

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KATAR 2030 YILI ELEKTRİK ÜRETİM KAPASİTESİNİN GÜNEŞ
ENERJİSİ İLE ARTTIRIMI: ÇATI ÜSTÜ GÜNEŞ SİSTEMİ
TASARIMI VE ÇEVREYE KATKISI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emir ÇUBUKUÇU

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mühendislik Yönetimi Bilim Dalı

HAZİRAN 2023

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KATAR 2030 YILI ELEKTRİK ÜRETİM KAPASİTESİNİN GÜNEŞ
ENERJİSİ İLE ARTTIRIMI: ÇATI ÜSTÜ GÜNEŞ SİSTEMİ
TASARIMI VE ÇEVREYE KATKISI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emir ÇUBUKUÇU

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mühendislik Yönetimi Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz İPEK

HAZİRAN 2023

Emir ÇUBUKÇU tarafından hazırlanan “Katar 2030 Yılı Elektrik Üretim Kapasitesinin Güneş Enerjisi İle Arttırımı: Çatı Üstü Güneş Sistemi Tasarımı Ve Çevreye Katkısı” adlı tez çalışması 23.06.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Mühendislik Yönetimi Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Dr. Öğr. Üyesi Tuğba TUNACAN**
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz İPEK (Danışman)**.....
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Rıza ADALI**
Sakarya Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Katar 2030 Yılı Elektrik Üretim Kapasitesinin Güneş Enerjisi İle Arttırımı: Çatı Üstü Güneş Sistemi Tasarımı Ve Çevreye Katkısı” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(23/06/2023).

Emir ÇUBUKÇU





Sevgili annem ve kıymetli babama...



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşarak sürekli destek sağlayan ve her konuda yardımsever bir tutum sergileyen değerli hocam, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz İPEK'e, her zaman bana yardımcı olmak için çaba gösteren ve samimiyetiyle yaklaşan bu özel insan için içtenlikle teşekkür eder ve şükranlarımı sunarım.

Bu süreç boyunca bana inanan, desteklerini esirgemeyen ve hayatımın her anında yanımda olan sevgi dolu aileme minnettarım. Beni saygı ve sevgiyle yetiştiren, bana güvenerek bu noktaya gelmeme yardımcı olan ve her zaman desteğini sürdüren kıymetli annem ve babam başta olmak üzere, tüm aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, bu tezin gerçekleşmesine katkıda bulunan ve süreç boyunca desteklerini esirgemeyen tüm dostlarıma, arkadaşlarıma ve sevdiklerime teşekkürlerimi sunarım.

Emir ÇUBUKÇU



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Genel Amacı.....	5
1.2. Enerji Kaynakları ve Çeşitleri	6
1.2.1. Yenilenemez enerji kaynakları.....	7
1.2.1.1. Fosil enerji kaynakları.....	7
1.2.1.2. Nükleer enerji.....	9
1.2.2. Yenilenebilir enerji kaynakları.....	10
1.2.2.1. Hidrolik enerjisi	10
1.2.2.2. Rüzgâr enerjisi	11
1.2.2.3. Biyokütle enerjisi	11
1.2.2.4. Okyanus enerjisi.....	12
1.2.2.5. Jeotermal enerjisi	13
1.2.2.6. Güneş enerjisi.....	13
1.3. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri.....	16
1.3.1. Fotovoltaik (PV) güneş panelleri	18
1.3.2. Montaj sistemi.....	20
1.3.3. Invertör.....	21
1.3.4. Kablo ve bağlantı elemanları	22
1.3.5. Off-grid sistemlerde diğer donanımlar	23
1.3.5.1. Şarj kontrol cihazı	23
1.3.5.2. Aküler ve bataryalar.....	24
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	27
2.1. Elektrik Talep Tahmini İle İlgili Kaynak Araştırması	28
2.2. Güneş Enerjisi Sistemleriyle İlgili Kaynak Araştırması	31
3. KATAR'DA YENİLENEBİLİR ENERJİ POTANSİYELİ.....	35
3.1. Dünyada Yenilenebilir Enerji.....	35
3.2. Katar'da Yenilenebilir Enerji	36
3.3. Katar'ın Güneş Enerjisi Potansiyeli	40
3.4. Katar'da Elektrik Enerjisi.....	41
4. ELEKTRİK ENERJİSİ TALEP TAHMİNİ	43
4.1. Elektrik Enerjisi Talep Tahmini Analizleri	44

4.1.1. Çoklu doğrusal regresyon analizi	46
4.2. Elektrik Enerji Talep Tahmin Çalışması	47
4.2.1. Verilerin hazırlanması	47
4.2.2. Performans ölçütleri	51
4.2.3. Çoklu doğrusal regresyon analizi uygulaması	53
4.2.4. Model tahmin çıktısı	59
4.2.5. Model tahmin sonucu	60
5. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEM VERİMLİĞİNE ETKİLEYEN FAKTÖRLER..	61
5.1. Güneş Işınım Faktörü	61
5.2. Sıcaklık Etkisi.....	61
5.3. Hava Kirliliği Ve Panel Temizliği	63
5.4. Rüzgâr Hızı.....	63
5.5. Gölgeleme.....	64
5.6. PV Panel Verimi.....	65
5.7. İnvertör Verimi	66
5.8. Kablo Özellikleri	67
5.9. Diğer Kayıplar	67
6. MATERYAL VE METOT	69
6.1. Modellenen Konum ve Yapısal Özellikleri	70
6.2. Modellenen Konumun Işınım Verileri	71
6.3. Fotovoltaik (PV) Panel Seçimi	74
6.4. İnvertör Seçimi	75
6.5. Panel ve İnvertör Uyumluluk Hesabı	76
6.6. Kablo Seçimi ve Koruma Hesabı	80
6.6.1. DC kablo	80
6.6.2. AC kablo	83
6.7. Sistem Panellerin Çatı Yerleşimi.....	87
6.8. PVsyst Programı İle Sistemin Modellemesi.....	90
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	101
7.1. Performans Analizi	101
7.1.1. Tasarlanan sistemin model çıktısı	101
7.2. Projenin 2030 Yılı Enerji Üretimine Katkısı.....	106
7.3. Projenin 2030 Yılı Çevreye Katkısı	107
7.3.1. Co ₂ emisyonu	107
7.3.2. Ton eşdeğer petrol (TEP)	108
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	109
8.1. Sonuç	109
8.2. Öneriler.....	111
KAYNAKLAR.....	113
ÖZGEÇMİŞ.....	121

KISALTMALAR

AC	: Alternating Current (Değişken Akım)
ANOVA	: Varyans Analizi
ARIMA	: AutoRegressive Integrated Moving Average (Oto regresif Entegre Hareketli Ortalama)
CO₂	: Karbondioksit
ÇRA	: Çoklu Regresyon Analizi
DC	: Doğru Akım
ECM	: Enerji Tasarrufu Matrisi
EKK	: En Küçük Kareler
EN	: Avrupa Normu
GHI	: Küresel Yatay Işınlama
GIF	: Güneş Işınım Faktörü
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
MAD	: Mean Absolute Deviation (Mutlak Ortalama Sapma)
MAE	: Mean Absolute Error (Mutlak Ortalama Hata)
MAPE	: Mean Absolute Percentage Error (Mutlak Yüzde Hata)
MSE	: Mean Squared Error (Ortalama Kare Hatası)
MPPT	: Maximum power point tracking (Maksimum güç noktası izleme)
PSA	: Katar Planlama ve İstatistik Kurumu
PV	: Photovoltaic (Fotovoltaik)
PWM	: Pulse-width modulation (Sinyal Genişlik Modülasyonu)
RSE	: Residual Standard Error (Açıklanamayan Varyans)
STC	: Standart Test Koşulları
SVM	: Destek Vektör Makinesi
TEF	: Tüketici Fiyat Endeksi
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
YSA	: Yapay Sinir Ağı



SİMGELER

°C	: Sıcaklık - Derece Celsius (°C)
I	: Akım - Amper (A)
J	: Enerji - Joule (J)
M	: Kütle - Kilogram (kg)
%	: Yüzde - Yüzde İşareti (%)
P	: Güç - Watt (W)
R	: Direnç - Ohm (Ω)
T	: Zaman - Saat (h)
V	: Gerilim - Volt (V)
m ²	: Alan - Metrekare (m ²)
\$	: Amerikan doları (\$)



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Elektrik talebi tahmini konusunda bazı literatür çalışmaları.....	29
Tablo 4.1. MAPE değeri tahmin yeterlilikleri.....	53
Tablo 4.2. Çoklu Doğrusal regresyon modeli performans ölçütleri.....	57
Tablo 4.3. Çoklu doğrusal regresyon model sonuçları.....	57
Tablo 6.1. Seçilen fotovolatik PV panel özellikleri.	75
Tablo 6.2. Seçilen inverter özellikleri.	76
Tablo 6.3. Fotovoltaik panel-inverter arasında kullanılacak DC kablo özellikleri. ..	80
Tablo 6.4. İnverter- AC panosu arasında kullanılacak AC kablo özellikleri.	84
Tablo 7.1. Degredasyon kaybı ile sistemin yıllık üretim değerleri.	105



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Enerji kaynakları şeması.....	7
Şekil 1.2. Şebekeye bağlı güneş enerji sistemi.	17
Şekil 1.3. Şebekeden bağımsız güneş enerji sistemi.	18
Şekil 3.1. Teknolojiye göre dünya yenilenebilir enerji yıllık üretimi (IEA, 2022). ..	36
Şekil 3.2. Katar elektrik enerji tedarik zinciri.....	42
Şekil 4.1. Talep tahminde kullanılan kantitatif yöntemler.....	45
Şekil 4.2. 1980-2021 yılları arasındaki nüfus değişimi.	48
Şekil 4.3. 1980-2021 yılları arasındaki GSYİH değişimi.	49
Şekil 4.4. 1980-2021 yılları arasındaki ihracat değişimi.	50
Şekil 4.5. 1980-2021 yılları arasındaki TFE değişimi.	50
Şekil 4.6. 1980-2021 yılları arasındaki elektrik enerjisi tüketimi.....	51
Şekil 4.7. 2030 yılı elektrik talep tahmini model uygulaması akış planı.	54
Şekil 4.8. Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucu.	56
Şekil 4.9. Katar uzun dönem tahmin sonuçları.	60
Şekil 6.1. Katar'da konut yapıları türüne göre dağılımı (PSA, 2020).	70
Şekil 6.2. Katar'daki Yerleşim Dağılımı (PSA, 2020).	71
Şekil 6.3. Katar yıllık ortalama toplam güneş ışınlamı miktarı (kwh/m ² .yıl).	72
Şekil 6.4. Al Rayyan aylık ortalama güneşlenme süreleri.	72
Şekil 6.5. Günlük güneş ışınlamı aylık ortalaması (kWh/m ² .gün).....	73
Şekil 6.6. Günlük hava sıcaklığı aylık ortalaması (°C).....	73
Şekil 6.7. Panel yerleşim yöntemi.	88
Şekil 6.8. PVsyst tasarım ve simülasyon arayüzü.....	91
Şekil 6.9. PVsyst programı şebekeye bağlı proje tasarım ana menü arayüzü.....	91
Şekil 6.10. PVsyst programı proje konum verisi seçme arayüzü.	92
Şekil 6.11. PVsyst programı, konumun meteorolojik verileri seçme arayüzü.....	92
Şekil 6.12. konumun PVGIS SARAH altyapısına göre meteorolojik verileri.....	93
Şekil 6.13. Eğim ve azimut açıları "Yön Belirleme" sekmesinin arayüzü.	94
Şekil 6.14. İnverter ve panel seçimi için sistem sekmesi.....	95
Şekil 6.15. PVsyst programı detaylı kayıplar sekmesi.	96
Şekil 6.16. Proje konumu için yıllık güneş eğim ve azimut açıları grafiği.....	97
Şekil 6.17. Fotovoltaik panel dizilerinin yerleşimi.	98
Şekil 6.18. Üç boyutlu tasarımda çatı üzerindeki fotovoltaik panel yerleşimi.	98
Şekil 6.19. 21 Aralık gününde gerçekleştirilen gölgelenme faktörü analizi.	99
Şekil 6.20. PVsyst gölgelenme faktörü analizi diyagramı.	99
Şekil 7.1. PVsyst model çıktısı - Sistemin aylık ve yıllık enerji üretimi verileri. ...	102
Şekil 7.2. GES sistemin detaylı enerji kayıpları.	103
Şekil 7.3. Aylık bazda enerji üretimi ve kayıp değerlerinin gösterimi.	104
Şekil 7.4. Sistem çıkış gücü dağılımı.....	105



KATAR 2030 YILI ELEKTRİK ÜRETİM KAPASİTESİNİN GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ARTTIRIMI: ÇATI ÜSTÜ GÜNEŞ SİSTEMİ TASARIMI VE ÇEVREYE KATKISI

ÖZET

Enerji talebindeki artış ve nüfus büyümesi, enerji kaynaklarına olan ihtiyacı artırarak, fosil yakıtlara dayalı enerji üretimi modelini sorgulanır hale getirmiştir. Çevresel etkiler ve iklim değişikliği nedeniyle, alternatif enerji kaynaklarına yönelme ihtiyacı doğmuştur. Yenilenebilir enerji, sürekli mevcut olan ve tükenmeyen enerji kaynaklarıdır. Bu enerji kaynaklarının avantajları çevresel ve sürdürülebilirlik konuları, enerji bağımsızlığı ve maliyet avantajlarıdır. Yenilenebilir enerjinin önemi giderek artmaktadır.

Bu çalışma, Katar’da 2030 yılında tahmin edilen elektrik enerjisi talebini karşılamak amacıyla güneş enerjisi kullanımını artırmak ve elektrik üretim kapasitesini genişletmeye odaklanmaktadır. Bu bağlamda, villaların çatılarına entegre edilecek güneş enerjisi sistemlerinin potansiyelini değerlendirmektedir. Çalışma, 2030 yılı için Katar’ın elektrik enerjisi talep tahmini yapılmış, örnek bir villa çatısı üzerinde güneş enerjisi sistemi tasarlanmış ve simüle edilmiştir. Bu veriler, Katar’daki tüm villalar için genelleştirilerek, güneş enerjisi sistemlerinin toplam üretim kapasitesi ve 2030 yılında Katar’ın enerji üretimine ve çevresel sürdürülebilirliğine potansiyel katkıları belirlenmiştir.

Çalışmada, 2030 yılına kadar Katar’ın yıllık elektrik tüketimini tahmin etmek için bir çoklu regresyon modeli kullanıyor. Model, nüfus, GSYİH, ihracat ve tüketici fiyat endeksi gibi faktörleri dikkate alıyor. Modelin tahmin yeteneği, tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki karşılaştırmayla değerlendiriliyor. Çalışma, 1980-2021 yıllarına ait verileri kullanarak, 2030 yılı elektrik enerjisi ihtiyaç tahminleri için senaryolar geliştiriyor. Excel programı yardımıyla, bağımsız değişkenler ile elektrik tüketimi arasındaki ilişki belirleniyor ve tahmin değerleri elde ediliyor. Modelin %99,55’lik ortalama başarı oranı, onun oldukça başarılı olduğunu gösteriyor. Tahminler sonucunda, 2030 yılı için Katar’ın elektrik talebi düşük, orta ve yüksek senaryolar için sırasıyla 54.135,47 GWh, 68.812,62 GWh ve 83.489,76 GWh olarak hesaplanıyor.

Ardından, Katar'daki 126 bin tek katlı villanın çatılarına monte edilecek olan güneş enerjisi sistemlerinin, 2030 yılındaki elektrik üretimine sağlayacağı katkı simülasyonlar ve değerlendirmelerle incelenmiştir. Tek bir konuta kurulan bu sistemlerin performans analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular, 126 bin villa için genel bir durum değerlendirmesi olarak ölçeklendirilmiştir. Ortalama bir çatı alanı 300 m² olup, her çatıya kurulabilecek güneş enerji sisteminin kapasitesi 28,8 kWh olarak belirlenmiştir. Yıllık olarak bir çatıdan elde edilebilecek enerji miktarı ise 58,26 MWh’dir. Bu sistemin tüm villalara uygulanması durumunda, toplamda yıllık olarak 7.340,76 GWh enerji üretimine katkı sağlayabileceği belirlenmiştir. Bu durum,

Katar'ın 2030 yılı elektrik talebine düşük, orta ve yüksek senaryolara göre sırasıyla %13,55, %10,66 ve %8,79 oranında katkı sağlama potansiyeli olduğu görülmüştür. Ayrıca, Katar'ın 2030 yılındaki tepe elektrik talebinin yaklaşık %30'u kurulacak sistemler tarafından karşılanması beklenmektedir. Bu sistemlerin çevresel etkisi açısından kullanılması yılda 3,670,380 ton CO₂ emisyonunun azaltılması anlamına gelmektedir. Ayrıca sistemin bir yıl boyunca üreteceği elektrik enerjisi 631,305.36 TEP (ton eşdeğer petrol) olarak belirlenmiştir. Bu durum, Katar'ın doğal gaz tüketimini azaltarak daha fazla doğal gazı uluslararası piyasaya sunabilmesine ve böylece doğal gaz ihracat gelirini artırabilmesine olanak sağlar. Çalışma sonuçları, Katar'daki villaların çatılarına güneş enerjisi sistemlerinin entegrasyonunun, ülkenin enerji hedeflerini karşılamasına ve çevresel sürdürülebilirliğini geliştirmesine yardımcı olabileceğini göstermiştir. Bu uygulama, karbon emisyonlarını düşürerek küresel ısınmayla mücadeleye yardımcı olabilir ve Katar'ın uluslararası iklim hedeflerine ulaşmasını destekleyebilir. Ayrıca, fosil yakıtların kullanımını azaltarak ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yaparak, Katar'ın sürdürülebilir bir geleceğe ilerlemesine katkıda bulunabilir.



ENHANCING QATAR'S 2030 ELECTRICITY PRODUCTION CAPACITY THROUGH SOLAR ENERGY: DESIGN AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ROOFTOP SOLAR SYSTEMS

SUMMARY

The increasing demand for energy and population growth have prompted a reevaluation of the conventional energy production model reliant on fossil fuels. The need to transition to alternative energy sources has arisen due to environmental impacts and climate change. Renewable energy sources, constantly available and inexhaustible, offer advantages in terms of environmental sustainability, energy independence, and cost benefits, increasing their significance over time.

This study examines the potential of integrating solar energy systems into the rooftops of villas in Qatar, with the goal of enhancing solar energy utilization and expanding electricity production capacity. The study projects Qatar's electricity demand for the year 2030, designs and simulates a solar energy system on the rooftop of a representative villa, and extrapolates this data for all villas in Qatar. This provides an estimation of the total production capacity of solar energy systems and their potential contributions to Qatar's energy production and environmental sustainability in 2030.

Qatar possesses substantial solar energy potential due to its geographical location. With annual solar radiation ranging from 2,000 to 2,200 kWh/m² and sunshine duration between 3,500 to 3,800 hours, the country places significant emphasis on the utilization of solar energy to meet its energy needs. This advantageous position illustrates the potential for Qatar to generate manifold more energy from the sun than it consumes. Qatar's Vision 2030 sets out sustainable development goals in the energy sector, with solar energy playing a significant role. The country aims to reduce energy dependency, increase energy security, and reduce greenhouse gas emissions by financing solar energy projects and encouraging private sector investment.

In the relevant first chapter of this thesis, an analysis based on a multiple regression model is presented, considering factors such as population, GDP, exports, and consumer price index, to predict annual electricity consumption for the period leading up to 2030. This analysis includes the evaluation of the model's predictive capability and performance, with the success of the model revealed in the comparison of predicted and actual values.

In this context, to provide significant contributions at critical points in Qatar's energy sector and bring a different perspective to demand forecasting, scenarios are developed for 2030 electricity needs forecasts using the multiple regression analysis method with data from 1980-2021. In this study, the ratio of the relationship between independent variables and electricity consumption was determined using Excel, and electricity demand forecast values were obtained with regression analysis. The average absolute success rate of 99.55% obtained in performance analysis for Qatar's 2030 electricity

demand forecast indicates a highly successful model. According to the results, Qatar's electricity demand predictions for 2030 are calculated as 54,135.47 GWh, 68,812.62 GWh, and 83,489.76 GWh for low, medium, and high scenarios, respectively.

In the second chapter of the study, a simulation and evaluation of the contribution of on-grid solar energy systems, installed on the roofs of 126,000 single-story villa-type houses in Qatar, to electricity production by 2030 has been conducted. According to the results of the study, the contribution of solar energy systems installed on the roofs of a total of 126,000 single-story villas in Qatar to electricity production in 2030 has been examined in terms of performance analysis and environmental impacts.

In the initial stage, the installation of an on-grid solar energy system on a single-story house and the technical analysis to evaluate the performance of the system are addressed. Due to the research on 126,000 single-story villas in the study, an average roof area must be taken. According to the research conducted by the Qatar Planning and Statistics Authority, the average roof area of a villa in Qatar has been calculated as 300 m². Critical calculations based on meteorological data selection, array and string numbers, system design, and potential shading analyses were made for the application of the planned solar energy systems on the roofs. On average, it has been determined that a solar energy system with a capacity of 28.8 kWh can be installed. Solar radiation values and climate data of Qatar were obtained from PVGIS-SARAH sources. The PVsyst v7.1 simulation tool was used in this study to perform the installation and performance simulations of on-grid solar energy systems. According to the simulation results, the amount of energy that can be transferred annually to the grid from a roof system was determined to be 58.26 MWh.

The technical specifications, performance, and suitability of the photovoltaic (PV) panels to be used in the study were chosen considering these factors. The choice of inverters was made considering technical specifications, performance, and compatibility with the panels. Cable selection and protection calculations were performed in a way to minimize losses and ensure compatibility between the panels and the inverter.

At the end of the thesis work, a performance analysis of the solar energy systems to be mounted on the roofs for single-story houses and villas in Qatar was made, and design and simulation results were addressed. The systems applied to a total of 126,000 single-story houses and villas can provide an annual energy production of 7,340.76 GWh. The contributions of these solar energy systems to electricity production and their environmental contributions were evaluated.

According to the low, medium, and high scenarios developed for Qatar's 2030 electricity demand, it is anticipated that the solar energy systems will contribute to electricity production by 13.55%, 10.66%, and 8.79%, respectively. Furthermore, it is expected that approximately 30% of Qatar's peak electricity demand in 2030 will be met by the systems to be installed. In terms of environmental impacts, it has been emphasized that the use of solar energy systems in 126,000 houses and villas will reduce annual CO₂ emissions by 3,670,380 tons and that this will have a positive impact on climate change. The value of the electricity energy produced throughout the year in terms of TOE (ton of oil equivalent) was calculated as 631,305.36 TOE. Meeting local energy needs using solar energy could enable Qatar to reduce its natural

gas consumption and therefore offer more natural gas to international markets. This could contribute to an increase in revenue that Qatar earns from natural gas exports.

The results of the study show that the integration of solar energy systems into the roofs of villas in Qatar could assist in meeting the country's energy goals and improving its environmental sustainability. This application could contribute to the fight against global warming by reducing carbon emissions and support Qatar in reaching its international climate goals. Also, it could contribute to Qatar's progress towards a sustainable future by reducing the use of fossil fuels and transitioning to renewable energy sources. The results of the research thesis work on the design, simulation, and 2030 energy production and environmental impacts of rooftop solar energy systems aimed at increasing the electricity production capacity in Qatar have been summarized and recommendations for similar studies to be carried out in the future have been presented. These recommendations are of critical importance in terms of achieving sustainable development goals in the energy sector, ensuring energy supply security, and reducing environmental impacts. Strategies and policies that need to be implemented to increase the proliferation of solar energy systems in Qatar and to increase the contribution of these systems to electricity production have been mentioned.

1. GİRİŞ

Günümüzde, enerji talebindeki hızlı artış ve nüfus büyümesi, enerji kaynaklarına duyulan ihtiyacı önemli ölçüde artırmaktadır. Bu artış, tarihsel olarak fosil yakıtların kullanımına dayalı bir enerji üretimi modeli ile karşılanmaktadır. Fosil yakıtların yaygın kullanımının çevresel sonuçları, artan hava kirliliği ve iklim değişikliği nedeniyle, alternatif enerji kaynaklarına yönelme ihtiyacını zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynakları, enerji talebini karşılama ve çevreye verilen zararı en aza indirme potansiyelleri nedeniyle ön plana çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji, sürekli mevcut olan ve tükenmeyen enerji kaynakları olarak kabul edilir. Güneş, rüzgâr, biokütle, jeotermal, hidrolik ve dalga enerjisi gibi kaynaklar bu kapsamda değerlendirilirken, güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarının temelini oluşturur. Yenilenebilir enerjinin avantajları arasında çevresel ve sürdürülebilirlik konuları, enerji bağımsızlığı ve maliyet avantajları bulunmaktadır. Çevresel açıdan, yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtlara göre daha az zararlı emisyonlar üretir ve iklim değişikliği ile mücadeleye katkıda bulunur. Sürdürülebilirlik açısından, yenilenebilir enerji kaynakları sürekli olarak yenilendiği için enerji ihtiyacını karşılamada daha güvenilir ve uzun ömürlüdür. Enerji bağımsızlığı, yenilenebilir enerji kullanımının artmasıyla enerji ithalatına olan bağımlılığı azaltarak ekonomik ve politik güvenliği destekler. Son olarak, yenilenebilir enerji teknolojilerinin maliyetleri zamanla düşer ve işletme ve bakım maliyetleri fosil yakıtlı enerji sistemlerine göre daha düşük olduğundan uzun vadeli maliyet avantajları sunar. Dolayısıyla, yenilenebilir enerjinin önemi giderek artmaktadır.

Katar, coğrafi konumu nedeniyle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Yılda 2.000 ila 2.200 kWh/m² güneş radyasyonu ve 3.500 ila 3.800 saat arasında güneşlenme süresi ile ülke, enerji ihtiyaçlarını karşılamak için güneş enerjisi kullanımına büyük önem vermektedir. Bu avantajlı durum, Katar'ın tüketilen enerjinin kat kat fazlasını güneşten elde etme potansiyeline sahip olduğunu gösterir. Katar'ın 2030 Vizyonu, enerji sektöründe sürdürülebilir kalkınma hedefleri belirlemiştir ve güneş enerjisi bu

hedeflerde önemli bir yer tutmaktadır. Ülke, güneş enerjisi projelerine finansman sağlayarak ve özel sektörü yatırıma teşvik ederek enerji bağımlılığını azaltmayı, enerji güvenliğini artırmayı ve sera gazı emisyonlarını düşürmeyi hedeflemektedir. Teknolojik gelişmeler ve enerji depolama sistemleri, güneş enerjisinin enerji üretimine katkısını maksimize etmeye yardımcı olacaktır. Katar'ın güneş enerjisi potansiyeli önemli fırsatlar sunmakta olup, ülke bu fırsatları değerlendirmeye yönelik adımlar atmaktadır. Katar'ın enerji ihtiyaçlarını karşılamak ve enerji üretimine katkıda bulunmak için güneş enerjisi projelerine yatırım yapması, ülkenin enerji bağımlılığını azaltarak gelecekte daha sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji sektörüne yönlendirmesi açısından önemlidir.

Bu tez çalışması, Katar'daki güneş enerjisi kullanımının yaygınlaştırılması ve elektrik üretim kapasitesinin artırılması hedefi doğrultusunda, ülke genelindeki villaların çatılarına entegre edilebilecek güneş enerjisi sistemlerinin potansiyelini incelemekte ve 2030 yılına kadar bu projenin ülkenin enerji üretimine ve çevre sürdürülebilirliğine ne ölçüde katkı sağlayabileceğini değerlendirmektedir.

Çalışmada, 2030 yılı için Katar'ın elektrik enerjisi talep tahmini yapılacaktır. Daha sonra, örnek bir villa çatısı üzerinde güneş enerjisi sistemi tasarımı ve simülasyonu gerçekleştirilecektir. Elde edilen veriler ve sonuçlar, Katar'daki tüm villalar için genelleştirilerek, güneş enerjisi sistemlerinin toplam üretim kapasitesi ve 2030 yılında Katar'ın enerji üretimine ve çevreye sağlayabileceği katkılar değerlendirilecektir.

Çalışma, gerçekleştirilen projenin başarıları ve zorlukları hakkında bir değerlendirme yaparak, güneş enerjisi projelerinin Katar'ın enerji portföyüne ve çevresel hedeflerine nasıl bir katkı sağlayabileceğine dair öngörüler sunmaktadır. Ayrıca, gelecekte uygulanabilecek stratejiler ve öneriler geliştirilmektedir. Bu yaklaşım, Katar'ın sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşmasına ve enerji arz güvenliğini sağlamasına katkıda bulunarak, çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik önemli bir adım teşkil etmektedir.

Global düzeyde, çeşitli faktörler nedeniyle elektrik enerjisi ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır. Bu artışa uygun şekilde yanıt verebilmek ve gelecekteki verimlilik odaklı stratejilerin ve yatırımların geliştirilmesi amacıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarına

yönelik kalkınma planlarının hazırlanması için güvenilir talep tahminlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Elektrik enerjisi talep tahmini, enerji planlaması ve yönetimi bağlamında büyük önem taşıyan analitik bir süreçtir ve çeşitli faktörler üzerinden yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasının ilgili birinci bölümünde, 2030 yılına kadar olan dönem için yıllık elektrik tüketimini tahmin etmeye yönelik, nüfus, GSYİH, ihracat ve tüketici fiyat endeksi gibi faktörleri dikkate alan çoklu regresyon modeli temelinde gerçekleştirilen analiz sunulmaktadır. Bu analiz kapsamında, modelin tahmin yeteneği ve performansı değerlendirilmekte olup, tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki karşılaştırma sonucunda modelin başarısı ortaya çıkmaktadır.

Bu bağlamda, Katar'daki enerji sektöründe kritik noktalarda katkı sağlamak ve talep tahminine farklı bir perspektif kazandırmak amacıyla, çoklu regresyon analizi yöntemi kullanılarak 1980-2021 yıllarına ait verilerle 2030 yılı elektrik enerjisi ihtiyaç tahminleri için senaryolar geliştirilmektedir. Bu çalışmada, Excel programı kullanılarak bağımsız değişkenler ile elektrik tüketimi arasındaki ilişki oranı belirlenmiş ve regresyon analizi yardımıyla elektrik talep tahmin değerleri elde edilmektedir. Katar'ın 2030 yılı elektrik enerjisi talebi için tahmin performans analizlerinde elde edilen ortalama %99,55'lik mutlak başarı oranı, modelin oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Sonuçlar doğrultusunda, Katar'ın 2030 yılı için elektrik talep tahminleri düşük, orta ve yüksek senaryolara göre sırasıyla 54.135,47 GWh, 68.812,62 GWh ve 83.489,76 GWh olarak hesaplanmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise, Katar'daki 126 bin tek katlı villa tipi konutlar için çatılara monte edilecek on-grid güneş enerji sistemlerinin 2030 yılında elektrik üretimine sağlayacağı katkının simülasyon ve değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, 2030 yılında Katar'daki toplam 126 bin tek katlı villalarda çatılara kurulan güneş enerji sistemlerinin elektrik üretimine olan katkısı, performans analizi ve çevresel etkiler açısından incelenmiştir.

Başlangıç aşamasında, tek katlı bir konut üzerine on-grid güneş enerji sistemi kurulması ve teknik analiz ile sistemin performansının değerlendirilmesi ele alınmıştır. Çalışmada, 126.000 tek katlı villa üzerinde yapılan araştırmalar nedeniyle, çatı

alanının ortalamasının alınması gerekmektedir. Katar Planlama ve İstatistik Kurumu'na göre yapılan araştırmalar sonucunda, Katar'daki bir villanın çatı alanı ortalaması 300 m² olarak hesaplanmıştır.

Planlanan güneş enerji sistemlerinin çatılara uygulanması için, meteorolojik veri seçimi, array ve string sayıları, sistem tasarımı ve olası gölgelenme analizlerine dayalı önemli hesaplamalar yapılarak, Ortalama olarak, 28,8 kWh kapasiteli güneş enerji sisteminin kurulabileceği belirlenmiştir. Katar'ın güneş ışıınımı değerleri ve iklim verileri PVGIS-SARAH kaynaklarından elde edilmiştir. Bu çalışmada, on-grid güneş enerji sistemlerinin kurulumu ve performans simülasyonlarını gerçekleştirmek için PVsyst v7.1 simülasyon aracı kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, bir çatı sisteminden yıllık olarak şebekeye aktarılacak enerji miktarı 58,26 MWh olarak belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılacak fotovoltaik (PV) panellerin teknik özellikleri, performansı ve uygunluğu göz önünde bulundurularak seçilmiştir. İnvertör seçimi, teknik özellikler, performans ve panellerle uyum dikkate alınarak yapılmıştır. Kablo seçimi ve koruma hesapları, paneller ile invertör arasındaki uyumu ve kayıpları en aza indireyecek şekilde gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması sonunda, Katar'daki tek katlı konutlar ve villalar için çatıya monte edilecek güneş enerji sistemlerinin performans analizi yapılmış, tasarım ve simülasyon sonuçları ele alınmıştır. Toplamda 126.000 tek katlı konut ve villaya uygulanan sistemler, yıllık olarak 7.340,76 GWh enerji üretimi sağlayabileceği hesaplanmıştır. Bu güneş enerji sistemlerinin, elektrik üretimine ve çevresel katkıları değerlendirilmiştir.

Katar'ın 2030 yılı elektrik talebi için geliştirilen düşük, orta ve yüksek senaryolara göre, güneş enerji sistemlerinin sırasıyla %13,55, %10,66 ve %8,79 oranında elektrik üretimine katkı sağlayacağı öngörülmüştür. Ayrıca, Katar'ın 2030 yılındaki tepe elektrik talebinin yaklaşık %30'u kurulacak sistemler tarafından karşılanması beklenmektedir. Çevresel etkiler açısından, 126.000 konut ve villada güneş enerji sistemlerinin kullanılmasıyla yıllık 3,670,380 ton CO₂ emisyonunun azaltılacağı ve bu durumun iklim değişikliğine olumlu etki yapacağı vurgulanmıştır. Ayrıca bir yıl

boyunca üretilen elektrik enerjisinin TEP (ton eşdeğer petrol) cinsinden değeri, 631,305.36 TEP olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjisi kullanarak yerel enerji ihtiyaçlarını karşılamak, Katar'ın doğal gaz tüketimini azaltmasına ve bu sayede daha fazla doğal gazı uluslararası piyasalara sunmasına olanak tanıyabilir. Bu durum, Katar'ın doğal gaz ihracatından elde ettiği gelirin artmasına katkı sağlayabilir.

Sonuç olarak, Katar'da elektrik üretim kapasitesinin artırılmasına yönelik çatı üstü güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı, simülasyonu ve 2030 yılı enerji üretimine ve çevresel etkilerine ilişkin araştırma tez çalışması sonuçları özetlenmiş ve gelecek dönemde yapılacak benzer çalışmalar için öneriler sunulmuştur. Bu öneriler, enerji sektöründe sürdürülebilir kalkınma hedeflerine erişim, enerji arz güvenliğinin sağlanması ve çevresel etkilerin azaltılması açısından kritik öneme sahiptir. Katar'da güneş enerjisi sistemlerinin yaygınlaşması ve bu sistemlerin elektrik üretimine olan katkısının artırılması amacıyla uygulanması gereken stratejiler ve politikalar belirtilmiştir.

1.1. Araştırmanın Genel Amacı

Bu tez çalışması, Katar'ın enerji sektöründeki güneş enerjisi kullanımını yaygınlaştırma ve elektrik üretim kapasitesini artırma hedefleri doğrultusunda, Katar'daki villaların çatılarına entegre edilebilecek güneş enerjisi sistemlerinin potansiyelini incelemeyi ve 2030 yılına kadar bu sistemlerin ülkenin enerji üretimine ve çevresel sürdürülebilirliğine ne ölçüde katkı sağlayabileceğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

İlk olarak, bu çalışma, nüfus, Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH), ihracat ve tüketici fiyat endeksi gibi faktörlerin dikkate alındığı çoklu regresyon analizi yöntemi kullanılarak, Katar'ın 2030 yılına yönelik elektrik enerjisi talebini tahmin etmeyi hedeflemektedir. Bu analiz, enerji politikalarının planlanmasında ve yönetilmesinde kritik önem taşıyan gelecekteki enerji talebini daha doğru bir şekilde tahmin etmeye yardımcı olacaktır.

İkinci olarak, bu tez, Katar'daki tek katlı villaların çatılarına monte edilecek olan on-grid güneş enerji sistemlerinin 2030 yılında elektrik üretimine ne ölçüde katkı sağlayacağını simüle etmeyi ve değerlendirmeyi hedeflemektedir. Bu amaç

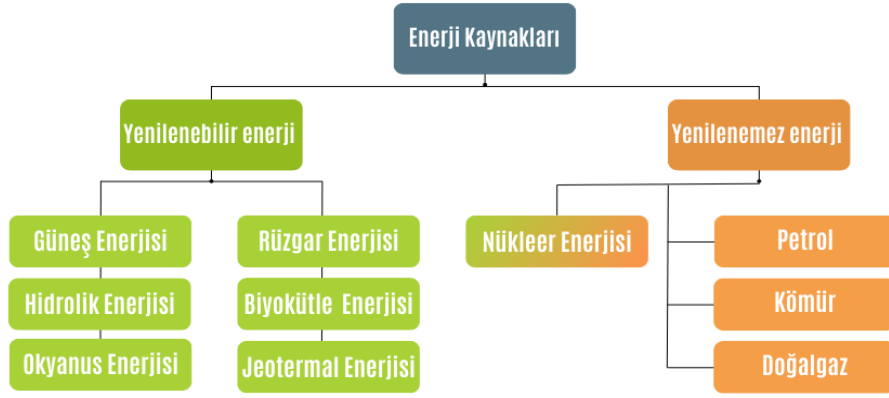
doğrultusunda, örnek bir villa üzerinde teknik analizler ve performans simülasyonları gerçekleştirilecek ve bu simülasyonların sonuçları, genel bir uygulama senaryosunda nasıl ölçeklendirilebileceği konusunda bir çerçeve sunacaktır.

Son olarak, bu çalışma, 2030 yılına kadar bu tür güneş enerjisi projelerinin Katar'ın toplam enerji üretimine ve çevresel sürdürülebilirliğine ne ölçüde katkı sağlayabileceğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, toplamda 126.000 tek katlı konut ve villada uygulanacak olan sistemlerin yıllık olarak ne kadar enerji üretimi sağlayabileceği ve bu güneş enerji sistemlerinin yıllık CO₂ emisyonunu ne ölçüde azaltabileceği hesaplanacak ve değerlendirilecektir.

1.2. Enerji Kaynakları ve Çeşitleri

Enerji kaynakları, enerji üretmek için kullanılan kaynaklar olarak tanımlanabilir. Bu kaynaklar, insanların günlük yaşamlarında kullandıkları elektrik, ısı, mekanik enerji gibi enerji türlerini sağlamak için kullanılır (Boyle ve ark, 2012). Enerji kaynakları genellikle yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar olarak ikiye ayrılırlar:

- Yenilenemez enerji kaynakları, sınırlı sayıda olduğu için tükenme riski taşırlar ve doğal kaynaklardan elde edilirler. Bunlar arasında fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğalgaz), nükleer yakıtlar (uran, plutonyum) ve kaya gazı gibi doğal kaynaklar yer alır.
- Yenilenebilir enerji kaynakları, doğada sınırsız olarak bulunan ve kullanıldıkça tükenmeyen kaynaklardır. Bu tür kaynaklar arasında güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrolik enerjisi, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerji bulunmaktadır. Bu enerji kaynakları Şekil 1.1'de gösterilmiştir (Moomaw ve ark, 2011).



Şekil 1.1. Enerji kaynakları şeması.

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve yatırım artışı nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynakları giderek daha yaygın hale gelmektedir. Bu nedenle, dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı artmaya devam etmektedir.

1.2.1. Yenilenemez enerji kaynakları

Yenilenemez enerji kaynakları, doğada sınırlı olarak bulunan ve tükendikten sonra yeniden elde edilemeyen enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar, genellikle doğal kaynaklardan elde edilirler ve insanların enerji ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılırlar. Yenilenemez enerji kaynakları arasında kömür, petrol, doğal gaz, nükleer yakıtlar ve kaya gazı gibi kaynaklar yer alır.

Yenilenemeyen enerji kaynakları, sera gazı emisyonu üretirler ve iklim değişikliği, hava kirliliği, çevre tahribatı gibi çevresel sorunlara neden olurlar. Ayrıca, yenilenemez enerji kaynakları sınırlı olduğundan, gelecekte enerji ihtiyacını karşılamak için alternatif enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulacaktır.

Yenilenemez enerji kaynaklarına olan talebin artması, bu kaynakların tükenme riskini de arttırmaktadır. Bu nedenle, dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımlar ve ilgi artmaktadır (Yılmaz ve Erisen, 2016).

1.2.1.1. Fosil enerji kaynakları

Fosil enerji, doğada milyonlarca yılda oluşan fosil yakıtlardan elde edilen enerji türüdür. Fosil yakıtlar, bitki ve hayvan kalıntılarının binlerce yıllık çürümesi ve fosilleşmesi sonucu oluşmuştur. Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar, dünya genelinde enerji üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Boş ve Gupta, 2018).

- **Petrol**

Dünya genelinde en yaygın fosil yakıt kaynaklarından biridir. Petrol, yer altından çıkarılan ham petrol adı verilen çamurumsu bir sıvıdır. Petrol, çoğunlukla organik kökenli tortul kayaların içinde bulunur ve bu kayaların altında yer alan kumtaşı ve kireçtaşı tabakaları arasında birikmiş olarak bulunabilir.

Genellikle ulaşım, sanayi ve enerji üretimi için kullanılır. Petrol rafine edilerek, benzin, dizel, mazot, kerosen ve jet yakıtı gibi çeşitli yakıtlar elde edilir. Ayrıca, petrol bazlı ürünler arasında plastik, kauçuk, kimyasallar ve gübreler gibi çeşitli endüstriyel ürünler de yer alır (Longwell, 2002).

- **Kömür**

Kömür, dünya genelinde en yaygın fosil yakıt kaynaklarından biridir. Kömür, bitki kalıntılarının milyonlarca yıl boyunca çürümesi ve fosilleşmesi sonucu oluşan bir maden kömürüdür. Kömür, özellikle sanayi, enerji ve ısınma alanlarında kullanılmaktadır.

Kömür, dünya genelinde çeşitli şekillerde çıkarılmakta ve işlenmektedir. Taşkömürü, en sert ve yoğun kömür türüdür ve genellikle sanayide kullanılır. Linyit ise daha yumuşak bir kömür türüdür ve daha yaygın olarak ısıtma ve enerji üretimi gibi amaçlar için kullanılır. Kömür, düşük maliyeti ve geniş kullanım alanları nedeniyle dünya genelinde hala önemli bir enerji kaynağıdır (National Research Council, 2007).

- **Doğal gaz**

Doğal gaz, organik kalıntıların milyonlarca yıllık çürümesi sonucu oluşan bir hidrokarbon gazıdır. Doğal gaz, petrol üretiminden ve doğal gaz yataklarından çıkarılmaktadır.

Doğal gaz, özellikle enerji üretimi, ısınma ve endüstriyel amaçlar için kullanılır. Doğal gaz, yakıldığında daha az karbon dioksit, kükürtdioksit ve nitrojen oksit salınımı yapar ve diğer fosil yakıtlara kıyasla daha temiz bir enerji kaynağıdır.

Doğal gazın sıvılaştırılmış formu (LNG) ve sıkıştırılmış formu (CNG) da kullanılabilir. LNG, doğal gazın sıvılaştırılması sonucu elde edilir ve depolama ve taşıma açısından daha uygun bir formdur. CNG ise doğal gazın yüksek basınç altında

sıkıştırılması sonucu elde edilir ve ulaşım için kullanılır. Doğal gaz, dünya genelinde hızla büyüyen bir enerji kaynağıdır ve gelecekte de önemli bir enerji kaynağı olmaya devam edecektir.

Doğal gaz, petrol ve kömür tüm fosil enerji kaynakları tüketimi ile ilgili çevresel sorunlar nedeniyle giderek daha fazla tartışmalı hale gelmektedir. Bu kaynakların çıkarılması, işlenmesi ve kullanımı, doğal alanların tahrip edilmesine, sera gazı emisyonlarına ve çevre kirliliğine neden olabilir. Bununla birlikte, fosil enerjisi, dünya ekonomileri için hala önemli bir enerji kaynağıdır ve bu enerjilerin fiyatları, küresel piyasalarda önemli bir rol oynamaktadır (Gao ve You, 2017).

1.2.1.2. Nükleer enerji

Nükleer enerji, atom çekirdeklerinin bölünmesi veya birleşmesi sonucu açığa çıkan enerjiyi kullanarak elektrik enerjisi üreten bir enerji türüdür. Nükleer enerji, uranyum veya plütonyum gibi radyoaktif maddelerin çekirdeklerinin çekirdek tepkimeleri yoluyla bölünmesi sonucu açığa çıkan ısı enerjisi kullanılarak elde edilir.

Nükleer enerji, diğer enerji kaynaklarına kıyasla daha yoğun bir enerji kaynağıdır ve çevreye daha az karbondioksit ve diğer sera gazı emisyonları yaymaktadır. Bununla birlikte, nükleer enerji kaynaklarından elde edilen radyoaktif atıkların saklanması ve yönetimi, nükleer kazaların olası riskleri gibi çevresel ve güvenlik endişeleri nedeniyle tartışmalı bir enerji kaynağıdır. Nükleer enerji, dünya genelinde enerji üretimi için kullanılmaktadır. Bazı ülkeler, nükleer enerjiyi daha yaygın bir şekilde kullanırken, bazı ülkeler nükleer enerjiyi kademeli olarak terk ederek yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmaktadır.

Sürdürülebilirlik açısından, nükleer enerji, fosil yakıtlara kıyasla daha az sera gazı emisyonu üretir ve üretim sürecinde daha az kaynak kullanır. Ancak, nükleer enerji, nükleer atıkların yönetimi, nükleer kazaların riski ve nükleer silah yayılması gibi ciddi riskleri de beraberinde getirir. Bu nedenle, nükleer enerjinin sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilip edilmemesi tartışmalıdır.

Nükleer enerjinin doğrudan sera gazı emisyonu yoktur. Ancak, nükleer enerji üretimi sırasında, atık yönetimi ve nükleer kazalar gibi çevresel riskler söz konusu

olduğundan, nükleer enerjinin tamamen temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilmesi de tartışmalıdır.

Sonuç olarak, nükleer enerji, yenilenebilirlik, sürdürülebilirlik ve temizlik açılarından tartışmalı bir enerji kaynağıdır ve kullanımı ile ilgili riskler ve faydalar dikkatlice değerlendirilmelidir (Peelle, 1974).

1.2.2. Yenilenebilir enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji, doğal kaynaklardan elde edilen enerjiyi ifade eder ve sürekli olarak yenilenebilen kaynaklardan elde edildiği için sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları, güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle ve okyanus enerjisi gibi kaynakları içerir.

Güneş enerjisi, güneş ışınlarının toplandığı güneş panelleri veya toplama sistemleri ile elektrik enerjisi üretmek için kullanılır. Rüzgâr enerjisi, rüzgâr türbinleri aracılığıyla elektrik enerjisi üretmek için kullanılır. Hidroelektrik enerji, suyun doğal hareketinden elde edilen kinetik enerjiyi kullanarak elektrik enerjisi üretmek için kullanılır. Jeotermal enerji, yerin içindeki ısıyı kullanarak elektrik enerjisi üretmek için kullanılır. Biyokütle enerjisi, bitkiler, atıklar ve diğer organik maddelerden elde edilen enerjiyi ifade eder. Okyanus enerjisi, gel-git hareketleri, dalga enerjisi ve termal farklılıklar gibi okyanus kaynaklarından elde edilen enerjiyi ifade eder.

Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlar gibi sınırlı kaynakların tüketme riskini azaltır ve enerji arzını daha güvenli hale getirir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynakları, düşük karbon emisyonlarına sahip oldukları için çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerjinin daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlar ve düşük karbonlu bir gelecek için önemlidir (Alam ve ark, 2016).

1.2.2.1. Hidrolik enerjisi

Hidroelektrik enerji, suyun doğal hareketini kullanarak elektrik enerjisi üretmek için kullanılan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Hidroelektrik enerji, suyun yerçekimi etkisi ile yüksekte alçak seviyelere akması sırasında kinetik enerjiyi mekanik enerjiye çevirerek kullanılır. baraj inşası ile suyu biriktirerek veya nehirlerden doğrudan su alarak çalışabilir. Su, barajın altında veya tünel boyunca akarken, türbinlerde kinetik

enerji mekanik enerjiye çevrilir ve jeneratörleri çalıştırmak için kullanılır. Jeneratörler, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek, elektrik enerjisi üretmek için kullanılır.

Hidroelektrik enerjisi, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve fosil yakıtların aksine sınırsız bir kaynak olarak kabul edilir. Ayrıca, hidroelektrik enerji, düşük karbon emisyonlarına sahip olduğu için çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır.

Hidroelektrik enerji, elektrik üretimi için kullanıldığı gibi, suyu ısıtmak, soğutmak ve sulamak gibi diğer amaçlar için de kullanılabilir. Hidroelektrik enerji, düşük işletme maliyetleri ve uzun ömürleri nedeniyle ekonomik açıdan da önemlidir (Yuksel, 2010).

1.2.2.2. Rüzgâr enerjisi

Rüzgar enerjisi, rüzgarın doğal hareketini kullanarak elektrik enerjisi üretmek için kullanılan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi, rüzgar türbinleri aracılığıyla elektrik enerjisi üretmek için kullanılır.

Rüzgar türbinleri, rüzgar enerjisini kinetik enerjiye dönüştüren bir rotor ile donatılmıştır. Rotor, türbinin şaftına bağlı bir jeneratörü döndürür ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Rüzgar türbinleri genellikle birçok türbinden oluşan bir rüzgar çiftliği olarak kurulur ve bir ağa bağlı olarak elektrik şebekesine bağlanır.

Rüzgar enerjisi, sınırsız bir enerji kaynağıdır ve fosil yakıtlara kıyasla daha çevre dostudur. Ayrıca, düşük karbon emisyonlarına sahip olduğu için, küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir role sahiptir. Rüzgar enerjisi, enerji güvenliği ve ekonomik kalkınma için fırsatlar sunar. Yatırım yaparak rüzgar enerjisi santralleri kurmak, yerel ekonomileri canlandırır ve yerel iş imkanları yaratır. Rüzgar enerjisi, enerjinin daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlar ve düşük karbonlu bir gelecek için önemlidir (Ateş ve Topal, 2019).

1.2.2.3. Biyokütle enerjisi

Biyokütle enerjisi, biyolojik materyallerin; bitkiler, ağaçlar, tarımsal atıklar, gıda atıkları ve organik çöpler gibi yanması veya fermantasyonu yoluyla elde edilen bir

yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyokütle enerjisi, termal ve elektrik enerji üretimi, ısıtma ve soğutma, yakıt, aydınlatma ve güç üretimi gibi birçok alanda kullanılabilir.

Biyokütle enerjisi, birçok farklı biyokütle kaynağından elde edilebilir. Örneğin, biyokütle enerjisi, biyoetanol ve biyodizel gibi biyoyakıtların yanı sıra, biyogaz ve biyokütle taneleri gibi biyoyakıt türevlerinden de elde edilebilir. Biyokütle enerjisi, biyolojik materyallerin yenilenebilir bir kaynak olması nedeniyle çevre dostudur.

Biyokütle enerjisi, karbon döngüsüne dahil olan bir enerji kaynağıdır. Bitkiler fotosentez yoluyla atmosferdeki karbondioksiti alır ve biyokütleyi oluşturmak için kullanır. Biyokütlenin yanması veya fermentasyonu sırasında, atmosfere salınan karbondioksit, yeniden fotosentez yoluyla bitkiler tarafından emilebilir. Bu nedenle, biyokütle enerjisi, fosil yakıtlara kıyasla daha düşük karbon emisyonlarına sahiptir.

Biyokütle enerjisi, düşük maliyetli bir enerji kaynağıdır ve yerel iş imkanları yaratır. Biyokütle kaynakları yerel olarak mevcut olduğu için, bu kaynakların kullanımı, enerji bağımsızlığı ve yerel ekonomik kalkınma için fırsatlar sunar (Akgül, 2017).

1.2.2.4. Okyanus enerjisi

Okyanus enerjisi, okyanuslarda bulunan farklı enerji kaynaklarından elde edilen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynakları arasında gel-git, dalga enerjisi, deniz akıntıları ve sıcaklık gradyanları yer alır.

Gel-git enerjisi, okyanusların yüzeyindeki suyun hareketi nedeniyle oluşan bir enerji kaynağıdır. Gel-git enerjisi, özellikle kıyı bölgelerinde, özellikle de akıntıların yüksek olduğu yerlerde kullanılabilir.

Dalga enerjisi, rüzgârın okyanus yüzeyindeki suya uyguladığı basınç nedeniyle oluşan bir enerji kaynağıdır. Dalga enerjisi, özellikle açık denizlerde yüksek dalga hareketleri olduğu zamanlarda kullanılabilir.

Deniz akıntıları, okyanuslarda meydana gelen su hareketlerinden kaynaklanan bir enerji kaynağıdır. Deniz akıntıları, özellikle derin denizlerdeki güçlü akıntılar kullanılarak elektrik enerjisi üretmek için kullanılabilir.

Sıcaklık gradyanları, okyanuslarda meydana gelen sıcaklık farklılıklarından kaynaklanan bir enerji kaynağıdır. Bu farklılıklar, okyanus tabanındaki sıcak su

kaynaklarından kaynaklanabilir ve termal enerji dönüştürücüler kullanılarak elektrik enerjisi üretmek için kullanılabilir.

Okyanus enerjisi, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve sınırsız bir potansiyele sahiptir. Okyanus enerjisi, küresel enerji talebinin karşılanması için önemli bir rol oynayabilir ve fosil yakıtlara kıyasla daha çevre dostudur (Shetty ve Priyam, 2022).

1.2.2.5. Jeotermal enerjisi

Jeotermal enerji, yeraltındaki sıcak kaynaklardan veya derin kuyulardan elde edilen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu sıcak kaynaklar, volkanik faaliyetler ve yer kabuğunun ısınması nedeniyle oluşur.

Jeotermal enerji, termal elektrik santrallerinde elektrik enerjisi üretmek için kullanılabilir. Bu santraller, yeraltındaki sıcak kaynaklardan suyu yüzeye çıkararak, buhar üretmek için kullanılır. Buhar, türbinleri döndürerek elektrik enerjisi üretmek için kullanılır. Ayrıca, jeotermal enerji, ısıtma ve soğutma sistemleri için de kullanılabilir.

Jeotermal enerji, çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji üretimi, fosil yakıtların yanması nedeniyle oluşan emisyonlarla karşılaştırıldığında daha düşük bir karbon ayak izine sahiptir. Ayrıca, jeotermal enerji kaynakları sınırsız bir kaynak olarak kabul edilir, çünkü dünya genelinde yeraltındaki sıcak kaynaklar yeterince mevcuttur.

Ancak, jeotermal enerji kaynaklarının kullanımı bazı zorluklarla da karşılaşabilir. Yeraltındaki sıcak kaynakların çıkartılması ve işlenmesi, yüksek maliyetli bir süreç olabilir. Ayrıca, jeotermal enerji kaynakları genellikle volkanik bölgelerde bulunur ve bu bölgelerdeki volkanik faaliyetler nedeniyle çevresel riskler oluşabilir (Lund ve ark, 2011).

1.2.2.6. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, Güneş'ten gelen ışık ve ısı enerjisinin, elektrik veya ısı enerjisi olarak kullanılabilen bir enerji biçimine dönüştürülmesidir. Güneş enerjisi, sürdürülebilir ve çevre dostu bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. İki ana güneş enerjisi teknolojisi vardır: fotovoltaik (PV) ve termal güneş enerjisi.

Fotovoltaik (PV) güneş enerjisi, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemelerden yapılmış fotovoltaik hücreler veya güneş hücreleri kullanır. Bu hücreler genellikle silikon gibi yarı iletken malzemelerden yapılmıştır ve genellikle güneş panellerinde bir araya getirilir. Güneş panelleri, çatılara, zemin montajlı sistemlere veya güneş takip sistemlerine monte edilebilir. Fotovoltaik sistemler, elektrik şebekesine bağlı veya bağımsız (off-grid) sistemler olarak kullanılabilir ve evler, işletmeler, endüstriyel tesisler ve büyük güneş enerji santrallerinde yaygın olarak kullanılır (Breyer ve ark, 2018).

Termal güneş enerjisi, güneş ışığını ısı enerjisine dönüştürmek için kullanılır. Termal güneş enerjisi sistemleri, genellikle düşük sıcaklık uygulamaları için düz plaka kolektörler veya daha yüksek sıcaklık uygulamaları için odaklayıcı kolektörler kullanır. Düz plaka kolektörler, evlerde sıcak su üretimi ve binaların ısıtılması için kullanılabilir. Odaklayıcı kolektörler ise, yoğun güneş enerjisini toplayarak daha yüksek sıcaklıklarda sıcak su ve buhar üretir; bu enerji, elektrik üretmek için kullanılabilir veya endüstriyel süreçlerde ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Konsantre güneş enerjisi (CSP) santralleri, termal güneş enerjisini büyük ölçekte elektrik üretmek için kullanır.

Güneş enerjisi, sıfır karbon emisyonu, düşük işletme ve bakım maliyeti ve enerji bağımsızlığı sağlaması nedeniyle giderek daha popüler hale gelmektedir. Bununla birlikte, güneş enerjisi üretimi, güneş ışığının mevsimsel ve günlük değişkenliği nedeniyle dalgalanmaktadır ve enerji depolama sistemlerine ihtiyaç duyabilir (Kazmerski, 2019).

1.2.2.7. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

Güneş enerjisi, çeşitli kullanım alanlarında sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. İşte güneş enerjisinin kullanım alanlarından bazıları:

Elektrik Üretimi: Güneş enerjisi, fotovoltaik paneller veya konsantre güneş enerjisi (CSP) santralleri kullanarak elektrik üretilmesinde kullanılabilir. Bu elektrik, evlerde, işletmelerde ve endüstriyel tesislerde kullanılabilir.

Sıcak Su Üretimi: Güneş enerjisi, düz plaka kolektörler veya vakum tüp kolektörler kullanarak evlerde ve işletmelerde sıcak su üretimi için kullanılabilir.

Isıtma ve Soğutma: Güneş enerjisi, güneş hava kolektörleri veya güneş termal sistemler kullanarak bina ısıtma ve soğutma uygulamalarında kullanılabilir. Güneş enerjisiyle çalışan ısı pompaları ve soğutma sistemleri de mevcuttur.

Tarımsal Sulama: Güneş enerjisi, fotovoltaik panellerle çalışan su pompalarını besleyerek tarımsal sulama alanında kullanılabilir.

Tuzdan Arındırma: Güneş enerjisi, tuzdan arındırma sistemleri için enerji sağlayarak deniz suyunun veya tuzlu yer altı suyunun içilebilir suya dönüştürülmesinde kullanılabilir.

Ulaşım: Güneş enerjisi, elektrikli araçların şarj edilmesinde kullanılabilir. Ayrıca, güneş enerjisiyle çalışan otomobiller, tekneler ve hatta uçaklar da geliştirilmektedir.

Uzay Araştırmaları: Güneş enerjisi, uzay araçları ve uydu sistemlerine enerji sağlamak için kullanılır.

Kırsal Elektrifikasyon: Güneş enerjisi, elektrik şebekesine erişimi olmayan kırsal ve uzak bölgelerde elektrik sağlamak için kullanılabilir.

Aydınlatma: Güneş enerjisi, sokak aydınlatması, park ve bahçe aydınlatması, reklam panoları ve navigasyon işaretleri gibi dış mekan aydınlatma uygulamalarında kullanılabilir (Kalogirou, 2004).

Ürün kurutma: tarımsal ürünlerin hasat edilmesi ve kurutulması işlemidir. Güneş enerjisi kullanarak, ürünlerin kurutulması için enerji sağlanabilir. Güneş kurutma sistemleri, çiftçilerin ürünleri hızlı ve doğal bir şekilde kurutmasına yardımcı olur.

Seralar: Serada, güneş enerjisi, sera içindeki bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için kullanılabilir. Güneş enerjisi, sera içindeki sıcaklığı artırarak bitkilerin büyümesini teşvik eder ve hasat dönemi öncesinde daha fazla ürün alınmasını sağlar (Ohunakin ve ark, 2014).

1.3. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri

Fotovoltaik (PV) güneş enerjisi, güneş ışığının doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesi sürecidir. Bu süreç, yarı iletken malzemelerden ya pılan fotovoltaik hücreler veya güneş hücreleri kullanılarak gerçekleşir. Fotovoltaik hücreler, genellikle silikon gibi yarı iletken malzemelerden üretilir ve güneş panelleri şeklinde bir araya getirilir.

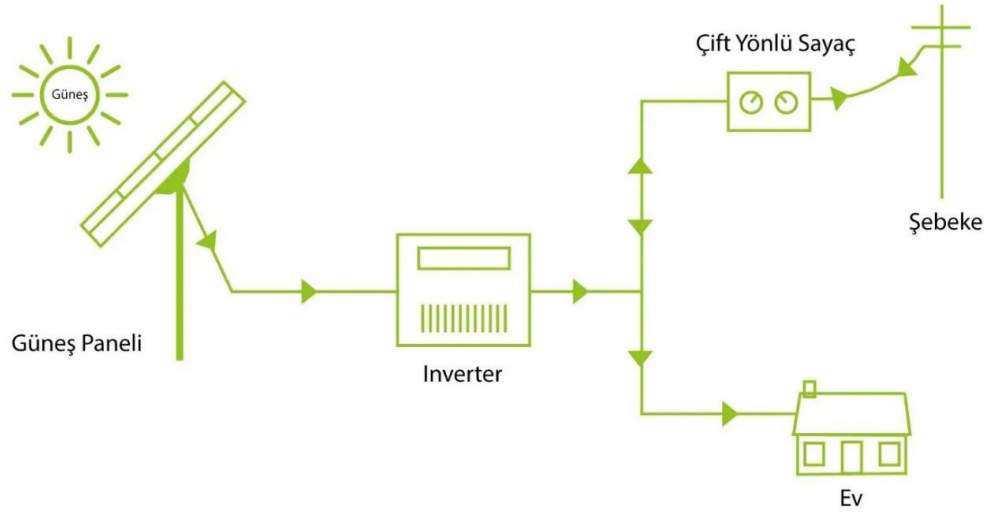
Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri, şebekeye bağlı (on-grid) veya şebekeden bağımsız (off-grid) olabilir. Enerji kullanımı ve dağıtımı açısından farklı özelliklere sahiptir. İşte her iki sistem türü hakkında daha fazla bilgi:

Şebekeye Bağlı (on-grid) Fotovoltaik Sistemler:

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler, yerel elektrik şebekesine bağlı olarak çalışır. Bu sistemler, şebekeye bağlı güneş enerji sistemi şeması Şekil 1.2'deki gibi güneş panelleri, invertör ve bağlantı elemanlarından oluşur. Bu sistemlerde enerji depolama (aküler) genellikle bulunmaz.

Bu sistemler, güneşten üretilen elektriği doğrudan şebekeye aktararak enerji kullanımını dengelemeye yardımcı olur. Güneş enerjisiyle üretilen elektrik, enerji ihtiyacının olduğu anlarda tüketilebilir ve enerji ihtiyacının düşük olduğu dönemlerde şebekeye geri beslenebilir. Bu durum, net metering (net ölçüm) adı verilen bir düzenleme ile şebeke operatörü tarafından takip edilir ve kullanıcıya finansal avantajlar sağlayabilir.

ON GRID



Şekil 1.2. Şebekeye bağlı güneş enerji sistemi.

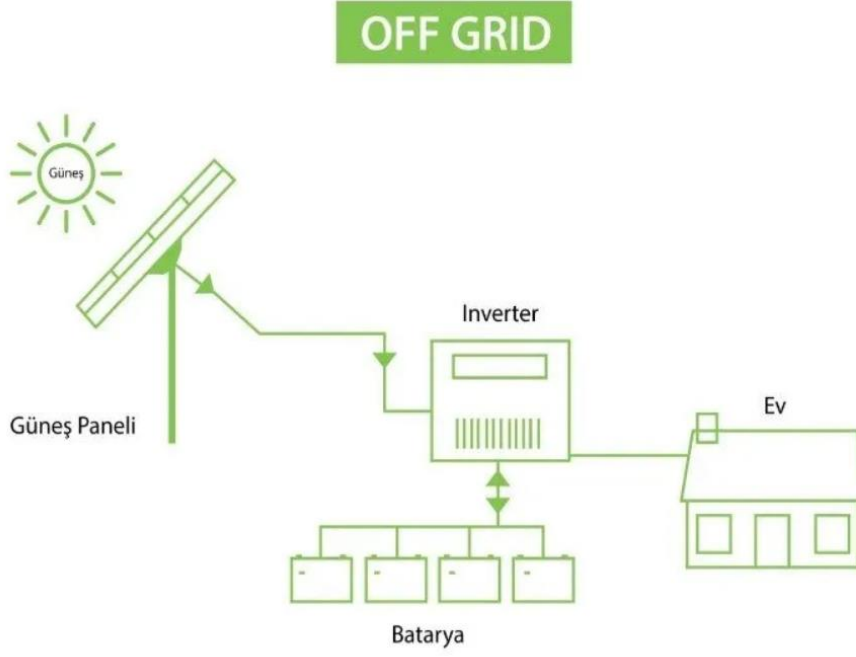
Şebekeye bağlı sistemlerin avantajları şunlardır:

- Enerji depolama maliyetlerinden kaçınılır, çünkü enerji ihtiyacının üzerinde üretilen elektrik şebekeye geri beslenir.
- Güneş enerjisi üretiminin yetersiz olduğu zamanlarda, şebekeden elektrik alarak enerji ihtiyaçlarını karşılamak mümkündür.
- Net metering düzenlemeleri sayesinde, şebekeye geri beslenen enerji için finansal krediler veya indirimler alınabilir (Kumar ve ark, 2018).

Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Fotovoltaik Sistemler:

Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler, enerji şebekesine bağlı olmayan ve enerji depolama sistemlerine (genellikle aküler) sahip olan sistemlerdir. Bu sistemler, Şekil 1.3'teki gibi güneş panelleri, invertör, şarj kontrol cihazı, aküler ve bağlantı elemanlarından oluşur.

Bu sistemler, enerji şebekesine erişimin olmadığı veya enerji bağımsızlığı sağlamak istenilen bölgelerde tercih edilir. Şebekeden bağımsız sistemler, enerji ihtiyacını güneş enerjisiyle karşılamak ve enerji depolamak için aküler kullanır.



Şekil 1.3. Şebekeden bağımsız güneş enerji sistemi.

Şebekeden bağımsız sistemlerin avantajları şunlardır:

- Elektrik şebekesine bağımlılık olmaz, bu da enerji bağımsızlığı ve enerji kesintilerinden etkilenmemeyi sağlar.

Fotovoltaik güneş enerjisi, evlerde, işletmelerde, endüstriyel tesislerde ve büyük ölçekli güneş enerjisi santrallerinde elektrik üretmek için kullanılır. Bu teknoloji, enerji verimliliğini artırmaya ve sera gazı emisyonlarını azaltmaya yardımcı olur, çevre dostu olması, enerji bağımsızlığını artırması ve işletme maliyetlerinin düşük olması nedeniyle giderek daha popüler hale gelmiştir (Woo ve ark, 2015).

Fotovoltaik (PV) güneş enerjisi sistemleri, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmek için bir dizi bileşen kullanır. Güneş enerjisi sistemleri, güneş panelleri, montaj sistemi, invertör, kablo ve bağlantı elemanları, şarj kontrol cihazı ve aküler gibi bileşenlerden oluşur. İşte fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinin temel bileşenleri:

1.3.1. Fotovoltaik (PV) güneş panelleri

Güneş panelleri, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren temel bileşendir. Güneş panelleri, fotovoltaik hücreler adı verilen ince, yarı iletken malzemelerden

yapılmış bir dizi hücre içerir. Bu hücreler genellikle silikon tabanlıdır ve güneş ışığının enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürme yeteneğine sahiptir.

Fotovoltaik hücrelerin çalışma prensibi ise, güneş ışığına maruz kaldığında, fotonlar yarı iletken malzemenin atomlarındaki elektronları harekete geçirir. Bu elektron hareketi, hücre içinde doğru akım (DC) elektriği oluşturur. Bu elektrik akımı, güneş paneli üzerindeki hücreler arasında seri veya paralel olarak bağlanarak toplanır ve sonunda sistemde kullanılacak veya şebekeye beslenecek elektrik enerjisi elde edilir.

Güneş panelleri, genellikle cam ve alüminyum çerçeve ile korunur ve hava şartlarına dayanıklı hale getirilir. Paneller, çatılara, zemine veya diğer yapıya monte edilebilir ve genellikle güneşin yönüne ve açısına göre optimize edilir (Green ve ark, 2021).

1.3.1.1. Monokristal silikon hücreleri

Bu hücreler, tek bir kristal yapıya sahip yüksek saflıkta silikondan yapılmıştır. Monokristal hücreler, düzgün ve homojen görünüme sahiptir ve genellikle koyu mavi veya siyah renkte olup, yüksek verimlilik sunar. Bununla birlikte, üretim süreci daha karmaşık ve maliyetli olabilir (Sharma ve ark, 2015).

1.3.1.2. Polikristal güneş hücreleri

Polikristal hücreler, birden fazla kristal yapıya sahip silikondan yapılmıştır ve genellikle mavi renkte görülür. Bu hücreler, monokristal hücrelere göre daha düşük maliyetli ve daha kolay üretilir, ancak daha düşük verimlilik sunar (Hermann, 1998).

1.3.1.3. İnce film güneş hücreleri

İnce film güneş hücreleri, ince bir yarı iletken malzeme tabakası üzerine yapılan güneş hücreleridir. İnce film hücreleri, amorf silikon (a-Si), bakır indiyum galyum diselenid (CIGS) ve kadmiyum tellür (CdTe) gibi farklı malzemeler kullanarak üretilir. İnce film hücreler, daha düşük maliyet ve daha iyi performans sunsa da genellikle daha düşük verimlilik oranlarına sahiptir (Bergmann, 1999).

1.3.1.4. Çoklu kavşaklı hücreler

Çoklu kavşaklı hücreler, farklı enerji seviyelerine sahip birden fazla yarı iletken malzeme tabakasını bir araya getirerek güneş ışığının geniş bir spektrumunu absorbe etme yeteneğine sahiptir. Bu, hücrelerin verimliliğini önemli ölçüde artırır. Bu hücreler, genellikle uzay ve konsantre fotovoltaik (CPV) uygulamalarında kullanılır ve yüksek maliyetlidir.

- **Perovskit güneş hücreleri**

Perovskit malzemeler, güneş hücrelerinde kullanılan yeni ve umut vadeden bir teknolojidir. Perovskit hücreler, ince film teknolojisi kullanılarak üretilir ve yüksek verimlilik oranlarına ulaşabilir. Bununla birlikte, perovskit hücrelerin ticari kullanımı için halen istikrar ve ömür gibi zorluklar çözülmeye çalışılmaktadır.

- **Organik fotovoltaik hücreler (OPV)**

Organik fotovoltaik hücreler, organik yarı iletken malzemeler kullanarak yapılan güneş hücreleridir. OPV'ler, karbon temelli molekülleri ve polimerleri içeren organik malzemeler kullanır ve bu, onları geleneksel inorganik fotovoltaik hücrelerden ayıran temel özelliktir (Brabec, 2004).

1.3.2. Montaj sistemi

Montaj sistemi, fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinin önemli bileşenlerinden biridir. Montaj sistemi, güneş panellerini (güneş modülleri) belirli bir yapıya (genellikle çatılar, zemin veya diğer yapılar) sabitlemek ve düzgün bir şekilde desteklemek için kullanılır. Montaj sistemi, güneş panellerinin doğru yönlendirilmesini, hava şartlarına ve rüzgâra dayanıklılığını sağlar ve ayrıca bakım ve onarım çalışmaları sırasında erişim kolaylığı sunar.

Montaj sistemleri, genellikle alüminyum, paslanmaz çelik ve diğer dayanıklı malzemelerden yapılmış çerçeveler, bağlantı elemanları ve diğer yapısal bileşenleri içerir. Montaj sistemleri, güneş panellerini düz veya eğimli çatılara, zemin üzerine veya güneş takipçisi gibi hareketli yapılar üzerine monte etmeye uygun şekilde tasarlanabilir.

Montaj sistemlerinin ana tipleri şunlardır:

Sabit montaj sistemleri: Bu sistemler, güneş panellerini sabit bir açı ve yönde tutarak belirli bir yapıya monte eder. Sabit montaj sistemleri, düşük maliyetli ve basit kurulum avantajları sunar, ancak güneşin konumundaki değişikliklere göre en uygun enerji üretimini sağlamak için sürekli ayarlamalar yapılması gerekmez.

Güneş takipçi sistemleri: Güneş takipçi sistemleri, güneş panellerini güneşin konumuna göre sürekli olarak ayarlayarak enerji üretimini en üst düzeye çıkarmak için kullanılır. Bu sistemler, tek veya çift eksenli hareket mekanizmaları içerebilir ve enerji üretimini önemli ölçüde artırabilir, ancak daha yüksek maliyetli ve karmaşık yapıya sahiptir.

Montaj sistemleri, fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinin güvenli ve verimli çalışmasının sağlanması için önemlidir. İyi tasarlanmış ve doğru kurulmuş bir montaj sistemi, enerji üretimini artırırken, güneş panellerinin ömrünü ve performansını korur (Hafez ve ark, 2018).

1.3.3. Invertör

Invertör, fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinin temel bileşenlerinden biridir. Güneş panelleri, doğrudan güneş ışığını doğru akım (DC) elektrik enerjisine dönüştürür. Ancak, evler ve işletmeler genellikle alternatif akım (AC) enerjisi kullanır. İşte burada invertör devreye girer.

Invertör, fotovoltaik sistemden üretilen doğru akım (DC) enerjisini, evlerde, işletmelerde ve elektrik şebekesinde kullanılabilen alternatif akım (AC) enerjisine dönüştüren elektrik aygıtıdır. İnvertörün, güneş panellerinden gelen DC enerjisinin kalitesini ve güvenliğini sağlamak ve enerji kaybını en aza indirmek için etkin ve verimli bir dönüşüm gerçekleştirmesi önemlidir.

Invertörler, genellikle şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler için farklı tiplerde bulunur:

Şebekeye Bağlı İnvertörler: Bu invertörler, güneş enerjisi sisteminin şebekeye bağlı olduğu durumlarda kullanılır. Şebekeye bağlı invertörler, şebeke gerilimine ve

frekansına uyum sağlayarak sistemin güvenli ve uyumlu bir şekilde şebekeye enerji sağlamasına yardımcı olur.

Şebekeden Bağımsız İnvertörler: Bu invertörler, güneş enerjisi sisteminin enerji depolama sistemleri (örneğin, bataryalar) ile birlikte kullanıldığı ve şebekeye bağlı olmayan sistemler için kullanılır. Şebekeden bağımsız invertörler, depolanan enerjiyi gerektiğinde AC enerjiye dönüştürerek enerjinin doğru bir şekilde tüketilmesini sağlar.

Ayrıca, mikroinvertörler ve güç optimizasyonu gibi ileri teknolojilere sahip invertör tipleri de mevcuttur. Bu tür invertörler, her bir güneş paneli için ayrı ayrı enerji dönüşümü ve yönetimi sağlayarak sistem verimliliğini ve performansını artırır (Renu ve Surasmi, 2014).

1.3.4. Kablo ve bağlantı elemanları

Kablo ve bağlantı elemanları, fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinin önemli bileşenlerindendir. Bu bileşenler, sistemin farklı parçalarını birbirine bağlayarak elektrik enerjisinin doğru ve güvenli bir şekilde iletilmesini sağlar. Kablo ve bağlantı elemanlarının doğru seçimi ve kurulumu, sistemin verimliliği, güvenliği ve ömrü açısından kritiktir.

Kablo ve bağlantı elemanlarının temel bileşenleri şunlardır:

DC Kabloları: Güneş panellerinden üretilen doğru akım (DC) enerjiyi invertöre taşımak için kullanılır. Bu kablolarda genellikle bakır veya alüminyum iletkenler bulunur ve yüksek sıcaklık, UV ışınları ve hava koşullarına dayanıklı yalıtkan malzemelerle kaplanır. DC kablolarda, enerji kaybını en aza indirmek ve güvenliği sağlamak için uygun kesit alanı ve izolasyon kalitesi önemlidir.

AC Kabloları: İnvertörden çıkan alternatif akım (AC) enerjiyi evlerde, işletmelerde veya şebekeye taşımak için kullanılır. AC kablolarda, uygun kesit alanı ve yalıtım malzemeleri seçimi, enerji kaybını ve güvenlik risklerini en aza indirmek için önemlidir.

Bağlantı Elemanları: Bağlantı elemanları, güneş panelleri, invertörler ve diğer bileşenler arasındaki elektrik bağlantılarını sağlamak için kullanılır. MC4 konnektörleri gibi endüstri standardı bağlantı elemanları, hızlı ve güvenli bağlantılar

sağlar ve ayrıca su geçirmez ve hava koşullarına dayanıklı özelliklere sahiptir. Bağlantı elemanları, düşük dirençli ve güvenilir temaslar sağlamalıdır.

Koruyucu Elemanlar: Fotovoltaik sistemde, enerji iletimi sırasında güvenliği sağlamak için koruyucu elemanlara ihtiyaç vardır. Sigortalar, devre kesiciler ve yıldırım koruyucuları gibi bileşenler, aşırı akım, kısa devre ve yıldırıma karşı sistemi korur.

Kablo ve bağlantı elemanlarının doğru seçimi ve kurulumu, fotovoltaik sistemlerin güvenli ve verimli çalışmasının sağlanması için önemlidir. İyi tasarlanmış ve doğru kurulmuş kablo ve bağlantı elemanları, enerji kaybını azaltırken, sistemin ömrünü ve performansını korur (Tianze ve ark, 2011).

1.3.5. Off-grid sistemlerde diğer donanımlar

1.3.5.1. Şarj kontrol cihazı

Güneş enerjisi sistemlerinde, özellikle şebekeden bağımsız (off-grid) sistemlerde kullanılan önemli bir bileşendir. Şarj kontrol cihazı, güneş panellerinden üretilen enerjiyi yöneterek batarya bankasını düzenli ve güvenli bir şekilde şarj etmeye yardımcı olur. Bu cihazlar, bataryaların ömrünü ve performansını korumak için aşırı şarj veya derin deşarj gibi durumları önlemeye çalışır.

Şarj kontrol cihazlarının temel işlevleri şunlardır:

Aşırı Şarjı Önleme: Güneş panellerinden gelen enerji, bataryaların kapasitesini aşacak şekilde yüksek olabilir. Şarj kontrol cihazı, enerji akışını düzenleyerek bataryaların aşırı şarj olmasını önler ve böylece bataryaların ömrünü uzatır.

Derin Deşarjı Önleme: Bataryaların enerji seviyesi çok düşük olduğunda, derin deşarj olarak adlandırılan ve bataryaların ömrünü ve performansını olumsuz etkileyebilecek bir durum meydana gelir. Şarj kontrol cihazı, batarya enerji seviyesini izleyerek bu tür durumların önlenmesine yardımcı olur.

Ters Akım Koruması: Geceleyin güneş panelleri üzerinden bataryalara doğru ters akım akabilir. Bu durum, enerji kaybına ve batarya ömrünün azalmasına yol açabilir. Şarj kontrol cihazı, ters akımın önlenmesine yardımcı olacak şekilde tasarlanmıştır.

Şarj kontrol cihazları, genellikle iki ana tipe ayrılır: PWM (Pulse Width Modulation) ve MPPT (Maximum Power Point Tracking). PWM şarj kontrol cihazları, daha düşük

maliyetli ve daha basit sistemlerde kullanılırken, MPPT şarj kontrol cihazları, daha yüksek verimlilik ve esneklik sunarak daha gelişmiş ve genellikle daha büyük güneş enerjisi sistemlerinde kullanılır. Her iki tip şarj kontrol cihazı da batarya bankalarını düzenli ve güvenli bir şekilde şarj etmeye yardımcı olur, ancak MPPT şarj kontrol cihazları genellikle daha yüksek enerji verimliliği sunar.

Bazı yeni teknoloji invertörlerde entegre şarj kontrol devreleri bulunmaktadır. Bu tür invertörler, hem enerji dönüşümü (DC'den AC'ye) hem de şarj kontrolü işlevlerini gerçekleştirebilir. Bu durumda, tek bir invertör kullanarak off-grid bir güneş enerjisi sistemi kurmak mümkündür ve ayrı bir şarj kontrol cihazına ihtiyaç duyulmaz.

Bu tür invertörler genellikle "hibrit invertör" veya "all-in-one invertör" olarak adlandırılır ve şarj kontrol cihazı, invertör ve bazen de batarya yönetim sistemi gibi bileşenleri tek bir üniteye birleştirir. Hibrit invertörler, sistem tasarımını ve kurulumunu basitleştirirken, enerji yönetimini optimize eder ve bileşenler arası uyumu artırır (Çelik, 2019).

1.3.5.2. Aküler ve bataryalar

Aküler, güneş enerjisi sistemlerinde özellikle off-grid ve hibrid sistemlerde enerji depolama bileşeni olarak kullanılır. Bu sistemlerde, güneş panelleri tarafından üretilen enerji doğrudan tüketilemezse veya fazla enerji üretilirse, aküler enerjiyi depolar ve daha sonra kullanılması gerektiğinde enerjiyi sağlar.

Akülerin temel işlevi, güneş panellerinden gelen doğru akım (DC) enerjiyi depolamak ve kullanılması gerektiğinde geri vermek için gereklidir. Bu enerji, güneş ışığı olmadığında veya düşük olduğunda, özellikle gece ve kapalı hava koşullarında kullanılır.

Fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan akülerin çeşitli türleri vardır:

Kurşun-asit aküler: Bu aküler en yaygın ve ekonomik akü türüdür. İki alt türü vardır: sulu (flooded) kurşun-asit aküler ve kuru (sealed) kurşun-asit aküler. Sulu kurşun-asit aküler, düşük maliyetli ve genellikle büyük off-grid sistemlerde kullanılır, ancak bakım gerektirir. Kuru kurşun-asit aküler ise bakım gerektirmeyen ve daha güvenli bir seçenektir, ancak daha pahalıdır.

Lityum-iyon aküler: Lityum-iyon aküler, hafiflik, yüksek enerji yoğunluğu, uzun ömür ve düşük bakım gereksinimi gibi avantajlar sunar. Ancak, maliyetleri kurşun-asit akülerden daha yüksektir. Elektrikli araçlar ve enerji depolama sistemlerinde giderek daha popüler hale gelmektedirler.

Nikel-kadmiyum (NiCd) ve nikel-metal hidrit (NiMH) aküler: Bu aküler daha az yaygındır ve genellikle küçük ölçekli güneş enerjisi sistemlerinde kullanılır. NiCd aküler, sıcaklık değişimlerine karşı dirençli ve uzun ömürlü olmalarıyla bilinir, ancak toksik ve çevreye zararlı oldukları için kullanımları kısıtlanmıştır. NiMH aküler ise NiCd akülerin daha çevre dostu bir alternatifidir, ancak enerji yoğunluğu ve ömür açısından lityum-iyon akülere kıyasla daha düşüktür. Akülerin seçimi, sistem ihtiyaçlarına, bütçeye ve tercihlere bağlıdır. Her akü türünün avantajları ve dezavantajları dikkate alınarak, güneş enerjisi sistemi için en uygun akü türü seçilmelidir (Divya ve Østergaard, 2009).



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Araştırma çalışmasının temelini oluşturmak adına, konuyla ilgili mevcut literatür geniş çaplı bir incelemeye tabi tutulmuştur. Bu literatür taraması iki temel bölümde gerçekleştirilmiştir. İlk bölüm, enerji sektöründe elektrik talep tahminleri ile ilgili çalışmaları kapsamıştır. Bu bölümde, konuyla alakalı olarak birçok farklı yaklaşım ve metodoloji analiz edilmiştir.

İkinci bölüm ise güneş enerji sistemleri üzerine odaklanmıştır. Bu teknolojinin verimlilik, kullanılabilirlik, maliyet analizleri ve çevresel etkileri üzerine var olan çalışmalar gözden geçirilmiştir. Güneş enerji sistemlerinin tasarımı, performansı, bakımı ve sürdürülebilirliği üzerine gerçekleştirilen araştırmalar bu bölümün temelini oluşturmuştur.

Elektrik Talep Tahmini ile ilgili literatürde zaman serisi analizleri, regresyon modelleri, yapay sinir ağları ve makine öğrenmesi gibi çeşitli istatistiksel ve bilgisayar tabanlı yöntemler kullanılmaktadır. Bu tahminlerin doğruluğunu artırmak amacıyla, farklı değişkenler ve tahmin faktörleri üzerine gerçekleştirilen çalışmalar da göz önünde bulundurulmuştur.

Güneş Enerji Sistemleri ile ilgili literatürde ise, sistemlerin tasarımı ve montajı, enerji üretimi ve dönüşüm verimliliği, ekonomik ve çevresel etkileri ve sistemin yaşam döngüsü boyunca karşılaşılan teknik zorluklar incelenmiştir.

Her iki bölümdeki literatür incelemesi, tezin metodolojisinin belirlenmesinde ve araştırma sorularının yanıtlanmasında önemli bir rol oynamıştır. Bu incelemeler aracılığıyla, çalışmanın genel erevesi ve amacı belirlenmiş ve konuyla ilgili bilgi eksiklikleri tespit edilmiştir. Bu tespitler, çalışmanın bu boşlukları doldurarak bilime katkıda bulunma hedefini belirlemeye yardımcı olmuştur.

2.1. Elektrik Talep Tahmini İle İlgili Kaynak Araştırması

Elektrik Talep Tahmini, enerji sektöründe önemli bir konudur ve birçok araştırmacı ve uzman tarafından incelenmiştir. Literatürde, Elektrik Talep Tahmini konusunda birçok farklı yaklaşım ve yöntem mevcuttur. Aşağıda Elektrik Talep Tahmini konusunda yapılan bazı çalışmaların özetleri verilmiştir;

Ülkü ve Yalpır (2021)'ın yaptıkları çalışmada, gelecekteki elektrik enerjisi talebinin tahmini üzerine odaklanılıyor. Yazarlar, yapay sinir ağları ve çoklu regresyon analizi kullanarak 2009-2018 yıllarına ait verilere dayanarak Türkiye'nin 2030 yılı elektrik enerjisi ihtiyaç tahminlerini oluşturmuşlardır. Bu tahminlerde çeşitli faktörler dikkate alınmış, özellikle nüfus, ortalama hanehalkı büyüklüğü, eğitim durumu, Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla, ihracat, ithalat, sanayi girdi ve elektrik enerji tüketim miktarı gibi kritik değişkenler modellemeye dahil edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, Türkiye'nin 81 iline ait 2030 yılı elektrik enerjisi talebinin tahminini %98 oranında başarı ile gerçekleştirdiğini göstermiştir.

Nebati ve ark. (2021)'nın yaptığı "Türkiye'de Elektrik Tüketiminde Talep Tahmini: Zaman Serisi Ve Regresyon Analizi İle Karşılaştırma" başlıklı çalışmada, enerji talebinin doğru tahmininin, kaynakların verimli yönetimi için kritik öneme sahip olduğunu vurguluyorlar. Türkiye'deki elektrik tüketim verilerine dayanarak, regresyon analizi ve zaman serisi teknikleri kullanarak talep tahminleri oluşturmuşlar. Bu tahminler, Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) mevcut değerleriyle yakından uyuşmuştur, bu da tahmin tekniklerinin doğruluğunu göstermektedir.

Yumurtacı ve Asmaz'ın (2004) çalışması, Türkiye'nin en önemli yenilenebilir enerji kaynağının hidroelektrik olduğunu belirtmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'nin 1980-2050 yılları arasındaki enerji kullanımı, nüfus artışı ve kişi başına enerji tüketim artış oranlarına dayanarak tahmin edilmiştir. Ayrıca, Türkiye'nin 2050 yılında tüm hidroelektrik enerji potansiyelini kullanması durumunda ortaya çıkacak enerji ihtiyacı da değerlendirilmiştir.

Bianco ve ark. 'nın (2009) çalışması, İtalya'daki yıllık elektrik tüketimini tahmin etmek için doğrusal regresyon modellerini kullanmıştır. Çalışmada, 1970-2007 yılları arasındaki tarihsel veriler üzerinden, elektrik tüketimi, GSYİH, kişi başına GSYİH ve

nüfus gibi değişkenlerle çeşitli regresyon modelleri geliştirilmiştir. Ayrıca, kısa ve uzun vadeli fiyat esneklikleri ve GSYİH esneklikleri belirlenmiştir. Farklı regresyon modelleri ve istatistiksel testler kullanılarak, tahminlerin geçerliliği kontrol edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, geliştirilen tahminlerin karmaşık ekonometrik modellere dayanan resmi tahminlerle uyumlu olduğunu göstermiştir.

Sun ve ark.'nın (2017), mikro şebekenin genel işletme verimliliği için kısa vadeli yük tahmininin önemini vurgulamıştır. Çalışmada, tahmin doğruluğunu artırmak için çok değişkenli doğrusal regresyon (Multi-LR) ve K-en yakın komşu (K-NN) ve K-means temelli çok-etiketli bir model kombinasyonu önerilmiştir. Bu birleşik model, tahmin noktalarına her küme için farklı ağırlıklar atamak ve Multi-LR ile modeller oluşturmak için kullanılır. Çalışmanın sonuçları, bu birleşik modelin yüksek doğruluk sağladığını ve çalışma süresini azalttığını göstermiştir.

Es ve ark.'nın (2014) çalışması, Türkiye'nin net enerji talebini tahmin etmek için yapay sinir ağları (YSA) kullandı. Çalışma, 1970-2010 yılları arasındaki verileri - Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYH), nüfus, ithalat, ihracat, bina yüz ölçümü ve taşıt sayısı - YSA modeline dahil etti. YSA modeli, çoklu doğrusal regresyon tekniğiyle karşılaştırıldığında daha üstün tahmin performansı gösterdi. Bu model, 2011-2025 yılları arasında Türkiye'nin net enerji talebini tahmin etmek için kullanıldı.

Talep tahmini, enerji ve zaman serisi analizi üzerine regresyon konularında literatürde bir dizi çalışma bulunmaktadır. Yakın tarihli yıllarda, bu konularda yapılan bazı çalışmalara Tablo 2.1'de yer verilmiştir.

Tablo 2.1. Elektrik talebi tahmini konusunda bazı literatür çalışmaları.

Yıl	Yazar	Makale adı	Çalışmanın amacı	Yöntem
2007	Erdoğan	Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: A case study of Turkey	Türkiye' de elektrik talep tahmini yapılması	ARIMA
2010	Altınay	Aylık elektrik talebinin mevsimsel model ile orta dönem öngörüsü	Aylık elektrik tüketimi	ARIMA

Tablo 2.1. (Devamı) :Elektrik talebi tahmini konusunda bazı literatür çalışmaları.

2010	Yamaçlı	Türkiye'nin Uzun Dönem Elektrik Yük Tahmini	Uzun Dönem Tahmini	ÇRA ve YSA
2014	Es ve ark.	Yapay sinir ağları ile Türkiye net enerji talep tahmini	Türkiye'de net enerji talep tahmini	ÇRA ve YSA
2015	Mahmutoğlu ve Öztürk	Türkiye elektrik tüketimi öngörüsü ve bu kapsamda geliştirilebilecek politika önerileri	Türkiye'de 2015-2023 aralığında brüt elektrik talep tahmini yapılması	ARIMA
2016	Karaca ve Karacan	Çoklu regresyon metoduyla elektrik tüketim talebini etkileyen faktörlerin incelenmesi	Elektrik talep tahminini etkileyen veriler program geliştirilerek analiz edilmesi	Basit ve Çoklu Regresyon
2017	Son ve Kim	Short-term forecasting of electricity demand for the residential sector using weather and social variable	Konut sektöründeki bir aylık elektrik talebi tahmini için model sunmak	YSA, ARIMA, ÇRA
2018	Yüksel Haliloğlu ve Tutu	Türkiye için kısa vadeli elektrik enerjisi talep tahmini	Türkiye elektrik tüketimini günlük tahminlenebilecek bir model kurulması	Regresyon Analizi
2019	Uzun	Farklı Yöntemler Kullanılarak Bursa Ve Türkiye İçin Elektrik Enerjisi Talep Tahmini	Elektrik enerjisi Talep Tahmini	ÇRA ve YSA
2021	Erkınay Özdemir	Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Orta Dönem Elektrik Enerjisi Tüketim Tahmini: İskenderun Örneği	İskenderun için aylık enerji tüketim tahmini	YSA
2021	Ülkü ve Yalpır	Enerji talep tahmini için metodoloji geliştirme: 2030 yılı Türkiye örneği	Türkiye'de şehirlere göre, elektrik enerjisi tahmini senaryolar belirlenmesi	ÇRA ve YSA

2.2. Güneş Enerjisi Sistemleriyle İlgili Kaynak Araştırması

Pomares ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada, Katar'ın uzun vadeli güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek amacıyla, çeşitli güneş enerjisi santrallerinin elektrik üretim beklentileri analiz edilmiştir. Uydudan alınan veriler ve kriging teknikleri kullanılarak güneş kaynak potansiyeli elde edilmiş ve bu veriler, Sistem Danışmanı Modeli'ne (SAM) giriş olarak kullanılarak çeşitli yoğunlaştırılmış güneş sistemleri ve fotovoltaik referans tesislerinin operasyonel beklentileri simüle edilmiştir. Sonuçlar, parabolik olukların ve büyük termal depolama sistemlerine sahip erimiş tuz kulesi tesislerinin, yanı sıra büyük şebekeye bağlı PV sistemlerinin, üretilen elektriğin yıllar arası değişkenliği ve uzun vadeli kararlılığı açısından en iyi çözümleri sunduğunu göstermektedir.

Okonkwo ve ark. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Katar'daki elektrik tedarik şebekesinin analizi yapılmış ve çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyon potansiyeli araştırılmıştır. Saatlik talep profilleri, yenilenebilir enerji teknolojilerinin entegrasyonunun çevresel emisyonlar ve sistem maliyeti üzerindeki etkisini araştırmak için kullanılmıştır. Sonuçlar, büyük ölçekli yenilenebilir enerji kurulumlarının elektrik üretiminden kaynaklanan emisyonları düşük maliyetle azaltabileceğini ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimine %80'e kadar katkı sağlayabileceğini göstermiştir. Ayrıca, bazı yenilenebilir enerji senaryolarının, mevcut referans duruma kıyasla daha düşük yıllık maliyetlere sahip olduğu belirlenmiştir.

Mohandes ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada, Katar'da konut fotovoltaik sistemlerinin benimsenmesini etkileyen bir dizi faktör analiz edilmiştir. Bu faktörler arasında ev sahipliği, fotovoltaik teknolojilerinin düşen maliyeti, elektrik sübvansiyonlarının azaltılması ve bir karbon vergisi uygulanması bulunmaktadır. Çalışmada, bu faktörlerin etkisini değerlendirmek ve bu teknolojilerin benimsenmesini teşvik etmek için bir sosyal simülasyon platformu geliştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, fotovoltaik sistemlerin düşen maliyetinin, bu teknolojinin Katar'da benimsenmesini güçlü bir şekilde desteklediğini ve elektrik sübvansiyonlarının azaltılması ve bir karbon vergisi uygulamasıyla bu benimsenmenin daha da hızlandırılabilceğini göstermiştir.

Lari ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, Yapay Sinir Ağları (ANN), Çok Değişkenli (MV) ve Destek Vektör Makinesi (SVM) olmak üzere üç farklı tahmin algoritmasının optimize edilerek ve eğitilerek bir model oluşturulmuştur. Model, en iyi fotovoltaik güç tahminini seçmek için üç tahmin algoritması ve bir oylama yöntemini kullanmaktadır. Bu oylama yöntemi, üç tahmin algoritmasının ortalamasına dayanmaktadır. Çalışma, bu makine öğrenimi algoritmalarının bir karışımını kullanarak, çevresel verilere dayalı bir fotovoltaik çıkış gücü tahmini oluşturmayı başarmıştır. Önerilen model, Katar bölgesindeki çevresel veriler kullanılarak eğitilmiş ve güneş enerjisi santrallerinin tasarımını iyileştirmek ve PV hücrelerinin miktarını hesaplamak için gerekli güç talebinin karşılanmasını sağlamak amacıyla kullanılmıştır.

Nezar ve ark. (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Lusail City, Doha, Katar'daki bir stadyumda sürdürülebilir, ölçeklenebilir ve maliyet etkin bir soğutma çözümü üzerinde durulmuştur. Bu çalışma, soğutma yükü talebini karşılamak ve termal konforu sağlamak amacıyla farklı türde güneş kolektörlerinin performansını ve termal depolama konfigürasyonlarını değerlendirmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma soğutma talebinin %90'ını karşılayabilen bir şema önermiştir. Ancak, stadyum içinde optimum insan termal konforunu sağlamak için başka bir ek enerji kaynağı gerektiği ve soğutma kaynağının akşamları kesintiye uğramamasını sağlamak için yeterli termal depolama kapasitesine ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Ekonomik açıdan bakıldığında, bu çözümün maliyet etkinliği kanıtlanmıştır. Üretilen soğutma enerjisinin kWh başına maliyeti 20 sent olarak tahmin edilirken, ilk sistem maliyeti 35 sent olarak belirlenmiştir.

Hassabou ve Khan (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, enerji ve su kullanım verimliliğini artırmak ve güneş PV sistemleriyle donatmak amacıyla tarımsal seraların tasarımı, modellemesi ve optimizasyonu incelenmiştir. Çalışmada, güneş ışığının ve bitkilerin büyümesi için gerekli güneş enerjisinin sağlanmasına odaklanılmış ve bu ihtiyaçları karşılamak üzere seranın çatısına monte edilmiş bir PV sistemi geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, soğutma yükünü önemli ölçüde azaltan ve güneş enerjisiyle soğutmayı entegre eden bir Pasif Güneş Serası (PSGH) tasarımı geliştirmek ve bir sera içinde sıcaklık, nem, gün ışığı, havalandırma gibi mahsul yetiştirme

koşullarını optimize etmektir. Çalışmanın sonucunda, PSGH tasarımı ile geleneksel bir sera tasarımı karşılaştırılmış ve PSGH tasarımının soğutma yükünü yaklaşık %74 oranında azalttığı ve enerji tüketiminde %77'lik bir azalma sağladığı tespit edilmiştir.

Astudillo ve Bachour (2019) tarafından yürütülen bir çalışmada, Katar'ın 12 otomatik meteoroloji istasyonundan toplanan Küresel Yatay Işınlama (GHI) verileri incelenmiştir. Altı yıllık bu veriler, yatay bir yüzeye düşen toplam güneş radyasyonunu temsil eder. Araştırmacılar, her istasyonda GHI'nin yıllık ve aylık değişimlerini hesaplamışlar ve ortalama GHI değerini 5,80 kWh/m²/gün ve toplamda 2116 kWh/m²/yıl olarak bulmuşlardır. Katar genelinde aylık GHI ortalamalarının, ülke geneli ortalamasına göre %4'e kadar değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, GHI değerlerinin Katar'ın kuzey ve güney bölgelerinde genellikle daha yüksek olduğu, sanayi bölgelerine yakın merkezi bölgelerde ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Abdmouleh ve ark. (2018) tarafından yürütülen bir çalışmada, Katar Üniversitesi topluluğu arasında enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji konularında anketler yapılmıştır. Bu anketler, Katar halkının akıllı şebekeler, akıllı sayaçlar ve çevre konularına karşı tutumlarını belirlemeyi hedeflemiştir. Anket sonuçları, politika yapıcıları ve diğer paydaşları bilgilendirme ve enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve akıllı şebeke teknolojilerine olan halk kabulünü artırmak için bilinçlendirme kampanyalarını şekillendirme konularında kullanılmıştır.

Boumaiza ve ark. (2018) tarafından yürütülen bir çalışmada, şehir mahallelerindeki sosyal ağlar üzerinden yenilenebilir enerji teknolojileri (RET) hakkında bilgi yayılımını modelleyen bir yaklaşım sunulmuştur. Bu model, hane halkı ve Twitter ağlarındaki bilgi yayılma modellerini birleştirerek, yenilenebilir enerji teknolojilerinin inovasyonunun yayılma oranını modellemeyi amaçlamıştır. Katar'da güneş enerjisinin benimsenmesi konusunda bu modelin bir uygulaması sunulmuştur.

Bohra ve Shah (2019) tarafından yürütülen bir çalışma, Katar'ın elektrik sisteminin optimal gelişimini modellemeyi ve güneş enerjisi ile diğer düşük karbonlu teknolojilerin potansiyelini ölçmeyi hedeflemiştir. Çalışmanın ana hedefi, yerli enerji ihtiyaçları ile hidrokarbon ihracatını ekonomik bir zorunluluk çerçevesinde dengelemek olmuştur. Araştırmacılar, 2040 yılına kadar yıllık 60.000 GWh'ye kadar

güneş enerjisi bazlı elektrik üretiminin potansiyelini, şebeke ölçeğinde günlük enerji depolama ve uluslararası iletim kapasitesi yatırımları ile birlikte tespit etmişlerdir. Ayrıca, Katar'ın yenilenebilir enerji kullanımının artmasıyla, ihracat için daha fazla hidrokarbon ve özellikle düşük karbonlu hidrojen açığa çıkacağını belirlemişlerdir.

Al-Maamary ve arkadaşları (2018), Körfez İşbirliği Konseyi (KİK) ülkelerinin önümüzdeki 50 yıl içinde petrol üreticisi olarak durumlarını inceleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, petrol ve kaya gazı üretimindeki artışın özellikle KİK'teki en büyük petrol ihracatçısı olan Suudi Arabistan üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada ayrıca, KİK'in ekonomik kalkınma ile enerji talebi arasındaki ilişkiyi yönetme konusundaki başarısızlığına dikkat çekilmiştir.

Alwahedi ve Bicer (2021), yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı bir şarj istasyonunun en uygun konfigürasyonunu belirlemek için teknik ve ekonomik bir değerlendirme gerçekleştiren bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, farklı enerji depolama sistemlerinin ve dönüştürücülerin boyutlarını belirlemek için HOMER adlı bir optimizasyon aracı kullanmışlardır. belirlenen optimum durumların net bugünkü elektrik maliyetinin kWh başına 0,285\$ ile 0,329\$ arasında değiştiği belirlenmiştir.

Ayoub ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada, Katar'daki ticari binaların enerji tasarrufu uygulamaları incelenmiştir. Araştırma, enerji tasarrufu yaklaşımlarını beş ana alana ayırmış ve Enerji Tasarrufu Matrisi (ECM) adı verilen bir veri tabanı geliştirilmiştir. Üç farklı senaryo araştırılmıştır: bina dış tasarımı, müşteri davranışındaki değişiklikler ve yenilenebilir enerji tedarikini dikkate almak. Bu senaryoların enerji tasarrufu potansiyelleri otel örneği üzerinde analiz edilmiştir.

Bohra ve Shah (2019) tarafından yürütülen bir çalışmada, Katar enerji sisteminin özelliklerini anlamak ve modelleri için QESMAT adı verilen bir optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Bu model, Katar'ın genel enerji altyapısına bir sistem yaklaşımı uygulamasına olanak sağlamıştır. Araştırmanın hedefi, kaynakların sürdürülebilir kullanımını teşvik etmek ve gıda, enerji ve su sistemlerinin güvenliğini sağlamaktır. Bu hedefler doğrultusunda, elektrikli araçların ve toplu taşımanın artan kullanımı gibi düşük karbonlu taşımacılık seçeneklerine ve ayrıca tuzdan arındırma için güneş enerjisi ve ters ozmozun kullanımına odaklanan bir enerji dönüşüm planı sunulmuştur.

3. KATAR'DA YENİLENEBİLİR ENERJİ POTANSİYELİ

3.1. Dünyada Yenilenebilir Enerji

Dünya genelinde yenilenebilir enerji potansiyelleri, bölgesel coğrafi özellikler, iklim koşulları ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak değişir. Şekil 3.1, teknolojiye göre dünya genelinde yenilenebilir enerji üretiminin yıllık dağılımını göstermektedir. İşte dünya genelindeki yenilenebilir enerji potansiyelleri hakkında bir özet:

Güneş enerjisi: Ekvatora yakın bölgelerde, özellikle çöllerde, yüksek düzeyde güneş radyasyonu nedeniyle büyük güneş enerjisi potansiyeli bulunmaktadır. Afrika, Orta Doğu, Avustralya, Güneybatı Amerika ve Hindistan, yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgelerdir.

Rüzgar enerjisi: Rüzgar enerjisi, rüzgarın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren türbinler kullanarak elde edilir. Kıyı bölgeleri, adalar ve yüksek rakımlı alanlar, güçlü ve sürekli rüzgarlar nedeniyle yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptir. Avrupa, Kuzey Amerika ve Asya'nın bazı bölgeleri önemli rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptir.

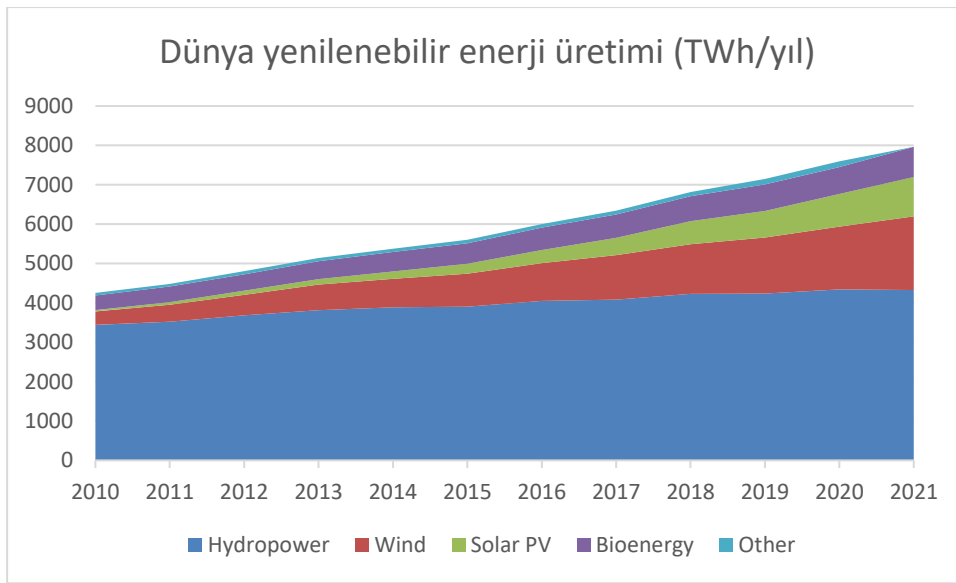
Hidroelektrik enerji: Hidroelektrik enerji, suyun kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek üretilir. Nehirler, barajlar ve şelaleler gibi su kaynakları bulunan bölgelerde yüksek hidroelektrik enerji potansiyeli bulunmaktadır. Çin, Brezilya, Kanada, ABD ve Rusya, dünya genelindeki en büyük hidroelektrik enerji potansiyeline sahip ülkelerdir.

Biyokütle enerjisi: Biyokütle enerjisi, bitki ve hayvansal atıklardan, ağaç artıklarından veya enerji mahsullerinden üretilir. Tarımsal ve ormanlık alanlara sahip bölgelerde yüksek biyokütle enerji potansiyeli bulunmaktadır. Brezilya, ABD, Çin ve Avrupa'nın bazı bölgeleri bu enerji türü için önemli bir potansiyele sahiptir.

Jeotermal enerji: Jeotermal enerji, yer kabuğu içindeki sıcak su ve buhar kaynaklarının enerjisini kullanır. Jeotermal enerji potansiyeli, volkanik aktivite ve sıcak su kaynaklarının yoğun olduğu bölgelerde yüksektir. İzlanda, Endonezya, Filipinler, Türkiye ve ABD gibi ülkelerde önemli jeotermal enerji potansiyeli bulunmaktadır.

Dalga ve gelgit enerjisi: Kıyı şeridi olan ülkelerde ve okyanuslardaki gelgit hareketlerinin yoğun olduğu bölgelerde, dalga ve gelgit enerjisi potansiyeli yüksektir. İngiltere, Fransa, Kanada, ABD ve Avustralya gibi ülkelerde dalga ve gelgit enerjisi kullanımı için önemli potansiyel bulunmaktadır.

Sonuç olarak, dünya genelindeki yenilenebilir enerji potansiyelleri coğrafi ve iklim koşullarına bağlı olarak değişir. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik, jeotermal enerji, biyokütle, biyogaz, dalga ve gelgit enerjisi gibi çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarından en verimli şekilde yararlanılması, enerji güvenliği ve sürdürülebilirliği sağlamak için önemlidir (Moomaw ve ark, 2011).



Şekil 3.1. Teknolojiye göre dünya yenilenebilir enerji yıllık üretimi (IEA, 2022).

3.2. Katar’da Yenilenebilir Enerji

Katar, Orta Doğu’nun küçük bir yarımada ülkesi olup, büyük doğal gaz rezervleri ile bilinir. Bununla birlikte, ülke enerji kaynaklarını çeşitlendirmek ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için yenilenebilir enerjiye yatırım yapma konusunda kararlıdır. Katar’da iki ana yenilenebilir enerji potansiyeli bulunmaktadır:

Güneş enerjisi: Katar, yüksek güneş radyasyonuna sahip olduğu için güneş enerjisi açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Yılda ortalama 3.800 saat güneş ışığı alan ülke ve yılda ortalama 2.000 ila 2.200 kWh/m² arasında değişen yüksek güneş ışınlamı, onu güneş enerjisi üretimi için ideal bir yer haline getiriyor. 800 MW Al-Kharsaah

Solar PV projesi gibi güneş enerjisi projeleri, bu potansiyelden yararlanmak için halihazırda başlatılmıştır. Katar, mevcut ve planlanan güneş enerjisi projeleri ile enerji üretimini çeşitlendirmeyi ve enerji verimliliğini artırmayı hedeflemektedir (Elrahmani ve ark, 2021).

Rüzgar enerjisi: Katar'ın rüzgar enerjisi potansiyeli, özellikle kuzey ve batı bölgelerinde önemli rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu alanlarda ortalama rüzgar hızı saniyede 5,4 ila 6,7 metre arasında değişmekte olup, rüzgar enerjisi üretimi için uygundur. Rüzgar santralleri için en uygun yerlerin belirlenmesi ve rüzgar enerjisi potansiyelinin daha doğru tahmin edilebilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Ülkenin rüzgar enerjisi projeleri ve rüzgar türbinleri sayesinde, rüzgar enerjisinden yararlanarak enerji üretimi çeşitlendirilebilir ve sera gazı emisyonları azaltılabilir (Aboobacker ve ark, 2021).

Hidroelektrik enerjisi: Katar'ın hidroelektrik enerji potansiyeli, coğrafi ve iklimsel koşulları nedeniyle oldukça sınırlıdır. Katar'ın düz arazi yapısı, düşük yağış miktarı ve yetersiz su kaynakları, hidroelektrik enerji üretimi için uygun bir ortam sağlamamaktadır (IRENA, 2019).

Jeotermal enerji: genellikle volkanik aktivite veya tektonik plaka sınırlarına sahip bölgelerde bulunan, dünya'nın doğal ısısından yararlanılarak üretilir. Katar'ın jeotermal enerji potansiyeli, öncelikle coğrafi konumu ve jeolojik özellikleri nedeniyle güneş ve rüzgar kaynaklarına kıyasla sınırlıdır. Katar, önemli tektonik veya volkanik aktivite ile ilişkili olmayan istikrarlı Arap Plakası üzerinde yer almaktadır. Katar gibi kıyı bölgelerinde bu enerji türü daha az yaygındır ve dolayısıyla potansiyeli düşüktür (Alnaser ve Alnaser, 2011).

Biyokütle enerjisi: Biyokütle enerjisi, organik materyallerin yanması veya dönüşümü ile elde edilen enerjidir. Katar gibi çöl ve kumlu alanların yaygın olduğu bölgelerde, doğal olarak büyük ormanlık alanlar veya tarım arazileri bulunmadığından, biyokütle enerjisi potansiyeli sınırlıdır. Ancak Katar, enerji ihtiyaçlarını daha sürdürülebilir hale getirmek için biyokütle enerjisi alanında yaratıcı çözümler aramaktadır. Bu çözümlerden biri, biyogaz üretimi için atık su arıtma tesislerinde ve katı atık yönetimi tesislerinde organik atıkları kullanmaktır. Bu tür projeler, Katar'ın enerji portföyünü

çeşitlendirebilir ve enerji ihtiyaçlarını karşılamak için sürdürülebilir bir alternatif sunabilir (Das ve ark, 2019).

Okyanus enerjisi: Katar, Arap Körfezi'nde yer alsa da, okyanus enerjisi potansiyeli açısından sınırlı fırsatlara sahiptir. Okyanus enerjisi, dalga enerjisi, gelgit enerjisi ve okyanus termal enerji dönüşümü (OTEC) gibi çeşitli biçimlerde üretilebilir. Bununla birlikte, Katar'ın coğrafi ve deniz koşulları, bu enerji türlerinin verimli şekilde üretilmesi için uygun olmamaktadır.

Katar'daki dalga enerjisi potansiyeli, Arap Körfezi'nin düşük dalga yüksekliği ve enerjisi nedeniyle sınırlıdır. Gelgit enerjisi ise, Katar'ın kıyı şeridinde büyük gelgit aralığı olmaması nedeniyle düşük potansiyele sahiptir. Ayrıca, Katar'ın ekvatora olan uzaklığı, okyanus termal enerji dönüşümü (OTEC) için yeterli sıcaklık farkının bulunmaması sebebiyle bu teknoloji için de uygun olmayan bir konumdadır (IRENA, 2019).

Katar, yenilenebilir enerji potansiyelini daha da geliştirmek için araştırma ve geliştirme çalışmalarına, teknolojik inovasyona ve uluslararası işbirliğine önem vermektedir. Ülke, sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşmak için yenilenebilir enerji kaynaklarını daha verimli ve ekonomik hale getirmeye çalışmaktadır.

Katar'ın 2030 Vizyonu kapsamında yenilenebilir enerji ile ilgili önemli planları ve hedefler bulunmaktadır. Katar 2030 Vizyonu, ülkenin ekonomik, sosyal ve çevresel kalkınma hedeflerini belirleyen bir yol haritasıdır. Bu vizyon, enerji sektöründeki dönüşümü desteklemek ve sürdürülebilir kalkınma için yenilenebilir enerji kaynaklarını teşvik etmek amacıyla oluşturulmuştur.

Katar 2030 Vizyonu kapsamında yenilenebilir enerji ile ilgili planlar ve hedefler şunlardır:

Güneş enerjisi kapasitesini artırmak: Katar, güneş enerjisi projelerine yatırım yaparak güneş enerjisi kapasitesini önemli ölçüde artırmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda, ülke genelinde güneş enerjisi santralleri kurmayı ve güneş enerjisi panellerinin kullanımını yaygınlaştırmayı planlamaktadır.

Enerji verimliliğini ve enerji tasarrufunu teşvik etmek: Katar 2030 Vizyonu, enerji verimliliği ve enerji tasarrufu konularında önemli hedefler belirlemiştir. Bu bağlamda, enerji verimli teknolojilere ve enerji tasarrufu sağlayan uygulamalara yatırım yapılması öngörülmektedir.

Rüzgar enerjisi projelerini geliştirmek: Katar, rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirmek ve enerji üretimini çeşitlendirmek için rüzgar enerjisi projelerine yatırım yapmayı planlamaktadır. Bu kapsamda, rüzgar türbinleri ve rüzgar enerjisi santralleri kurarak enerji üretimini artırmayı hedeflemektedir.

Yenilenebilir enerji araştırmalarını ve inovasyonunu desteklemek: Katar 2030 Vizyonu, yenilenebilir enerji sektöründe araştırma ve inovasyonu teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, üniversiteler ve araştırma merkezleri ile işbirliği yaparak yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmayı hedeflemektedir. Katar 2030 Vizyonu kapsamında, Katar'ın enerji sektöründeki dönüşümünü desteklemek ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine büyük önem verilmektedir. Bu vizyon kapsamında, Katar:

Yerel ve uluslararası işbirliğini güçlendirmek: Katar, yenilenebilir enerji sektöründe yerel ve uluslararası işbirliğini teşvik ederek, teknoloji transferi, bilgi paylaşımı ve ortak projeler yoluyla sektörün büyümesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Yenilenebilir enerji politikalarını ve düzenlemelerini geliştirmek: Katar 2030 Vizyonu, yenilenebilir enerji politikaları ve düzenlemelerinin güçlendirilmesine önem vermektedir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji projelerinin teşvik edilmesi, finansman sağlanması ve enerji piyasasının yenilenebilir enerjiye açılması gibi politikalar benimsenerek sektörün büyümesi hedeflenmektedir.

Bu hedefler ve planlar, Katar'ın enerji sektöründe sürdürülebilir bir dönüşüm sağlamak, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve enerji güvenliğini artırmak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapma kararlılığını göstermektedir. Katar 2030 Vizyonu, yenilenebilir enerji sektörünün gelişimine önemli ölçüde katkıda bulunarak ülkenin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasına yardımcı olacaktır (Tan ve ark, 2014).

3.3. Katar'ın Güneş Enerjisi Potansiyeli

Katar'ın güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksektir ve bu enerji türünün geliştirilmesi ve kullanılması, ülkenin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için büyük bir fırsat sunmaktadır. Katar, Arap Körfezi'nde yer alan küçük bir yarımada ülkesi olup, yıl boyunca bol miktarda güneş ışığı alır. Bu durum, güneş enerjisi üretimi için mükemmel bir ortam sağlamaktadır. İşte Katar'ın güneş enerjisi potansiyeli ile ilgili bazı detaylar:

Yüksek Güneş Radyasyonu: Katar, yılda yaklaşık olarak 2.200 kWh/m² arasında güneş radyasyonu alır. Bu değer, dünya ortalamasının oldukça üstündedir ve ülkenin güneş enerjisi kullanımı için büyük bir potansiyel sunmaktadır.

Katar'da ortalama güneşlenme saatleri, yılda yaklaşık olarak 3.500 ila 3.800 saat arasında değişmektedir. Bu, günde yaklaşık 9,5 ila 10,5 saat güneş ışığı anlamına gelir. Bu değerler, Katar'ın güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmesi için mükemmel bir ortam sağlamaktadır.

Geniş Araziler: Katar'ın çoğu çölle kaplıdır ve bu geniş alanlar, güneş enerjisi santralleri kurmak için uygun alanlar sağlamaktadır. Bu alanların kullanılması, Katar'ın enerji ihtiyaçlarını karşılamak için büyük miktarda güneş enerjisi üretebilmesine olanak tanır.

Yenilenebilir Enerji Hedefleri: Katar, 2030 Vizyonu kapsamında, enerji sektöründe sürdürülebilir kalkınma hedefleri belirlemiştir. Bu hedefler arasında, ülkenin enerji tüketiminin bir bölümünü yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamak da yer almaktadır. Bu bağlamda, güneş enerjisi, Katar'ın yenilenebilir enerji portföyünde önemli bir yer tutmaktadır.

Güneş Enerjisi Projeleri: Katar, güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek ve enerji üretimini çeşitlendirmek için büyük projelere yatırım yapmaktadır. Örneğin, Al-Kharsaah Güneş Enerjisi Projesi, Katar'ın güneş enerjisi sektöründeki en büyük projelerden biridir ve 800 MW kurulu güce sahip olması hedeflenmektedir. Katar'ın tepe elektrik talebinin %10'u Al Kharsaah tarafından karşılanmakta ve proje, 26 milyon metrik ton CO₂ emisyonunu önleyecektir. Bu ve diğer projelerle Katar, güneş enerjisini enerji sektöründe etkin bir şekilde kullanmayı amaçlamaktadır.

Sonuç olarak, Katar'ın güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksektir ve ülke, bu potansiyeli değerlendirmek ve enerji ihtiyaçlarını karşılamak için büyük projelere yatırım yapmaktadır. Güneş enerjisi, Katar'ın enerji portföyünde önemli bir yer tutmaktadır ve enerji bağımlılığını azaltmaya, enerji güvenliğini artırmaya ve ülkenin sera gazı emisyonlarını düşürmeye yardımcı olmaktadır. Bu bağlamda, Katar hükümeti, güneş enerjisi projelerine finansman sağlamakta ve özel sektörü bu alanda yatırım yapmaya teşvik etmektedir.

Ayrıca, Katar'ın güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmesine yardımcı olacak teknolojik gelişmeler ve araştırmalar da önemlidir. Bu nedenle, Katar hükümeti ve özel sektör, güneş enerjisi teknolojilerine yönelik araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetlerine destek vermektedir.

Katar, güneş enerjisi potansiyelini daha da artırmak için enerji verimliliği uygulamalarına ve enerji depolama teknolojilerine de yatırım yaparak, güneş enerjisinin enerji üretimine katkısını maksimize etmeye çalışmaktadır. Enerji depolama sistemleri, güneş enerjisinin üretiminin sürekliliğini sağlayarak, enerji taleplerinin karşılanmasına katkıda bulunur.

Sonuç olarak, Katar'ın güneş enerjisi potansiyeli, coğrafi konumu, hükümet politikaları ve teknolojik gelişmeler sayesinde önemli bir fırsat sunmaktadır. Katar, güneş enerjisi projelerine yatırım yaparak ve yenilenebilir enerji hedeflerini gerçekleştirerek, enerji sektöründe sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmeye devam edecektir (Sager, 2012).

3.4. Katar'da Elektrik Enerjisi

Katar, petrol ve doğalgaz kaynakları açısından zengin bir ülkedir. Bu nedenle, ülkede enerji sektörü oldukça gelişmiştir ve elektrik enerjisi üretimi de bu sektörün önemli bir parçasıdır. Elektrik enerjisi üretimi genellikle doğalgaz yakıtından elde edilen elektrik santralleri ile sağlanmaktadır. Katar, dünyanın en büyük doğalgaz ihracatçılarından biridir ve bu nedenle, ülke genellikle doğalgazı elektrik enerjisi üretmek için kullanır.

Elektrik enerjisi dağıtımı, ülkenin elektrik şirketi olan "Kahramaa" tarafından yapılır. Kahramaa, elektrik enerjisi üretimi, dağıtımı ve tedariki için sorumludur. Ülkede

elektrik şebekesi oldukça gelişmiştir ve neredeyse tüm şehirlerde elektrik dağıtımı yapılmaktadır.

Son yıllarda sürdürülebilir enerji kaynaklarına da yatırım yapmaktadır. Özellikle, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik projeler hayata geçirilmektedir. Bu projeler, ülkede elektrik arzını çeşitlendirmeyi ve çevreye daha az zarar veren bir enerji kaynaklarını kullanmayı hedeflemektedir. Aşağıdaki Şekil 3.2’de, elektrik tedarik zincirini oluşturan Katar’daki dört kilit ticari varlığın bağlantısını göstermektedir.



Şekil 3.2. Katar elektrik enerji tedarik zinciri.

Tüketicilerle doğrudan arayüz oluşturduğundan, Katar’daki elektrik ve su talebi tahmini Kahramaa’ya kalır. Kahramaa, yeni elektrik santralleri ve tuzdan arındırma tesislerinin inşası için Bağımsız Güç ve Su Sağlayıcıları geliştiricileri ile müzakere başlatma ve müzakere etme konusunda yoğun bir şekilde ilgilenmektedir. Petrol, gaz ve yakıt tüketimi tahmini Qatar Energy’de merkezileştirilmiştir (KAHRAMAA, 2021).

4. ELEKTRİK ENERJİSİ TALEP TAHMİNİ

Belirli bir zamanda belirli bir bölgede tüketilecek olan elektrik enerjisi miktarının önceden geçmiş ve şimdiki koşulları inceleyerek gelecekteki durumun varsayımına dayanacak değişim analizi yaparak tahmin edilme işlemidir. Bu tahminler, elektrik şebekesinin planlanması ve yönetimi için oldukça önemlidir. Talep tahminleri, elektrik dağıtım şirketleri, enerji üreticileri, elektrik piyasaları ve hükümetler tarafından kullanılmaktadır.

Talep tahmini, birçok faktöre bağlı olarak yapılır. Bu faktörler arasında hava durumu, mevsimsel değişimler, ekonomik durum, nüfus yoğunluğu, kullanıcıların tüketim alışkanlıkları gibi birçok parametre yer alır. Tahminler genellikle geçmiş verilerin analizi, istatistiksel yöntemler, makine öğrenimi ve yapay zekâ algoritmaları gibi teknolojik araçlar kullanılarak yapılır.

Talep tahminleri, enerji tedarikçilerinin planlama ve kaynak tahsisi yapmalarına yardımcı olur. Aynı zamanda, enerji kaynaklarının optimum kullanımını sağlayarak elektrik fiyatlarını da etkileyebilir.

Elektrik enerjisi tüketimi tahminine yönelik çalışmalar, genellikle zaman çerçevesine göre üç sınıfa ayrılır: uzun dönem, orta dönem ve kısa dönem.

Kısa Dönem Tahminler: Genellikle birkaç saat ile bir hafta arasındaki bir zaman dilimine ilişkin tahminlerdir. Bu tahminler, genellikle enerji şebekesi operasyonları ve kontrolü için kullanılır. Bu tahminler, genellikle hava durumu, tüketim trendleri, kaynakların durumu gibi gerçek zamanlı verilerin analizi ve yapılandırılmış modeller kullanılarak yapılır.

Orta Dönem Tahminler: Genellikle birkaç hafta ile bir yıl arasındaki bir zaman dilimine ilişkin tahminlerdir. Bu tahminler, genellikle enerji piyasalarında arz ve talep dengesi tahmini, üretim planlaması ve maliyet optimizasyonu gibi amaçlarla kullanılır. Bu tahminler, genellikle ekonomik, meteorolojik ve endüstriyel faktörlere dayalı modeller kullanılarak yapılır.

Uzun Dönem Tahminler: Genellikle birkaç yıllık bir zaman dilimine ilişkin tahminlerdir. Bu tahminler, genellikle enerji planlaması, yatırım kararları ve enerji politikaları oluşturma sürecinde kullanılır. Bu tahminler genellikle ekonomik, demografik ve stratejik faktörlere dayalı uzun vadeli modeller kullanılarak yapılır.

Bu sınıflandırma, elektrik enerjisi tüketimi tahmininde kullanılan farklı zaman dilimlerine göre tahmin yöntemlerinin özelliklerini ve uygulama alanlarını belirlemeye yardımcı olur (Yamaçlı, 2010).

4.1. Elektrik Enerjisi Talep Tahmini Analizleri

Elektrik enerjisi talep tahminleri, elektrik enerjisi talebinin gelecekteki ihtiyaçlarını belirlemek için kullanılan modellerdir. Bu modeller genellikle istatistiksel yöntemler, yapay zekâ teknikleri ve makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak oluşturulur. Bu grupların dışında kalan yöntemler bu üç yöntemin birleşiminden oluşturulabilen yöntemlerdir. Aşağıda elektrik enerjisi talep tahmini için kullanılan bazı modelleri sıraladık:

Zaman Serisi Modelleri: Geçmiş verileri kullanarak gelecekteki talebi tahmin etmek için kullanılır. ARIMA (Otomatik Regresyon Entegre Hareketli Ortalama) ve ARMA (Otomatik Regresyon Hareketli Ortalama) modelleri gibi popüler zaman serisi modelleri vardır.

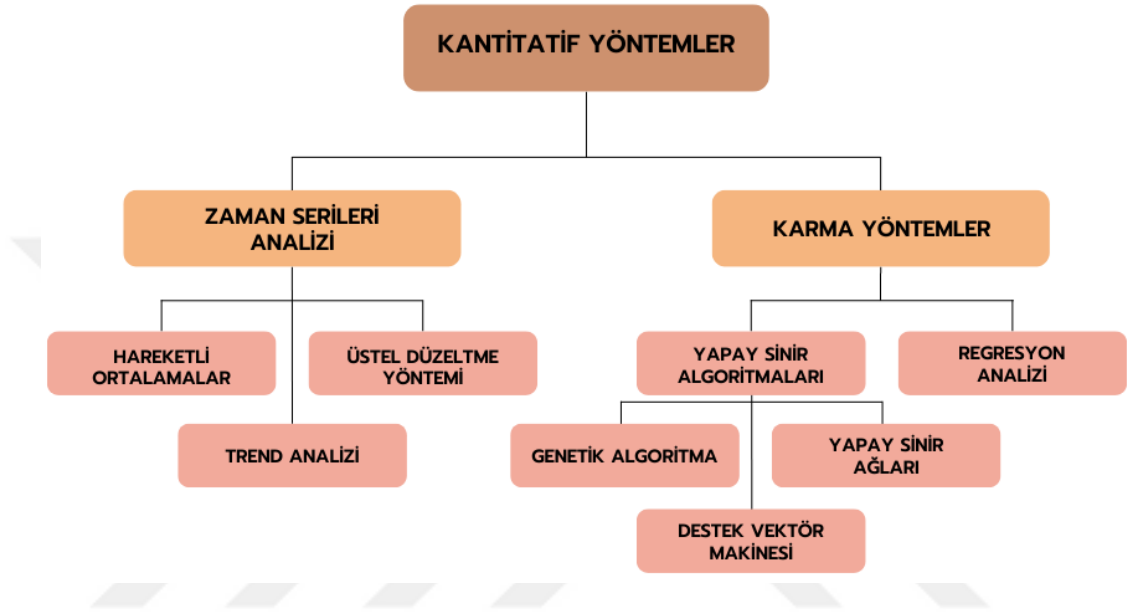
Yapay Sinir Ağı Modelleri (YSA): Sinir ağları adı verilen bir dizi matematiksel işlem kullanarak elektrik enerjisi talebini tahmin eder. Bu modeller genellikle derin öğrenme teknikleri ile birlikte kullanılır.

Doğrusal Regresyon Modelleri: Elektrik tüketimi ile ilgili faktörleri kullanarak talep tahmini yapar. Bu faktörler arasında hava sıcaklığı, nüfus yoğunluğu, mevsimsellik ve tatil günleri gibi faktörler yer alabilir.

Hibrit Modeller: Birden fazla modelin birleştirilmesiyle oluşturulur. Örneğin, bir doğrusal regresyon modeli ve bir yapay sinir ağı modelinin birleştirilmesi ile oluşturulan bir hibrit model, daha doğru bir tahmin yapabilir.

Kümeleme Modelleri: Verileri gruplandırmak ve bu gruplar içindeki talep düzenliliğine dayanarak gelecekteki talebi tahmin etmek için kullanılır. Kümeleme algoritmaları, genellikle veri madenciliği teknikleri ile birlikte kullanılır.

Bu modeller, elektrik enerjisi talep tahmini yapmak için kullanılan yaygın yöntemlerdir. Ancak hangi modelin seçileceği, kullanılan verilerin türüne ve talep tahminlerinde öncelikli olan faktörlere bağlıdır (Nebati ve ark, 2021).



Şekil 4.1. Talep tahminde kullanılan kantitatif yöntemler.

Elektrik talep tahmini konusunda en yaygın iki yöntem çoklu doğrusal regresyon analizi (ÇRA) ve yapay sinir ağları (YSA), her ikisi de veri analizi alanında kullanılan önemli tekniklerdir. Her iki teknik de farklı avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Bazı özellikleri karşılaştırdığımızda, çoklu doğrusal regresyon analizinin YSA'ya göre bazı avantajları şunlar olabilir:

Daha açık yorumlanabilir sonuçlar: Çoklu doğrusal regresyon analizi, sonuçların daha açık ve yorumlanabilir olmasını sağlar. Regresyon katsayıları, her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisini belirgin bir şekilde gösterir. YSA'nın sonuçları ise daha karmaşık ve açıklanması zor olabilir.

Modelin yürütülmesi daha hızlıdır: Çoklu doğrusal regresyon analizi, YSA'ya göre daha hızlı bir şekilde yürütülebilir. YSA, ağırlık ayarlaması ve geriye doğru yayılım gibi iteratif süreçlerin kullanılması nedeniyle daha uzun sürebilir.

Daha az sayıda veri örneği gerektirir: Çoklu doğrusal regresyon analizi, daha az sayıda veri örneğiyle de yüksek doğrulukta sonuçlar üretebilir. YSA ise daha fazla veri gerektirebilir.

Daha az sayıda parametre içerir: Çoklu doğrusal regresyon analizi, daha az sayıda parametreye ihtiyaç duyar. YSA, daha karmaşık ağ yapısı ve daha fazla sayıda ağırlık ve bias parametresi içerir.

Bu nedenlerden dolayı, çoklu doğrusal regresyon analizi bazı durumlarda YSA'dan daha avantajlı olabilir. Ancak, her bir teknik farklı veri setleri ve analiz amaçları için uygun olabilir ve hangi yöntemin kullanılması gerektiği spesifik durumdan duruma değişebilir (Katipamula ve ark, 1998).

Bu çalışmanın veri setlerine ve çalışmanın amacına göre çoklu doğrusal regresyon analizi daha uygun görüldüğünden dolayı çalışmanın modeli olarak seçilmiştir.

4.1.1. Çoklu doğrusal regresyon analizi

Çoklu doğrusal regresyon analizi, bir bağımsız değişken (veya daha fazla bağımsız değişken) ve bir bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi inceleyen bir istatistiksel analiz yöntemidir. Bu yöntem, bağımlı değişkenin, birden fazla bağımsız değişkenin etkisi altında olduğu durumlarda kullanılır. Örneğin, bir ürünün satışlarının, reklam harcamaları, ürün fiyatı ve tüketici geliri gibi birden fazla faktöre bağlı olabileceğini düşünelim. Çoklu doğrusal regresyon analizi, bu faktörlerin ürün satışları üzerindeki etkisini analiz etmektedir.

Bu analiz yöntemi, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini ölçmek için kullanılan regresyon denklemleri oluşturur. Bu denklemler, bağımlı değişkenin ne kadarını açıklayabileceğini ve hangi bağımsız değişkenlerin daha güçlü bir etkiye sahip olduğunu belirlemeye yardımcı olur. Burada her bağımsız değişkenin bağımlı değişkenle doğrusal ilişkisi aşağıdaki Denklem 4.1'de gibidir.

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon \quad (4.1)$$

Burada;

$\hat{Y}$: Bağımlı değişken (elektrik enerjisi tüketim değeri)

X_n : Bağımsız değişkenler (nüfus, GSYİH, İhracat... vb.)

ε : Bozulma ve hata terimi

β_0 : Sabit katsayı

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$: Değişken katsayıları şeklinde ifade edilmektedir.

Çoklu doğrusal regresyon analizi, birden fazla bağımsız değişkenin etkilerini analiz edebilme özelliğine sahip, birden fazla bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisini inceleyebilir. Bu, tek değişkenli regresyon analizinde mümkün olmayan bir analizdir. İstatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde etmek için kullanılan güçlü bir analiz yöntemidir. Regresyon katsayıları ve hata terimleri için güven aralıkları, hipotez testleri ve R-kare gibi birçok istatistiksel ölçüm, doğru sonuçlar elde etmek için kullanılabilir.

Çoklu doğrusal regresyon analizi, veriler arasındaki ilişkileri açıklayabilir ve bir bağımsız değişkenin diğer bağımsız değişkenlerle olan etkisini veya bu değişkenlerin bağımlı değişkene olan toplam etkisini incelemek ve birçok istatistiksel teknikle birlikte kullanılabilir. Örneğin, bir değişkenin diğer değişkenlerle olan ilişkisini gözlemek için korelasyon katsayıları kullanılabilir. Ayrıca, doğrusal regresyon analizinde kullanılan modelin doğru olup olmadığını test etmek için farklı istatistiksel testler de kullanılabilir. Bu nedenlerden dolayı, çoklu doğrusal regresyon analizi, birçok alanda kullanılan ve verilerin analizinde önemli bir araçtır.

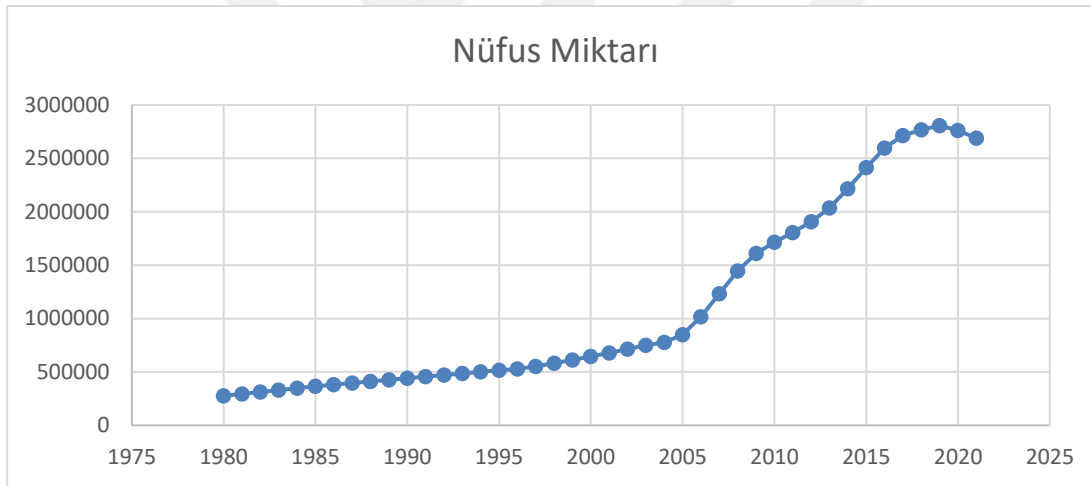
4.2. Elektrik Enerji Talep Tahmin Çalışması

4.2.1. Verilerin hazırlanması

Çoklu regresyon analizinde bağımlı ve bağımsız değişkenleri ölçmek için uygun verileri toplanmıştır. Katarın 1980-2021 dönemine ait elektrik tüketim verilerini etkileyen nüfus miktarı, GSYİH, ihracat ve tüketici fiyat endeksi (TEF) girdi verisi elektrik talep miktarı çıktı verisi olarak çalışmada kullanılmıştır. Girdi 42 yıllık tüm veriler Katar Planlama ve İstatistik Kurumu (PSA), Kahramaa ve The World Bank kurumlardan elde edilmiştir.

Nüfus miktarı, GSYİH, ihracat ve TFE, elektrik talebini etkileyen faktörlerdir. Bu faktörlerin her biri, elektrik talebi üzerinde farklı etkilere sahip olmaktadır. Yapmış olduğumuz çalışmada, daha optimum sonuçlar elde etmek amacıyla, ülkenin kişi başına düşen GSYİH değeri yerine toplam GSYİH değeri kullanılmıştır. Ayrıca geçmiş yıllardaki ihracat ve tüketici fiyat endeksi daha iyi tahminler yapmak ve sonuçlara ulaşmak açısından önemli faktörler sayılmaktadır. Bu etkiler genel olarak, aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

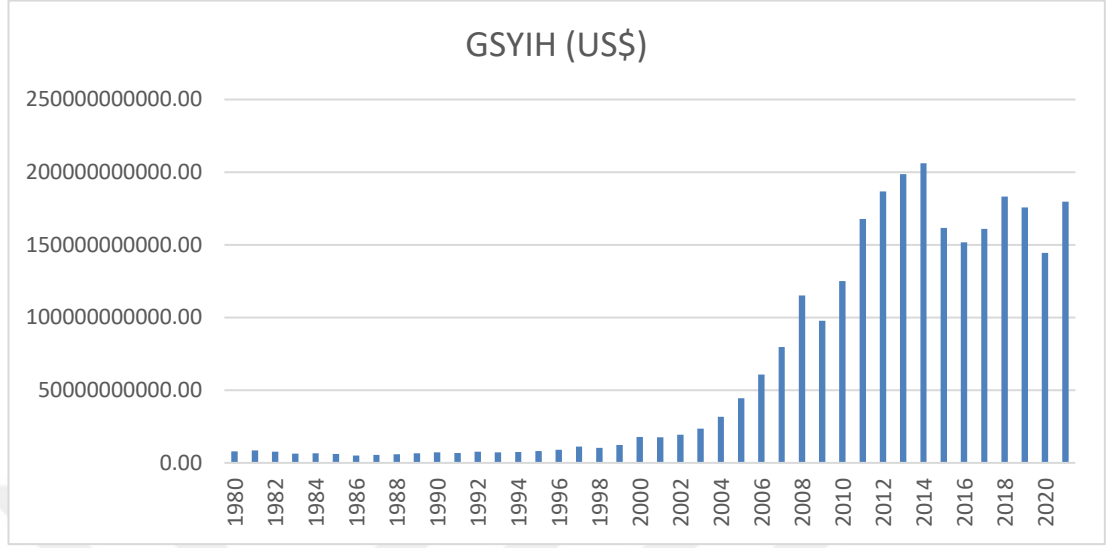
Nüfus miktarı: Nüfus miktarı, elektrik talebi ile doğrudan ilişkili olabilir. Daha fazla insanın yaşadığı bölgelerde, genellikle daha fazla elektrik talebi olacaktır. Bu, evlerde, iş yerlerinde ve endüstride daha fazla enerji kullanımına yol açar. Bununla birlikte, nüfus yoğunluğu ve yerleşim türleri de bu ilişkiyi etkileyebilir. Katar'ın 1980-2021 yılları arasındaki nüfus miktarı girdi olarak verilerinin genel durumunu Şekil 4.2'deki gibidir.



Şekil 4.2. 1980-2021 yılları arasındaki nüfus değişimi.

GSYİH: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH), bir ülkenin belirli bir zaman dilimi içinde ürettiği tüm mal ve hizmetlerin toplam değeridir. Genellikle bir yıl olarak alınır ve ekonominin genel performansını ölçmek için kullanılır. Yüksek GSYİH, genellikle bir ülkenin ekonomik aktivitesinin yüksek olduğu ve genellikle daha fazla istihdam, daha yüksek tüketim ve daha fazla yatırım anlamına gelir. Ayrıca, GSYİH artışı genellikle enerji talebinde bir artışa da işaret eder çünkü daha fazla mal ve hizmet üretmek

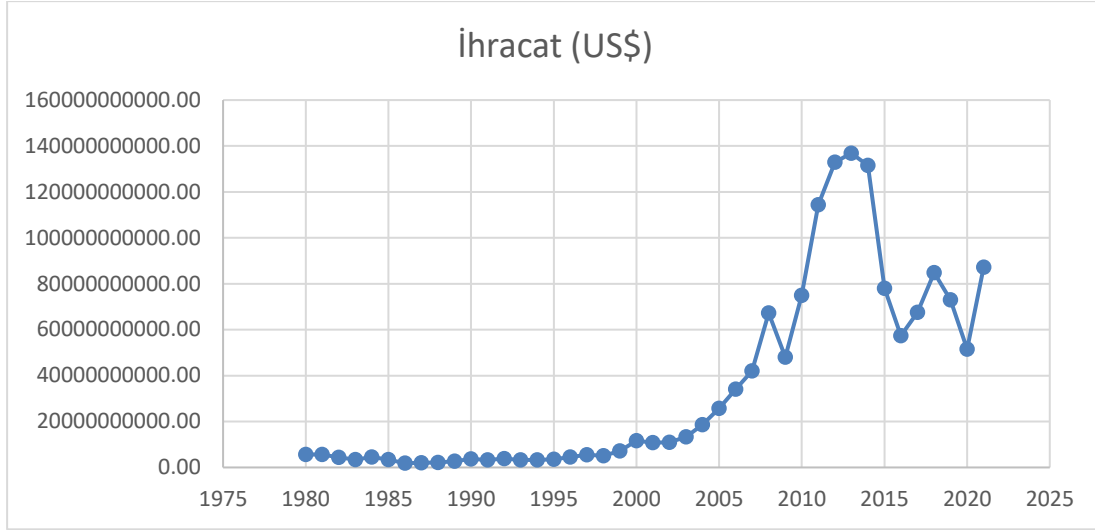
genellikle daha fazla enerji gerektirir. Örneğin, Katar'ın 1980-2021 yılları arasındaki GSYİH verilerinin genel durumu Şekil 4.3'te gibidir.



Şekil 4.3. 1980-2021 yılları arasındaki GSYİH değişimi.

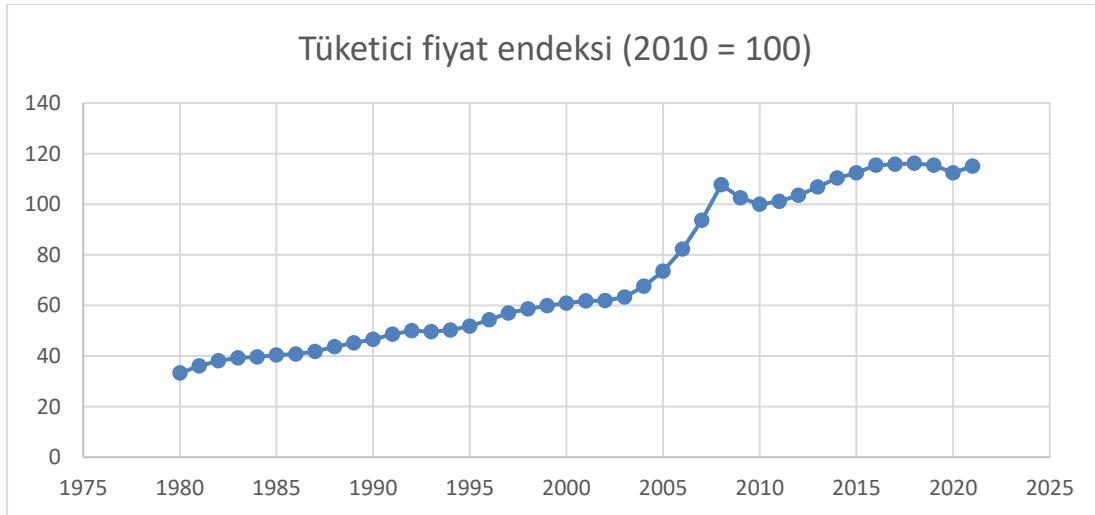
İhracat: İhracat, bir ülkenin dış ülkelere sattığı mallar ve hizmetlerin toplam değeridir. İhracatın yüksek olduğu ülkelerde, ekonomik büyüme ve istihdam oranları genellikle artar, bu da genel yaşam standardını yükseltmeye yardımcı olabilir. Özellikle doğal gaz veya petrokimyasallar gibi kaynaklara sahip ülkeler, Katar örneğinde olduğu gibi, ihracatın dış ticaret dengesi ve uluslararası rekabet gücü üzerinde belirleyici bir rolü olabilir.

İhracat miktarı ile elektrik talebi arasında genellikle dolaylı bir ilişki bulunur ve bu ilişki çeşitli faktörlere bağlıdır. İhracat miktarındaki bir artış genellikle, sanayi üretiminde de bir artışa işaret eder. Sanayi üretimi, büyük miktarda elektrik enerjisi gerektirir, bu yüzden ihracat artışı, elektrik talebinin de artmasına neden olabilir. Ancak, bu ilişki ihracatın içeriğine ve enerji yoğunluğuna bağlıdır. Katar'ın 1980-2021 yılları arasındaki ihracat verilerinin genel durumu Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. 1980-2021 yılları arasındaki ihracat değişimi.

Tüketici Fiyat Endeksi (TFE): TFE, belirli bir mal ve hizmet sepetinin fiyatındaki değişiklikleri ölçer ve enflasyonun bir göstergesidir. Enerji fiyatlarındaki değişiklikler, TFE'deki değişiklikleri etkileyebilir ve bu da elektrik talebini etkileyebilir. Yüksek enflasyon oranları ve enerji fiyatları, tüketicilerin enerji kullanımını azaltmaya çalışmasına ve daha enerji verimli teknolojilere yönelmesine neden olabilir. Bu durum, elektrik talebini değiştirebilir. Katar'ın 1980-2021 yılları arasındaki TFE girdi olarak verilerinin genel durumunu Şekil 4.5'de gibidir.

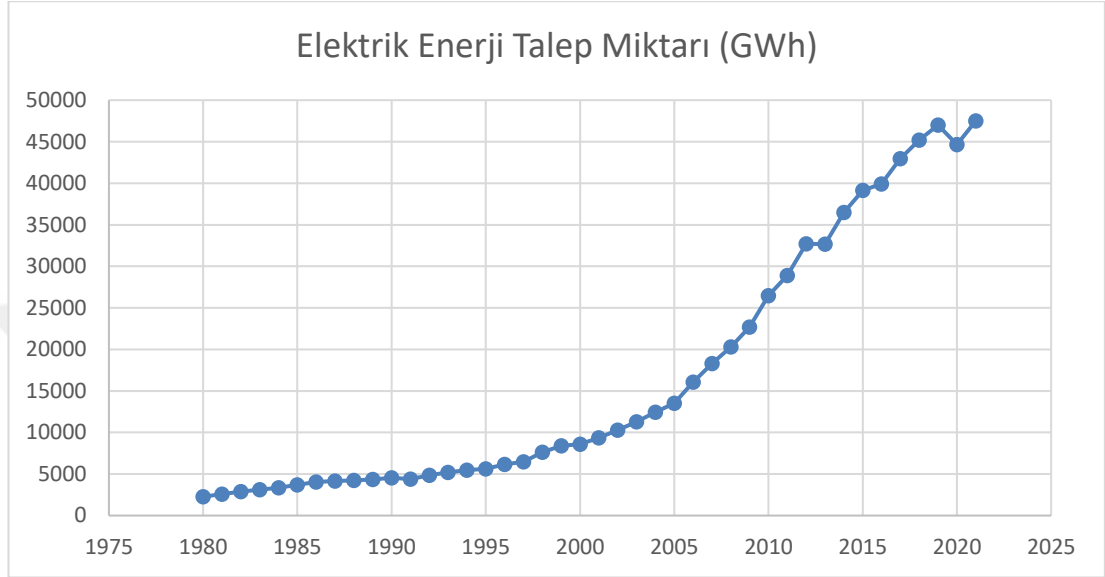


Şekil 4.5. 1980-2021 yılları arasındaki TFE değişimi.

Bu girdi verileri nüfus ve tüketici fiyat endeksi her geçen yıl artarken, uzun dönem ölçeğe ihracat ve GSYİH eğiliminde sürekli bir yükselişe rağmen ancak Katar'ın

ekonomisi ağırlıklı olarak doğalgaz ihracatına dayandığından, küresel finansal krizlerde doğalgaz talebinin azalması nedeniyle bir miktar etkilenmiştir ve belirli dönemlerde düşüş göstermiştir.

Katar'ın 1980-2021 yılları arasındaki elektrik talep miktarı çıktı olarak verilerinin genel durumunu Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. 1980-2021 yılları arasındaki elektrik enerjisi tüketimi.

4.2.2. Performans ölçütleri

Tahmin modelleri, veriler üzerindeki istatistiksel analizler ve matematiksel işlemlerle oluşturulur. Ayrıca, tahmin modelleri genellikle verilerdeki herhangi bir değişiklikten etkilenir. Bu nedenle, tahmin modellerinin tam kesin çıktılar vermemektedir. Tahmin modelleri yalnızca olası sonuçları tahmin eder ve tahminlerin doğruluğu belirli bir güven aralığı içinde ifade edilir. Tahminlerin doğruluğunu artırmak için, doğru verilerin seçilmesi, doğru yöntemlerin kullanılması ve modelin düzenli olarak performansını ölçülerek güncellenmesi gereklidir. Çoklu doğrusal regresyon modelinin performansını ölçmek için kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bu çalışmada kullanılacak yöntemler:

R-kare (R-squared): R-kare, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki toplam değişkenliği açıklayan bir istatistiksel ölçüdür. R-kare değeri, 0 ile 1 arasında

değişir ve yüksek bir değer daha iyi bir model performansı gösterir. Ancak, yüksek bir R-kare değeri aynı zamanda aşırı uydurmayı da gösterebilir.

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{toplamlam}}{SS_{hata}} = 1 - \frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (4.2)$$

Düzeltilmiş R-kare (Adjusted R-squared): Düzeltilmiş R-kare, R-kare değerine benzer ancak bağımsız değişken sayısını dikkate alır. Bu, daha fazla bağımsız değişken eklediğinizde R-kare değerinin artabileceğini, ancak modelin gerçekten daha iyi performans göstermediğini dikkate alır.

MAE (Mean Absolute Error): performans ölçmek için kullanılan bir yöntemdir. MAE, tahmin edilen değer ile gerçek değer arasındaki farkların mutlak değerlerinin ortalamasını ifade eder. Bu nedenle, MAE, tahmin modelinin doğruluğunu ölçmek için kullanılır.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i \quad (4.3)$$

MAD (Mean Absolute Deviation): bir tahmin modelinin performansını ölçmek için kullanılan bir performans ölçüsüdür. MAD, gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki farkların mutlak değerlerinin ortalamasını ifade eder.

$$MAD = \frac{\sum |Y_t - \hat{Y}_t|}{n} \quad (4.4)$$

Ortalama Kare Hatası (Mean Squared Error - MSE): MSE, modelin gerçek verilerle ne kadar iyi eşleştiğini ölçer. MSE değeri düşükse, modelin gerçek verilere daha yakın olduğu ve daha iyi performans gösterdiği anlamına gelir.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - \hat{t}_i)^2 \quad (4.5)$$

MAPE (Mean Absolute Percentage Error): performans ölçmek için yaygın kullanılan bir yöntemdir. MAPE, tahmin edilen değer ile gerçek değer arasındaki farkın mutlak

yüzdesinin ortalamasını ifade eder. Bu nedenle, MAPE, tahmin modelinin doğruluğunu ölçmek için kullanılır.

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|Y_i - \hat{F}_i|}{Y_i}}{n} \quad (4.6)$$

Tablo 4.1. MAPE değeri tahmin yeterlilikleri.

MAPE	Tahmin Yeterliliği
%10>	Yüksek başarılı tahmin
%11 - %20 arası	Başarılı tahmin
%21 - %50 arası	Makul olabilecek tahmin
%51' den büyük	Yetersiz tahmin

Açıklanamayan Varyans (Residual Standard Error - RSE): RSE, modelin hata terimlerinin varyansını ölçer. Daha düşük bir RSE değeri, modelin daha iyi performans gösterdiğini gösterir.

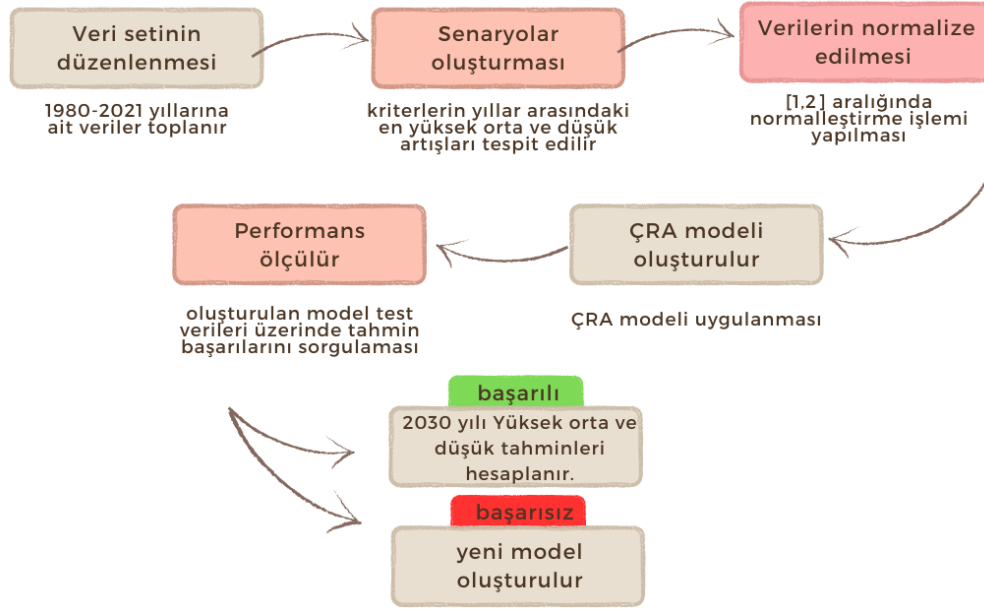
$$RSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n - p - 1)}} \quad (4.7)$$

F-testi: F-testi, modelin anlamlılığını ölçmek için kullanılır. Bu test, bağımsız değişkenlerin modeldeki değişikliği açıklamada anlamlı olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Anlamlı bir F-testi, modelin iyi bir performans gösterdiğini gösterir.

4.2.3. Çoklu doğrusal regresyon analizi uygulaması

2030 yılına kadar yıllık elektrik tüketimini araştırmak için, nüfus, GSYİH, ihracat ve Tüketici fiyat endeksi yıllık verileri dikkate alınarak çoklu regresyon modeli oluşturulmuştur. ÇRA yönteminin tahmin gücünün performans analizleri yapılmış, tahmin edilen veri sonuçları ve gerçek değerleri değerlendirilmiştir. Kullanılacak çoklu doğrusal regresyon yöntemi Şekil 4.8'de uygulama akış planı gösterilmiştir.

UYGULAMA AKIŞ PLANI



Şekil 4.7. 2030 yılı elektrik talep tahmini model uygulaması akış planı.

1980-2021 yılları arasına ait veriler toplanarak veri seti oluşturulur. Daha sonra En Küçük Kareler (EKK) yöntemi kullanılarak çoklu doğrusal regresyon modeli kurulur. Bu modellemeyi yaparken, modelin hata terimlerinde otokorelasyon olmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Otokorelasyon, modelin hata terimlerinin birbiriyle bağlantılı olduğu durumu tanımlar ve eğer mevcutsa, regresyon modelinin sonuçları ve tahminleri yanıltıcı olabilir. Bu nedenle, model oluşturulurken otokorelasyonun olup olmadığını kontrol edilmiştir.

Çalışmada 2030 yılı elektrik enerjisi tüketim tahmininin belirlenmesine yardımcı olan tüm kriterlerin yıllar arasındaki en yüksek, orta ve düşük artış seviyelerinin belirlenmesi, senaryoların oluşturulmasına yardımcı olabilir. Bu senaryolar, elektrik tüketimindeki değişimleri ve olası trendleri tahmin etmek için kullanılmıştır. Örneğin, GSYİH büyüme hızındaki artışın elektrik tüketimini artırabileceği düşünülebilir. Bu durumda, GSYİH büyümenin farklı seviyeleri için farklı senaryolar oluşturulabilir. Benzer şekilde, nüfus artış hızı, ihracat ve Tüketici fiyat endeksi gibi diğer faktörler de dikkate alınarak senaryolar oluşturulmuş ve veri setine dahil edilmiştir.

Değişkenlerin birbirine yakın bir ölçekte olmasını gerektirirken, diğerleri aşırı değerlere karşı daha dirençlidir. Değişkenler arasındaki ölçek farklılıkları, değerlerin birbirinden çok farklı olması modelin performansını azaltmasına neden olabilir. Bu durumda verilerin standartlaştırılması veya normalize edilmesi gerekecektir. Normalleştirme, verileri belirli bir ölçek aralığına getirerek yapılabilir. En yaygın yöntemlerden biri, standartlaştırmadır. Standartlaştırma, verilerin ortalaması sıfır ve standart sapması bir olan bir normal dağılım oluşturacak şekilde dönüştürülmesidir. Bu durumda, normalize etmek, verilerin orijinal dağılımını korurken, veri setindeki aykırı değerler veya yoğunluk farklılıkları varsa, normalleştirme işlemi, bu durumların etkisini azaltacak ve modelin performansını artıracaktır. Girdi ve çıktı verilerinden oluşan veri setinin ÇRA modelde kullanmak için [1,2] aralığında normalleştirme işlemi yapılmıştır. Aşağıda Denklem 4.8'deki gibidir.

$$X_n = \frac{(X_r - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} + 1 \quad (4.8)$$

Burada;

X_r , kriterin gerçek değeri

$X_{\max}$, kriterlerin en büyük değerleri

$X_{\min}$, kriterlerin en küçük değerleri.

Çalışmanın modeli oluşturmasında, beş bağımsız değişkenin girdi ve bir bağımlı değişkenin çıktı verilerine uygulanan çoklu regresyon modelinin denklemi aşağıdaki Denklem 4.9'de gidiir.

$$Y = -2328,4 + 0,022 \times X_1 - 0,0000000984 \times X_2 + 0,0000001146 \times X_3 - 46,54 \times X_4 \quad (4.9)$$

nüfus (X_1), GSYH (X_2), ihracat (X_3), tüketici fiyat endeksi (X_4), değişkenleri bağımsız değişken ve elektrik enerjisi tüketimi (Y) bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Modelin performansını belirlemek için regresyon denklemi kullanarak test verileri hesaplanmış ve gerçek tüketilen elektrik enerji değerleri ile kıyaslama yapılmıştır.

Ayrıca Modelin verimliliği ve başarısını ölçmek için farklı performans analizleri uygulanmıştır.

Çoklu doğrusal regresyon analizinde model kontrolü yapmak, modelin doğruluğunu ve güvenilirliğini değerlendirmek için ANOVA testi sonucunda çıkan F istatistiği ve Düzeltilmiş R-kare parametreler önemli bir rol oynamaktadır. Düzeltilmiş R-kare, modeldeki bağımsız değişken sayısını dikkate alır, Düzeltilmiş R-kare değeri 0 ile 1 arasında değişir ve ne kadar yüksek olursa, modelin o kadar iyi uyduğunu gösterir. F istatistiği ise genel olarak modelin anlamlı olup olmadığını değerlendirmek için kullanılır. Bu istatistik, modelin açıkladığı varyansın modeldeki özgürlük derecesine göre ne kadar fazla olduğunu gösterir. F istatistiği değeri, özgürlük derecelerine ve belirlenen anlamlılık düzeyine göre karşılaştırılır. Genellikle, kabul edilebilir bir anlamlılık düzeyi p değeri, 0.05 veya daha azdır. Bu, F istatistiği için de geçerlidir. Yani, eğer F istatistiği hesaplandığında, p değeri 0.05 veya daha azsa, model genel olarak anlamlıdır ve modeldeki en az bir bağımsız değişken, bağımlı değişkendeki değişiklikleri açıklamada istatistiksel olarak anlamlıdır.

Çalışmanın modeli için düzenlenen verileri Excel dosyası üzerine işleyerek "Veri" sekmesinden veri çözümleme kısmına girip regresyon formülünü seçtikten sonra Excel'in otomatik olarak bize regresyon sonuçlarını verdiği söylenebilir. Şekil 4.9'de modelin regresyon analizi sonucunu göstermektedir.

SUMMARY OUTPUT						
Regression Statistics						
Multiple R	0.997981759					
R Square	0.995967591					
Adjusted R Square	0.995531655					
Standard Error	1020.233212					
Observations	42					
ANOVA						
	df	SS	MS	F	Significance F	
Regression	4	9512207271	2378051818	2284.66432	9.80198E-44	
Residual	37	38512404.86	1040875.807			
Total	41	9550719676				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	-2328.400213	959.8812099	-2.425717046	0.020273348	-4273.304286	-383.4961397
Nüfus Miktarı	0.02217059	0.002209862	10.03256596	4.19867E-12	0.017692984	0.026648197
GSYİH (US\$)	-0.00000009840	4.72922E-08	-2.080589487	0.044450772	-1.94219E-07	-2.57255E-09
İhracat (US\$)	0.00000011463	4.67357E-08	2.452775205	0.019011797	1.99366E-08	2.09328E-07
Tüketici fiyat endeksi	-46.54434078	21.55777854	-2.159050882	0.037400825	-90.22454917	-2.864132379

Şekil 4.8. Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucu.

Çok değişkenli regresyon modelinin oluşturulmasıyla elde edilen analiz sonucunda bağımsız değişkenlerimizin P değerlerinin 0.05 ten küçük olması bağımlı değişken üzerinde etkili olduklarını göstermektedir. Performans ölçütleri ve test sonuçlarına ilişkin verilerin raporlanması Tablo 4.2 ve Tablo 4.3 ile verilmiştir.

Tablo 4.2. Çoklu Doğrusal regresyon modeli performans ölçütleri.

Performans Ölçütleri	
Düzeltilmiş R^2	0.9955
MAPE	%5,76

Katarın uzun dönem elektrik tüketim tahmini için geliştirilen modelin MAPE değeri %5,76 olarak hesaplanmıştır. Yüzdesel olarak tahmin hatalarını göstermesi ve tek başına kullanılabilmesi nedeniyle, MAPE kriteri diğer kriterlere göre daha üstündür. Düzeltilmiş R^2 ise 0.9955 değeri oldukça yüksektir ve iyi bir modelin olduğunu göstermektedir. Modelin test sonuçları, gerçekleşen elektrik tüketim değerleriyle oldukça yakın bir uyum göstermektedir.

Tablo 4.3. Çoklu doğrusal regresyon model sonuçları.

Yıl	Gerçekleşen Elektrik Üretim (GWh)	Regresyon Çıktısı (GWh)	Mutlak Hata (GWh)	Mutlak Yüzde Hata
1980	2276	2155.019878	120.9801	5.32%
1981	2596	2328.466804	267.5332	10.31%
1982	2893	2576.129971	316.87	10.95%
1983	3116	2921.353703	194.6463	6.25%
1984	3349	3404.749158	55.74916	1.66%
1985	3712	3689.077366	22.92263	0.62%
1986	4045	3968.048691	76.95131	1.90%
1987	4155	4228.005389	73.00539	1.76%
1988	4230	4433.061868	203.0619	4.80%
1989	4367	4703.434555	336.4346	7.70%
1990	4529	4991.509525	462.5095	10.21%
1991	4374	5221.745544	847.7455	19.38%

Tablo 4.3. (Devamı): Çoklu doğrusal regresyon model sonuçları.

1992	4844	5478.122242	634.1222	13.09%
1993	5194	5805.29566	611.2957	11.77%
1994	5465	6074.285397	609.2854	11.15%
1995	5617	6289.766705	672.7667	11.98%
1996	6181	6502.333133	321.3331	5.20%
1997	6456	6747.312855	291.3129	4.51%
1998	7638	7391.900228	246.0998	3.22%
1999	8403	8088.621451	314.3785	3.74%
2000	8586	8740.174619	154.1746	1.80%
2001	9354	9366.668156	12.66816	0.14%
2002	10284	9954.104262	329.8957	3.21%
2003	11291	10537.57816	753.4218	6.67%
2004	12439	10790.28085	1648.719	13.25%
2005	13532	11633.99797	1898.002	14.03%
2006	16055	14257.88955	1797.11	11.19%
2007	18294	17598.85063	695.1494	3.80%
2008	20319	21051.58989	732.5899	3.61%
2009	22709	24482.42198	1773.422	7.81%
2010	26455	27288.36253	833.3625	3.15%
2011	28887	29574.79216	687.7922	2.38%
2012	32711	31962.92392	748.0761	2.29%
2013	32668	33962.32369	1294.324	3.96%
2014	36479	36422.54983	56.45017	0.15%
2015	39135	38996.2534	138.7466	0.35%
2016	39900	41476.27579	1576.276	3.95%
2017	42959	44286.23396	1327.234	3.09%
2018	45182	45298.80581	116.8058	0.26%
2019	47007	45598.38646	1408.614	3.00%
2020	44654	45331.63392	677.6339	1.52%
2021	47504	44233.66232	3270.338	6.88%

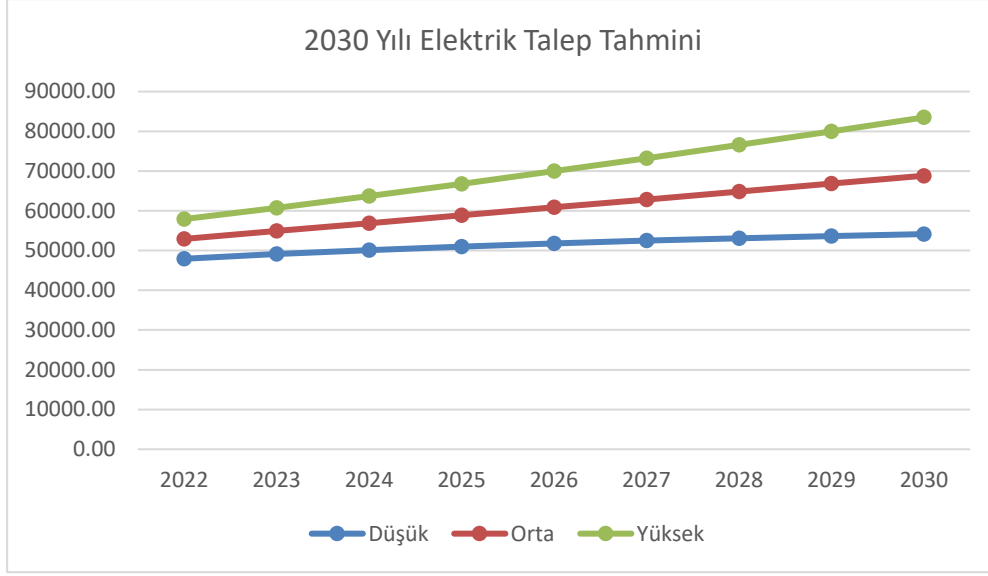
4.2.4. Model tahmin çıktısı

Katar'ın 42 yıllık elektrik verileri kullanılarak yapılan bir model test edilerek performans göstergelerine göre seçilen en iyi modellerin başarılı olarak kabul edilmesiyle elde edilen sonuçları Tablo 4.4'te Katar uzun dönem elektrik enerjisi tüketimi gelecek yıl için üretilen senaryolar ile tahmin edildi. En yüksek, orta ve düşük üç farklı senaryo tanımlandı ve bu senaryoların Katar'ın 2030 yılı elektrik tüketimi tahminleri üzerindeki etkisi, ÇRA modeli kullanılarak incelenmiştir.

Tablo 4.4. Katar uzun dönem tahmin sonuçları.

Elektrik Talep Tahmini (GWh)			
Yıl	Düşük	Orta	Yüksek
2022	47927.73	52924.29	57920.85
2023	49098.82	54910.33	60721.84
2024	50105.67	56896.37	63687.07
2025	50992.87	58882.41	66771.95
2026	51781.13	60868.45	69955.77
2027	52482.49	62854.49	73226.49
2028	53104.98	64840.53	76576.08
2029	53654.47	66826.57	79998.68
2030	54135.47	68812.62	83489.76

Şekil 4.9'da Katar'ın enerji talebi tahmin sonuçlarına yapılan modellemeler, dört farklı etkenin dikkate alınmasıyla genel olarak artan bir talep eğilimi sergilediğini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, etkin bir kullanım altlığı oluşturarak değerlendirilebilir.



Şekil 4.9. Katar uzun dönem tahmin sonuçları.

4.2.5. Model tahmin sonucu

1980-2021 elektrik tüketim verileri kullanarak 2030 yılı uzun dönem elektrik talep tahmini yapılmıştır. Verileri Excel programı yardımıyla bağımsız değişkenlerin elektrik tüketimi arasındaki bağılılık oranı hesaplanarak regresyon analiziyle elektrik tahmin değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmanın amacı, talep tahmini konusunda yapılan önceki araştırmaları göz önünde bulundurarak, geçmiş elektrik tüketim verilerine dayanarak gelecekteki tüketimi tahmin etmektir. Burada yapılan tahminlerin önemi, elektriğin büyük miktarda depolanamaması nedeniyle ileriye dönük tüketim tahminlerine dayanarak ihtiyaca göre önceden planlama yapılmasına imkân tanıyarak, büyük güç santralleri, elektrik jeneratörleri ve güneş enerji santralleri gibi elektrik üretim aşamalarının önceden planlanmasına olanak sağlar. Bu planlama, elektrik üretimini daha verimli hale getirerek, elektrik arzını karşılamaya yardımcı olur.

Ayrıca, çalışmanın sonuçları yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik, kalkınma planlarının hazırlanmasında ve öncelikli olarak hangi bölgelerde yenilenebilir enerji kurulumlarının planlanması gerektiği konusunda yol gösterici olabilir ve aynı zamanda etkili yöneticilere karar destek sistemlerinde de destek sağlayabilir. Gerektiği durumlarda, bu çalışma yalnızca enerji kaynaklarına yönelik destek sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda elektrik enerjisinin iletim ve dağıtım şebekesi merkezlerinin yer seçimiyle ilgili projelerde önemli bir rol oynayabilecektir.

5. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEM VERİMLİLİĞİNE ETKİLEYEN FAKTÖRLER

5.1. Güneş Işınım Faktörü

Güneş Işınım Faktörü (GIF), güneş enerji sisteminin verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Güneş enerji sistemleri, güneş ışınımından enerji üretirler ve bu nedenle güneş ışınımının miktarı ve yoğunluğu, enerji üretiminin temel bileşenidir.

Güneş sabiti, Dünya'nın atmosfer dışında ve güneş ışınlarının yüzeye dik geldiği koşullarda ölçülen güneş radyasyonunun değeridir (yaklaşık 1361 W/m²). Farklı coğrafi bölgelerde ve dünya üzerindeki konumlarına bağlı olarak güneş ışınımının miktarı ve yoğunluğu değişir. Bu değişiklikler, atmosferik koşullar, yerel coğrafya, mevsimsel ve günlük değişiklikler gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Bu faktörlerin her biri, güneş enerjisi sistemlerinin yerel düzeyde ne kadar verimli çalıştığını ve ne kadar enerji üretebildiğini etkileyebilir (Gueymard, 2004).

5.2. Sıcaklık Etkisi

Sıcaklık, güneş enerji sistemlerinin verimliliği ve fotovoltaik panellerin akım-gerilim değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Güneş panelleri, sıcaklık arttıkça genellikle verimliliklerinde düşüş yaşarlar ve bu nedenle daha az elektrik sağlarlar. Sıcaklık arttıkça, fotovoltaik panellerin açık devre gerilimi düşer ve kısa devre akımı bir miktar artar. Bununla birlikte, kısa devre akımındaki artış, açık devre gerilimindeki düşüşü telafi etmeye yetmez ve bu da panellerin maksimum güç noktasında düşüşe neden olur. Bu etkiler, güneş enerji sistemlerinin genel verimliliğini ve enerji üretimini azaltabilir (Skoplaki ve Palyvos, 2009). Fotovoltaik panellerin akım ve gerilim değerlerine olan sıcaklık etkisini hesaplamak için kullanılan eşitlikler şunlardır:

- Açık devre gerilimi (V_{oc}) ve sıcaklık:

$$V_{min/max} = V_{oc/mpp} \times \left(1 + \frac{\beta \times (T_{min/max} - T_{stc})}{100} \right) \quad (5.1)$$

Burada;

V_{stc} : Referans gerilim (V)

T_{stc} : Referans sıcaklığı (°C)

T_x : Hücre sıcaklığı (°C)

β : Sıcaklık katsayısı (mV/°C).

- Kısa devre akımı (I_{sc}) ve sıcaklık:

$$I_x = I_{stc} \times 1 + \frac{\alpha \times (T_x - T_{stc})}{100} \quad (5.2)$$

Burada;

I_{stc} : Referans akımı (A)

T_{stc} : Referans sıcaklığı (°C)

T_x : Hücre sıcaklığı (°C)

α : Kısa devre akımı sıcaklık katsayısı (%/°C).

- Maksimum Güç Noktası (MPP) ve Sıcaklık:

$$P_{mpp} = P_{mpp_stc} \times 1 + \frac{\gamma \times (T_x - T_{stc})}{100} \quad (5.3)$$

Burada;

P_{stc} : Referans Güç (W)

T_{stc} : Referans sıcaklığı (°C)

T_x : Hücre sıcaklığı (°C)

γ : maksimum güç noktası sıcaklık katsayısı (%/°C).

Bu eşitlikler, fotovoltaik panellerin akım, gerilim ve maksimum güç değerlerine olan sıcaklık etkisini hesaplamak için kullanılabilir. Bu hesaplamalar, güneş enerjisi sistemlerinin performansını değerlendirmek ve sıcaklık değişikliklerine göre ayarlamalar yapmak için önemlidir.

5.3. Hava Kirliliği Ve Panel Temizliği

Hava kirliliği, özellikle toz, kir ve diğer hava partiküllerinin yoğun olduğu bölgelerde, güneş panellerinin üzerini kaplayarak güneş ışığı alımını azaltabilir. Bu durum, panellerin enerji üretim kapasitesini düşürerek, verimliliği negatif yönde etkiler. Ayrıca, hava kirliliği nedeniyle atmosferde artan bulutluluk ve sis ve güneş panellerinin yüzeyinde biriken toz, kuş dışkısı, yaprak ve diğer kirlleticiler, güneş ışığının panellere girişini engelleyerek enerji üretimini azaltır. Kirlenme, panellerin verimliliğini önemli ölçüde düşürebilir ve enerji üretiminde kayıplara yol açabilir.

Panel temizliğinin düzenli olarak yapılması, güneş enerji sisteminin verimliliğini artırır ve enerji üretimindeki kayıpları en aza indirir. Temizlik sıklığı, bölgenin hava kirliliği ve iklim koşullarına bağlı olarak değişir, ancak genellikle yılda birkaç kez temizlik yapılması enerji sistemlerinin performansını optimize etmek için önemlidir (Kaldellis ve Kapsali, 2011).

5.4. Rüzgâr Hızı

Rüzgâr hızı, güneş enerji sistemi verimliliği üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkilere sahip olabilir. Rüzgârın soğutma etkisi, panellerin sıcaklığını düşürerek enerji üretimini ve verimliliği artırır. Bu dolaylı olumlu etki, panellerin doğal bir soğutucu olarak işlev görmesine yardımcı olur ve sıcaklık artışının olumsuz etkilerini azaltır.

Ancak, aşırı yüksek rüzgâr hızları güneş panellerine olumsuz etkiler yapabilir. Bu etkiler, yapısal hasar, montaj problemleri ve enerji üretiminde kesintiler şeklinde ortaya çıkabilir. Aşırı rüzgarlar, güneş panellerinin ve montaj sistemlerinin zarar görmesine, enerji üretiminde geçici düşüşlere yol açabilir.

Özetle, rüzgâr hızı güneş enerji sistemi verimliliği üzerinde çeşitli etkilere sahiptir. Rüzgârın soğutma etkisi, verimliliği artırırken, aşırı rüzgâr hızları yapısal hasara ve enerji üretiminde kesintilere neden olabilir. Güneş enerji sistemlerinin tasarımı ve montajı, rüzgâr hızlarını dikkate alarak gerçekleştirilmeli ve düzenli bakım yapılmalıdır (Mekhilef ve ark, 2012).

5.5. Gölgeleme

Gölgeleme, güneş enerji sistemlerinin verimliliği üzerinde önemli ve olumsuz bir etkiye sahiptir. Gölgeleme, güneş panellerinin üzerine düşen güneş ışığının azalması anlamına gelir ve bu durum, enerji üretiminde düşüşlere yol açar. Gölgeleme, doğal nesnelerden (ağaçlar, binalar vb.) veya sistem bileşenlerinden (montaj yapıları, diğer paneller vb.) kaynaklanabilir. Gölgeleme, fotovoltaiik (PV) panellerin enerji üretimini şu şekillerde etkiler:

Azalan enerji üretimi: Gölgeleme, panellerin yüzeyine düşen güneş ışığı miktarını azaltır ve bu da enerji üretiminin düşmesine neden olur. Paneller üzerindeki gölgeler, toplam enerji üretiminin önemli ölçüde azalmasına yol açabilir.

Eşleşmeyen enerji üretimi: Gölgeleme, paneller arasında eşleşmeyen enerji üretimine yol açabilir. Gölgede kalan paneller, daha az enerji üretirken, diğer paneller daha fazla enerji üretir. Bu durum, sistem bileşenlerinin ömrünü ve enerji üretimini etkileyebilir.

Sıcak nokta oluşumu: Güneş enerji sistemlerinde gölgeleme, sıcak nokta adı verilen bir olguya neden olabilir. Sıcak noktalar, gölgeli bölgelerde enerji üretiminin düşmesi nedeniyle panellerin geri kalan kısmında ısınan bölgelerdir. Bu durum, PV hücrelerinin ve bileşenlerinin ömrünü kısaltabilir ve performansını düşürebilir.

Gölgelemenin olumsuz etkilerini azaltmak için, güneş enerji sistemleri tasarlanırken ve kurulurken gölgeleme analizleri yapılmalıdır. Sistemler, en düşük gölgeleme oranına sahip bölgelere yerleştirilmeli ve panellerin düzeni, gölgeleme etkisini en aza indirecek şekilde planlanmalıdır (Teo ve ark, 2018).

Fotovoltaiik (PV) Panel yüzey açısı, güneş panellerinin yer yüzeyine göre eğim açısıdır. Bu açı, panellerin güneş ışığından ne kadar enerji toplayabileceğini belirler ve dolayısıyla enerji üretimini etkiler.

Optimal PV panel yüzey açısı, panellerin güneş ışınlarına maruz kaldığı süreyi maksimize etmeye yönelik olarak belirlenir. Bu açının doğru bir şekilde ayarlanması, enerji üretiminin ve sistemin verimliliğinin artırılmasına yardımcı olur. Optimal yüzey açısının belirlenmesinde, coğrafi konum, hava koşulları ve mevsimsel değişiklikler gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

Panel yüzey açısının belirlenmesi için genellikle kabul gören bazı yöntemler ve formüller kullanarak optimal panel yüzey açısını belirlemeye yönelik öneriler sunulabilir. İşte bu önerilerden biri:

Optimal panel yüzey açısı (tilt angle) $\approx$ Coğrafi enlem

Bu basit yöntem, panelin yüzey açısının (tilt angle) yerleşimin coğrafi enlemine eşit olması gerektiğini önerir. Bu yöntem, yıl boyunca güneşten en iyi şekilde yararlanmayı amaçlar ve genellikle bir başlangıç noktası olarak kullanılır.

Ancak, güneş takip sistemleri (solar tracker) kullanarak PV panel yüzey açısını ayarlamak, güneş enerjisi sisteminin verimliliğini artırabilir. Güneş takip sistemleri, güneşin hareketine göre panellerin yüzey açısını sürekli olarak ayarlar ve panellerin doğrudan güneş ışığına maruz kalmasını sağlar. Bu sayede, paneller güneş ışığını daha etkili bir şekilde toplar ve enerji üretimini artırır. Ancak, bu sistemlerin kurulum ve bakım maliyetleri de daha yüksektir. Dolayısıyla, güneş takip sistemlerinin kullanımının maliyet etkinliği, sistem ömrü boyunca elde edilen enerji üretimi artışı ve potansiyel gelir artışı ile dikkatlice değerlendirilmelidir (Mousazadeh ve ark, 2009).

5.6. PV Panel Verimi

PV panel verimi, bir güneş panelinin güneş ışığından ne kadar enerji dönüştürebildiğini ifade eden yüzde değeridir. Bu, bir güneş panelinin enerji üretim kapasitesini ve dolayısıyla güneş enerjisi sisteminin toplam enerji üretimini etkiler.

Yüksek verimli paneller, daha az alan kaplayarak daha fazla enerji üretme kapasitesine sahiptir. Bu, özellikle alanın sınırlı olduğu durumlarda, güneş enerjisi sisteminin verimliliğini artırmanın önemli bir yolu olabilir. Yüksek verimli PV paneller, daha az sayıda panel kullanarak aynı enerji üretimi seviyesine ulaşmanızı sağlar, bu da sistemin maliyetini ve yerleşim alanını azaltmaktadır (Parida ve ark, 2011).

PV panel verimini (η) hesaplamak için aşağıdaki basit formül kullanılabilir:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (5.4)$$

Burada;

P_{out} : Güneş panelinin ürettiği elektrik enerjisi (W)

P_{in} : Güneş paneline düşen güneş ışıınının enerjisi (W).

Giriş gücü, genellikle güneş ışıınını ile çarpılarak hesaplanır:

$$P_{in} = \text{Güneş ışıınını (W/m}^2\text{)} \times \text{Panel alanı (m}^2\text{)} \quad (5.5)$$

Güneş ışıınını, bir yüzey alanı üzerindeki güneş enerjisi miktarıdır ve genellikle (W/m²) olarak ölçülür.

5.7. İnvörtör Verimi

İnvörtörler, güneş panellerinden üretilen doğru akım (DC) enerjiiyi, evlerde ve şebekede kullanılabilen alternatif akım (AC) enerjisine dönüştürür. İnvörtörlerin dönüştürme sürecinde enerji kayıpları yaşanır ve bu kayıplar, güneş enerji sisteminin toplam verimliliğini azaltır.

İnvörtör verimi (η), çıkış enerjisinin giriş enerjisine oranı olarak hesaplanır:

$$\eta_{inv} = \frac{P_{out_AC}}{P_{in_DC}} \times 100 \quad (5.6)$$

Burada;

P_{out_AC} : İnvörtörün dönüştürdüğü AC enerji (W)

P_{in_DC} : İnvörtöre giren DC enerji (W).

İnvörtör verimliliği genellikle %90 ila %99 arasında değişir ve daha yüksek verimli invörtörler, güneş enerji sisteminden daha fazla enerji elde etmeye yardımcı olur.

İnvörtör seçimi sırasında, sistem boyutu, enerji üretimi profili ve kullanım ihtiyaçları gibi faktörleri dikkate almak önemlidir. Yüksek verimli invörtörlerin maliyeti genellikle daha yüksektir, ancak daha düşük enerji kaybı ve daha yüksek sistem

verimliliği sağlarlar. İnvertör verimliliğini optimize etmek, güneş enerji sisteminin toplam enerji üretimini ve maliyet etkinliğini artırır (Sivakumar ve ark, 2015).

5.8. Kablo Özellikleri

Güneş enerjisi sistemleri için kabloların doğru şekilde seçilmesi ve boyutlandırılması, enerji kayıplarını azaltır ve sistemin genel performansını artırır. Kablolarla ilgili dikkate almanız gereken ana faktörler şunlardır:

Kablo kalınlığı (kesit alanı): Kabloların kesit alanı, kablonun taşıyabileceği akım kapasitesini belirler. Kablo kesit alanı ne kadar büyük olursa, o kadar düşük direnç gösterir ve daha az enerji kaybı yaşanır. Kabloların yetersiz kalınlıkta olması, daha yüksek enerji kayıplarına ve sistemin verimliliğinin düşmesine neden olur.

Kablo malzemesi: Kablolar genellikle bakır veya alüminyum gibi iletken metallere yapılır. Bakır kablolar, alüminyum kablolarla karşılaştırıldığında daha düşük direnç sunar ve daha az enerji kaybı yaşanır. Ancak bakır kablolar alüminyum kablolardan daha pahalıdır.

Kablo uzunluğu: Kablo uzunluğu arttıkça, direnç ve enerji kayıpları da artar. Güneş enerjisi sistemlerinde, kabloların olabildiğince kısa tutulması önemlidir. Uzun kablo kullanımı, enerji kayıplarını artırarak sistemin verimliliğini düşürür.

Kablo yalıtımı: Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan kabloların UV ışınlarına, sıcaklık dalgalanmalarına ve nem gibi dış etkenlere karşı dayanıklı yalıtıma sahip olması önemlidir. Yalıtımın uygun olmaması, kablo ömrünü kısaltabilir ve sistemin performansını düşürebilir.

Bağlantılar ve konektörler: Kabloların bağlantıları ve konektörleri, enerji kayıplarını ve direnç seviyelerini etkiler. Kaliteli bağlantılar ve konektörler kullanarak, enerji kayıplarını azaltabilir ve sistemin verimliliğini artırabilirsiniz (Boxwell, 2010).

5.9. Diğer Kayıplar

Güneş enerji sisteminin verimliliği üzerinde etkili olan diğer kayıplar şunlardır:

1- Yaşlanma ve degradasyon: zamanla güneş enerjisi panellerinde meydana gelen performans azalması ve malzeme yıpranması süreçleridir. Bu süreçler, modüllerin ve

dizilerin elektriksel özelliklerinde dengesizliklere yol açarak uyumsuzluk kaybına neden olabilir.

2- Üretim toleransları: PV hücrelerinin ve modüllerin elektriksel özelliklerinde küçük farklılıklar, bağlı modüller ve diziler arasında güç ve akım dengesizliklerine yol açarak uyumsuzluk kaybına neden olur.

3- Yansıma kayıpları: PV panellerin yüzeyinden yansıyan ve absorbe edilmeyen güneş ışığı.

4- Ohmik kayıplar: Kablo ve bağlantılardaki dirençten kaynaklanan enerji kaybı.

5- MPPT (Maksimum Güç Noktası İzleme) kayıpları: MPPT algoritmasının zaman zaman maksimum güç noktasını tam olarak takip etmeyerek oluşan kayıplar.

6- Hücre bağlantı kayıpları: PV hücrelerin birbirine bağlanması sırasında oluşan enerji kaybı.

7- Işınım kayıpları: Güneş ışığının spektrumunun bir kısmının PV hücreleri tarafından etkili bir şekilde absorbe edilememesi.

Bu kayıpların her biri, güneş enerji sisteminin genel verimliliğini etkileyebilir ve enerji üretimini azaltabilir. Bu kayıpları en aza indirmek için düşük dirençli bileşenler, düzenli bakım, anti-yansıtıcı kaplamalar ve ileri teknoloji ürünü güneş enerji bileşenleri kullanılmalı (Dhass ve ark, 2022).

6. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında, Katar'daki 126 bin tek katlı villa tipi konutlar için çatıya monte edilecek on-grid güneş enerji sistemlerinin kurulumu ve performanslarının 2030 yılında elektrik üretimine sağlayacağı katkıyı simüle etmek suretiyle araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, 2030 yılında Katar'daki toplam 126 bin tek katlı villalarda çatılara kurulan güneş enerji sistemlerinin elektrik üretimine olan katkısı, performans analizi ve çevresel etkiler açısından incelenmiştir.

Başlangıçta, tek katlı bir konut üzerine on-grid güneş enerji sistemi kurulacak ve teknik analiz ile sistemin performansı değerlendirilecektir. Çalışmada, 126.000 tek katlı villa üzerinde yapılan araştırmalar nedeniyle, çatı alanının ortalamasının alınması gerekmektedir. Katar Planlama ve İstatistik Kurumu'na göre yapılan araştırmalar sonucunda, Katar'daki bir villanın çatı alanı ortalaması 300 m² olarak hesaplanmıştır.

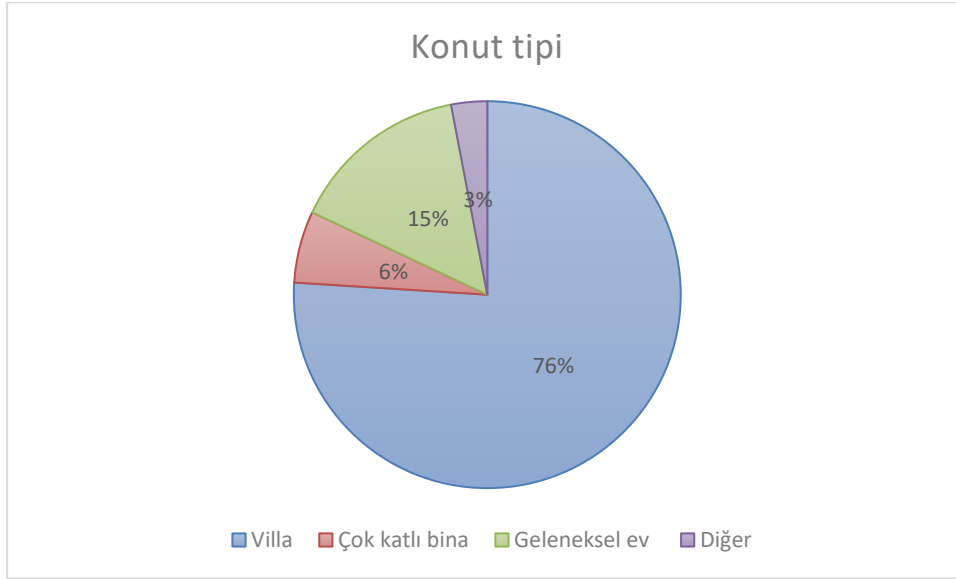
Planlanan güneş enerji sistemlerinin çatılara uygulanması için, meteorolojik veri seçimi, Array ve string sayıları, sistem tasarımı ve olası gölgelenme analizlerine dayalı önemli hesaplamalar yapılarak, ortalama olarak 28.8 kWh enerji üretiminin gerçekleştirilebileceği hesaplanmıştır. Katar'ın güneş ışıyım değerleri ve iklim verileri, PVGIS TMY: SARAH verilerinden elde edilmiştir. Bu çalışmada, on-grid güneş enerji sistemlerinin kurulumu ve performans simülasyonlarını gerçekleştirmek amacıyla PVsyst v6.7.8 simülasyon aracı kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılacak fotovoltaik (PV) panellerin teknik özellikleri, performansı ve uygunluğu göz önünde bulundurularak seçilmiştir. İnvertör seçimi, teknik özellikler, performans ve panellerle uyum dikkate alınarak yapılmıştır. Kablo seçimi ve koruma hesapları, paneller ile invertör arasındaki uyumu ve kayıpları en aza indireyecek şekilde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın sonucunda, 126 bin konutlu villada güneş enerji sistemlerinin uygulanmasıyla azaltılacak CO₂ emisyonunun çevresel katkısı ve bu sistemlerin elektrik enerjisi üretimine etkisi incelenmiştir.

6.1. Modellenen Konum ve Yapısal Özellikleri

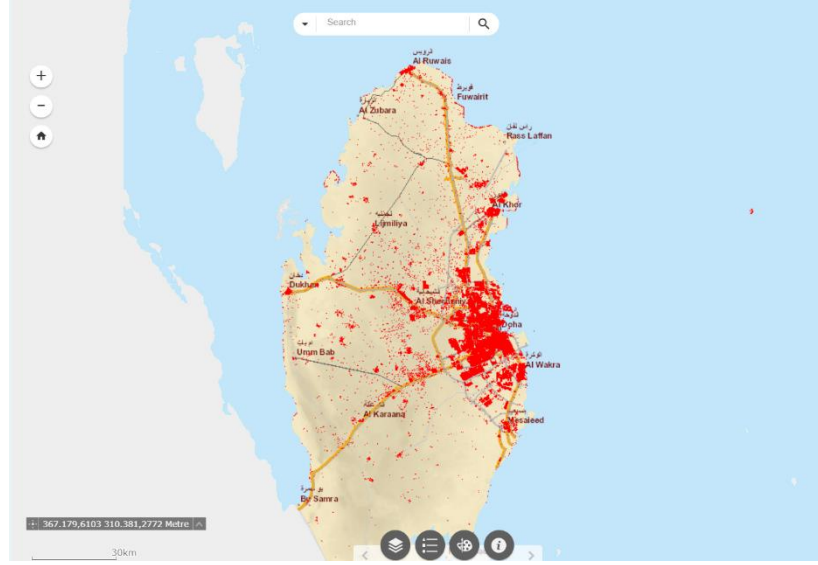
Konut yapıları açısından Şekil 6.1'i incelendiğinde, ülkenin %76'sından fazlası villa ve saray olarak sınıflandırılmakta olup, binaların %15'i ise geleneksel ve Arap evi şeklinde sınıflandırılmıştır. Çok katlı ve konut binalarının oranı ise sadece %6'dır. Villalar özellikle Doha, Al Rayyan ve Umm Salal gibi bölgelerde yoğunlaşmış durumdadır. Doha, çok katlı binaların büyük bir kısmını barındırırken, Al Rayyan'da tek katlı konutlar ve villalar daha yaygındır (PSA, 2020).



Şekil 6.1. Katar'da konut yapıları türüne göre dağılımı (PSA, 2020).

Katar Planlama ve İstatistik Kurumu'nun 2020 Yerleşim Dağılımı verilerine göre Şekil 6.2'de, Al Rayyan ve Doha illeri nüfus yoğunluğu bakımından öne çıkmaktadır. Bu çalışmada odak noktası tek katlı konutlar ve villalar olduğu için, araştırma Katar'ın Al Rayyan ili üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Al Rayyan, Katar'ın ikinci en büyük şehri olup, başkent Doha'nın batısında konumlanmıştır. Bu bölgenin koordinatları yaklaşık olarak 25.2854° Kuzey enlemi ve 51.5341° Doğu boylamı olarak belirlenmiştir. (World Meteorological Organization)



Şekil 6.2. Katar'daki Yerleşim Dağılımı (PSA, 2020).

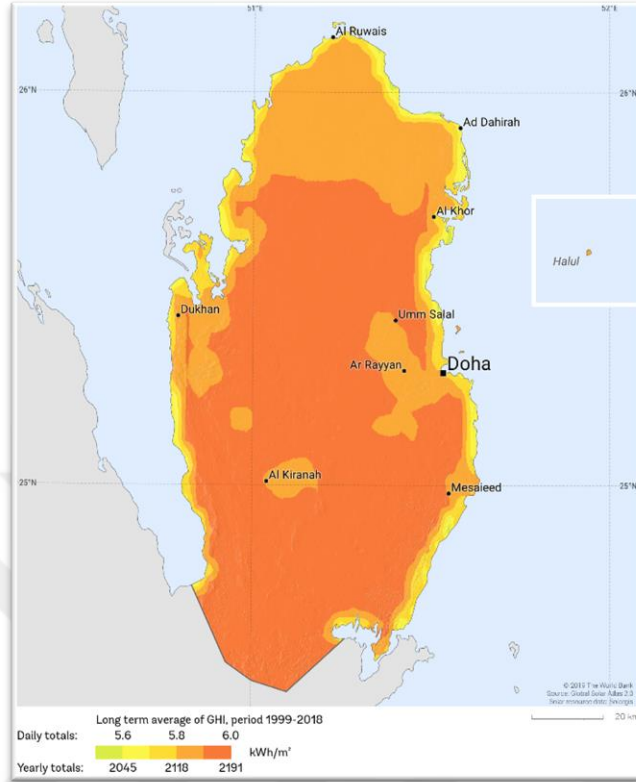
Bu çalışma kapsamında, 126.000 tek katlı villada on-grid güneş enerji sistemi kurulumu gerçekleştirilecektir. Bu bağlamda, ortalama bir çatı alanının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Katar Planlama ve İstatistik Kurumu tarafından yürütülen araştırmalar neticesinde, Katar'daki villaların çatı alanlarının 150 ila 450 m² aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, tüm villalarda uygulama olanağı sağlamak amacıyla ortalama çatı alanı üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Dolayısıyla, çalışma 300 m² çatı alanına sahip tek katlı villalar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

6.2. Modellenen Konumun Işınım Verileri

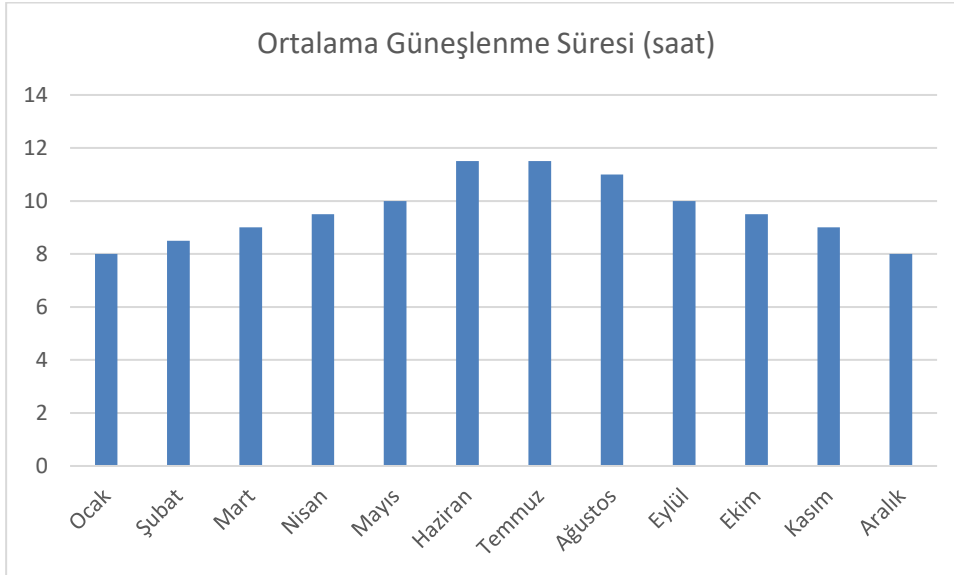
Koordinatları 25°28'54"N, 51°53'41"E olarak belirlenen Al Rayyan bölgesi kıyı bölgelerine kıyasla daha sıcak ve kuru bir iklim yapısına sahiptir. Al Rayyan, çöl iklimi özelliklerine ve güçlü güneş ışıınımına sahip bir bölgedir. Bu, bölgenin çöl iklimi ve yüksek güneşlenme süreleriyle ilişkilidir.

Al Rayyan, yıllık ortalama güneşlenme süresi oldukça yüksektir. Ortalama olarak, Al Rayyan'da yılda yaklaşık 3500-3800 saat arasında güneşli hava görülür. Bu, günde ortalama 8,7 ila 9,8 saat güneşli hava anlamına gelir. Al Rayyan'da yıllık ortalama toplam güneş ışıınımı yaklaşık olarak 2000 kWh/m² ila 2200 kWh/m² arasında değişir. Kış aylarında (Aralık, Ocak ve Şubat), günlük ortalama güneş ışıınımı yaklaşık 3,5

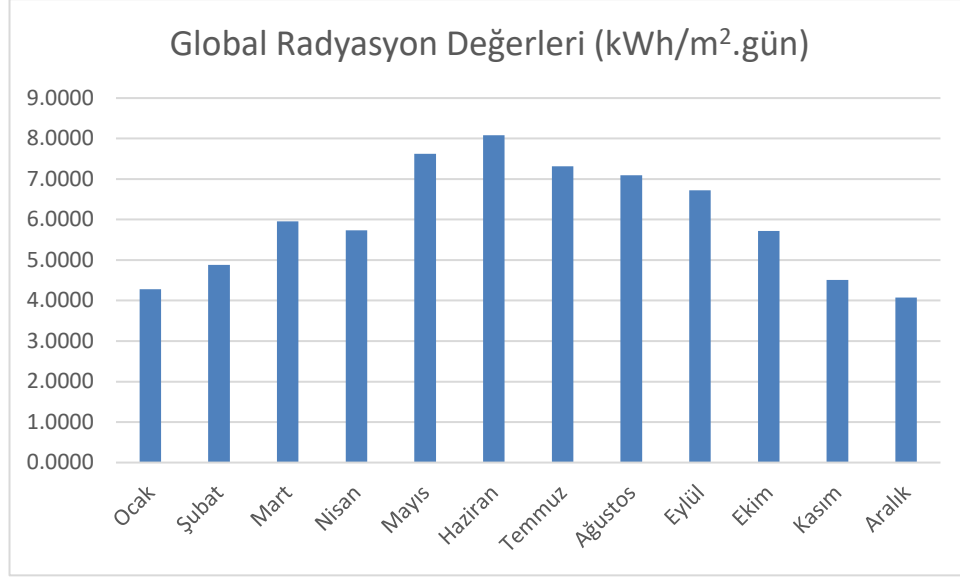
kWh/m² ila 5,5 kWh/m² arasında olabilir. Yaz aylarında (Haziran, Temmuz ve Ağustos) ise günlük ortalama güneş ışınımı 6,5 kWh/m² ila 8 kWh/m² arasında değişir.



Şekil 6.3. Katar yıllık ortalama toplam güneş ışınımı miktarı (kwh/m².yıl).

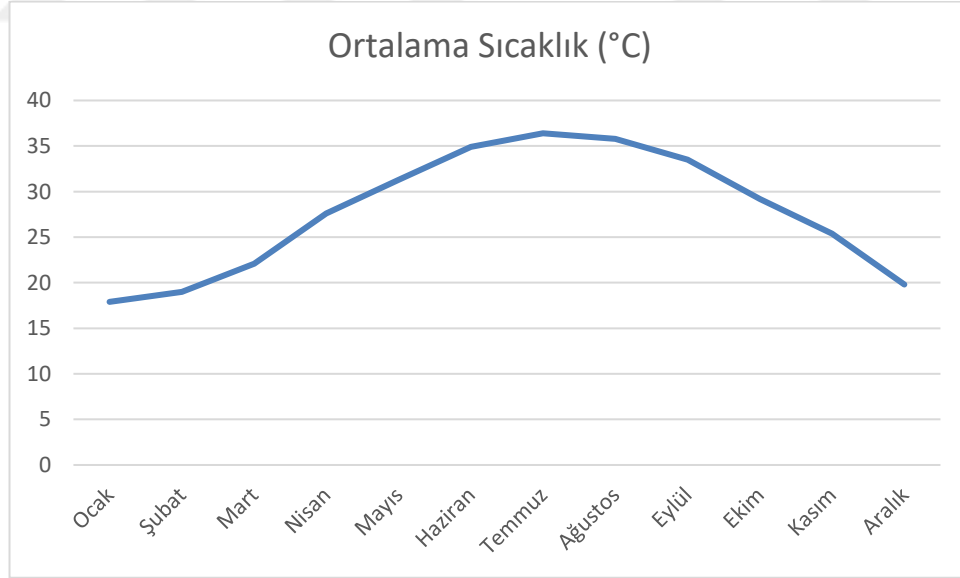


Şekil 6.4. Al Rayyan aylık ortalama güneşlenme süreleri.



Şekil 6.5. Günlük güneş ışınım aylık ortalaması (kWh/m².gün).

Yaz aylarında sıcaklıklar genellikle 40°C (104°F) ve üzerine çıkabilir. Bu dönemde, günlük en yüksek sıcaklıklar 45°C'ye (113°F) kadar ulaşabilirken, gece sıcaklıkları 30°C (86°F) civarında seyreder. Kış aylarında ise sıcaklıklar daha ılıman seviyelerdedir. Gündüz sıcaklıkları ortalama olarak 20°C (68°F) ile 25°C (77°F) arasında değişirken, gece sıcaklıkları 10°C (50°F) ile 15°C (59°F) arasında olabilir.



Şekil 6.6. Günlük hava sıcaklığı aylık ortalaması (°C).

Al Rayyan’da hâkim olan rüzgârlar ise kuzeybatıdan eser ve Shamal olarak bilinir. Bu rüzgârlar, özellikle yaz aylarında kum fırtınalarına neden olabilir ve görüş mesafesini önemli ölçüde azaltabilir. Ortalama yıllık yağış miktarı 80 mm (3.15 inç) civarındadır.

Katar’ın güneş ışıınım değerleri ve iklim verileri, çalışmada kullanılan gerçek verilerdir. Bu veriler, PVGIS TMY: SARA verilerinden elde edilmiştir.

6.3. Fotovoltaik (PV) Panel Seçimi

Bu çalışmada, Longi Solar tarafından üretilen Hi-MO 4m LR4-72HPH 450M model güneş paneli kullanılmıştır. Bu panel, yüksek verimlilik sağlayan monokristal silikon hücrelere, düşük sıcaklık katsayılarına, 450Wp güç kapasitesine, mükemmel mekanik dayanıklılığa, PID direncine ve 25 yıl garantiye sahip avantajlar sunmaktadır. Bu nitelikler, enerji üretiminde yüksek performans ve güvenilirlik sağlayarak panelin uzun vadeli kullanımını desteklemektedir.

Yüksek performans-maliyet oranları sunan kristal silisyum panel teknolojileri, sınırlı çatı alanından en yüksek verimi elde etmek amacıyla toplam verimi %20.7 olan monokristal silisyum paneli tercih edilmiştir. Katar’ın yaz aylarında yüksek sıcaklıklara maruz kalması göz önünde bulundurularak, gerilim sıcaklık katsayısı dikkate alınmıştır. Seçilen panelin gerilim sıcaklık katsayısı -0,265%/°C olup, bu tür iklimlerde diğer panellere kıyasla daha verimli çalıştığı gözlemlenmiştir.

Tasarım sürecinde kullanılacak olan fotovoltaik panele ilişkin elektriksel veriler, Tablo 6.1’de sunulmaktadır. Bu veriler, fotovoltaik paneller için uluslararası standart test koşulları (STC) olan 25°C hücre sıcaklığı ve 1000 W/m² ışıınım değerleri altında elde edilmiştir.

Tablo 6.1. Seçilen fotovolatik PV panel özellikleri.

	Açıklama	Sembol	Değer
Elektriksel Veriler	Modül Verimi	η	20.70%
	Maksimum Güç	P_{MAX}	450 W _P
	Maksimum Güç Gerilimi	V_{MPP}	41,5 V
	Maksimum Güç Akımı	I_{MPP}	10,85 A
	Açık Devre Gerilimi	V_{OC}	49,3 V
	Kısa Devre Akımı	I_{SC}	11,6 A
	Maksimum Sistem Anma Gerilimi		1500 V _{DC}
	Çalışma Sıcaklık Aralığı	T_{panel}	-40 °C ~ +85 °C
Sıcaklık Katsayısı	Güç	γ	-0,34%/°C
	Gerilim	β	-0,265%/°C
	Akım	α	+0,050%/°C
Mekanik Verileri	Hücre Teknolojisi		Mono-Si
	Hücre Sayısı		166 (24*6)
	Panel Uzunluğu		2094 mm
	Panel Genişliği		1038 mm
	Panel Kalınlığı		35 mm
	Ağırlık		23,5 kg

6.4. İnvertör Seçimi

Sistemde, Canadian Solar markalı CSI-25KTL-GS-FLB model üç fazlı inverter kullanılmıştır. Canadian Solar CSI-25KTL-GS-FLB üç fazlı inverter, yüksek verimlilik elde etmek amacıyla trafosuz yapıya sahip olarak tercih edilmiştir. %98,5'e kadar varan yüksek verimlilik ve geniş MPPT gerilim aralığı sayesinde enerji üretimini en üst düzeye çıkartır. Akıllı soğutma sistemi ve entegre DC ve AC kesiciler ile uzun vadeli performans, güvenilirlik ve güvenli çalışma sağlar. Uluslararası standartlara uygun olarak sertifikalandırılan bu inverter, küresel teknik destek ve 10 yıllık üretici garantisi ile desteklenmektedir. İlgili inverterin elektriksel verileri, Tablo 6.2'de sunulmaktadır.

Tablo 6.2. Seçilen inverter özellikleri.

Açıklama	Sembol	Değer
Maksimum giriş gücü	$P_{\max \text{ inverter}}$	37.5 kW (13.5 kW/MPPT)
Çalışma DC Giriş Voltaj Aralığı	$V_{\text{no inverter}}$	200 - 800 V
Açık devre maksimum gerilimi	$V_{\text{oc inverter}}$	1000 V
Maksimum giriş akımı	$I_{\text{mpp inverter}}$	72 A (18 A/MPPT) A
Maksimum kısa devre akımı	$I_{\text{sc inverter}}$	112.4 A (28.1 A/MPPT) A
MPPT giriş sayısı		8 (2/MPPT)
Nominal AC Çıkış Gücü	$P_{\text{no_inverter}}$	25 kW
Maksimum çıkış gücü	$P_{\text{AC_inverter}}$	27.5 kW
Çıkış gerilimi	$V_{\text{AC_inverter}}$	480 V (3/N/PE)
Frekans değeri		60 Hz
Akım değeri	$I_{\text{AC_inverter}}$	30.1 A
Topoloji		Trafosuz
Maksimum montaj yüksekliği		4000 m
Çalışma sıcaklığı		-25 °C ~ +60 °C
Verim		98.50%

Sistem, her zaman tam güçte çalışmayacağı ve kayıpların dikkate alınması gerektiği için, toplam inverter gücü sistemin kurulu gücü ile eşit tutulmamıştır. Sistemin DC gücünün AC gücüne oranı 1,15 olarak belirlenmiş olup, toplam sistem gücü 28,8 kW'dır. Bu doğrultuda, nominal gücü 25 kW olan bir inverter kullanılmıştır.

6.5. Panel ve İnvertör Uyumluluk Hesabı

Fotovoltaik panel dizi ve sıra hesaplamaları, panellerin seri ve paralel bağlantılarını düzenleyerek enerji üretimini optimize etmeye ve invertörlerle uyumlu çalışmasını sağlamaya yönelik hesaplamalardır. Bu hesaplamalar, fotovoltaik sistemlerin verimliliği ve güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Fotovoltaik panellerin seri şekilde bağlanabileceği maksimum ve minimum panel sayısı, panellerin çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişen maksimum ve minimum

gerilim değerleri göz önünde bulundurularak belirlenir. Bu değerler, panellerin Katar'daki en düşük ve en yüksek çalışma sıcaklıkları olan -10°C ve 85°C'deki durumları incelenerek tespit edilir. Denklem 5.1'de, dizide seri şekilde bağlanabilecek maksimum panel sayısını hesaplamak için kullanılan bir formüldür. Bu hesaplamada, panel kataloğundan alınan açık devre gerilimi (V_{OC}) değeri 49,3V , maksimum güç gerilimi (V_{MPP}) değeri 41,5V ve sıcaklık katsayısı -0,265 %/°C olarak kullanılır. Ayrıca, eviricinin maksimum giriş gerilimi (V_{MPP_MAX}) 1000 V olarak belirtilmiştir. Fotovoltaik panellerin -10 °C 'deki açık devre gerilimi hesabı;

$$V_{-10^{\circ}C_OC} = 49,3 \times [1 + (-0,265 \times (-10 - 25) \div 100)]$$

$$V_{-10^{\circ}C_OC} = 53,87 \text{ V}$$

Fotovoltaik panellerin 85 °C 'deki açık devre gerilimi hesabı;

$$V_{85^{\circ}C_OC} = 49,3 \times [1 + (-0,265 \times (85 - 25) \div 100)]$$

$$V_{85^{\circ}C_OC} = 41,45 \text{ V}$$

Fotovoltaik panellerin -10 °C 'deki maksimum güç gerilimi hesabı;

$$V_{-10^{\circ}C_MPP} = 41,5 \times [1 + (-0,265 \times (-10 - 25) \div 100)]$$

$$V_{-10^{\circ}C_MPP} = 45,35 \text{ V}$$

Fotovoltaik panellerin 85 °C 'deki maksimum güç gerilimi hesabı;

$$V_{85^{\circ}C_MPP} = 41,5 \times [1 + (-0,265 \times (85 - 25) \div 100)]$$

$$V_{85^{\circ}C_MPP} = 34,9 \text{ V}$$

Elde edilen -10 °C'deki açık devre ve maksimum güç gerilimleri, fotovoltaik panellerin ulaşabileceği en yüksek çalışma gerilimlerini temsil eder. Bu gerilim değerlerinin kullanılması, fotovoltaik sistemlerin en düşük sıcaklık koşullarında bile güvenli ve verimli çalışmasını sağlamak amacıyla önemlidir.

Diziye bağlanabilecek maksimum panel sayısını tespit etmek için, inverterin maksimum açık devre gerilimi değeri (V_{OC_INV}), panellerin -10 °C'deki açık devre gerilimi ($V_{-10^{\circ}C_OC}$) ile bölünür. Bu işlem, panellerin en düşük sıcaklık koşullarında dahi inverterin gerilim sınırlarını aşmamasını sağlar.

$$N_{MAX} = \frac{V_{OC_INV}}{V_{-10^{\circ}C_OC}} \quad (6.1)$$

$$N_{MAX} = 1000 \text{ V} \div 53,87 \text{ V}$$

$N_{MAX} \approx 18,56$ Her bir dizide seri şekilde bağlanabilecek maksimum panel sayısı yaklaşık olarak 18'dir.

85°C sıcaklıktaki açık devre ve maksimum güç gerilimleri, fotovoltaiik panellerin çalışma anında görülebilecek en düşük gerilim değerlerini temsil eder. Diziye bağlanabilecek minimum panel sayısını tespit etmek için, inverterin minimum açık devre gerilimi değeri ($V_{OC_INV_MIN}$) 85 °C sıcaklıktaki açık devre gerilimi ($V_{85^{\circ}C_OC}$) ile bölünür.

$$N_{MIN_1} = V_{OC_INV_MIN} \div V_{85^{\circ}C_OC}$$

$$N_{MIN_1} = 200 \text{ V} \div 41,45 \text{ V}$$

$$N_{MIN_1} \approx 4,83$$

Daha sonra, inverterin minimum çalışma gerilimi değeri ($V_{NO_INV_MIN}$) 85°C sıcaklıktaki maksimum güç gerilimi ($V_{85^{\circ}C_MPP}$) ile bölünür.

$$N_{MIN_2} = V_{NO_INVERTER_MIN} \div V_{85^{\circ}C_MPP}$$

$$N_{MIN_2} = 200 \text{ V} \div 34,9 \text{ V}$$

$$N_{MIN_2} \approx 5,73$$

diziye bağlanabilecek minimum panel sayısı için iki farklı hesaplama yapılmıştır:

$$N_{MIN_1} \approx 4,83$$

$$N_{MIN_2} \approx 5,73$$

Her iki durumda da, panellerin en yüksek sıcaklık koşullarında dahi inverterin gerilim sınırlarının üzerine çıkmamalarını sağlamak amacıyla, her iki hesaplamadan elde edilen en büyük tam sayı değeri (6) kullanılmalıdır.

Sistem tasarımında, her bir dizide 16 adet fotovoltaiik panelin seri bağlantısı uygun görülmüştür. Paralel olarak bağlanabilecek dizi sayısının belirlenmesi için, dizilerin

ve inverterlerin maksimum akım kapasiteleri incelenmiştir. Bu amaçla, fotovoltaik panellerin en yüksek çalışma sıcaklığı olan 85°C'deki durumları değerlendirilmiştir. İnvertere 4 adet dizinin paralel şekilde bağlanacağı varsayılmıştır. Dizilerin maksimum güç ve kısa devre akımlarındaki sıcaklık bağımlı değişimler, Denklem 5.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

Fotovoltaik panellerin 85°C'deki maksimum güç akımı hesabını yapalım:

$$I_{85^{\circ}\text{C_MPP}} = 10,85 \text{ A} \times [1 + 0,050 \times (85 - 25) \div 100]$$

$$I_{85^{\circ}\text{C_MPP}} = 11,17 \text{ A}$$

$$I_{85^{\circ}\text{C_MPP}} = 11,17 \text{ A} < I_{\text{MPP_INV}} = 18 \text{ A} \text{ (Maksimum güç akımı uygundur).}$$

Fotovoltaik panellerin 85 °C'deki kısa devre akımı hesabını yapalım:

$$I_{85^{\circ}\text{C_SC}} = 11,6 \text{ A} \times [1 + 0,050 \times (85 - 25) \div 100]$$

$$I_{85^{\circ}\text{C_SC}} = 11,94 \text{ A}$$

$$I_{85^{\circ}\text{C_SC}} = 11,94 \text{ A} < I_{\text{SC_INV}} = 28.1 \text{ A} \text{ (Kısa devre akımı uygundur).}$$

Yapılan hesaplamalar neticesinde, kullanılacak fotovoltaik panel dizilerinin 16 panelden oluşması ve panel sıralarının 4 panel dizisinden meydana gelmesi uygun görülmüştür. Her bir panel sırası, bir invertere bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. İnvertere bağlanacak toplam güç, aşağıda detayları verilen hesaplamalarla belirlenmiştir.

$$P_{\text{max_sıra}} = P_{\text{max_panel}} \times \text{Bir dizideki panel sayısı} \times \text{Bir sıradaki dizi sayısı}$$

$$P_{\text{max_sıra}} = 450 \times 16 \times 4$$

$$P_{\text{max_sıra}} = 28800 \text{ W}$$

$$P_{\text{max_sıra}} = 28800 \text{ W} < P_{\text{max_INV}} = 37000 \text{ W} \text{ (Panel sayısının maksimum gücü uygundur).}$$

Kurulacak sistemin DC/AC yüklenme oranı şu şekilde bulunur;

$$\text{DC/AC Oranı} = \text{Inverter DC giriş gücü} / \text{Inverter AC çıkış gücü}$$

$$\text{DC/AC Oranı} = 28800\text{W} / 25000\text{W}$$

$$\text{DC/AC Oranı} = 1,152$$

6.6. Kablo Seçimi ve Koruma Hesabı

6.6.1. DC kablo

Sistemde, fotovoltaik paneller ile inverterler arasındaki elektrik bağlantısını sağlamak amacıyla HES KABLO marka H1Z2Z2-K model, tek damarlı solar kablo tercih edilmiştir. Bu kablolar, güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan fotovoltaik kabloların gerekliliklerini ve özelliklerini tanımlayan EN 50618 standardına uygundur. Bu çalışma kapsamında, kablo kanalları, kablo tavaları, sıva altı ve sıva üstü uygulamalar için uygun bir seçim olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 6.3. Fotovoltaik panel-inverter arasında kullanılacak DC kablo özellikleri.

Özellik	Değer
Damar Sayısı ve Kesiti	1x6 mm ²
Kablo Çapı	6,2 mm
60 °C Yüzey Sıcaklığında Akım Taşıma Kapasitesi (I _{60°C_DC})	70 A
Çalışma Sıcaklığı	-40 °C ~ +90 °C
DC Gerilim Seviyesi	1500 V
İletken Direnci (Ω/km) 20 °C	3.39

HES KABLO marka H1Z2Z2-K model tek damarlı solar kablolar, güneş enerjisi sistemlerinde ideal bir seçenek olarak ön plana çıkmaktadır. EN 50618 standardına uyumlu olarak üretilen bu kablolar, geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilme, UV direnci ve mekanik dayanıklılık gibi önemli özelliklere sahiptir. Ayrıca, düşük elektriksel dirençleri enerji kayıplarını minimize eder ve sistem verimliliğini artırır. Halojensiz malzemelerden yapılmış olmaları, yangın durumlarında toksik gaz salınımını önler. Bu kabloların uygulama esnekliği, kablo kanalları, kablo tavaları, sıva altı ve sıva üstü uygulamalar için uygun bir seçenek olmasını görmüştür.

Fotovoltaik paneller ve inverterler arasındaki bağlantıyı sağlayan solar kablolar, gerilim düşümünün %1'in altında tutulması hedeflenerek seçilmiştir. Yerleşim planına göre inverter grubuna en uzak konumda bulunan fotovoltaik panel dizisinin uzunluğu 20 metre olarak belirlenmiştir. Tablo 6.3'te belirtilen özelliklere sahip, 6 mm² kesitli

bakır iletkenli tek damarlı solar kablo, istenilen şartları karşılayacağı düşünülerek değerlendirilmiştir. Kablo üzerinde taşınacak gerilim tek fazlı DC olduğundan, gerilim düşümünün hesaplanması için Denklem 6.2 kullanılmıştır. Bakır için iletken katsayısı (K) yaklaşık olarak $56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$ olarak alınmıştır.

Tek fazlı sistemlerde gerilim düşümü hesabı;

$$\%e = \frac{2 \times 100 \times L \times P}{K \times S \times V^2} \quad (6.2)$$

Burada;

%e : Gerilim düşüm oranı

L : Dizi hattının inverter arası hat uzunluğu (m)

S : Kablo kesiti (mm^2)

K : İletken katsayısı ($\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$)

P : Dizi toplam gücü (W)

V : Dizi açık devre gerilimi (V)

$$\%e = \frac{2 \times 100 \times 20 \times 7200}{56 \times 6 \times (788)^2}$$

Gerilim düşümü (%e) = %0,138

Gerilim düşümü (%e) = %0,138 < %1'den küçük olması, 6 mm^2 kesitli solar kabloların istenilen gerilim düşümü değerini sağladığını göstermektedir.

Gerilimin tek fazlı DC olmasından dolayı, kablunun neden olacağı güç kaybı Denklem 6.3'ye göre hesaplanmıştır. Her bir fotovoltaik panel dizisi için kabul edilebilir maksimum güç kaybı %1 olarak belirlenmiştir.

Tek fazlı sistemlerde güç kaybı;

$$\Delta P = \frac{2 \times L \times I^2}{K \times S} \quad (6.3)$$

Burada;

ΔP : Güç kaybı (W)

I : Kısa devre akımı (I_{SC})

L : Dizi hattının inverter arası hat uzunluğu (m)

S : Kablo kesiti (mm^2)

K : İletken katsayısı ($m/\Omega \cdot mm^2$)

$$\text{Güç kaybı } (P_1) = \frac{2 \times 20 \times (11,6)^2}{56 \times 6}$$

$$\text{Güç kaybı } (P_1) = 16 \text{ W}$$

6 mm^2 kesitli solar kablo kullanılması durumunda, bir dizide meydana gelen güç kaybı 16 W olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplanan değer, toplam dizi gücünün %0,22'una denk gelmektedir ve sistem için kabul edilebilir bir düzey olarak değerlendirilmektedir.

Seçilen solar kablonun akım taşıma kapasitesi 70 A 'dır. Ancak kablonun sistemde sorunsuz şekilde çalışacağından emin olunması için düzeltme ve sıcaklık faktörlerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu faktörler için Elektrik Mühendisleri Odası'nın yayınladığı Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabında verilen kabloların düzeltme ve sıcaklık faktörü katsayısı tabloları (Tablo A.14 ve Tablo A.17) kullanılmıştır. Düzeltme faktörleri tablosuna göre, sık şekilde kablo tavası içerisinde döşenmiş 8'den fazla kablo için düzeltme katsayısı 0,52'dir. Sıcaklık faktörleri tablosu incelendiğinde ise, 60°C ortam sıcaklığında sıcaklık faktörü katsayısı 0,71'dir. Bu katsayılar göre kablonun taşıma kapasitesi aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanmıştır (Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, 2011).

$$I_{MAX_DC} = I_{60^\circ C_DC} \times \text{Düzeltilme faktörü} \times \text{Sıcaklık faktörü}$$

$$I_{MAX_DC} = 70 \times 0,52 \times 0,71$$

$$I_{MAX_DC} = 25,84 \text{ A}$$

Sistem güvenliği adına, hesaplanan kablo akım taşıma kapasitesinin fotovoltaik panelin 85°C'deki kısa devre akımının ($I_{85^\circ C_SC_PANEL}$) den daha fazla olması gerekmektedir.

$$I_{MAX_DC} = 25,84 \text{ A} > I_{85^{\circ}\text{C_SC_PANEL}} = 11,98 \text{ A}$$

25,84 A değeri, 85°C'deki panel kısa devre akımı ($I_{85^{\circ}\text{C_SC_PANEL}}$) olan 11,98 A'dan büyük olduğu için, seçilen 6 mm² solar kablonun akım taşıma kapasitesi sistemin gereksinimlerini karşılayacak düzeyde uygundur.

Toplam DC kablolama kaybı formülü:

$$R = \frac{P}{I^2} \quad (6.4)$$

Burada;

R : Toplam DC kablolama kaybı (Ohm)

P : Güç kaybı (W)

I : Kısa devre akımı (I_{SC})

$$\text{Toplam DC kablolama kaybı (R)} = 16 \text{ W} / (11,6 \text{ A})^2$$

$$\text{Toplam DC kablolama kaybı (R)} = 0,119 \text{ Ohm}$$

Bu hesaplamalara göre, toplam DC kablolama kaybı yaklaşık olarak 0,119 Ohm'dur.

6.6.2. AC kablo

Sistemde alternatif gerilim (AC) bölümünde HES KABLO marka, N2XH-O model kablolar kullanılmıştır. Kablo, alevi iletmeyen halojenden arındırılmış olarak seçilmiştir. Ayrıca, Yüksek iletkenlik ve düşük gerilim düşümü ile enerji verimliliğini artıran bu kablo, aynı zamanda yangın direnci ve topraklama özellikleri ile de güvenlik standartlarını karşılamaktadır. Kullanılan kabloya ilişkin elektriksel özellikler, Tablo 6.4'te sunulmuştur.

Tablo 6.4. İnverter- AC panosu arasında kullanılacak AC kablo özellikleri.

Özellik	Değer
Damar Sayısı ve Kesiti	4x10 mm ²
Kablo Çapı	18 mm
Akım Taşıma Kapasitesi 30°C	60 A
Maksimum Çalışma Sıcaklığı	+90 °C
Maksimum Çalışma Gerilim Değeri	0.6/1 kV
İletken Direnci (Ω/km) 90°C	1,83 Ohm/km

AC kabloların seçimi, gerilim düşümü, güç kaybı ve akım taşıma kapasiteleri göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. AC iletkenler, inverter- AC şalt panosu ve AC şalt panosu-trafo ana dağıtım panosu arasında bağlantı sağlamak için kullanılır. Aynı akım ve gerilim seviyelerine sahip olduklarından, her iki iletkenin hesaplamaları aynı başlıklar altında incelenmiştir. AC kabloların seçimi, sistemdeki gerilim düşümünün %1'in altında olacak şekilde gerçekleştirilir ve her iki bölüm için kabul edilebilir maksimum güç kaybı %1 olarak belirlenir.

inverter- AC şalt panosu ve AC şalt panosu-trafo ana dağıtım panosu arasındaki en uzun mesafe 12 m olarak belirlenmiştir. Özellikleri verilen (Tablo 6.4) 6 mm² kesite sahip N2XH-O kablonun, istenilen şartları karşılayacağı düşünülerek hesaplamalara dahil edilmiştir. Kablonun taşıyacağı gerilim üç fazlı AC olduğu için, gerilim düşümü hesabında Denklem 6.5 kullanılmıştır.

Üç fazlı sistemlerde gerilim düşümü hesabı;

$$\%e = \frac{100 \times L \times P}{K \times S \times V^2} \quad (6.5)$$

Burada;

%e : Gerilim Düşüm Oranı

L : İnverter- AC Arası Hat Uzunluğu (m)

S : Kablo Kesiti (mm²)

K : İletken Katsayısı (m/Ω·mm²)

P : İnverter Toplam Gücü (W)

V : İnverter Çıkış Gerilimi (V)

$$\text{Gerilim düşümü (\%e)} = \frac{100 \times 12 \times 25000}{56 \times 6 \times (480)^2}$$

$$\text{Gerilim düşümü (\%e)} = \%0,23$$

Gerilim düşümü (%e) = %0,23 < %1'den küçük olması, 10 mm² kesitli kabloların istenilen gerilim düşümü değerini sağladığını göstermektedir. inverter- AC şalt panosu ve AC şalt panosu-trafo ana dağıtım panosu arası için kabul edilebilir maksimum güç kaybı %1 olarak belirlenmiştir.

İletkenin 3 faz sistemlerde güç kaybı hesabı için Denklem 6.6 kullanılmıştır.

$$P = \frac{3 \times L \times I^2}{K \times S} \quad (6.6)$$

Burada;

P : Güç kaybı (W)

I : Üç fazlı sistemlerde akım (I)

L : Dizi hattının inverter arası hat uzunluğu (m)

S : Kablo kesiti (mm²)

K : İletken katsayısı (m/Ω·mm²)

Üç fazlı sistemlerde akım taşıma hesabı:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos Q} \quad (6.7)$$

$$I = \frac{25000}{\sqrt{3} \times 480 \times 1}$$

$I = 30A$ ise;

$$\text{Güç kaybı } (P_1) = \frac{3 \times 12 \times (30)^2}{56 \times 6}$$

$$\text{Güç kaybı } (P_1) = 57,85 \text{ W}$$

10 mm² kesitli bakır iletken kullanılması, sistemde 57,85 W'lık bir güç kaybına yol açmaktadır. Hesaplanan 57,85 W güç kaybı, sistemin toplam gücünün %0,23'sine karşılık gelmektedir. Bu düzeydeki güç kaybı, sistem için kabul edilebilir sınırlar içindedir.

Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabında yer alan düzeltme faktörü ve sıcaklık faktörleri tabloları dikkate alınarak, seçilen kablonun akım taşıma kapasitesi hesaplanmıştır. Tablo 6.4'e göre, kablonun akım taşıma kapasitesi 60 A'dır. Kablo tavaşı içinde tek tabakada döşenmiş 2 kablo için düzeltme katsayısı 0,8 olarak belirtilmiştir. Ayrıca, 60°C ortam sıcaklığında sıcaklık faktörü katsayısı 0,71 olarak verilmiştir. Bu katsayılar kullanılarak, kablonun taşıma kapasitesi aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanmıştır (Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, 2011).

$$I_{\text{MAX_AC_KABLO}} = I_{30^\circ\text{C_AC_KABLO}} \times \text{Düzeltilme faktörü} \times \text{Sıcaklık faktörü}$$

$$I_{\text{MAX_AC_KABLO}} = 60 \times 0,8 \times 0,71$$

$$I_{\text{MAX_AC_KABLO}} = 34,08$$

$I_{\text{MAX_AC_KABLO}} = 34,08 > 30,1 = I_{\text{AC_INV}}$ Seçilen 4x10 mm² kesite sahip bakır iletkenli N2XH-O kablonun akım taşıma kapasitesi uygundur.

Toplam AC kablolama kaybı formülü:

$$R = \frac{P}{I^2} \quad (6.8)$$

Burada;

R : Toplam AC kablolama kaybı (Ohm)

P₁ : Güç kaybı (W)

I : Kısa devre akımı (I_{SC})

Toplam AC kablolama kaybı (R) = 57,85 W / (30 A)²

Toplam AC kablolama kaybı (R) = 0,06 Ohm

Bu hesaplamalara göre, toplam AC kablolama kaybı yaklaşık olarak 0,06 ohm'dur.

Toplam AC ve DC kablolarındaki dirençleri toplayarak, sistemin toplam direncini hesaplamış olursunuz:

$$R = R_{AC} + R_{DC} \quad (6.8)$$

R = 0,06 Ohm + 0,119 Ohm

R = 0,183 Ohm , Bu değer, tüm kabloların toplam direncini temsil eder. Güç kaybı oranı olarak toplam gücün %0,45'ine karşılık gelir. Bu seviyedeki güç kaybı, sistemin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu anlamına gelir.

6.7. Sistem Panellerin Çatı Yerleşimi

Katar, coğrafi olarak Kuzey Yarımkürede yer almaktadır. Güneş enerjisi üretimi için maksimum verimlilik elde etmek amacıyla, güneş modülleri güney yönüne bakacak şekilde konumlandırılmalıdır. En uygun eğim açısını belirlemek için çeşitli yöntemler mevcuttur:

1- Şehrin bulunduğu enlem açısına eşit eğimde modüllerin yerleştirilmesi:

Modül açısı = Enlem açısı

Al Rayyan ili örneğinde, eğim açısı 25° olarak hesaplanmaktadır.

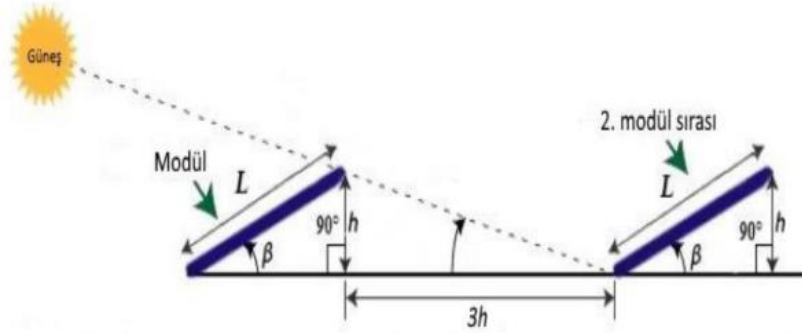
2- Sınırlı çatı alanına sahip yapılar için, gölgelenmeyi önlemek amacıyla Denklem 6.9 kullanılabilir ve %0,5'ten daha az verim kaybıyla optimum açı bulunabilir:

$$\text{Modül Açısı} = \text{Enlem açısı} \times 0,8 \quad (6.9)$$

Modül açısı = 25° * 0,8 = 20°

Çalışmada örnek olarak kullanılan çatı alanı sınırlı olduğundan ve gölgelenmeyi önlemek amacıyla, 2. yöntemi tercih edilmiştir.

Güneş modülleri, belirlenen eğim açısıyla sıralı olarak yerleştirilir. Eğim açısı nedeniyle, her modül sırası belirli bir yükseklikte bulunmaktadır. Bu yükseklik, her modül sırasının arkasındaki sıra için gölgelenmeye sebep olabilir. Gölgelenmeyi önlemek amacıyla, modül yerleşimi Şekil 6.7’de gösterildiği gibi gerçekleştirilmelidir.



Şekil 6.7. Panel yerleşim yöntemi.

Güneş panelleri, 2 cm aralıkla yatay olarak üst üste iki adet panel şeklinde yerleştirilmiştir. Her dizi, seri bağlantılı 16 panel içermektedir. Sıralar arasındaki mesafenin (d) hesaplanması için aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$d = 3 \times h \quad (6.10)$$

Burada; h panel yüksekliğidir ve şu formülle hesaplanabilir:

$$h = L \times \sin \beta \quad (6.11)$$

Burada ise; L, panel uzunluğu (2 m) ve β , panel eğim açısı (20°) olarak belirlenmiştir. Panellerin arasındaki aralık mesafe ise 0,02m. Bu değerler kullanılarak h değeri hesaplanır:

$$h = ((2 \times 1.038 \text{ m}) + 0,02) \times \sin(20^\circ) = 0,716 \text{ m}$$

Son olarak, sıralar arasındaki mesafe (d) hesaplanır:

$$d = 3 \times 0,716 \text{ m}$$

$$d = 2,15 \text{ m}$$

Bu hesaplamalar sonucunda, güneş panel sıraları arasında 2,15m'lik bir mesafe bırakılması gerektiği belirlenmiştir.

Paneller arası alan:

Sıralar arası mesafe (d) 2,15 m olarak hesaplanmıştır.

4 sıra olduğu için, sıralar arasında 3 boşluk bulunmaktadır.

Panellerin genişliği 2,094 m'dir.

Yatay konumda üst üste yerleştirilen iki panel bulunduğu için, her sırada 16 panel bulunmaktadır ve toplamda 4 sıramız mevcuttur. 4 sıra arasındaki 3 ara alanı hesaplamak için şu adımları takip ederiz:

$$\text{Bir panel için ara olarak istenilen alan} = 2,15 \text{ m} / 2 \times 2,094 \text{ m} = 2,251 \text{ m}^2$$

$$\text{Toplam sıradaki 16 panelin ara olarak istenilen alan} = 2,251 \text{ m}^2 \times 16 = 36 \text{ m}^2$$

$$\text{Toplam sistem için istenilen sıralar arası alan} = 3 \times 36 \text{ m}^2 = 108 \text{ m}^2$$

Çalışmada örnek olarak alınan çatı alanı 300 m²'dir. Güneş paneli boyutları 2094x1038mm'dir. Paneller yatay olarak ve 20° eğim açısıyla yerleştirilmiştir. Toplam 64 adet panel kullanılmıştır.

Panel için istenilen alan;

$$\text{Panel alanı} = 2,094 \text{ m} \times 1,038 \text{ m} = 2,173 \text{ m}^2$$

Panel 20° eğim açısıyla yerleştirildiği için kapladığı alan;

$$\text{Panel alanı} = 2,173 \times \cos(20)$$

$$\text{Panel alanı} = 2,173 \times 0.94 = 2,041 \text{ m}^2$$

Paneller arası aralık toplam alanı:

$$A = 0,02 \times 2,094 \times 8 \times 4 + 0,02 \times 1,038 \times 7 \times 4 = 2,5 \text{ m}^2$$

Toplam 64 adet panel için istenilen alan:

$$\text{Toplam panel alanı} = 64 \times 2,041 \text{ m}^2 + 2,5 \text{ m}^2 = 133 \text{ m}^2$$

Toplam panel arası ve panel alanı:

Toplam alan = Toplam panel alanı + Paneller arası alan

Toplam alan = $133 \text{ m}^2 + 108 \text{ m}^2 = 241 \text{ m}^2$

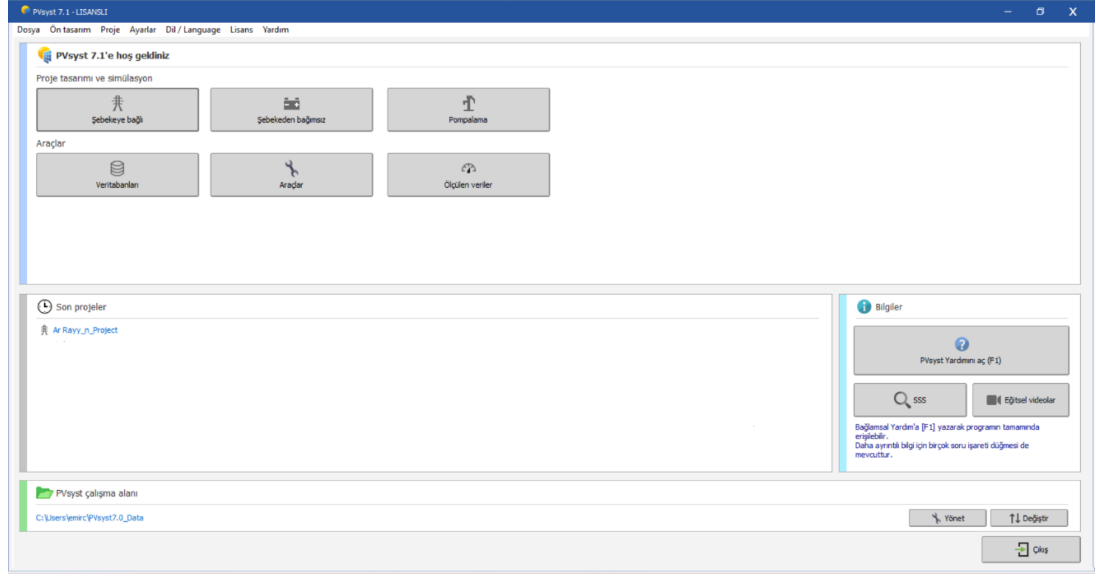
Sonuç olarak, 64 adet panel için istenilen alan yaklaşık 133 m^2 , paneller arası alan yaklaşık 108 m^2 ve toplam sistem için istenilen alanı yaklaşık 241 m^2 'dir.

6.8. PVsyst Programı İle Sistemin Modellemesi

Güneş ışınlarının sürekliliği ve global radyasyon düzeyleri açısından yıl içinde değişiklikler yaşar. Bu değişiklikler, fotovoltaik panellerin enerji üretim performansını direkt olarak etkilemektedir. Bu sebeple, güneş enerjisi santrali tasarımı yaparken günlük, haftalık ya da aylık veriler üzerinden hesaplamalar yapmak, gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek adına uygun bir yöntem olmamaktadır. Dünya'nın Güneş etrafındaki hareketi bir yılda tamamlandığı için, Güneş'in Dünya üzerindeki konumu yıllık bir döngü izler. Bu döngü, fotovoltaik panellerin üzerine düşen ışınların açısı ve panellerin enerji üretim performansı ile direkt bağlantılıdır. Bu sebeple, enerji santrali tasarımı yapılırken yıllık verilere dayanarak değerlendirmeler yapılması önemlidir.

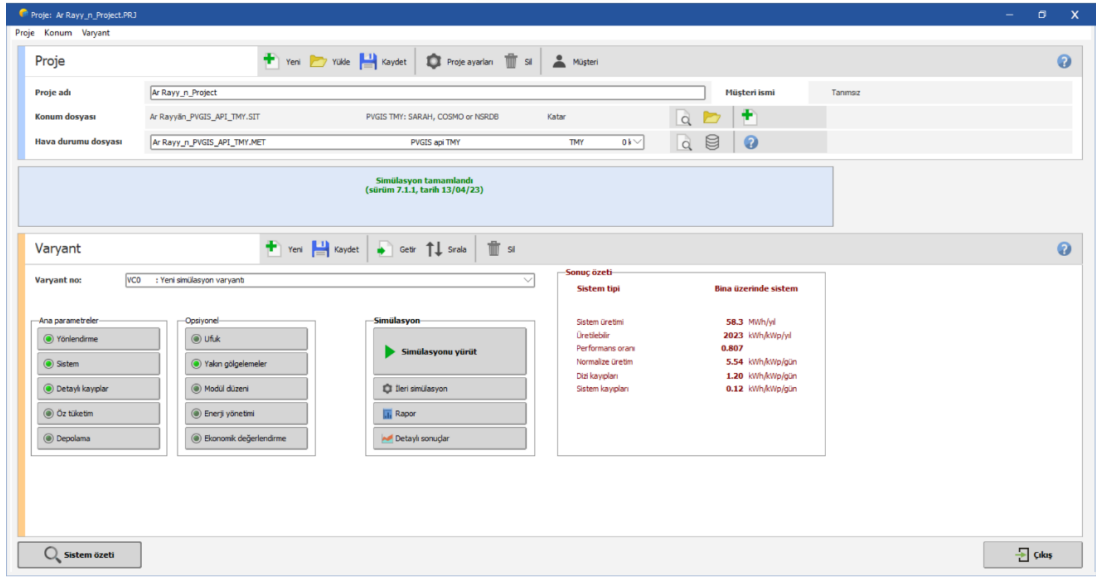
Bu çalışma kapsamında, fotovoltaik sistemlerin analizi, tasarımı ve modellemesi amacıyla PVsyst 7.1 paket programı kullanılmıştır. Bu yazılım, fotovoltaik sistemlerin kurulum öncesi enerji üretim verilerinin değerlendirilmesi ve boyutlandırılması için kullanılan önemli bir araçtır.

Çalışma, PVsyst Version 7.1 yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilen şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin üç boyutlu tasarımını, performans analizini ve gölgelenme analizini ele almaktadır. Proje dosyası hazırlanırken, enerji üretim ve tüketim noktalarının aynı şebekeye bağlı olduğu (on-grid) göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmanın temel amacı, PVsyst simülasyon aracı ile tasarlanan fotovoltaik sistemin bileşenlerini tanımlamak ve IEC 61724 standartları çerçevesinde sistem performansını değerlendirmektir. Bu değerlendirme, sistemin tasarımı ve performans analizi için kritik bilgiler sunmaktadır. Programın proje dosyası oluşturulmadan önce karşılaşılan ana menü arayüzü, Şekil 6.8'de gösterilmiştir.



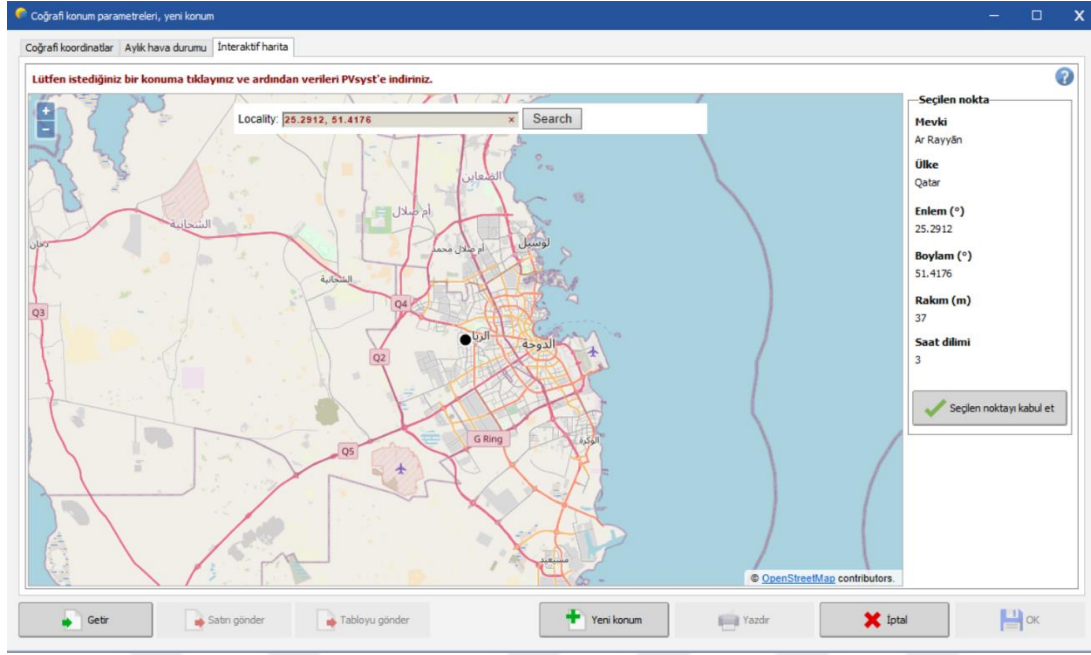
Şekil 6.8. PVsyst tasarım ve simülasyon arayüzü.

Proje dosyası oluşturulurken, sistem üretim noktası ve tüketim noktasının aynı şebekeye bağlı (on-grid) olacak şekilde seçilmiştir. Proje dosyasının oluşturulmasının ardından karşılaşılan ana menü arayüzü, Şekil 6.9’de gösterilmektedir.



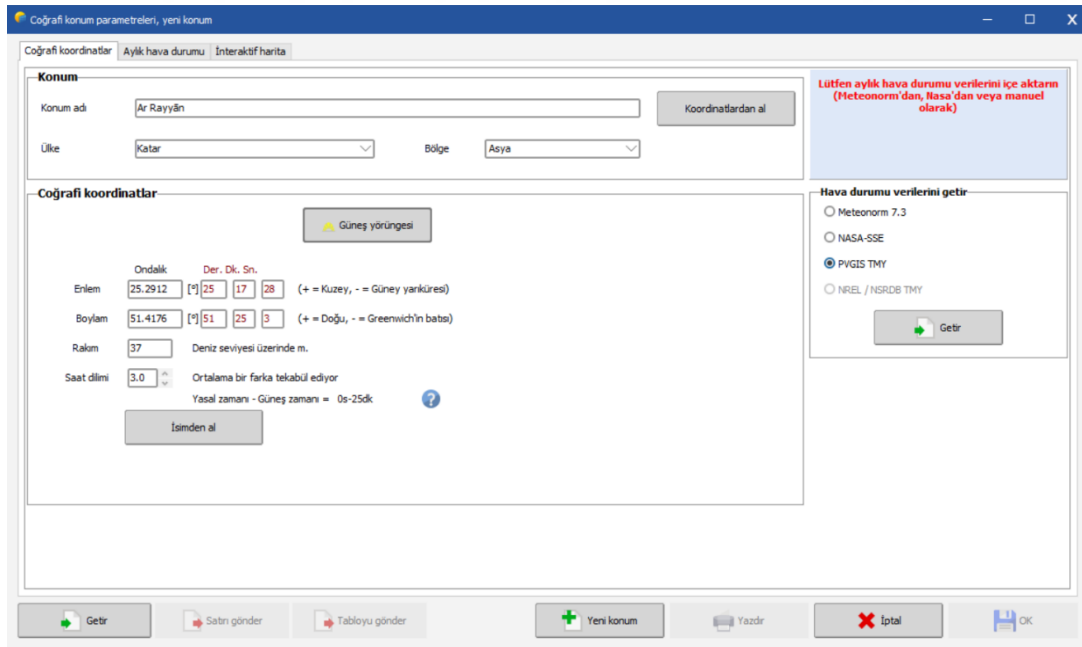
Şekil 6.9. PVsyst programı şebekeye bağlı proje tasarım ana menü arayüzü.

Tasarım süreci, projenin harita üzerindeki konumunun belirlenmesiyle başlar Şekil 6.10’da gibidir.

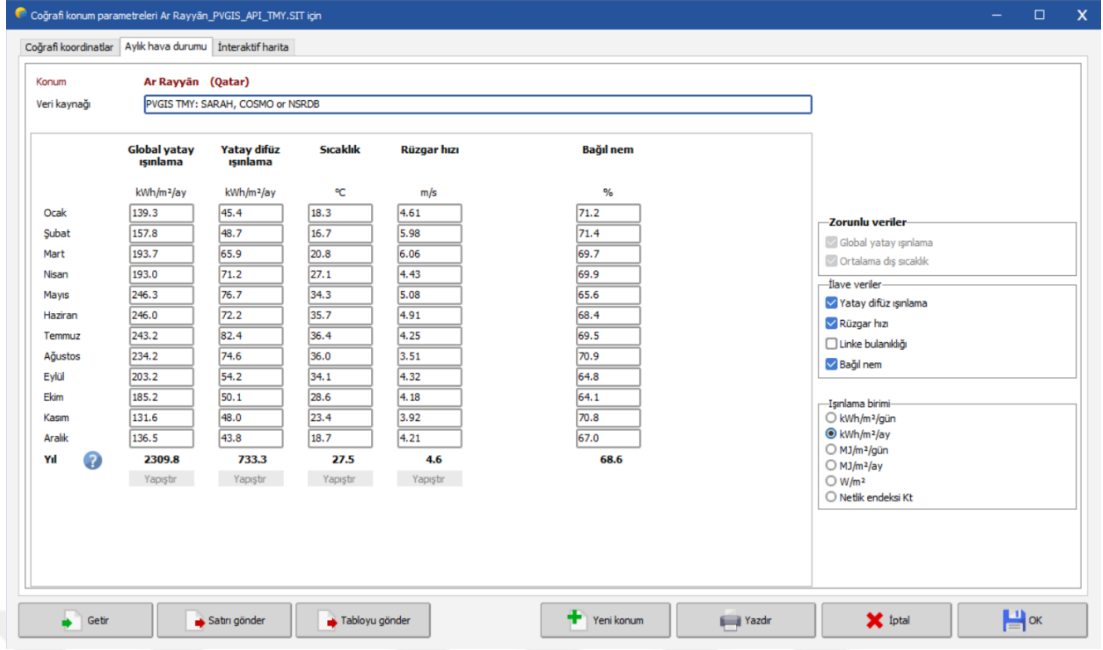


Şekil 6.10. PVsyst programı proje konum verisi seçme arayüzü.

Projeyle ilgili olarak, sadece doğru konumun seçilmesi gerekmektedir. Program, seçilen konum için meteorolojik verileri, kendi içerisinde bulunan PVGIS TMY: SARAH veri tabanından otomatik olarak sağlamaktadır Şekil 6.11 ve Şekil 6.12 'de gibidir.

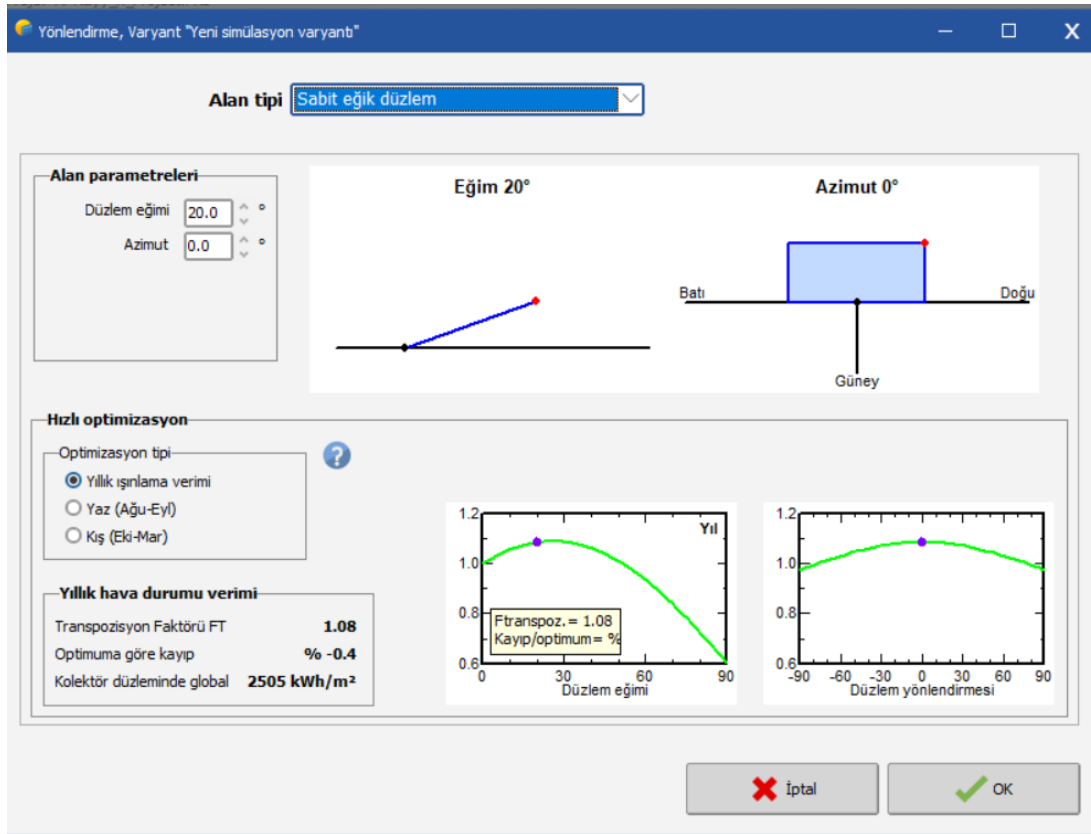


Şekil 6.11. PVsyst programı, konumun meteorolojik verileri seçme arayüzü.



Şekil 6.12. konumun PVGIS SARAH altyapısına göre meteorolojik verileri.

Proje konumu PVsyst programında meteorolojik veriler seçildikten sonra, eğim açısı ve azimuth açısı belirlemek amacıyla "Yön Belirleme" sekmesindeki "Alan Parametreleri" bölümüne fotovoltaik panellerin planlanan montaj şekilleri, azimuth açısı ve eğim açısı girilmelidir. Bu çalışma kapsamında, örnek olarak kullanılan çatının azimuth açısı 0° ve eğim açısı %0,5'den az kayıp oranıyla 20° olarak belirlenmiştir. Montaj şekli "Sabit Eğik Yüzey" olarak seçilmiştir. Kullanıcıların en iyi sonuçları elde etmelerine yardımcı olmak için "Hızlı Optimizasyon" bölümü bulunmaktadır. Bu bölümde, panellerin belirtilen özelliklerle aldığı ışıma miktarı ve optimum performanstan sapma oranı gösterilmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen tasarım ve optimum tasarım arasında %0,4'lük bir verim kaybı mevcuttur. Çalışmanın örnek olarak alınan çatı alanının sınırlı olması ve gölgeleme etkisini önlemek amacıyla, küçük bir verim kaybı kabul edilerek panellerin farklı bir eğim açısıyla yerleştirilmiştir.



Şekil 6.13. Eğim ve azimut açıları "Yön Belirleme" sekmesinin arayüzü.

Yönlendirme ayarlarını tamamladıktan sonra, tasarımın kritik bir aşaması olan "Sistem sekmesi" altında fotovoltaik sistemin panel ve inverter bileşenlerinin seçimi gerçekleştirilir. Programın veri tabanında, piyasada bulunan neredeyse tüm panel ve inverter modelleri mevcuttur ve istenirse kullanıcı kendi özelliklerini tanımlayabileceği bir ekipman da seçebilir. Bu çalışma kapsamında, panel olarak Longi Solar marka LR4-72 HPH 450 M G2 ve inverter olarak Canadian Solar marka CSI-25KTL-GS-FL tercih edilmiştir. Program, seçilen panel-inverter kombinasyonunun elektriksel uyumluluğunu kapsamlı bir şekilde analiz eder ve uygun panel dizilimlerini kullanıcıya sunar. Bu çalışmada kullanılan bileşen sayısı, bileşenlerin özellikleri, fotovoltaik kurulum için gerekli alan, toplam güç değeri, akım değeri, gerilim değeri ve panel-inverter kombinasyonunun gösterildiği arayüz ekranı Şekil 6.14'te sunulmuştur. Bu analizde kullanılan yöntemler, çalışmanın ilerleyen bölümlerinde detaylı olarak açıklanacaktır. PVsyst programı, şekilde görülebileceği gibi mavi dikdörtgen içerisinde herhangi bir hata mesajı göstermemektedir.

Şebekeye bağlı sistem tanımlama, Varyant VCD: "Yeni simülasyon varyantı"

Alt alan

Alt dizinin ismi ve yönü
İsim: PV dizisi
Yön: Sabit eğik düzlem
Eğim: 20°
Azimut: 0°

Ön boyutlandırma yardımı
☐ Boyutlandırılmaz
☒ Boyutlandır
Planlanan gücü giriniz: 28.8 kWp
... veya mevcut alan(modül): 139 m²

PV modül seçimi
Mevcut: Filtre: Tüm PV modüller
Gereken tahmini modül sayısı: 64
Longi Solar: 450 Wp 35V Si-mono LR-4-72 HPH 450 M G2 2020 yılından beri Manufacturer 2020
Optimizer kullan: ☐
Gerilim boyutlama: Vmpp (60°C): 35.6 V
Voc (-10°C): 54.2 V

Invertör seçimi
Mevcut: Çıkış gerilimi 480 V Tr 50Hz
Canadian Solar Inc.: 25 kW 200 - 800 V TL 50/60 Hz CSI-29KTL-GS-FL 2017 yılından beri
Invertör sayısı: 1
Çalışma gerilimi: 200-800 V Invertör global gücü: 25.0 kWac
Multi-MPPT kullanımı: ☒ Maksimum giriş gerilimi: 1000 V 4 MPPT ile invertör

Dizi boyutlandırması
Modül ve zincir sayısı
Seri mod. sayısı: 16 6 ile 18 arasında
Zincir sayısı: 4 3 ile 4 arasında
Ağır yük kaybı: 0.0 %
Nom. güç oranı: 1.15
Boyutlandırma
Modül sayısı: 64 Yüzey: 139 m²

İşletme koşulları
Vmpp (60°C): 570 V
Vmpp (20°C): 666 V
Voc (-10°C): 868 V
Yüzey ışıması: 1000 W/m²
Imp (STC): 44.3 A
Isc (STC): 46.4 A
Alan nominal gücü (STC): 28.8 kWp

Alt alanlar listesi

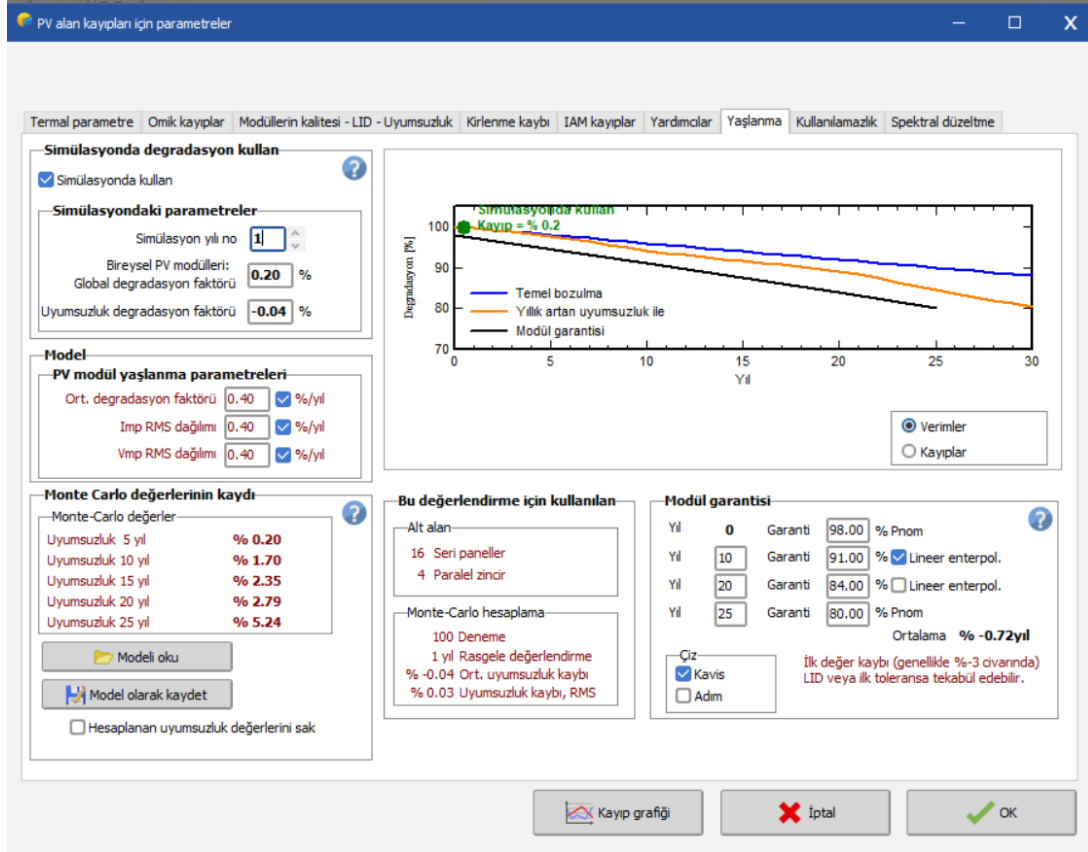
İsim	#Mod #Inv.	#Zincir #MPPT
PV dizisi		
Longi Solar - LR-4-72 HPH 450 ...	16	4
Canadian Solar Inc. - CSI-29KTL...	1	1

Global sistem özeti

Modül sayısı	64
Modül yüzeyi	139 m²
Invertör sayısı	1
PV nominal gücü	28.8 kWp
Maksimum PV gücü	27.9 kWDC
Nominal AC gücü	25.0 kWAC
Nom. güç oranı	1.152

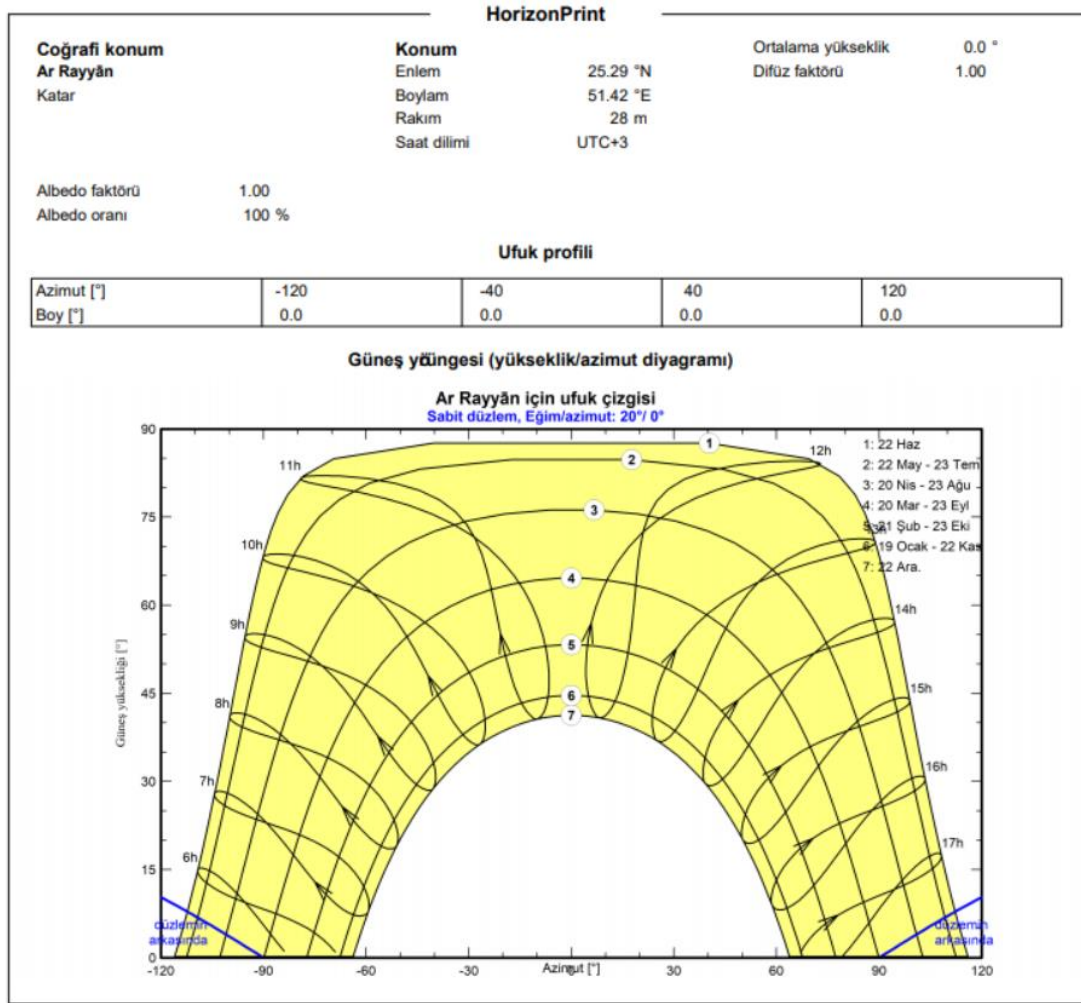
Şekil 6.14. İnverter ve panel seçimi için sistem sekmesi.

Sistem bileşenlerinin seçiminden sonra, "Detaylı Kayıplar" sekmesi altında sistemin maruz kalacağı kayıpların analizi gerçekleştirilir. Sistemin en büyük kaybı, fotovoltaik panellerin yaşlanmasından kaynaklanan degradasyon kayıplarıdır. Şekil 6.15'te, sistemin beklenen degradasyon kayıpları gösterilmektedir. Modül garantisi başlığı altında girilen değerlere göre, panellerin ilk yılında %2 verim kaybı yaşanırken, sonraki yıllarda %0,72'lik bir degradasyon öngörülmektedir. Ek olarak, sistem için önemli bir diğer kayıp faktörü olan uyumsuzluk, ilk yıl için %0,04 iken, 25 yıl sonra %5,24'lik bir degradasyon değerine ulaşacağı tahmin edilmektedir.



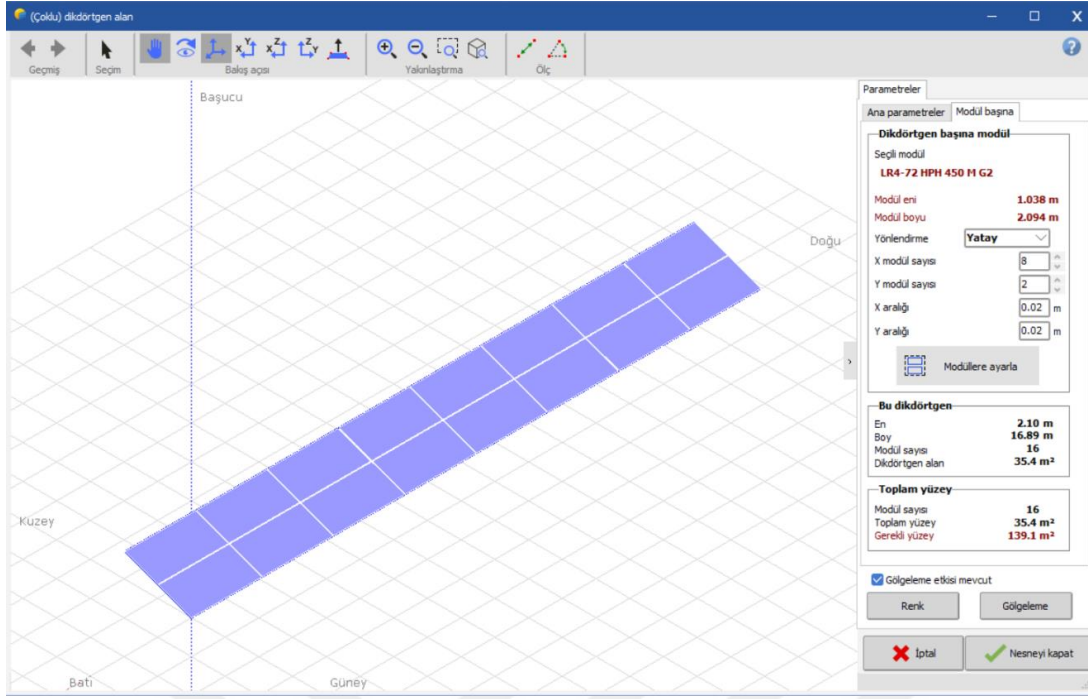
Şekil 6.15. PVsyst programı detaylı kayıplar sekmesi.

Güneş geometrisi ve hareketi analizi, program içerisindeki PVGIS SARA verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistemin bulunduğu konuma bağlı olarak, Güneş'in yıl boyunca sahip olduğu azimut ve eğim açılarına dair grafik, Şekil 6.16'da sunulmaktadır. Bu grafik, Güneş'in konum ve hareketine ilişkin önemli bilgileri görsel olarak ortaya koymaktadır.

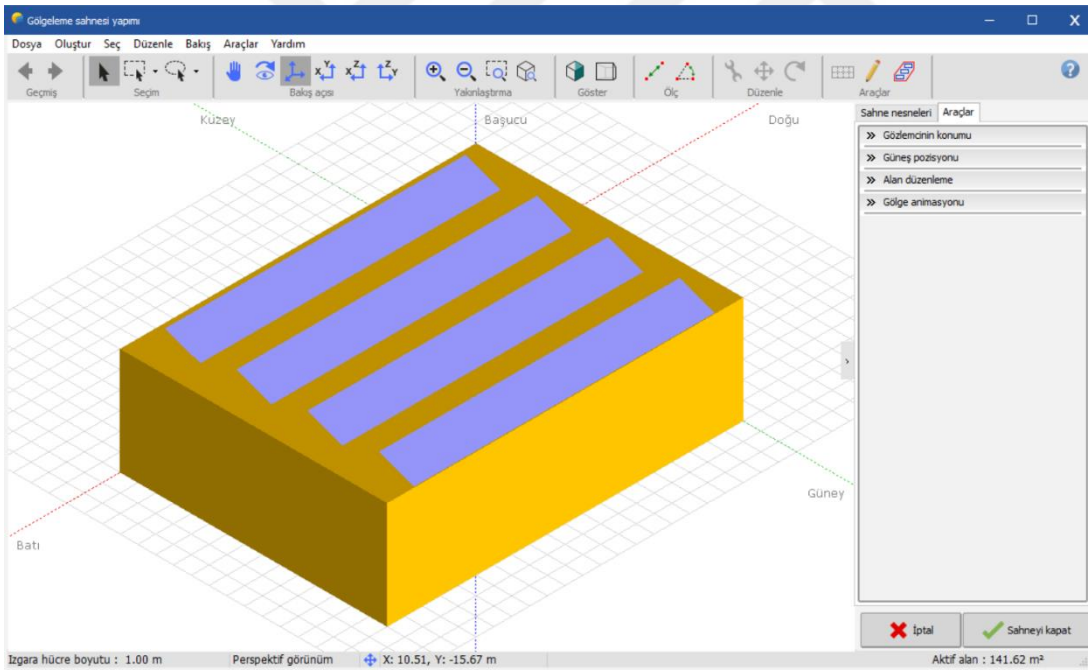


Şekil 6.16. Proje konumu için yıllık güneş eğim ve azimut açıları grafiği.

Bu projede, alanın en verimli şekilde kullanılması amacıyla 72x2 hücreli monokristal Longi Solar 450W güç kapasiteli paneller tercih edilmiştir. Panel yerleşimi, çatı alanının tamamında homojen bir dağılım sağlanarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada örnek olarak kullanılan çatı alanının sınırlı olması ve gölgeleme etkisini azaltmak için, kabul edilebilir düzeyde bir verim kaybına rağmen paneller 20° eğim açısıyla konumlandırılmıştır. Her bir panel, 1038 mm genişlik ve 2094 mm yükseklik ölçülerine sahiptir. Yerleşim, çatının sağ ve sol tarafında 1 metrelik boşluk bırakılarak merkezlenmiştir. Paneller, her sırada 8 panel ve her kolonda 2 panel olacak şekilde 16'lı gruplar halinde yerleştirilmiştir. Sistemde toplamda 64 adet fotovoltaik panel grubu kullanılmıştır. Paneller, çatı üzerinde toplam 133m² alan kaplamaktadır.



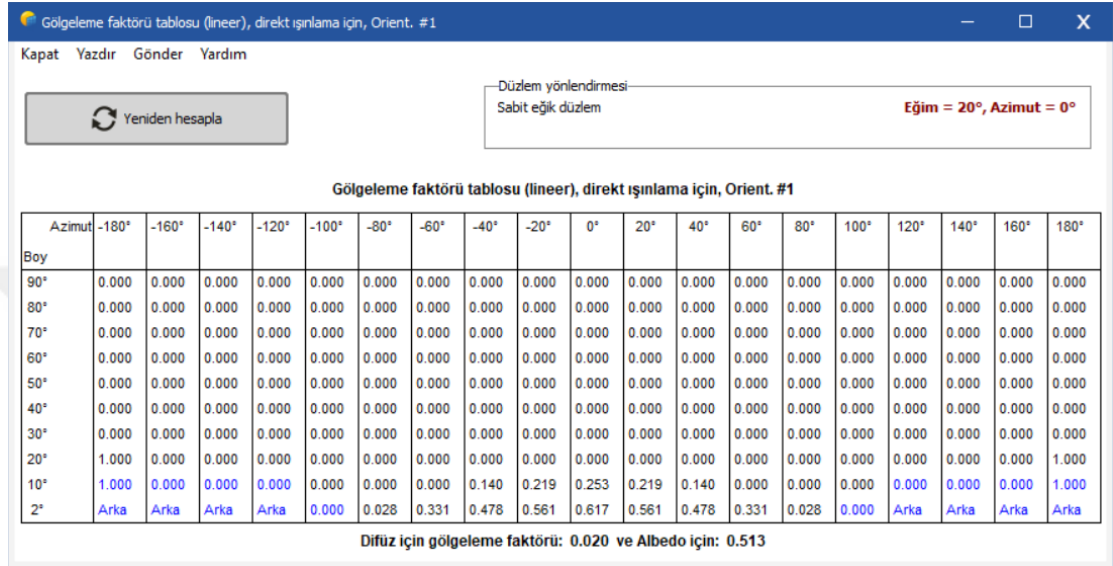
Şekil 6.17. Fotovoltaik panel dizilerinin yerleşimi.



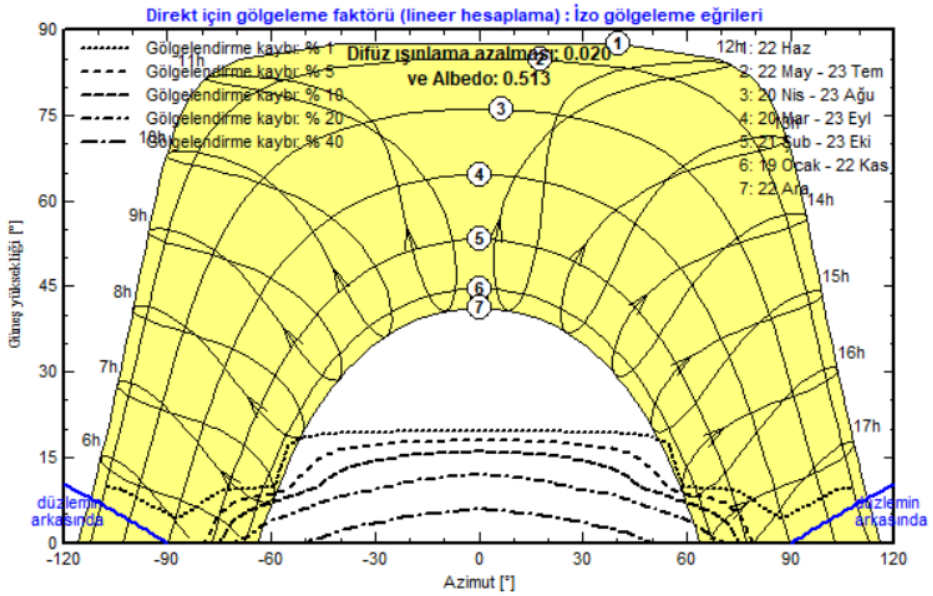
Şekil 6.18. Üç boyutlu tasarımda çatı üzerindeki fotovoltaik panel yerleşimi.

Gölgelemenin etkisini en aza indirmek için panellerin eğim açısı, diziler arasındaki mesafe ve çevredeki gölge yaratabilecek etkenler dikkate alınmalıdır. Gölgeleme analizi gerçekleştirilirken, en hassas gölgeleme bölgelerini belirlemek ve

gölgelemenmeden en düşük seviyede etkilenecek bir yerleşim stratejisi planlamak amacıyla, yıl içerisinde Güneş ışınlarının en düşük açığa sahip olduğu 21 Aralık günü seçilmiştir. İlgili analiz sırasında kullanılan arayüzün ekran görüntüsü Şekil 6.19'da gösterilmiştir. PVsyst yazılımı ile yapılan üç boyutlu gölgeleme simülasyonu sonucunda, fotovoltaik panellerin yıl içinde gölgelemenmeden neredeyse hiç etkileneceği görülmüştür.



Şekil 6.19. 21 Aralık gününde gerçekleştirilen gölgeleme faktörü analizi.



Şekil 6.20. PVsyst gölgeleme faktörü analizi diyagramı.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. Performans Analizi

7.1.1. Tasarlanan sistemin model çıktısı

PVsyst yazılımı kullanarak gerçekleştirilen simülasyonda, fotovoltaik sistem ilk yılında yaklaşık olarak 58,26 MWh/yıl elektrik enerjisi üretmesi beklenmektedir. Ancak bu değer, sistemin ilk yılı için geçerli olup, sistem bileşenlerinin zaman içinde yaşlanmasıyla birlikte enerji üretimi her geçen yıl azalacaktır. Bu enerji üretimindeki düşüş, degradasyon olarak adlandırılır ve toplam sistem için ilk yıldan sonra yıllık %0,72 olarak kabul edilmiştir.

Kurulacak olan 139 m²'lik fotovoltaik alan, metrekare başına yıllık toplam 2452 kWh/m² ışınımın Longi Solar 450w'lık 64 adet 2,173m² panel kullanarak %20,76'sını kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir. PV dönüşümünden sonra elde edilen 70,8 MWh'lık yıllık elektrik enerjisi, fotovoltaik paneller üzerindeki en büyük kayıplar olan %13,11'lik sıcaklık kaybı, %2,10'luk degradasyon kaybı, uyumsuzluk kayıpları ve %1,33'lük DC iletkenlerdeki omik kayıplar ve diğer kayıplar nedeniyle 59,50 MWh'a düşmektedir. Bu enerji miktarı, inverter verimliliği ve AC iletkenlerdeki omik kayıplar göz önüne alındığında, 58,3 MWh olarak kullanılabilir hale gelmektedir.

PVsyst analizine göre, fotovoltaik (PV) sistemin, Güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştürme oranı, sistemin ortalama gerçek enerji üretim performansının %80,7 olduğu görülmektedir.

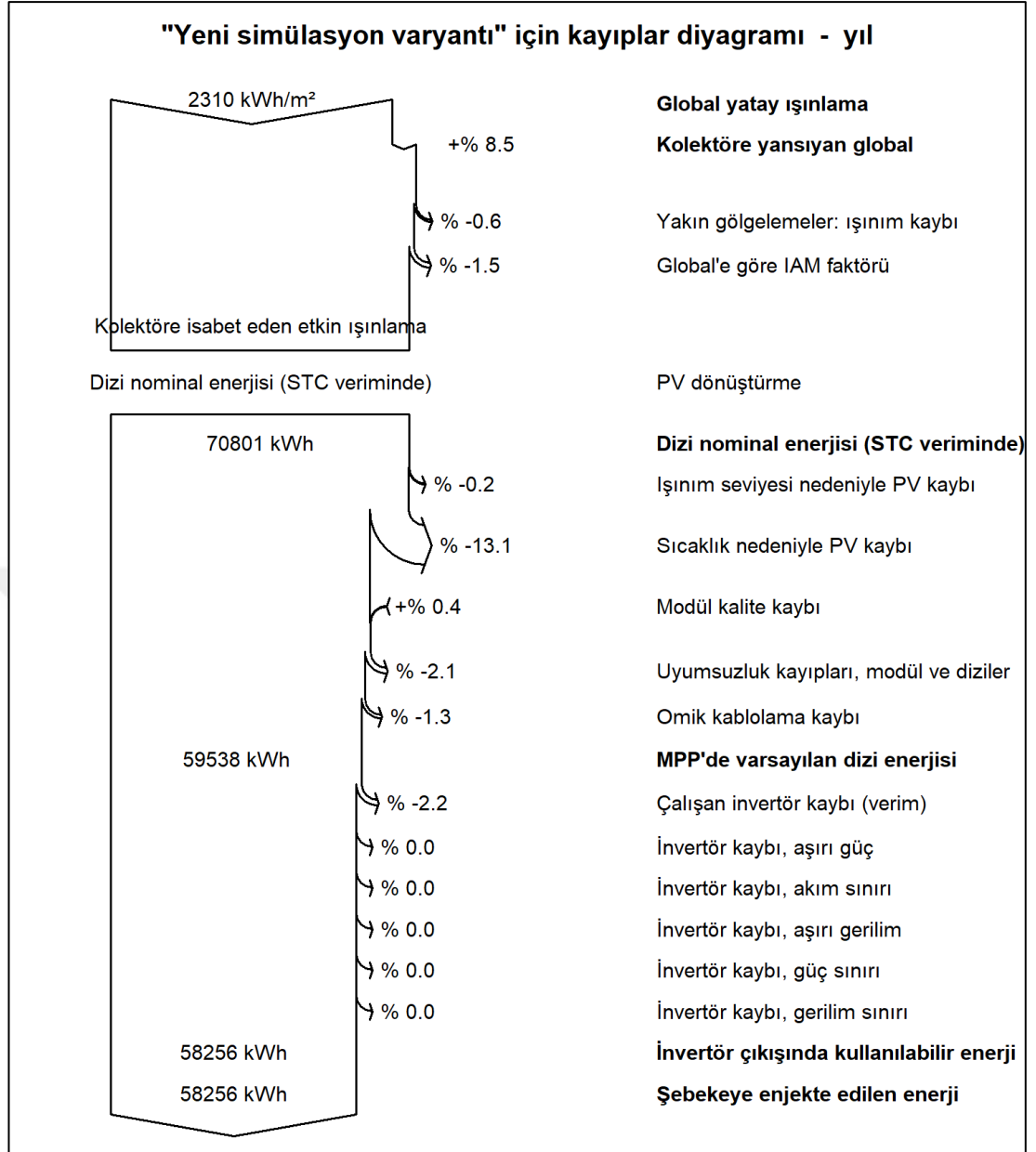
Bilanço ve genel sonuçlar								
	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	139.3	45.40	18.27	182.4	178.4	4.581	4.485	0.854
Şubat	157.8	48.69	16.73	192.5	188.7	4.805	4.703	0.848
Mart	193.7	65.91	20.78	215.8	211.4	5.275	5.161	0.830
Nisan	193.0	71.25	27.11	198.0	193.8	4.709	4.606	0.807
Mayıs	246.3	76.67	34.26	236.4	231.0	5.424	5.305	0.779
Haziran	246.0	72.17	35.67	228.4	222.9	5.209	5.096	0.775
Temmuz	243.2	82.44	36.39	230.1	224.8	5.256	5.143	0.776
Ağustos	234.2	74.63	36.05	233.7	228.7	5.325	5.209	0.774
Eylül	203.2	54.23	34.10	219.9	215.4	5.072	4.963	0.784
Ekim	185.2	50.09	28.60	219.3	215.2	5.193	5.081	0.805
Kasım	131.6	48.05	23.38	166.3	162.8	4.105	4.019	0.839
Aralık	136.5	43.78	18.74	183.1	179.1	4.582	4.486	0.851
Yıl	2309.8	733.32	27.57	2505.9	2452.1	59.537	58.256	0.807

Açıklama			
GlobHor	Global yatay ışınlama	EArray	Dizinin çıkışında etkin enerji
DiffHor	Yatay difüz ışınlama	E_Grid	Şebekeye enjekte edilen enerji
T_Amb	Çevre sıcaklığı	PR	Performans oranı
GlobInc	Kolektöre yansıyan global		
GlobEff	IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global		

Şekil 7.1. PVsyst model çıktısı - Sistemin aylık ve yıllık enerji üretimi verileri.

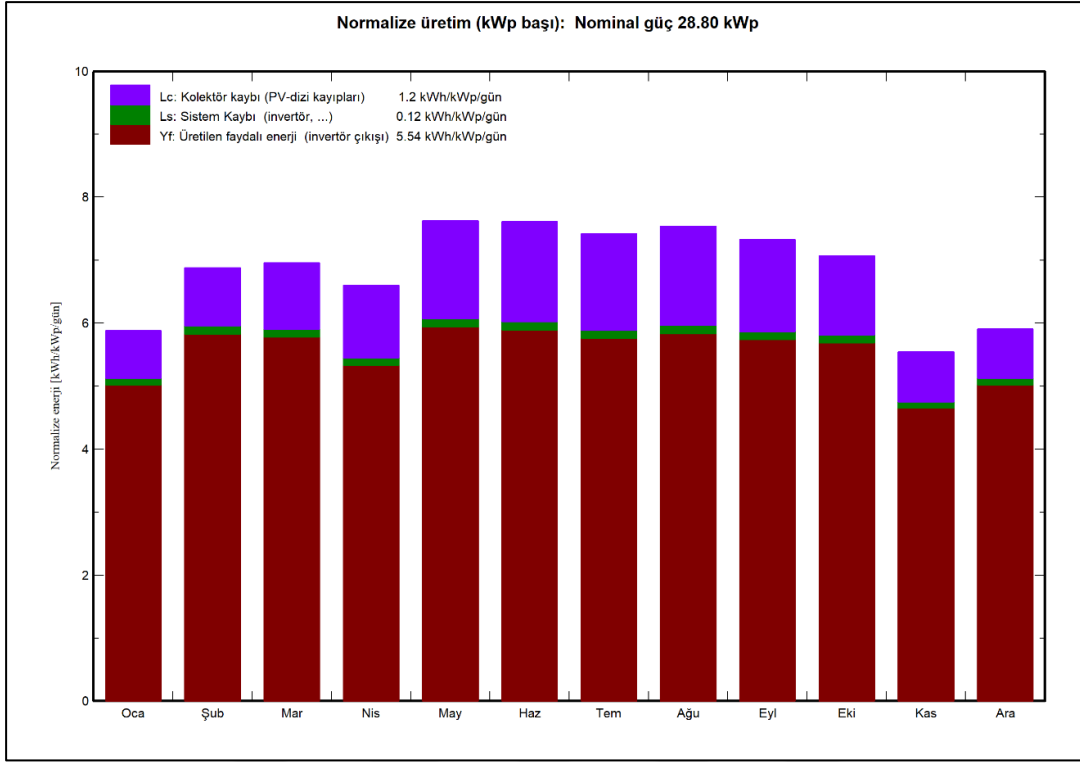
Şekil 7.1'e göz atıldığında, panel yüzeyine düşen ışınlamanın ve üretilen enerji miktarının en yüksek olduğu ayın Mayıs, en düşük olduğu ayın ise Kasım olduğu görülmektedir. Ayrıca, ortalama sıcaklık değerlerinin en yüksek seviyede olduğu ay Temmuz iken, en düşük seviyede olduğu ay Şubat'tır.

Şekil 7.2'de, simülasyon sonuçlarından elde edilen enerji kayıplarını detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Bu enerji kayıpları, fotovoltaik sistemin üretim sürecinde maruz kaldığı etmenleri ve bu etmenlerin sisteme olan etkilerini incelememize olanak tanır. Simülasyon raporunda belirtilen Global Yatay Işınlama değeri 2310 kWh/m²'dir. Enerji üretimi üzerinde etkili olan faktörler arasında gölgelenme ve kirlilikten kaynaklı kayıplar, montaj açısı ve modül verim kaybı gibi unsurlar bulunmaktadır. Ayrıca, enerji kaybına neden olan kablo ve evirici işletme kayıpları da dikkate alınmalıdır.



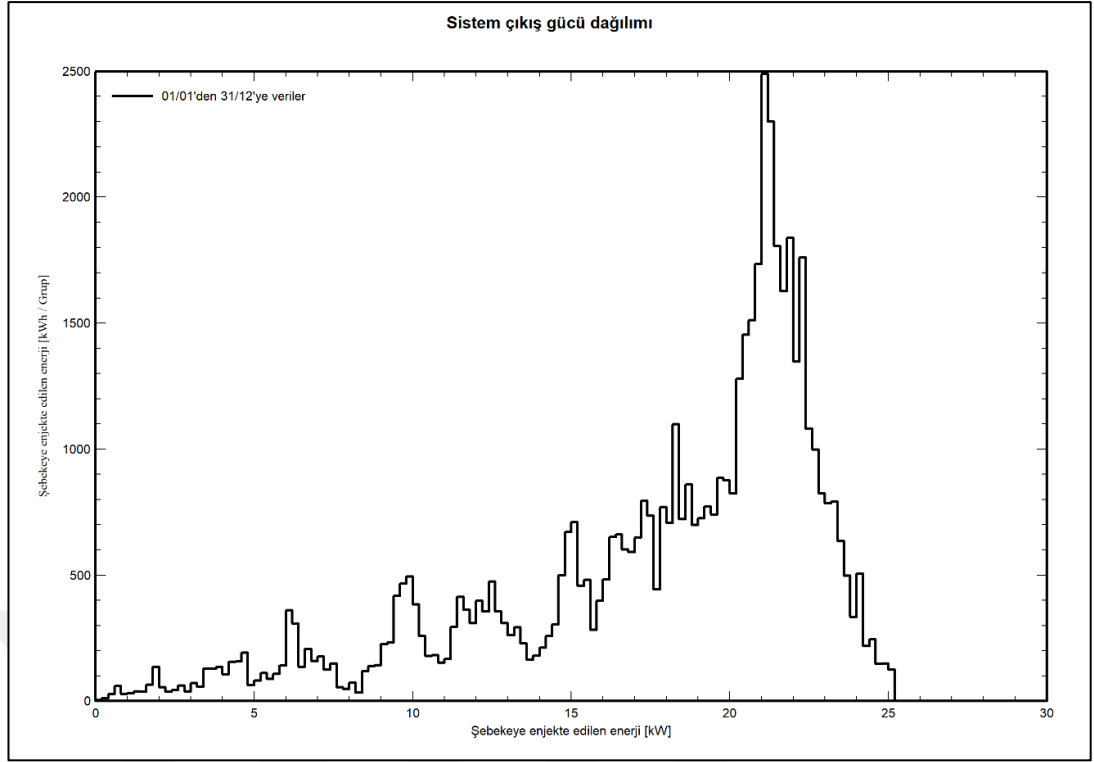
Şekil 7.2. GES sistemin detaylı enerji kayıpları.

Şekil 7.3'te gösterildiği gibi, çevresel faktörler ve doğrudan güneş ışığına maruz kalan çatı üzerindeki sistemin DC gerilim kısmı, yaz aylarında Al-Rayyan bölgesindeki sıcaklık ortalamalarının önemli ölçüde artması nedeniyle, güneş ışınlarının daha düşük eğim açısında geldiği dönemde günlük enerji üretimi değerleri artsa bile sistemdeki kayıpların arttığı görülmektedir. Bu kayıp, sıcaklık ortalamalarının yükselmesinden kaynaklanmıştır.



Şekil 7.3. Aylık bazda enerji üretimi ve kayıp değerlerinin gösterimi.

Tüm bu faktörler ve kayıplar göz önünde bulundurulduğunda, şebekeye enjekte edilecek enerji miktarı hesaplanmaktadır (Şekil 7.4). Simülasyon raporu, fotovoltaik sistemin performansını değerlendirmek amacıyla enerji üretimine etki eden çeşitli faktörlerin ve kayıpların detaylı analizini sunmuştur. Bu çerçevede, raporda yer alan yıllık diyagramlar ve veriler, sisteme etki eden faktörlerle birlikte ele alınarak incelenmiştir.



Şekil 7.4. Sistem çıkış gücü dağılımı.

Degradasyonun neden olduğu verim düşüşü göz önüne alındığında, sistem ömrü boyunca gerçekleşecek üretim, yıllık bazda Tablo 7.1’de belirtildiği gibi tahmin edilmektedir.

Tablo 7.1. Degradasyon kaybı ile sistemin yıllık üretim değerleri.

Yıl	Verim oranı %	Üretim miktarı (MWh/Yıl)
1	100%	58.3
2	98%	57.134
3	97.28%	56.71424
4	96.56%	56.29448
5	95.84%	55.87472
6	95.12%	55.45496
7	94.40%	55.0352
8	93.68%	54.61544
9	92.96%	54.19568
10	92.24%	53.77592

Tablo 7.1. (Devamı): Degredasyon kaybı ile sistemin yıllık üretim değerleri.

11	91.52%	53.35616
12	90.80%	52.9364
13	90.08%	52.51664
14	89.36%	52.09688
15	88.64%	51.67712
16	87.92%	51.25736
17	87.20%	50.8376
18	86.48%	50.41784
19	85.76%	49.99808
20	85.04%	49.57832
21	84.32%	49.15856
22	83.60%	48.7388
23	82.88%	48.31904
24	82.16%	47.89928
25	81.44%	47.47952

7.2. Projenin 2030 Yılı Enerji Üretimine Katkısı

Bu tez çalışması, Katar'daki güneş enerjisi kullanımının yaygınlaştırılması ve elektrik üretim kapasitesinin artırılması hedefi doğrultusunda, 2030 yılı için Katar'ın elektrik enerjisi talep tahmini yapılmıştır. Daha sonra, örnek bir villa çatısı üzerinde güneş enerjisi sistemi tasarımı ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu kısımda, toplanan veriler ve bulgular Katar'daki 126,000 villa tipi ev için genelleştirilecek ve bu durumda güneş enerjisi sistemlerinin toplam üretim kapasitesi ile, 2030 yılında Katar'ın enerji üretimine ne ölçüde bir katkı sağlayabileceği değerlendirilmiştir.

Bu çalışmanın ilk bölümünde, 1980-2021 yılları arasında kaydedilen elektrik tüketim verileri temel alınarak, 2030 yılına yönelik uzun vadeli elektrik talebi tahminleri yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda, Katar'ın 2030 yılı için elektrik talepleri düşük, orta ve yüksek senaryolar baz alındığında sırasıyla 54.135,47 GWh, 68.812,62 GWh ve 83.489,76 GWh olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmanın ikinci kısmında, bir örnek tek katlı ev için şebekeye entegre güneş enerji sisteminin kurulumu ve teknik analizi yapılmış ve sistemin performansı değerlendirilmiştir. Ortalama olarak, 28,8 kWh kapasiteli bir güneş enerji sisteminin kurulabileceği tespit edilmiştir. PVsyst 7.1. yazılımıyla gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına göre, bu fotovoltaik sistemden ilk yıl içinde yaklaşık 58,26 MWh/yıl elektrik enerjisi üretileceği öngörülmüştür.

Güneş enerji sistemlerinin 126.000 tek katlı konut ve villaya uygulanması durumunda, bu sistemlerin yıllık olarak 7.340,76 GWh enerji üretimi sağlayabileceği tespit edilmiştir. Bu üretim miktarı, Katar'ın 2030 yılı elektrik üretimine düşük senaryoda %13,55, orta senaryoda %10,66 ve en yüksek senaryoda %8,79 oranında bir katkı potansiyeli göstermektedir. Ayrıca, Katar'ın 2030 yılındaki tepe elektrik talebinin yaklaşık %30'u kurulacak sistemler tarafından karşılanması beklenmektedir.

7.3. Projenin 2030 Yılı Çevreye Katkısı

Katar'ın 2030 yılında 126.000 tek katlı konut ve villada güneş enerji sistemlerinin kullanılması durumunda, bu sistemlerin yıllık 7.340,76 GWh enerji üretme kapasitesi olduğu belirlenmiştir. Bu bölüm, yıllık güneş enerjisi üretiminin çevresel etkilerini ve katkılarını incelemektedir. Katar'ın enerji sektöründeki sürdürülebilir dönüşümünün, sera gazı emisyonlarını ne ölçüde azaltacağı ve güneş enerjisi üretiminin Ton Eşdeğer Petrol (TEP) cinsinden ne kadarlık bir enerji değerine karşılık geldiği incelenmiştir.

7.3.1. Co₂ emisyonu

Katar, enerji üretimi için çoğunlukla doğalgaz kaynaklarına güvenir. Katar, dünyanın en büyük doğalgaz kaynaklarından birine ev sahipliği yapmaktadır ve bu durum, enerji üretiminde ve ihracatında önemli bir rol oynamaktadır. Katar'ın doğalgaz üretimi, özellikle sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) formunda, dünya çapındaki talebi karşılama konusunda kritik bir öneme sahiptir.

Enerji üretimi sürecindeki karbondioksit (CO₂) emisyonları, kullanılan enerji kaynağına ve uygulanan teknolojiye bağlı olarak farklılıklar gösterir, ancak genel bir değer olarak, doğalgaz yakıtlı bir santral yaklaşık olarak 500 gram CO₂

eşdeğer/kilowatt-saat (gCO₂e/kWh) emisyon oranına karşılık gelir (U.S. Energy Information Administration, 2022).

Bir yıllık dönem boyunca düşünüldüğünde, 7,340.76 GWh elektrik üretiminin CO₂ emisyonları 0.5 kgCO₂/kWh oranına dayanarak hesaplandığında, bu durum 3,670,380 ton CO₂ emisyonunun atmosfere salınmasını engelleyebilir. Bu önemli bir miktar olup, iklim değişikliğinin hafifletilmesine olumlu bir katkı sağlar.

7.3.2. Ton eşdeğer petrol (TEP)

Ton Eşdeğer Petrol (TEP) hesaplaması, farklı enerji kaynaklarının ve enerji biçimlerinin (elektrik, kömür, doğal gaz, nükleer enerji vb.) enerji içeriklerinin standart bir birim üzerinden karşılaştırılabilmesini sağlar. TEP, belirli bir miktardaki petrolün içerdiği enerjiyi temsil eder ve bu, enerji politikalarının oluşturulması ve enerji verimliliğinin izlenmesi gibi çeşitli uygulamalar için kullanılır.

Enerji kaynaklarının ve enerji biçimlerinin çeşitliliği, enerji analizlerini ve karşılaştırmalarını zorlaştırabilir. Bu nedenle, enerji verilerini standartlaştırma ihtiyacı doğmuştur. TEP, bu standartlaştırma ihtiyacını karşılar ve enerji kaynakları arasında karşılaştırma yapmayı mümkün kılar.

Ton Eşdeğer Petrol (TEP), enerji ölçüm birimidir ve 1 ton standart petrolün verdiği enerji miktarını temsil eder. Bu birim, farklı enerji türlerini kolayca karşılaştırabilmek için kullanılır. Elektrik enerjisi için özgün bir dönüşüm katsayısı vardır: 1 kWh = 0.000086 TEP. Bu dönüşüm katsayısına dayanarak, bir yıllık süreçte 7,340.76 GWh elektrik enerjisi üretildiğinde, bu miktarın TEP cinsinden karşılığı 631,305.36 TEP olarak hesaplanabilir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1. Sonuç

Bu çalışma, Katar’da güneş enerjisi kullanımını genişletme ve elektrik üretim kapasitesini yükseltme hedefiyle, ülkenin villalarının çatılarına yerleştirilebilecek güneş enerjisi sistemlerinin potansiyelini analiz etmektedir. Ayrıca, 2030 yılına kadar bu proje ile Katar’ın enerji üretimine ve çevresel sürdürülebilirliğine hangi ölçekte bir katkı sağlanabileceği değerlendirilmiştir.

2030 yılı için Katar’ın elektrik enerjisi ihtiyacı tahmin edilmiştir. Sonrasında, bir villa çatısı üzerinde örnek bir güneş enerjisi sistemi tasarlanmış ve simüle edilmiştir. Elde edilen bulgular ve sonuçlar, Katar’daki tüm 126000 villayı içerecek şekilde genişletilmiştir. Bu kapsamlı değerlendirme, güneş enerjisi sistemlerinin toplam üretim kapasitesini ve 2030 yılına kadar Katar’ın enerji üretimi ve çevresel sürdürülebilirliğine ne ölçüde katkı sağlayabileceğini belirlemeye yardımcı olmuştur.

Bu tez çalışmasının ilk bölümünde, 2030 yılı için yıllık elektrik tüketiminin tahminini çıkarmak amacıyla çoklu regresyon modeli temelinde bir analiz yapılmıştır. Bu analizde, nüfus, GSYİH, ihracat ve tüketici fiyat endeksi gibi faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Modelin tahmin kabiliyeti ve performansı bu analiz sürecinde değerlendirilmiş ve tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki karşılaştırma sonucunda modelin başarısı belirlenmiştir. Katar’ın 2030 yılı elektrik enerjisi talebi için tahmin performans analizlerinde elde edilen ortalama %99,55’lik mutlak başarı oranı, modelin oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Sonuçlar doğrultusunda, Katar’ın 2030 yılı için elektrik talep tahminleri düşük, orta ve yüksek senaryolara göre sırasıyla 54.135.47 GWh, 68.812.62 GWh ve 83.489.76 GWh olarak hesaplanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, Katar’daki 126 bin adet tek katlı villa tipi evlerin çatılarına kurulacak olan on-grid güneş enerji sistemlerinin 2030 yılında elektrik üretimine ne ölçüde katkı sağlayacağı simüle edilmiş ve değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 2030 yılında Katar’daki bu 126 bin tek katlı villanın çatısına yerleştirilen güneş enerji sistemlerinin elektrik üretimine sağladığı katkı, performans analizi ve çevresel etkileri ile birlikte incelenmiştir.

İlk etapta, tek katlı bir eve on-grid güneş enerjisi sistemi kurulması ve bu sistemin performansının teknik analiz ile değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, planlanan güneş enerjisi sistemlerinin çatılara monte edilmesi durumunda, ortalama olarak 28,8 kWh kapasiteli bir sistem kurulabileceği belirlenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, tek bir çatı sisteminden yılda şebekeye aktarılacak enerji miktarı 58,26 MWh olarak hesaplanmıştır.

Tez çalışması sonunda, Toplamda 126.000 tek katlı konut ve villaya uygulanan sistemler, yıllık olarak 7,340.76 GWh enerji üretimi sağlayabileceği hesaplanmıştır. Bu enerji üretiminin Katar'ın 2030 yılında toplam elektrik üretimine sağlayabileceği potansiyel katkı da belirtilmiştir. Bu, üç farklı senaryo (düşük, orta ve yüksek) için hesaplanmıştır:

- 1- Düşük senaryo: Güneş enerji sistemlerinin Katar'ın toplam elektrik üretimine %13.55 oranında katkı sağlayabileceği tahmin ediliyor.
- 2- Orta senaryo: Bu durumda, güneş enerji sistemlerinin toplam üretimdeki payının %10.66 olacağı tahmin ediliyor.
- 3- Yüksek senaryo: Bu senaryoda, güneş enerji sistemlerinin toplam elektrik üretimine %8.79 oranında katkı sağlayabileceği öngörülüyor.

Bu bulgular, güneş enerjisinin Katar'daki enerji talebini karşılamada büyük bir rol oynayabileceğini ve ülkenin enerji üretim kapasitesini artırabileceğini göstermektedir. Ayrıca, bu durum Katar'ın fosil yakıt kullanımına olan bağımlılığını azaltabilir ve ülkenin çevresel sürdürülebilirliğini artırabilir. Güneş enerjisi, yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olup, kullanımı karbondioksit emisyonlarını ve diğer sera gazlarını azaltmada önemli bir rol oynar. Bu bağlamda, 126.000 konut ve villada güneş enerjisi sistemlerinin kullanımı, yıllık CO₂ emisyonlarında 3,670,380 tonluk bir azalmaya sebep olacak şekilde değerlendirilmiştir. Bu durum, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir adım olacaktır. Sonuç olarak, bu çalışma, Katar'ın enerji stratejisinin önemli bir parçası olarak güneş enerjisi kullanımının genişletilmesini teşvik etmektedir.

Bu tür bir enerji üretiminin geniş çaplı uygulanması, yeşil işlerin ve sürdürülebilir enerji sektörünün büyümesine olanak sağlayabilir. Bu, yeni istihdam olanakları yaratabilir ve Katar'ın ekonomik çeşitliliğini artırabilir.

Bir yıl boyunca üretilen elektrik enerjisinin TEP (ton eşdeğer petrol) cinsinden değeri, 631,305.36 TEP olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjisi kullanarak yerel enerji ihtiyaçlarını karşılamak, Katar'ın doğal gaz tüketimini azaltmasına ve bu sayede daha fazla doğal gazı uluslararası piyasalara sunmasına olanak tanıyabilir. Bu durum, Katar'ın doğal gaz ihracatından elde ettiği gelirin artmasına katkı sağlayabilir.

Son olarak, bu bulgular, Katar'ın uluslararası iklim hedeflerine ulaşmasına yardımcı olabilir. Fosil yakıtların kullanımını azaltmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmak, karbon emisyonlarını düşürerek küresel ısınmayla mücadelede önemlidir. Bu nedenle, güneş enerjisi, Katar'ın sürdürülebilir bir geleceğe doğru ilerlemesine yardımcı olabilir.

Bütün bu faktörler göz önüne alındığında, Katar'daki villaların çatılarına entegre edilebilecek güneş enerjisi sistemlerinin geniş çaplı uygulanması, hem Katar'ın enerji hedeflerine ulaşmasına yardımcı olabilir, hem de ülkenin çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğini artırabilir.

8.2. Öneriler

- Yatırım Teşvikleri: Katar hükümeti, güneş enerjisi sistemlerinin evler ve villalar üzerine kurulmasını teşvik etmek için yatırım teşvikleri sunabilir. Bu, hem bireysel ev sahiplerini hem de şirketleri bu tür projelere yatırım yapmaya teşvik edebilir.
- Eğitim ve Bilinçlendirme: Halkın güneş enerjisi hakkında daha fazla bilgi sahibi olması ve bu enerji kaynağının faydalarını anlaması önemlidir. Bu nedenle, bilinçlendirme kampanyaları ve eğitim programları yoluyla halkın bu konudaki bilgi ve farkındalığını artırmak önemlidir.
- Yasal ve Düzenleyici Çerçeve: Hükümet, güneş enerjisi projelerinin uygulanmasını kolaylaştırmak ve teşvik etmek için yasal ve düzenleyici bir çerçeve oluşturmalıdır. Bu, güneş enerjisi sistemlerinin kurulumu, bakımı ve işletilmesi ile

ilgili standartları ve yönergeleri içerebilir. Örneğin bir karbondioksit (CO₂) vergisi, hükümetlerin iklim değişikliği ile mücadele ve karbon emisyonlarını azaltma stratejilerinin bir parçası olarak yasal ve düzenleyici çerçeveye dahil edilebilir.

- Araştırma ve Geliştirme: Güneş enerjisi teknolojilerinin sürekli gelişimini sağlamak için daha fazla araştırma ve geliştirme (R&D) çalışmalarına yatırım yapılmalıdır. Bu, güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini artırmak, maliyetleri düşürmek ve daha geniş bir uygulama alanı bulmak için önemlidir.
- Altyapı Geliştirme: Katar'ın elektrik şebekesi, büyük miktarda güneş enerjisi kapasitesini entegre etmeye hazır olmalıdır. Bu, güneş enerjisi üretiminin şebekeye entegrasyonu ve enerji depolama çözümlerinin geliştirilmesi anlamına gelir.



KAYNAKLAR

- Abdmouleh, Z., Gastli, A., & Ben-Brahim, L. (2018). Survey about public perception regarding smart grid, energy efficiency & renewable energies applications in Qatar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(Part 1), 168-175. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.023>
- Aboobacker, V. M., Shanas, P. R., Veerasingam, S., Al-Ansari, E. M., Sadooni, F. N., & Vethamony, P. (2021). Long-term assessment of onshore and offshore wind energy potentials of Qatar. *Energies*, 14(4), 1178. <https://doi.org/10.3390/en14041178>
- Akgül, G. (2017). Biyokömür: Üretimi ve kullanım alanları. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(4), 485-499. <https://doi.org/10.15317/Scitech.2017.107>
- Al Wahedi, A., & Bicer, Y. (2022). Techno-economic optimization of novel stand-alone renewables-based electric vehicle charging stations in Qatar. *Energy*, 243, 123008. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.123008>
- Alam, S. S., Nor, N. F. M., Ahmad, M., & Hashim, N. H. N. (2016). A survey on renewable energy development in Malaysia: Current status, problems and prospects. *Rigas Tehniskas Universitates Zinatniskie Raksti*, 17, 5. <https://doi.org/10.1515/rtuect-2016-0002>
- Al-Maamary, H. M. S., Kazem, H. A., & Chaichan, M. T. (2017). The impact of oil price fluctuations on common renewable energies in GCC countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 989-1007. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.079>
- Alnaser, W. E., & Alnaser, N. W. (2011). The status of renewable energy in the GCC countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 3074-3098. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.03.021>
- Altınay, G. (2010). Aylık Elektrik Talebinin Mevsimsel Model ile Orta Dönem Öngörüsü. *Enerji, Piyasa ve Düzenleme*, 1-23.
- Ateş, S., & Topal, A. (2019). Rüzgar enerji teknolojisinde yerel kaynak kullanımının değerlendirilmesi. 8. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi.
- Ayoub, N., Musharavati, F., Pokharel, S., & Gabbar, H. A. (2014). Energy consumption and conservation practices in Qatar—A case study of a hotel building. *Energy and Buildings*, 84, 55-69. ISSN 0378-7788. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.050>
- Bachour, D., & Perez-Astudillo, D. (2014). Ground measurements of Global Horizontal Irradiation in Doha, Qatar. *Renewable Energy*, 71, 32-36. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.005>

- Bergmann, R. B. (1999). Crystalline Si thin-film solar cells: a review. *Applied physics A*, 69, 187-194. <https://doi.org/10.1007/s003390050989>
- Bianco, V., Manca, O., & Nardini, S. (2009). Electricity consumption forecasting in Italy using linear regression models. *Energy*, 34(9), 1413-1421. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.06.034>
- Bohra, M., & Shah, N. (2020). Optimising the role of solar PV in Qatar's power sector. *Energy Reports*, 6(Supplement 2), 194-198. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.11.062>
- Boş, K., & Gupta, J. (2018). Climate change: the risks of stranded fossil fuel assets and resources to the developing world. *Third World Quarterly*, 39(3), 436-453. <https://doi.org/10.1080/01436597.2017.1387477>
- Boumaiza, A., Abbar, S., Mohandes, N., & Sanfilippo, A. (2018). Modeling the impact of innovation diffusion on solar PV adoption in city neighborhoods. *International Journal of Renewable Energy Research*, 8, 1749-1762.
- Boxwell, M. (2010). *Solar electricity handbook: A simple, practical guide to solar energy-designing and installing photovoltaic solar electric systems*. Greenstream Publishing.
- Boyle, G., Everett, B., & Ramage, J. (2012). *Energy Systems and Sustainability: Power for a Sustainable Future* (3rd ed.). Oxford University Press.
- Brabec, C. J. (2004). Organic photovoltaics: technology and market. *Solar energy materials and solar cells*, 83(2-3), 273-292. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2004.02.030>
- Breyer, C., Bogdanov, D., Aghahosseini, A., Gulagi, A., Child, M., Oyewo, A. S., ... & Vainikka, P. (2018). Solar photovoltaics demand for the global energy transition in the power sector. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 26(8), 505-523. <https://doi.org/10.1002/pip.2950>
- Çelik, M. (2019). Yükselten çevirici topolojisine sahip lityum iyon piller için MPPT solar şarj kontrol cihazı [Master's thesis, Bursa Teknik Üniversitesi].
- Das, P., Thaher, M. I., Khan, S., & et al. (2019). Comparison of biocrude oil production from self-settling and non-settling microalgae biomass produced in the Qatari desert environment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 7443–7454. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02364-w>
- Dhass, A. D., Beemkumar, N., Harikrishnan, S., & Ali, H. M. (2022). A review on factors influencing the mismatch losses in solar photovoltaic system. *International Journal of Photoenergy*, 2022, 1-27. <https://doi.org/10.1155/2022/2986004>
- Divya, K. C., & Østergaard, J. (2009). Battery energy storage technology for power systems—An overview. *Electric power systems research*, 79(4), 511-520. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2008.09.017>

- Elrahmani, A., Hannun, J., Eljack, F., Kazi, M-K. (2021). Status of renewable energy in the GCC region and future opportunities. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 31, 100664. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2020.100664>
- Erdoğan, E. (2007). Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: A case study of Turkey. *Energy Policy*, 35, 1129-1146. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.02.013>
- Erkınay Özdemir, M. (2021). Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Orta Dönem Elektrik Enerjisi Tüketim Tahmini: İskenderun Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ejosat Special Issue 2021 (ICAENS), 489-492.
- ES, H. A., Kalender, F. Y., & Hamzaçebi, C. (2014). Yapay sinir ağları ile Türkiye net enerji talep tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(3). <https://doi.org/10.17341/gummfd.41725>
- Gao, J., & You, F. (2017). Design and optimization of shale gas energy systems: Overview, research challenges, and future directions. *Computers & Chemical Engineering*, 106, 699-718. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.01.032>
- Green, M. A., Dunlop, E. D., Hohl-Ebinger, J., Yoshita, M., Kopidakis, N., & Hao, X. (2021). Solar cell efficiency tables (Version 58). *Progress in Photovoltaics: Research and applications*, 29(7), 657-667. <https://doi.org/10.1002/pip.3444>
- Gueymard, C. A. (2004). The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models. *Solar Energy*, 76(4), 423-453. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.08.039>
- Hafez, A. Z., Yousef, A. M., & Harag, N. M. (2018). Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 754-782. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.094>
- Harika, Ü. L. K. Ü., & Yalpir, Ş. (2021). Enerji talep tahmini için metodoloji geliştirme: 2030 yılı Türkiye örneği. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 188-201. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.814134>
- Hassabou, A. M., & Khan, M. A. (2019). Towards Autonomous Solar Driven Agricultural Greenhouses in Qatar - Integration with Solar Cooling. In 2019 7th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC) (pp. 1-8). Agadir, Morocco. <https://doi.org/10.1109/IRSEC48032.2019.9078285>
- Hermann, A. M. (1998). Polycrystalline thin-film solar cells—a review. *Solar energy materials and solar cells*, 55(1-2), 75-81. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(98\)00048-8](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(98)00048-8)
- IEA. (2022, October 26). Renewable power generation by technology in the Net Zero Scenario, 2010-2030. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/renewable-power-generation-by-technology-in-the-net-zero-scenario-2010-2030>. Lisans: CC BY 4.0

- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2019). Renewable Energy Market Analysis: GCC 2019. Retrieved from <https://www.irena.org/publications/2019/Jan/Renewable-Energy-Market-Analysis-GCC-2019>
- Kaldellis, J. K., & Kapsali, M. (2011). Simulating the dust effect on the energy performance of photovoltaic generators based on experimental measurements. *Energy*, 36(8), 5154-5161. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.018>.
- Kalogirou, S. A. (2004). Solar thermal collectors and applications. *Progress in energy and combustion science*, 30(3), 231-295. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.02.001>
- Karaca, C., & Karacan, H. (2016). Çoklu regresyon metoduyla elektrik tüketim talebini etkileyen faktörlerin incelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(3), 182-195.
- Katipamula, S., Reddy, T. A., & Claridge, D. E. (1998). Multivariate Regression Modeling. *ASME. Journal of Solar Energy Engineering*, 120(3), 177-184. <https://doi.org/10.1115/1.2888067>
- Kazmerski, L. L. (2019). Chapter 1.03: Solar Photovoltaics Technology: No Longer an Outlier. In *Solar Energy Conversion Systems* (pp. 37-45). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00101-3>
- Kumar, N. M., Subathra, M. S. P., & Moses, J. E. (2018). On-Grid Solar Photovoltaic System: Components, Design Considerations, and Case Study. In *2018 4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)* (pp. 616-619). Chennai, India. <https://doi.org/10.1109/ICEES.2018.8442403>
- Lari, A. J., Egwebe, A., Touati, F., Gonzales, A. S., & Khandakar, A. A. (2021). Reliable Photovoltaics Output Power Prediction in Qatar. In *2021 14th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)* (pp. 546-551). Sharjah, United Arab Emirates. <https://doi.org/10.1109/DeSE54285.2021.9719352>
- Longwell, H. J. (2002). The future of the oil and gas industry: past approaches, new challenges. *World Energy*, 5(3), 100-104.
- Lund, J. W., Freeston, D. H., & Boyd, T. L. (2011). Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review. *Geothermics*, 40(3), 159-180. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2011.07.004>
- Mahmutoğlu, M., & Öztürk, F. (2015). Türkiye elektrik tüketimi öngörüsü ve bu kapsamda geliştirilebilecek politika önerileri. In *EY International Congress on Economics II (EYC2015)*, November 5-6, 2015, Ankara, Turkey (No. 239). Ekonomik Yaklaşım Association.
- Martín-Pomares, L., Martínez, D., Polo, J., Perez-Astudillo, D., Bachour, D., & Sanfilippo, A. (2017). Analysis of the long-term solar potential for electricity generation in Qatar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1231-1246. ISSN 1364-0321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.125>

- Mekhilef, S., Saidur, R., & Kamalisarvestani, M. (2012). Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2920-2925. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.012>
- Mohandes, N., Sanfilippo, A., & Al Fakhri, M. (2018). Exploring adoption scenarios for residential photovoltaic systems in Qatar. In 2018 IEEE 12th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG 2018) (pp. 1-6). Doha, Qatar. <https://doi.org/10.1109/CPE.2018.8372553>
- Moomaw, W., Burgherr, P., Heath, G., Lenzen, M., Nyboer, J., & Verbruggen, A. (2011). Annex II: Methodology. IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/>
- Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K., & Sharifi, A. (2009). A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 1800-1818. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.022>
- Munawwar, S., & Ghedira, H. (2014). A review of Renewable Energy and Solar Industry Growth in the GCC Region. *Energy Procedia*, 57, 3191-3202. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.06.069>
- National Research Council. (2007). Coal: Research and development to support national energy policy. National Academies Press.
- Nebati, E. E., Murat, T. A. Ş., & Ertaş, G. (2021). Türkiye’de Elektrik Tüketiminde Talep Tahmini: Zaman Serisi Ve Regresyon Analizi İle Karşılaştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 348-357. <https://doi.org/10.31590/ejosat.998277>
- Nezar, S., Benzamia, A., Parkar, A. A., Krüger, D., & Dersch, J. (2014). Solar outdoor cooling in Qatar as new reality. In 3rd International Symposium on Environmental Friendly Energies and Applications (EFEA) (pp. 1-6). Paris, France. doi: 10.1109/EFEA.2014.7059985.
- Ohunakin, O. S., Adaramola, M. S., Oyewola, O. M., & Fagbenle, R. O. (2014). Solar energy applications and development in Nigeria: Drivers and barriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 294-301. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.014>
- Okonkwo, E. C., Wole-Osho, I., Bamisile, O., Abid, M., & Al-Ansari, T. (2021). Grid integration of renewable energy in Qatar: Potentials and limitations. *Energy*, 235, 121310. doi: 10.1016/j.energy.2021.121310.
- Parida, B., Iniyar, S., & Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1625-1636. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.032>
- Peelle, E. (1974). Social effects of nuclear power plants (No. CONF-740520-1). Oak Ridge National Lab.(ORNL), Oak Ridge, TN (United States).

- Perez-Astudillo, D., & Bachour, D. (2015). Variability of measured Global Horizontal Irradiation throughout Qatar. *Solar Energy*, 119, 169-178. ISSN 0038-092X. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.06.045>
- Planning and Statistics Authority (PSA). (2020). Qatar Census 2020: Final Results. Retrieved from https://www.psa.gov.qa/en/statistics1/StatisticsSite/Census/census2020/results/Documents/Census_Final_Results.pdf
- Qatar General Electricity & Water Corporation (KAHRAMAA). (2021). Annual Statistic Report 2021. Retrieved from <https://www.km.qa/MediaCenter/Publications/Statistics%20Report%202021-English.pdf>
- Renu, V., & Surasmi, N. L. (2014). Optimal control of selective harmonic elimination in a grid-connected single-phase PV inverter. In 2014 International Conference on Advances in Green Energy (ICAGE) (pp. 265-271). Thiruvananthapuram, India. <https://doi.org/10.1109/ICAGE.2014.7050175>
- Sager, A. O. (2012). Renewable Energy in the GCC Countries: Resources, Potential, and Prospects. Gulf Research Center.
- Sharma, S., Jain, K. K., & Sharma, A. (2015). Solar cells: in research and applications—a review. *Materials Sciences and Applications*, 6(12), 1145. <https://doi.org/10.1002/pip.541>
- Shetty, C., & Priyam, A. (2022). A review on tidal energy technologies. *Materials Today: Proceedings*, 56(5), 2774-2779. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.020>
- Sivakumar, P., Abdul Kader, A., Kaliavaradhan, Y., & Arutchelvi, M. (2015). Analysis and enhancement of PV efficiency with incremental conductance MPPT technique under non-linear loading conditions. *Renewable Energy*, 81, 543-550. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.03.062>
- Skoplaki, E., & Palyvos, J. A. (2009). On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. *Solar Energy*, 83(5), 614-624. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.008>
- Son, H., & Kim, C. (2017). Short-term forecasting of electricity demand for the residential sector using weather and social variables. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 200-207.
- Sun, X., Ouyang, Z., & Yue, D. (2017). Short-term load forecasting based on multivariate linear regression. In 2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2) (pp. 1-5). Beijing. <https://doi.org/10.1109/EI2.2017.8245401>
- Tahir, F., Baloch, A. A. B., & Al-Ghamdi, S. G. (2022). Impact of climate change on solar monofacial and bifacial Photovoltaics (PV) potential in Qatar. *Energy Reports*, 8(Supplement 5), 518-522. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.02.197>
- Tan, T., Al-Khalaqi, A., & Al-Khulaifi, N. (2014). Qatar national vision 2030. *Sustainable Development: An Appraisal from the Gulf Region*, 19(1), 65-81.

- Teo, J., Tan, R., Mok, V., Ramachandaramurthy, V., & Tan, C. (2018). Impact of partial shading on the P-V characteristics and the maximum power of a photovoltaic string. *Energies*, 11(7), 1860. <https://doi.org/10.3390/en11071860>
- Tianze, L., Hengwei, L., Chuan, J., Luan, H., & Xia, Z. (2011). Application and design of solar photovoltaic system. *Journal of Physics: Conference Series*, 276(1), 012175. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/276/1/012175>
- Touati, F., Chowdhury, N. A., Benhmed, K., San Pedro Gonzales, A. J. R., Al-Hitmi, M. A., Benammar, M., Gastli, A., & Ben-Brahim, L. (2017). Long-term performance analysis and power prediction of PV technology in the State of Qatar. *Renewable Energy*, 113, 952-965. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.06.078>
- Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği. (2011). Elektrik tesisleri genel teknik şartnamesi ve uygulama esasları. Ankara: Elektrik Mühendisleri Odası. Retrieved from https://www.emo.org.tr/ekler/006a8909e4d22df_ek.pdf
- U.S. Energy Information Administration. (n.d.). Carbon Dioxide Emissions Coefficients. Retrieved May 16, 2023, from https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php
- Uzun, E. (2019). Farklı yöntemler kullanılarak Bursa ve Türkiye için elektrik enerjisi talep tahmini (Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi).
- Weber, A. S. (2013). Review of sustainable and renewable energy activities in the state of Qatar. In 2013 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC) (pp. 91-95). Ouarzazate, Morocco. <https://doi.org/10.1109/IRSEC.2013.6529703>
- Woo, C., Chung, Y., Chun, D., Seo, H., & Hong, S. (2015). The static and dynamic environmental efficiency of renewable energy: A Malmquist index analysis of OECD countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 367-376. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.070>
- World Meteorological Organization. (n.d.). Retrieved from <https://public.wmo.int/en>
- Yamaçlı, M. (2010). Türkiye'nin uzun dönem elektrik yük tahmini. (Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya).
- Yılmaz, İ., & Erisen, M. R. (2016). A comparative analysis of renewable and non-renewable energy sources in sustainable energy planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 953-964.
- Yüksel Haliloğlu, E., & Tutu, B. E. (2018). Türkiye için kısa vadeli elektrik enerjisi talep tahmini. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 13(51), 243-255.
- Yuksel, I. (2010). As a renewable energy hydropower for sustainable development in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 3213-3219. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.056>

Yumurtaci, Z., & Asmaz, E. (2004). Electric energy demand of Turkey for the year 2050. *Energy Sources*, 26(12), 1157-1164.
<https://doi.org/10.1080/00908310490441520>



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Emir ÇUBUKÇU

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2019 yılında Erciyes Teknopark'ın girişimcilik programında hibe kazandı.
- 2019-2021 yılları arasında Habitat Derneği'nde Girişimcilik Eğitmeni olarak gönüllü görev yaptı.
- 2020 yılında Ödül Enerji'de Autocad tasarımcısı olarak çalıştı.
- 2020-2021 yılları arasında ReneSolar Enerji'de Yenilenebilir Enerji Mühendisi olarak görev aldı.
- 2021-2023 yılları arasında Milli Eğitim Bakanlığı ile The Adecco Group'un Mesleki Eğitim Kursları Projesi'nde Proje Asistanı olarak çalıştı.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Çubukçu E. ve İpek M. (2023, 29-30, Nisan). Çoklu Regresyon Analizi İle Elektrik Enerjisi Talep Tahmini: 2030 Yılı Katar Örneği. 9. Uluslararası Mühendislik Ve Teknoloji Yönetimi Kongresi, İstanbul, Turkey.