019	0,021	0,026	0,027	0,028	0,026	0,022	0,017	0,012	0,011	**0,2401**
PVSYST	40,74%	Enerji Üretim Miktarı (kW)		713	870	1492	2064	2699	2903	2859	2484	1832	1170	720	564	**20371**
		Emisyon Durumu	SO_2 (kg)	6,19	5,85	5,79	4,55	4,46	4,02	4,12	4,93	5,05	6,49	6,17	6,51	**64,2**
			CO_2 (kg)	2497,5	2360,2	2336,6	1836,6	1802,5	1624,2	1662,6	1990,5	2039,4	2618,1	2491,4	2627,7	**25894**
		Maliyet Analizi	NPC (USD)	5500	6711	11509	15921	20820	22393	22054	19161	14132	9025	5554	4350	**157143,29**
			OPEX (USD)	376	458	787	1088	1423	1531	1508	1310	966	617	379	297	**10746,25**
			LCOE (USD)	0,008	0,01	0,017	0,024	0,031	0,034	0,033	0,029	0,021	0,013	0,008	0,006	**0,2396**
PVWATTS	40,16%	Enerji Üretim Miktarı (kW)		563	808	1365	1972	2507	2796	3119	2714	1849	1255	725	407	**20080**
		Emisyon Durumu	SO_2 (kg)	6,51	5,98	6,06	4,75	4,88	4,25	3,55	4,43	5,01	6,30	6,16	6,85	**64,8**
			CO_2 (kg)	2628,6	2414,5	2447,7	1917,1	1970,4	1717,7	1435,4	1789,4	2024,6	2543,9	2487	2765	**26148**
		Maliyet Analizi	NPC (USD)	4343	623	10529	15212	19339	21568	24060	20935	14263	9681	5592	3139	**154898,5**
			OPEX (USD)	296	426	720	1040	1322	1474	1645	1431	975	662	382	214	**10592,74**
			LCOE (USD)	0,006	0,009	0,016	0,023	0,029	0,032	0,036	0,031	0,021	0,014	0,008	0,004	**0,2361**
PVGIS	40,08%	Enerji Üretim Miktarı (kW)		625,7	833,6	1447,6	2037,3	2483,5	2720,5	2920,8	2587,7	1829,1	1207,4	776,9	572,9	**20043**
		Emisyon Durumu	SO_2 (kg)	6,38	5,93	5,89	4,61	4,93	4,42	3,98	4,70	5,05	6,41	6,05	6,49	**64,9**
			CO_2 (kg)	2574,4	2392,6	2376	1860,2	1990,5	1783,3	1608,4	1899,5	2042	2585,8	2441,5	2619,9	**26180**
		Maliyet Analizi	NPC (USD)	4821	6425	11162	15713	19154	20982	22525	19956	14109	9310	5986	4412	**154613,08**
			OPEX (USD)	329	439	763	1074	1309	1434	1540	1364	964	636	409	301	**10573,22**
			LCOE (USD)	0,007	0,009	0,017	0,023	0,029	0,031	0,034	0,03	0,021	0,014	0,009	0,006	**0,2357**

Simülasyon programları tarafından üretilen enerji üretim miktarları, ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranları, emisyon durumu ve maliyet analizine ilişkin sonuçlar incelendiğinde yıl boyunca PV güç sistemi ile ortalama 20771 kW enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. En yüksek enerji üretimi 23193 kW ile HOMER simülasyon programından elde edilmiştir. En düşük enerji üretimi ise 20043 kW ile PVGIS simülasyon programından elde edilmiştir. Üretim miktarlarına göre verimlilik oranları ise en yüksekten en düşüğe doğru sırasıyla HOMER, SAM, PVSOL, PVsyst, PVWatts, RETScreen ve PVGIS şeklindedir. İhtiyaç duyulan enerjiyi karşılamada HOMER simülasyon programı % 46,39 oranı ile en yüksek sırayı almıştır. PVGIS simülasyon programı ise % 40,08 oranı ile en düşük sırayı almıştır. İhtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranlarına göre simülasyon programları en yüksekten en düşüğe doğru sırasıyla HOMER, SAM, PVSOL, PVsyst, PVWatts, RETScreen ve PVGIS şeklindedir. Emisyon sonuçları incelendiğinde SO_2 emisyonlarında RETScreen ve PVGIS 64,9 kg ile en üst sırada yer almakta olup onları sırasıyla PVWatts, PVSOL, PVsyst, HOMER ve SAM programları takip etmektedir. En düşük SO_2 emisyonu 62,3 kg ile SAM simülasyon programından elde edilmiştir. CO_2 emisyonlarında ise PVGIS 26180 kg ile en üst sırada yer almakta olup onları sırasıyla RETScreen, PVWatts, PVSOL, PVsyst, HOMER ve SAM programları takip etmektedir. En düşük CO_2 emisyonu 25135 kg ile SAM simülasyon programından elde edilmiştir. Sistemlere ait maliyet analizi incelendiğinde NPC değerlerinde HOMER 178912,4 USD ile en üst sırada yer almakta olup onları sırasıyla SAM, PVSOL, PVsyst, PVWatts, RETScreen ve PVGIS programları takip etmektedir. En düşük NPC değeri 154613,08 USD ile PVGIS simülasyon programından elde edilmiştir. OPEX değerlerinde HOMER 12234,94 USD ile en üst sırada yer almakta olup onları sırasıyla SAM, PVSOL, PVsyst, PVWatts, RETScreen ve PVGIS programları takip etmektedir. En düşük OPEX değeri 10573,22 USD ile PVGIS simülasyon programından elde edilmiştir. LCOE değerlerinde ise HOMER 0,2728 USD ile en üst sırada yer almakta olup onları sırasıyla SAM, PVSOL, PVsyst, PVWatts, RETScreen ve PVGIS programları takip etmektedir. En düşük LCOE değeri 0,2357 USD ile PVGIS simülasyon programından elde edilmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada açık denizlerde seyir yaparak sürekli konumu değişen deniz taşıtlarında güneş radyasyon değerinin YSA ile tahmini yapılarak deniz taşıtı üzerinde PV güç sistemlerini optimal bir şekilde kullanmak için yeni bir yaklaşım getirme hedeflenmiştir. Marmara Denizi üzerinde belirlenen bir alanda referans noktaları alınmıştır ve bu noktalara ilişkin güneş radyasyon değerleri kullanılarak alanın tamamına ait yıllık ortalama güneş radyasyonu hesaplanmıştır. Kullanılan YSA metodu ile belirlenmiş bir alana ait tüm noktaların güneş radyasyon değerini almak yerine bazı referans noktalar kullanılarak aynı işlemin gerçekleştirilebileği görülmüştür. Bu sayede zamandan ve insan gücünden tasarruf sağlanmıştır. İncelenen deniz taşıtının yıllık güç ihtiyacı 49991 kW'tır. Elde edilen güneş radyasyonu değerlerini kullanarak HOMER, SAM, RETScreen, PVSOL, PVsyst, PVWatts ve PVGIS simülasyon programlarında PV Güç Sistemi karşılaştırmalı teknik ve ekonomik analizi yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde HOMER simülasyon programı 23193 kW ile en yüksek enerji üretimini ve % 46,39 ile en yüksek enerji ihtiyacı karşılama oranını sağlamasına rağmen, 178912,4 USD NPC ve 12234,94 USD OPEX değerleri ile maliyet açısından en pahalı seçenek olduğu görülmektedir. PVGIS simülasyon programı 20043 kW ile en düşük enerji üretimi ve % 40,08 ile en düşük enerji ihtiyacı karşılama oranı ile en alt sırada yer almasına rağmen, 154613,08 USD NPC ve 10573,22 USD OPEX değerleri ile en düşük maliyet ve işletme giderleriyle ekonomik bir seçenek olduğu görülmektedir. RETScreen ve PVGIS simülasyon programları 64,9 kg SO_2 emisyon değeri ve PVGIS simülasyon programı 26180 kg CO_2 emisyon değeri ile en üst sırada yer alırken, maliyet açısından ise en düşük oldukları görülmektedir. SAM simülasyon programı 62,3 kg SO_2 ve 25135 kg CO_2 ile en düşük emisyon değerlerine sahip olmasıyla çevresel açıdan en avantajlı seçenek olarak öne çıkmaktadır. Verimlilik açısından ilk sıralarda yer alan programlar daha yüksek maliyetlere sahip olurken, son sıralarda yer alan programlar ise düşük maliyet avantajı sunmaktadır. Genel olarak bakıldığında yıl boyunca PV güç sistemi ile ortalama 20771 kW enerji üretimi gerçekleştiği görülmektedir. Simülasyon ve mevcut haliyle kullanıma göre emisyon sonuçları incelendiğinde ise SO_2 emisyonlarında yıllık ortalama 45,01 kg iyileşme sağlandığını ve CO_2 emisyonlarında ise yıllık ortalama 18166 kg iyileşme görülüp çevresel etkiler azaltılmıştır. Maliyet analizi incelendiğinde NPC değerlerinde

ortalama 166762,74 USD yatırım gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Sistemin indirgenmiş enerji maliyeti incelendiğinde ortalama 0,2542 USD olduğu ve enerji maliyetini standart uygulamalara göre azaltıldığı gözlemlenmektedir. Bu çalışma ile geleneksel yakıtlar ile denize ve atmosfere salınan yakıt sızıntıları ve karbon salınımının azaltılabileceği görülmüştür. Bunun yanı sıra, yenilikçi enerji depolama sistemleriyle desteklenerek güneş ışığının yetersiz olduğu saatlerde de kesintisiz güç sağlanması hedeflenmektedir. Bu sayede, fosil yakıtlara olan bağımlılık önemli ölçüde azalırken, gemilerin operasyonel verimliliği artırılmaktadır. Bu çalışmanın uzun süreli seyir yapan gemilerin yenilenebilir enerji sistemlerinden faydalanmasında, doğaya salınan emisyonların azaltılmasında ve maliyetten tasarruf edilmesinede yardımcı olacağı değerlendirilmektedir. Bu sistemin yaygınlaşmasıyla birlikte, deniz taşımacılığında yeşil enerji dönüşümüne katkı sağlanması ve uluslararası çevre politikalarına uyumun kolaylaştırılması öngörülmektedir. Uzun vadede, bu tür yenilenebilir enerji sistemlerinin denizcilik sektöründe standart bir uygulama haline gelmesi ve karbon nötr taşımacılık hedeflerine ulaşılması açısından önemli bir adım olduğu değerlendirilmektedir. Bu sistem, deniz taşıtlarının enerji ihtiyacını PV güç sistemleriyle karşılayarak geleneksel yakıt tüketimini azaltıp çevresel etkileri minimum seviyeye düşürmektedir. Aynı zamanda düşük enerji maliyeti ve sürdürülebilirlik sağlayarak ekonomik ve çevresel faydalar sunmaktadır. Bu çalışmanın gelecekte yapılacak olan hareket halindeki PV güç sistemi tasarımlarına örnek bir model teşkil edeceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Haydaroğlu, C., Gümüş, B. (2016). Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin PVsyst ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7, 491-500.

[2] Küçükgöze, O. M. (2016). Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan, Türkiye, 25-26.

[3] Sayın, S., Koç, İ. (2011). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (PV) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 26(3), 89-106.

[4] Kapluhan, E. (2015). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Güneş Enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi, 29, 70-98.

[5] Rashad, M., Samahy, A. A., Daowd, M., Amin, A. M. (2013). A Comparative Study on Photovoltaic and Concentrated Solar Thermal Power Plants. Recent Advances in Environmental and Earth Sciences and Economics, 167-173.

[6] Sağlam, Ş. (2006). Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Aydınlatma Sisteminin Bulanık Mantık ile Kontrolü. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 4-7.

[7] Chu, Y. (2011). Review and Comparison of Different Solar Energy Technologies. Research Associate Global Energy Network Institute (GENI), 619, 595-0139.

[8] İzmirli, A. C. (2022). 200 KW'lık PV Güneş Enerji Güç Sisteminin RETScreen Programı Kullanılarak Amortisman ve Enerji Analizlerinin İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Hatay, Türkiye, 4.

[9] Yiğit, K. (2019). Gemi Teknolojisinde Alternatif Enerji Sistemlerinin Kullanım Potansiyelinin İncelenmesi. Gemi ve Deniz Teknolojisi, 214, 5-18.

[10] Demirgil, B., Orun, A. F. (2021). Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırımlarına Yönelik Teşvikler ve Yenilenebilir Enerjinin Ekonomik Etkileri. International Journal of Economic and Administrative Academic Research, 1(2), 90-112.

[11] Taşkın, O., Korucu, T. (2014). Kahramanmaraş İli Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Kullanım Olanakları. KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi, 17(4), 12-16.

[12] Alcan, Y., Demir, M., Duman, S. (2018). Sinop İlinin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Ülkemiz ve Almanya ile Karşılaştırılarak İncelenmesi. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 5(1), 35-44.

[13] TEİAŞ, 2023 Yılı Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynakları Dağılımı,

https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri. 01 Şubat 2025.

[14] Bilgin, S. (2012). Rüzgâr Hidroelektrik ve Termik Santrallerin Ekonomik ve Çevresel Açıdan Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 12.

[15] İnce, İ. T. (2021). Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretiminde Örnek Uygulamalar. İstanbul Arel Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Disiplinlerarası Yenilik Araştırmaları Dergisi, 1(1), 1-10.

[16] Kandilci, G. N. (2017). Türkiye için global güneş radyasyonu persistans haritalarının oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 24-26.

[17] Akar, O. (2011). Akıllı Yapılarda Yenilenebilir Enerji Kaynakları Tabanlı Elektrik Üretimi ve Kullanımının Teknik ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 28-30.

[18] Dursun, S. (2016). Biyokütle-Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Üretim Sistemi Kullanılarak Kırklareli Üniversitesi Kayalı Yerleşkesinin Tekno-Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli, Türkiye, 15.

[19] Dincer, F. (2011). Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli - Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme. KSU Mühendislik Dergisi, 14(1), 8-17.

[20] SOLARGIS, Solar Resource Maps of World, Solar resource maps & GIS data for 200+ countries | Solargis. 02 Şubat 2025.

[21] ETKB, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bilgi Merkezi, Güneş - T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı . 02 Şubat 2025.

[22] GEPA, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, GEPA. 02 Şubat 2025.

[23] ETKB, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bilgi Merkezi, Elektrik - T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 02 Şubat 2025.

[24] Mühendis Beyinler, Fotovoltaik (PV) Solar Sistem ve Elemanları, https://www.muhendisbeyinler.net/fotovoltaik-pv-solar-sistem-ve-elemanlari/. 20 Şubat 2025.

[25] Yiğit, F. (2023). Şebekeye Bağlı 1 MW Güneş Enerji Santralinin PVsyst ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, 12.

[26] Sharma, D. K. (2014). Review and Analysis of Solar Photovoltaic Softwares. International Journal of Engineering and Technology, 4(2), 725-731.

[27] Güneş Dükkan, Güneş Paneli Çeşitleri ve Özellikleri, https://www.gunesdukkan.com/gunes-paneli. 20 Şubat 2025.

[28] Gençgönül, B. Z., Gençgönül, A, S., Selbaş, R. (2024). Üniversite Kampüsünde Solar Panel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Analizi: ISUBU Örneği. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24, 1421-1430.

[29] Güneş, C. (2021). Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı, Bakımı, Onarımı ve İşletilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Adıyaman, Türkiye, 29-34.

[30] Şahin, A. (2024). Bir Güneş Enerjisi Santralinin PVSOL ve PVsyst Programları Aracılığıyla Tasarım ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 63.

[31] Ekmekçi, M. (2022). Kendi Gücünü Sağlayan Giyilebilir Elektronik Teknolojilerde Kullanılan Esnek Güneş Hücreleri. Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi, 2022(1), 22-33.

[32] Gelen, A., Ayık, M. (2019). Gerçek Bir Pv Sistem için Akü Şarj Devresi Tasarımı. International Journal of Multidiciplinar Studies and Innovative Technologies, 169-198.

[33] Haydaroğlu, C. (2017). Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, Türkiye, 23,43.

[34] Kumar, R., Raj, A., Kumar, K., Kumar, D. (2020). Quantitative Assessment of Roof Top Solar Photovoltaic Power: A Case Study From University Hostel of Dr. Rajendra Prasad Central Agricultural University, Pusa. International Journal of Chemical Studies, 2481-2484.

[35] Öztürk, Z. (2022). Güç Sistemlerinde Enerji Yönetimi Analizi ve Uygulaması. Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce, Türkiye, 33,34.

[36] Elseroof, On Grid (Şebekeye Bağlı) Sistemler, https://www.elseroof.com/hizmetlerimiz/on-grid-sistemler/. 09 Şubat 2025.

[37] Singh, G. K. (2016). Solar Power Generation By PV (Photovoltaic) Technology. A review Energy, 1-13.

[38] Roba Enerji, Şebekeden Bağımsız Sistemler (Off-Grid), https://www.robaenerji.com.tr/hizmetdetay/sebekeden-bagimsiz-sistemler-off-grid. 09 Şubat 2025.

[39] Yin, Q., Li, A., Han, C. (2024). The Role of Solar Photovoltaic Roofs in Energy-Saving Buildings: Research Progress and Future Development Trends. Buildings 2024, 14(10), 1–25.

[40] Mangherini, G., Diolaiti, V., Bernardoni, P., Andreoli, A., Vincenzi, D. (2023).

Review of Façade Photovoltaic Solutions for Less Energy-Hungry Buildings. Energies 2023, 16(19), 1–35.

[41] Dutta, R., Chanda, K., Maity, R. (2022). Future of solar energy potential in a changing climate across the world: A CMIP6 multi-model ensemble analysis. Renewable Energy, 188, 819–829.

[42] Jimenez, V. J., Kim, H., Munim, Z. H. (2022). A review of ship energy efficiency research and directions towards emission reduction in the maritime industry. Journal of Cleaner Production, 366, 1–14.

[43] Koca, A., Oztop H. F., Varol, Y., Koca, G. O. (2011). Estimation of Solar Radiation Using Artificial Neural Networks with Different Input Parameters for Mediterranean Region of Anatolia in Turkiye. Expert Systems with Applications, 38(7), 8756–8762.

[44] Marti, P., Gasque, M. (2011). Improvement of Temperature-Based ANN Models for Solar Radiation Estimation Through Exogenous Data Assistance. Energy Conversion and Management, 52(2), 990-1003.

[45] Selbaş, R., Şencan, A., Kılıç, B. (2009). Alternative Approach in Thermal Analysis of Plate Heat Exchanger. Heat Mass Transfer, 45, 323–329.

[46] Moghadassi, A., Parvizian, F., Hosseini, S. M. (2009). A New Approach Based on Artificial Neural Networks for Prediction of High Pressure Vapor–Liquid Equilibrium. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3, 1851–1862.

[47] Heidari, E., Sobati, M. A., Movahedirad, S. (2016). Accurate Prediction of Nanofluid Viscosity Using a Multilayer Perceptron Artificial Neural Network (MLP-ANN). Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 155, 73–85.

[48] Atik, K., Deniz, E., Yıldız, E. (2007). Meteorolojik Verilerin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 10(1), 148–152.

[49] Akpaba, Y. S., Ebong, U. R., Ogbonnaya, E. A. (2017). Design and Construction of Solar Electric Tourboat Model. Journal of Scientific and Engineering Research, 4(5), 174-183.

[50] Green, M., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., Dunlop, E., Barkhouse, D., Gunawan, O., Gokmen, T., Todorov, T., Mitzi, D. (2012). A Review of Floating Photovoltaic Installations: 2007–2013. Ieee Trans Fuzzy Syst 20, 1114–1129.

[51] Program, E.S.M.A. (2019). Where Sun Meets Water: Floating Solar Handbook for Practitioners, Singapore.

[52] Umoette, A.T., Ubom, E.A., Festus, M.U. (2016). Design of Stand Alone Floating PV System for Ibeno Health Centre. Science Journal of Energy Engineering, 4(6), 56–61.

[53] Sacramento, E. M. D., Carvalho, P. C. M., Araujo, J. C. D., Riffel, D. B., Correa,

R. M. D. C., Neto, J. S. P. (2015). Scenarios for Use of Floating Photovoltaic Plants in Brazilian Reservoirs. IET Renewable Power Generation, 9 (8), 1019-1024.

[54] Majid, Z. A. A., Ruslan, M. H., Sopian, K. B., Othman, M. Y., Azmi, M. S. M. (2014). Study on Performance of 80 Watt Floating Photovoltaic Panel. Journal of Mechanical Engineering and Sciences, 7, 1150-1156.

[55] Yang, H. N., Lee, G. U., Shin, C. H. (2019). A Study on the Priority Analysis of Government Support Policies for SOx Emission of Ships. Journal of Navigation and Port Research, 43(2), 86–92.

[56] Diab, F., Lan, H., Ali, S. (2016). Novel Comparison Study Between the Hybrid Renewable Energy Systems on Land and on Ship. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 63, 452-463.

[57] Tercan, Ş. (2021). Sürdürülebilir Ulaşım İçin Güneş Enerjili Teknelerin Kullanılması ve Çevresel Etkileri. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 33(1), 223–232.

[58] Liu, H., Zhang, Q., Qi, X., Han, Y., Lu, F. (2017). Estimation of PV Output Power in Moving and Rocking Hybrid Energy Marine Ships. Applied Energy, 204, 362-372.

[59] Seanews, Solar powered ferry comes to carry Hong Kong Jockey Club golfers, https://www.seanews.com.tr/solar-powered-ferry-comes-to-carry-hong-kong-jockey-club-golfers/74693/. 12 Ekim 2024.

[60] Shipspotting, Solar Albatross Ship Information, http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=2481701. 12 Ekim 2024.

[61] Businessgreen, First Solar Powered Container Ship Sets Sail, https://www.businessgreen.com/bg/news/1802121/first-solar-powered-container-ship-sets-sail. 12 Ekim 2024.

[62] GloMEEP, Solar Panels, http://glomeep.imo.org/technology/solar-panels/. 12 Ekim 2024.

[63] Tural, B., Koca, E., Ok Davarcı, Z., Akar, O. (2024). PV-Based Electricity Production and Storage in Marine Vehicles. 2024 11th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, 327-332.

[64] Aydın, M. S. (2019). Temiz Enerji Kaynakları ve Denizcilik Uygulamaları. Researchgate, 1-19.

[65] Pinterest, Planet Solar, Planet Solar Boat - Arch2O.com. 16 Şubat 2025

[66] Özbay, K., Sarıışık, M. (2020). Yatlarda Kullanılan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisi Üzerine Bir Değerlendirme. Journal of Gastronomy, Hospitality and Travel (JOGHAT), 3(2), 234-243.

[67] Dünya Halleri, Solar Impact, https://www.dunyahalleri.com/sadece-gunes-enerjisiyle-okyanuslari-asmak-mumkun/. 16 Şubat 2025.

[68] Vira Haber, Silent 55, Güneş enerjili çevre dostu yat. 16 Şubat 2025

[69] Hurtigruten, Enerji tasarruflu bir gemi, https://www.hurtigruten.com/en/about-us/sustainability/worlds-most-energy-efficient-cruise-ship. 16 Şubat 2025.

[70] Kıyançiçek, E. (2013). Fotovoltaik Sistemlerin Boyutlandırılması İçin PVS2 Paket Programının Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, 66.

[71] Lalwani, M., Kothari, D. P., Singth, M. (2010). Investigation of Solar Photovoltaic Simulation Softwares. International Journal of Applied Engineering Research, 1(3), 585-601.

[72] Gurupira, T., Rix, A. J. (2017). PV Simulation Software Comparisons: PVsyst, NREL SAM and PVlib. Southern African Universities Power Engineering Conference (SAUPEC).

[73] Kumar, B. S., Sudhakar, K. (2015). Performance Evaluation of 10 MW Grid Connected Solar Photovoltaic Power Plant in India. Energy Reports, 1 (C), 184-192.

[74] Axaopoulos, P. J., Fylladitakis, E. D., Gkarakis, K. (2014). Accuracy Analysis of Software for the Estimation and Planning of Photovoltaic Installations. International Journal of Energy and Environmental Engineering, 5(1), 1-7.

[75] Gupta, A., Cemesova, A., Hopfe C. J., Rezgui, Y., Sweet T. K. N. (2014). A Conceptual Framework to Support Solar PV Simulation Using an Open-BIM Data Exchange Standard. Automation in Construction, 37, 166-181.

[76] Tamizhmani, G., Ishioye, J.P., Voropayev, A., Kang, Y. (2008). Photovoltaic Performance Models: an Evaluation with Actual Field Data. The International Society for Optical Engineering, 7048, 248-256.

[77] NASA, Prediction of Worldwide Energy Resources, https://power.larc.nasa.gov/. 14 Şubat 2025.

[78] Mavi Marmara, Çamlimanı İsimli B Sınıfı Motor, https://mavimarmara.net/. 28 Eylül 2024.

[79] Argefen, 400 Watt Monokristal Perc Güneş Paneli, https://www.argefen.com/urun/400-watt-monokristal-perc-gunes-paneli-solar-panel. 10 Şubat 2025.

[80] Oz, O., Sahin, M., Akar, O. (2023). Modeling of an HPS for the Electric Power Demand of the Cattle Farm Using Genetic Algorithm. Heliyon, 9(6), 2023.

[81] Ozturk, Z., Tosun, S., Ozturk, A. (2019). Örnek Bir Hibrit Yenilenebilir Enerji Sisteminin HOMER ile Modellenmesi, Ekonomik ve Teknik Yönden Analizleri. Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(2), 286 – 299.

[82] Miao, C., Teng, K., Wang, Y., Jiang, L. (2020). Techno economic Analysis on a Hybrid Power System for the UK Household Using Renewable Energy: A Case Study. Energies 2020, 13(12), 3231.

[83] Al-Turjman, F., Qadir, Z., Abujubbeh, M., Batunlu, C. (2020). Feasibility Analysis of Solar Photovoltaic-Wind Hybrid Energy System for Household Applications. Computers & Electrical Engineering, 86(8).

[84] ENF, BAE SUNDEPOT 48-420 Depolama Sistemi, https://www.enf.com.cn/z/pp/r78xc3qvc8w/5aa8e60d03e2f.pdf. 15 Şubat 2025.

[85] Bueno, A. F., Branda, C. A. (2016). Technology and Market Overview for Electric Energy Storage Systems in Brazil.

[86] Ozturk, Z., Tosun, S., Ozturk, A., Akar, O. (2021). Comparative Evaluation of Stand-Alone Hybrid Power System with Different Energy Storages. Fresenius Environmental Bulletin, 30(9), 10908-10924.

[87] Jahangiri, M., Haghani, A., Shamsabadi, A. A., Mostafaeipour, A., Pomares, L. M. (2019). Feasibility Study on the Provision of Electricity and Hydrogen for Domestic Purposes in the South of Iran Using Grid-Connected Renewable Energy Plants. Energy Strategy Reviews, 23, 23-32.

[88] SMA, https://www.sma.de/en/products/hybrid-inverters/sunny-boy-smart energy. 23 Şubat 2025.

[89] CAT, https://www.cat.com/en_US/products/new/power-systems/electric-power.html. 10 Mart 2025.

[90] Şeker, M. (2021). Yapay Sinir Ağı (YSA) Kullanılarak Meteorolojik Verilere Dayalı Solar Radyasyon Tahmini. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 23(69), 923–935.

[91] Ok Davarcı, Z., Akar, O. (2024). Estimation of the electricity to be generated at different wind speeds and turbines through fuzzy logic and ANN, A case study of Balıkesir. International journal of energy studies, 9(1), 115-133.

[92] Şahan, M. (2021). Yapay Sinir Ağları ve Angström-Prescott Denklemleri Kullanılarak Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş İçin Global Güneş Radyasyonu Tahmini. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 16(2), 368–384.

[93] Ok Davarcı, Z., Akar, O., Terzi, Ü. K., (2023). Comparison of Road Luminance Data Estimated by Fuzzy Logic and ANN, A Case study of Kocaeli Sakıp Sabancı Street. European Journal of Technique, 13(2), 150-158.

[94] Changa, N. B., Daranpob, A., Yang, Y. J., Jin, K. R. (2009). Comparative Data Mining Analysis for Information Retrieval of MODIS Images: Monitoring Lake Turbidity Changes at Lake Okeechobee, Florida. Journal of Applied Remote Sensing, 3,

1-19.

[95] Amanollahi, J., Kaboodvandpour, S., Majidi, H. (2017). Evaluating the accuracy of ANN and LR models to estimate the water quality in Zarivar International Wetland, Iran. Natural Hazards, 85, 1511-1527.

[96] Zhang, T., Liu, Y., Rao, Y., Li, X., Zhao, Q. (2020). Optimal Design of Building Environment with Hybrid Genetic Algorithm, Artificial Neural Network, Multivariate Regression Analysis and Fuzzy Logic Controller. Building and Environment, 175.

[97] Naderloo, L. (2020). Prediction of Solar Radiation on the Horizon Using Neural Network Methods, ANFIS and RSM (Case Study: Sarpol-e-Zahab Township, Iran). J. Earth Syst. Sci., 129, 148.

[98] Ok Davarcı, Z., Akar, O., Sahin, M. (2022). Luminance Measurement and Estimation Methods in Road. Light and Engineering, 30(6), 106-123.

[99] Ariman, S., Taflan, G. Y., Çelik, E. (2021). Samsun Bölgesi için Güneş Radyasyonunun Yapay Sinir Ağı ile Tahmini. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 25, 680–687.

[100] Akar, O. (2022). Estimation through ANN of Voltage Drop Resulting from Overloads on Power Transformers. European Journal of Technique, 12(2), 198-203.

[101] Ulutürk, Ş. (2020). Karabük Üniversitesi Mikroşebekesinin Tasarımı ve Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, Türkiye, 47.

[102] Basheer I., Hajmeer M. N. (2001). Artificial Neural Networks: Fundamentals, Computing, Design, and Application. Journal of Microbiological Methods, 43(1), 3- 31.

[103] HOMER Energy, https://www.HOMERenergy.com/. 27 Ekim 2024.

[104] Lambert, T., Gilman P., Lilienthal, P. (2006). Micropower System Modeling with HOMER. Integration of Alternative Sources of Energy, 379-418.

[105] Farret, F. A., Simoes M. G. (2006). Integration of Alternative Sources of Energy. IEEE press, 494.

[106] Demirci, A., Akar, O., Ozturk, Z. (2022). Technical-Environmental-Economic Evaluation of Biomass-Based Hybrid Power System with Energy Storage for Rural Electrification. Renewable Energy, 195, 1202–1217.

[107] Akar, O., Terzi, U. K., Sonmezocak, T., Tuncalp B. K. (2019). Determination of the Optimum Hybrid Renewable Power System: A Case Study of Istanbul Gedik University Gedik Vocational School. Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering, 7, 456-463.

[108] System Advisor Model, https://sam.nrel.gov/ . 16 Şubat 2025.

[109] Wagner, M. J., Gilman, P. (2011). Technical Manual for the SAM Physical

Trough Model. National Renewable Energy Laboratory Technical Report, NREL/TP-5500-51825.
https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/51825.pdf

[110] Muhammad, A., Umer, M. Abid, Z. (2021). Potential of Floating Photovoltaic Technology in Pakistan. Sustain Energy Technologies and Assessments, 43(4), 100976. https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100976.

[111] Mehmood, A., Shaikh, F. A., Waqas, A. (2014). Modeling of the Solar Photovoltaic Systems to Fulfill the Energy Demand of the Domestic Sector of Pakistan Using RETScreen Software. International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE), 1-7.

[112] Thevenard, D., Leng, G., Martel, S. (2000). The RETScreen Model for Assessing Potential PV Projects. IEEE Photovoltaic Specialists Conference-2000, 1626-1629.

[113] RETScreen, Natural Resources Canada, http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465. 16 Şubat 2025.

[114] RETScreen, RETScreen Clean Energy Project Analysis Software, http://en.openei.org/wiki/RETScreen_Clean_Energy_Project_Analysis_Software. 02 Kasım 2024.

[115] Owolabi, A.B., Nsafon, B.E.K., Huh, J.S. (2019). Validating the Techno-Economic and Environmental Sustainability of Solar PV Technology in Nigeria Using RETScreen Experts to Assess Its Viability. Sustain Energy Technologies and Assessments, 36, 1-11.

[116] PVSOL, PVSOL Software, https://pvsol.software/en/features-pricing. 16 Şubat 2025.

[117] Umar, N., Bora, B., Banerjee, C., Panwar, B. S. (2018). Comparison of Different PV Power Simulation Softwares: Case Study on Performance Analysis of 1 MW Grid Connected PV Solar Power Plant. International Journal of Engineering Science Invention (IJESI), 7(7), 11-24.

[118] PVsyst, https://www.pvsyst.com/. 16 Şubat 2025.

[119] Bolat, M., Arifoğlu, U., Demiryürek, H. K. (2020). Lebit Enerji Güneş Santralinin Pvsyst Programı ile Analizi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(3), 1351-1363.

[120] Arslan, F., Türkdoğan, S. (2022). Kamu Binalarında Çatı Üzeri Fotovoltaik Panel Kurulum Potansiyelinin Belirlenmesi ve Enerji Üretim Artışı İçin Mimari Tasarımın Ele Alınması: Yalova İli Örneği. Journal of Innovative Engineering and Natural Science, 2(2), 76-94.

[121] NREL, PVWatts Calculator, https://pvwatts.nrel.gov/. 16 Şubat 2025.

[122] Snehith, B., Kulkarni, P. S. (2021). Techno-Economic Analysis of Proposed 10

MWP Floating Solar PV plant at Nagarjuna Sagar, Telangana, India: Part-1. 2021 International Conference on Communication, Control and Information Sciences (ICCISc), 1-6.

[123] European Commission, Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/methods. 24 Kasım 2024.

[124] PVGIS, PVGIS Calculator, https://pvgis.com/tr/manuel-5-3. 16 Şubat 2025.

[125] Dal, A. R., Yılmaz, F. (2020). Ticari Bir Yat Limanının Elektrik İhtiyacinin Fotovoltaik (PV) Teknoloji ile Karşılanmasına Yönelik Bir İnceleme. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25(3), 1189-1204.

EKLER

EK-1 Güneş radyasyon değerleri

	Aylar											
Sıra No	**Ocak**	**Şubat**	**Mart**	**Nisan**	**Mayıs**	**Haziran**	**Temmuz**	**Ağustos**	**Eylül**	**Ekim**	**Kasım**	**Aralık**
1	1,67	2,31	3,49	4,46	5,91	6,71	6,79	5,93	4,69	2,99	1,88	1,39
2	1,67	2,31	3,49	4,46	5,91	6,71	6,79	5,93	4,69	2,99	1,88	1,39
3	1,67	2,31	3,49	4,46	5,91	6,71	6,79	5,93	4,69	2,99	1,88	1,39
4	1,52	2,27	3,39	4,6	5,79	6,63	6,87	5,92	4,54	2,75	1,73	1
5	1,67	2,31	3,49	4,46	5,91	6,71	6,79	5,93	4,69	2,99	1,88	1,39
6	1,67	2,31	3,49	4,46	5,91	6,71	6,79	5,93	4,69	2,99	1,88	1,39
7	1,67	2,31	3,49	4,46	5,91	6,71	6,79	5,93	4,69	2,99	1,88	1,39
8	1,68	2,45	3,65	4,82	6,27	7,21	7,3	6,41	5,01	3,14	1,91	1,38
9	1,68	2,45	3,65	4,82	6,27	7,21	7,3	6,41	5,01	3,14	1,91	1,38
10	1,68	2,45	3,65	4,82	6,27	7,21	7,3	6,41	5,01	3,14	1,91	1,38
11	1,67	2,31	3,49	4,46	5,91	6,71	6,79	5,93	4,69	2,99	1,88	1,39
12	1,67	2,31	3,49	4,46	5,91	6,71	6,79	5,93	4,69	2,99	1,88	1,39

EK-2 Normalize edilmiş güneş radyasyon değerleri

Sıra No	Aylar											
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	0,952	0,363	0,384	0	0,214	0,125	0	0,020	0,319	0,615	0,833	1
2	0,952	0,363	0,384	0	0,214	0,125	0	0,020	0,319	0,615	0,833	1
3	0,952	0,363	0,384	0	0,214	0,125	0	0,020	0,319	0,615	0,833	1
4	0,238	0,181	0	0,378	0	0	0,129	0	0	0	0	0,142
5	0,952	0,363	0,384	0	0,214	0,125	0	0,020	0,319	0,615	0,833	1
6	0,952	0,363	0,384	0	0,214	0,125	0	0,020	0,319	0,615	0,833	1
7	0,952	0,363	0,384	0	0,214	0,125	0	0,020	0,319	0,615	0,833	1
8	1	1	1	0,972	0,857	0,906	0,822	1	1	1	1	0,928
9	1	1	1	0,972	0,857	0,906	0,822	1	1	1	1	0,928
10	1	1	1	0,972	0,857	0,906	0,822	1	1	1	1	0,928
11	0,952	0,363	0,384	0	0,214	0,125	0	0,020	0,319	0,615	0,833	1
12	0,952	0,363	0,384	0	0,214	0,125	0	0,020	0,319	0,615	0,833	1

ÖZGEÇMİŞ

Ad : Batuhan

Soyad : TURAL

1.Eğitim Bilgileri

2020, Milli Savunma Üniversitesi/Deniz Harp Okulu Komutanlığı/Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İstanbul

2014, Amasya Anadolu Lisesi, Amasya

2.Yabancı Diller

İngilizce

3.Çalışma alanları

Milli Savunma Bakanlığı (Suüstü Silah Sistemleri Mühendisi) **2020-Halen**