

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ YÖNETİMİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

**İZMİR TİRE YERLEŞİMİNDE SAATLİK SICAKLIK
DEĞERLERİNİN FOTOVOLTAİK SİSTEM PERFORMANSINA
ETKİSİNİN FARKLI MAKİNE ÖĞRENME SİSTEMLERİYLE
İNCELENMESİ VE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RÜŞDİ ERDEM

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2022

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ YÖNETİMİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI



**İZMİR TİRE YERLEŞİMİNDE SAATLİK SICAKLIK
DEĞERLERİNİN FOTOVOLTAİK SİSTEM PERFORMANSINA
ETKİSİNİN FARKLI MAKİNE ÖĞRENME SİTELLERİYLE
İNCELENMESİ VE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RÜŞDİ ERDEM

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

RÜŞDİ ERDEM tarafından hazırlanan “**İZMİR TİRE YERLEŞİMİNDE SAATLİK SICAKLIK DEĞERLERİNİN FOTOVOLTAİK SİSTEM PERFORMANSINA ETKİSİNİN FARKLI MAKİNE ÖĞRENMESİ MODELLERİYLE İNCELENMESİ VE OPTİMİZASYONU**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 29.08.2022 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ENERJİ YÖNETİMİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Prof. Dr. Ömer Altan DOMBAYCI

.....

Üye

Prof. Dr. Hakan ÇALIŞKAN

Uşak Üniversitesi

.....

Üye

Dr. Öner ATALAY

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Yusuf ÖNER

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2021FEBE038 nolu proje ile desteklenmiştir.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

RÜŞDİ ERDEM

ÖZET

İZMİR TİRE YERLEŞİMİNDE SAATLİK SICAKLIK DEĞERLERİNİN FOTOVOLTAİK SİSTEM PERFORMANSINA ETKİSİNİN FARKLI MAKİNE ÖĞRENMESİ MODELLERİYLE İNCELENMESİ VE OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RÜŞDİ ERDEM

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ YÖNETİMİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ÖMER ALTAN DOMBAYCI)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2022

Fotovoltaik paneller güneş radyasyonu alması ile elektrik üretmeye başlar. Güneşten gelen radyasyonun bir kısmı elektrik enerjisine dönüşürken, bir kısmı da ısı enerjisi olarak ortaya çıkar. Bu durum panellerin ısınmasına neden olur. Güneş hücrelerinin ısınması ile panellerin kısa devre akımı (Isc) artarken, açık devre voltajı (Voc) düşer, böylece elektriksel verim düşer.

Paneller elektriksel olarak 1000 W/m^2 güneş radyasyonu ve 25°C çalışma sıcaklığında etiket değeri olan enerjiyi üretebilmektedir. Eş radyasyon koşullarında daha yüksek çalışma sıcaklığı panelin verimini düşürmüştür.

Bu tez çalışmasında amaç panel çalışma sıcaklığının sistem performans oranına etkisini incelemektir. Bu amaçla seçilen güneş enerjisi santraline mobil meteoroloji istasyonu tesis edilmiştir. Bu istasyondan güneş radyasyonu (W/m^2), panel sıcaklığı ($^\circ\text{C}$), ortam sıcaklığı ($^\circ\text{C}$), rüzgâr hızı (m/s) ve rüzgâr yönü ($^\circ$) değerleri dakika ölçeğinde veri kaydedici cihaza kaydedilmiştir. Bu değerler veri kaydedici cihazın web sunucu özelliği ile elektronik tablo haline dönüştürülmüştür. Ölçüm alınan süre boyunca santralin ürettiği saatlik üretim bilgisi tabloya eklenmiştir.

Panel sıcaklık etkisini görebilmek için PV panel etiket değerlerine göre üretim değerleri hesaplanmış, panel sıcaklığı düşük iken panel verim değerinin yüksek, panel sıcaklığı yüksek iken panel verim değerinin düşük olduğu görülmüştür. Meteoroloji istasyonundan elde edilen veri setinin içinden 4 farklı koşulda hesaplanan net verim kayıpları %0,316 ile %0,386 arasında değişmiştir. Yapılan hesaplamalara göre her 1°C panel sıcaklığı artışı için ortalama net verim %0,36 azalmıştır.

7 farklı makine öğrenmesi modelleri ile yapılan deneysel testler sonucunda, en iyi tahmin başarısını Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) değeri 59,87 olarak tespit edilen Uyarlanabilir Yükseltme (Adaptive Boosting) modeli göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Fotovoltaik, Sıcaklık, Güneş Radyasyonu, Verim, Makine Öğrenmesi, Optimizasyon

ABSTRACT

INVESTIGATION AND OPTIMIZATION OF THE EFFECT OF HOURLY TEMPERATURE VALUES ON PHOTOVOLTAIC SYSTEM PERFORMANCE IN IZMIR TIRE DISTRICT WITH DIFFERENT MACHINE LEARNING MODELS

MSC THESIS
RÜŞDİ ERDEM

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ENERGY MANAGEMENT AND TECHNOLOGIES

(SUPERVISOR: PROF.DR. ÖMER ALTAN DOMBAYCI)

DENİZLİ, AUGUST 2022

Photovoltaic panels start to produce electricity when they receive solar radiation. While some of the radiation from the sun is converted into electrical energy, some of it emerges as heat energy. This causes the panels to heat up. With the heating of the solar cells, the short circuit current (I_{sc}) of the panels increases, while the open circuit voltage (V_{oc}) decreases, thus reducing the electrical efficiency.

The panels can electrically produce 1000 W/m^2 of solar radiation and a label value at 25°C operating temperature. Higher operating temperature under co-radiation conditions reduces the efficiency of the panel.

The aim of this thesis is to examine the effect of panel operating temperature on the system performance ratio. For this purpose, a mobile meteorology station was installed in the selected solar power plant. From this station, solar radiation (W/m^2), panel temperature ($^\circ\text{C}$), ambient temperature ($^\circ\text{C}$), wind speed (m/s) and wind direction ($^\circ$) values were recorded on the data logger on a minute basis. These values have been converted into a spreadsheet with the web server feature of the data logger device. The hourly production information produced by the power plant during the measurement period is added to the table.

In order to see the panel temperature effect, the production values were calculated according to the PV panel label values, it was seen that the panel efficiency value was high when the panel temperature was low, and the panel efficiency value was low when the panel temperature was high. The net efficiency losses calculated under 4 different conditions from the data set obtained from the meteorology station vary between 0.316% and 0.386%. According to the calculations, the average net efficiency decreases by 0.36% for each 1°C panel temperature increase.

As a result of experimental tests with 7 different machine learning models, the Adaptive Boosting model, whose Root Mean Squared Error (RMSE) value was determined as 59.87, showed the best estimation success.

KEYWORDS: Photovoltaic, Temperature, Solar Radiation, Efficiency, Machine Learning, Optimization

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL VE KISALTIMA LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
3. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	7
3.1 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli	7
3.2 Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi: Fotovoltaik (PV) Paneller	10
3.3 Solar PV panellerin çalışma prensibi	11
3.3.1 Fotovoltaik Hücreler	12
3.3.2 Fotovoltaik Hücrenin Avantajları	13
3.3.3 PV Sistem Bakımı.....	14
3.4 Solar PV Sistemlerin Bileşenleri.....	14
3.4.1 PV Panel Dizisi	14
3.4.2 Şarj Regülatörü	15
3.4.3 Pil Bankası	15
3.4.4 DC-AC Eviricisi	15
3.4.5 Elektrik Sayacı.....	16
3.5 Solar PV Paneller İçin Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MPPT) ...	16
3.5.1 MPPT'nin Çalışma Prensibi	17
3.5.2 Maksimum Güç Noktası Değişimi	17
3.5.3 PV Sistemi ve MPPT Algoritmaları.....	18
3.5.4 Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT) Algoritmaları	19
3.6 PV Güneş Enerjisi Sistemlerinde Kullanılan Eviriciler	20
3.6.1 Eysel Eviriciler	21
3.6.2 Dizi Eviriciler	21
3.6.3 Merkezi Eviriciler	22
3.7 Evirici Seçim Kriterleri	23
3.7.1 Sistemin gücü.....	23
3.7.2 Kurulum yüzeyinin durumu	24
3.7.3 Kurulum bölgesi koşulları	24
3.8 Üretim Kayıpları.....	25
3.8.1 Açık Yansıma Faktörü	25
3.8.2 Panel Kirlilik Kaybı	25
3.8.3 Işıma Bağı PV Kayıplar.....	25
3.8.4 Sıcaklığa Bağlı PV Kayıplar	25
3.8.5 Zamana Bağlı Panel Verim Kaybı	26
3.8.6 Dizi Uyumsuzluk Kaybı	26

3.8.7	DC Kablo Kaybı	26
3.8.8	Evirici İşletme Kayıpları.....	26
3.8.9	AC Kablolama ve Çıkış Trafo Kayıpları	27
4.	MATERYAL VE YÖNTEM	28
4.1	Arazinin Özellikleri	28
4.2	Fotovoltaik Sistem Tasarımı	29
4.2.1	Fotovoltaik Paneller	29
4.2.2	Eviriciler	31
4.3	Veri Kaydedici (Datalogger)	32
4.4	Taşınabilir Meteoroloji İstasyonu	32
4.4.1	Işınım Sensörü- Piranometre	33
4.4.2	Ortam Sıcaklık Sensörü.....	34
4.4.3	Panel Sıcaklık Sensörü.....	35
4.4.4	Rüzgâr Hızı Sensörü- Anemometre	35
4.4.5	Rüzgâr Yönü Sensörü	36
4.5	Sistem Performans Oranı.....	37
4.6	Panel Verimliliği	38
4.7	Panel Sıcaklığının Verime Etkisi	40
4.8	Makine Öğrenmesi Modelleri ile Enerji Üretim Tahmini.....	41
4.8.1	Karar Ağaçları (Decision Trees).....	42
4.8.2	Rastgele Orman (Random Forest)	43
4.8.3	Ekstra Ağaçlar (Extra Trees)	43
4.8.4	Uyarlanabilir Yükseltme (Adaptive Boosting)	44
4.8.5	Gradyan Yükseltme (Gradient Boosting)	44
4.8.6	XG Yükseltme (XG Boost).....	44
4.8.7	K-Komşular (KNeighbors)	44
5.	SONUÇLAR.....	46
5.1	Santralden Elde Edilen Veriler	48
5.2	Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden Elde Edilen Veriler	49
5.3	Mobil Meteoroloji İstasyonundan Elde Edilen Veriler	51
5.4	Makine Öğrenmesi Modelleri Tahmin Sonuçları.....	55
5.4.1	Veri Seti	55
5.4.2	Eğitimde Kullanılan Yazılımlar.....	55
5.4.3	Tahmin Sonuçları.....	56
5.4.3.1	Karar Ağaçlarına Ait Tahmin Sonuçları	56
5.4.3.2	Rastgele Ormanlara Ait Tahmin Sonuçları	58
5.4.3.3	Ekstra Ağaçlara Ait Tahmin Sonuçları	60
5.4.3.4	Uyarlanabilir Yükseltmeye Ait Tahmin Sonuçları	62
5.4.3.5	Gradyan Yükseltmeye Ait Tahmin Sonuçları	64
5.4.3.6	XG Yükseltmeye Ait Tahmin Sonuçları	66
5.4.3.7	K-Komşulara Ait Tahmin Sonuçları	68
6.	BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	71
6.1	Meteoroloji İstasyonu Verilerinin Değerlendirilmesi	71
6.2	Sonuçlar ve Öneriler.....	78
7.	KAYNAKLAR.....	80

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası.....	7
Şekil 3.2: Kurulu Güç ve Yenilenebilir Enerjinin Toplam Güce Oranı.....	9
Şekil 3.3: Türkiye 2010-2021 yılları arası kurulu güneş enerjisi miktarları	9
Şekil 3.4: Türkiye 2021 yılı kurulu güçler ve oranları.....	10
Şekil 3.5: 300 W Monokristal 60 hücreli PV Panel	12
Şekil 3.6: PV Hücresinin Yapısı	13
Şekil 3.7: Farklı MPPT Cihazları.....	17
Şekil 3.8: Maksimum Güç Noktasının Değişimi	18
Şekil 3.9: Panel I-V Karakteristiği	19
Şekil 3.10: Maksimum Güç Noktası (MPP)	20
Şekil 3.11: PV Panel ile DC-AC Çevirimi.....	21
Şekil 3.12: 50 kW AC Güç Evirici	22
Şekil 3.13: 4 MW AC Güç Merkezi Evirici.....	23
Şekil 4.1: Santral Alanı Uydu Görüntüsü	29
Şekil 4.2: Güneş Panelinin boyut bilgisi	30
Şekil 4.3: Yıllara göre Panel Verim Kaybı	31
Şekil 4.4: Veri Kaydedici	32
Şekil 4.5: Meteoroloji İstasyonu Genel Yerleşimi	32
Şekil 4.6: Santrale Tesis Edilen Meteoroloji İstasyonu	33
Şekil 4.7: Işınım Sensörü- Piranometre	33
Şekil 4.8: Ortam Sıcaklık Sensörü	34
Şekil 4.9: Panel Sıcaklık Sensörü.....	35
Şekil 4.10: Rüzgâr hızı Sensörü- Anemometre.....	35
Şekil 4.11: Rüzgâr Yönü Sensörü	36
Şekil 4.12: Solar PV hücresinin tipik elektrik devresi	38
Şekil 4.13: Örnek Karar Ağacı.....	43
Şekil 4.14: Rastgele Orman Modeli	43
Şekil 4.15: K-Komşular Modeli	45
Şekil 5.1: Santral Aylık Enerji Üretim Tahminleri	47
Şekil 5.2: Santral 2019-2020-2021 Yılları Aylık Enerji Üretimleri	49
Şekil 5.3: Haziran Ayı Ortalama Sıcaklık Değerleri.....	50
Şekil 5.4: Aralık Ayı Ort. Sıcaklık Değerleri ve 2021 Aralık Ölçüm Değerleri ...	51
Şekil 5.5: Radyasyon Grafiği	52
Şekil 5.6: Ortam Sıcaklığı Grafiği	52
Şekil 5.7: Dahili Sıcaklık Grafiği.....	52
Şekil 5.8: Panel Sıcaklığı Grafiği.....	53
Şekil 5.9: Rüzgâr Hızı Grafiği	53
Şekil 5.10: Rüzgâr Yönü Grafiği	53
Şekil 5.11: Karar Ağaçları 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini	57
Şekil 5.12: Rastgele Ormanlar 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini	59
Şekil 5.13: Ekstra Ağaçlar 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini	61
Şekil 5.14: Uyarlanabilir Yükseltme 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini ..	63
Şekil 5.15: Gradyan Yükseltme 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini	65
Şekil 5.16: XG Yükseltme 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini	67
Şekil 5.17: K-Komşular 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini	69

Şekil 6.1: Üretim 950-970 kWh için Panel Sıcaklığı-Verim İlişkisi	73
Şekil 6.2: Radyasyon 950-1000 W/m ² için Panel Sıcaklığı-Verim İlişkisi.....	74
Şekil 6.3: Radyasyon 960-980 W/m ² için Panel Sıcaklığı-Verim İlişkisi.....	76
Şekil 6.4: Radyasyon 940-960 W/m ² için Panel Sıcaklığı-Verim İlişkisi.....	77

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Türkiye 2000-2021 yılları Kurulu Güç Miktarları.....	8
Tablo 3.2: Evirici Güçleri	21
Tablo 4.1: Santralde kullanılan fotovoltaiik panele ait elektriksel özellikleri ...	30
Tablo 4.2: Santralde kullanılan dizi eviriciye ait elektriksel veriler	31
Tablo 4.3: Makine Öğrenmesi Çalışması için Örnek Veriler	41
Tablo 5.1: Santral Sistem Özellikleri	46
Tablo 5.2: Santral Kazancı Bilgileri	46
Tablo 5.3: Santral PV Panel Alanı Bilgileri.....	46
Tablo 5.4: PV*SOL Simülasyon Sonuçları	47
Tablo 5.5: PV Sistemi Enerji Üretim Bilgileri.....	48
Tablo 5.6: Santral 2019-2020-2021 Enerji Üretim Bilgileri.....	49
Tablo 5.7: Veri Kaydedicide Toplanan Radyasyon Değerleri	54
Tablo 5.8: Veri Kaydedicide Toplanan Tüm Değerler	54
Tablo 5.9: Karar Ağaçları 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonuçları ...	57
Tablo 5.10: Rastgele Ormanlar 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonuçları	59
Tablo 5.11: Ekstra Ağaçlar 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonuçları .	61
Tablo 5.12: Uyarlanabilir Yükseltme 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonuçları .	63
Tablo 5.13: Gradyan Yükseltme 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonuçları...	65
Tablo 5.14: XG Yükseltme 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonuçları .	67
Tablo 5.15: K-Komşular 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonuçları.	69
Tablo 6.1: Saatlik Ortalama Meteorolojik Değerler ve Üretim Değerleri	71
Tablo 6.2 Üretim Değeri 950-970 kWh için Saat 13 Değerleri	72
Tablo 6.3: Radyasyon Değeri 950-1000 W/m ² için Saat 12 Değerleri	73
Tablo 6.4: Radyasyon Değeri 960-980 W/m ² için Değerler	74
Tablo 6.5: Radyasyon Değeri 940-960 W/m ² için Değerler	76
Tablo 6.6: İstasyon Verilerinden Net Verim Kaybı Değerlendirilmesi	77
Tablo 6.7: Makine Öğrenmesi Modellerinin RMSE Değerleri.....	78
Tablo 6.8: Gerçek Değerler ve 7 Modelin Tahmin Değerleri.....	78

SEMBOL VE KISALTMA LİSTESİ

YEK	Yenilenebilir Enerji kaynakları
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
IRENA	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
GES	Güneş Enerji Santrali
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
kWh	KiloVatSaat
DC	Doğru Akım
AC	Alternatif Akım
RTU	Remote Terminal Unit
Hz	Hertz
V	Volt
A	Akım
OG	Orta Gerilim
m	Metre
MW	MegaVat
Voc	Açık Devre Gerilimi
Isc	Kısa Devre Akımı
STC	Standart Test Koşulları
NOCT	Normal hücre çalışma sıcaklığı
kW/m ²	Güneş Işınımı
Wp	VatDC
YA	Fotovoltaik dizi kazancı
YR	Referans kazancı
YF	Final kazancı
PR	Performans oranı
CF	Kapasite faktörü
η_{INV}	Evirici verimi
η_{SYS}	Sistem verimi

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans çalışmasının her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Ömer Altan DOMBAYCI'ya,

Yanımda olan ve yardım eden arkadaşım Elk. Elt. Yük. Müh. Batuhan BİLGİ'ye,

Çalışmalarına maddi destek sağlayan Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine,

Ayrıca çalışmamın her aşamasında maddi ve manevi desteğini esirgemeyen her daim yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

1. GİRİŞ

Sanayi Devriminden günümüze, vazgeçilmez ve sürekli bir kaynak olarak enerji, önemini, her geçen gün hızla artırmaktadır. Enerji kullanımında önemli olan faktör, kullanılan enerjinin niceliğinden ziyade niteliğidir. Enerji kaynakları niteliksel olarak değerlendirildiğinde, elektrik enerjisi, en değerli enerji kaynağıdır. Üretim maliyet ilişkisi göz önüne alındığında ise, bir enerji kaynağının niteliği arttıkça, o enerji kaynağının üretim maliyeti de artar.

Elektrik enerjisi günümüzde, kömür, petrol ve doğal gaz gibi yenilenemeyen fosil kökenli enerji kaynaklarına ilaveten, hidrolik, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından da üretilmektedir. Elektrik enerjisi üretiminde, fosil kökenli kaynakların kullanımı, maliyetin yanında, özellikle, üretim sürecinde atmosfere salınan sera gazları, küresel iklim değişikliğine yol açarak, yerküre sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, küresel iklim değişikliğinin azaltılması ve sürdürülebilir bir çevre için, fosil kökenli enerji kaynakları kullanımının azaltılarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması bilinen ve önemli bir gerçektir. Yerkürenin fosil kökenli enerji kaynakları sonsuz değil, sınırlıdır. Fosil kökenli enerji kaynaklarının çevresel ve tükenme etkileri göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi büyük önem taşımaktadır. Güneş, insanlığın kullandığı tüm enerji kaynaklarının temelini oluşturmakla birlikte, rüzgâr, hidrolik, biyokütle gibi, yenilenebilir enerji kaynakları sınıfında yer alan. bir enerji kaynağıdır ve güneş kaynaklı elektrik üretimine yönelik çalışmalar, günümüzde büyük önem taşımaktadır.

Avrupa ile Asya Kıtasının kesişim noktasında yer alan Türkiye, yenilenebilir kaynakları açısından yüksek potansiyele sahip bir ülkedir. Yerel ölçekte, ülkenin hemen hemen her bölgesinde elektrik üretilmekte ve üretilen bu elektrik o bölge içinde tüketilmektedir. IRENA web sitesinden elde edilen bilgilere göre Türkiye’de toplam elektrik enerjisi üretimi içinde yenilenebilir enerji oranı 2000 yılında %24,9 iken 2019 yılında %43,5 seviyelerine ulaşmıştır. Güneş enerjisi kurulu gücü 2010 yılında 5,7

MW iken 2021 yılında 7817 MW'a çıkmıştır. Güneş enerjisi kurulu gücünün, toplam kurulu güce oranı 2015 yılında %0,34 iken 2021 yılında %7,83'a yükselmiştir.

Yapılan bu çalışma ile arazi tipi santrallerde elektrik üretimi sırasında ortam sıcaklığının fotovoltaik panel sistem Performansına etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. İzmir ili, Tire ilçesinde (38°05'20.87" Kuzey enleminde ve 27°38'43.19" Doğu boylamında, deniz seviyesinden 105 m yüksekte) yer alan 1 MW gücündeki santralin saatlik elektrik üretim verileri sayaçtan okunarak kaydedilmiştir. Santrale Taşınabilir Meteoroloji İstasyonu tesis edilerek, dakika ölçeğinde güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı, panel sıcaklığı, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü değerleri santralde bulunan veri kaydedici (datalogger) cihaza kaydedilmiştir.

Taşınabilir meteoroloji istasyonundan elde edilen güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı, panel sıcaklığı, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü veriler dakika ölçeğindedir. Elektrik üretimi verisiyle eşleştirebilmek için, dakika ölçeğinde elde edilen bu veriler, ortalama saatlik veri ölçeğine dönüştürülmüştür. Ayrıca taşınabilir meteoroloji istasyonundan elde edilen verileri karşılaştırabilmek için, Tire Bölgesi, 1 Ocak 2016 ile 31 Aralık 2020 tarihleri arası saatlik sıcaklık, günlük toplam yağış, saatlik aktüel basınç, saatlik rüzgâr yönü, saatlik rüzgâr hızı ve günlük ortalama nispi nem değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasının önemi, Tire bölgesinde ilk kez, arazi tipi santrallerde, panel sıcaklığının sistem performansına etkisinin hesaplanmış olmasının yanında, elde edilen verilerin, farklı makine öğrenmesi modelleri ile eğitilerek bulunan güneş radyasyonu ve panel sıcaklığı değerleri için tahmin edilen enerji üretim değerlerinin, gerçek üretim değerleri ile karşılaştırılmasının yapılmış olmasıdır.

Meteoroloji istasyonundan elde edilen veri setinin içinden 4 farklı koşulda (950-970 kWh üretim ve Saat 13 değerleri, 950-1000 W/m² radyasyon ve Saat 12 değerleri, 960-980 W/m² radyasyon değerleri, 940-960 W/m² radyasyon değerleri) hesaplanan net verim kayıpları %0,316 ile %0,386 arasında değişmiştir. Yapılan hesaplamalara göre her 1 °C panel sıcaklığı artışı için ortalama net verim %0,36 azalmıştır.

Ölçüm cihazlarından elde edilen veriler; Karar Ağaçları (Decision Trees), Rastgele Orman (Random Forest), Ekstra Ağaçlar (Extra Trees), Uyarlanabilir Yükseltme (Adaptive Boosting), Gradyan Yükseltme (Gradient Boosting), XG Yükseltme (XG Boost), K-Komşular (KNeighbors) modellerinden oluşan 7 farklı makine öğrenmesi modeli ile eğitilerek test edilmiş, en iyi sonuç Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) değeri 59,87 olarak hesaplanan Uyarlanabilir Yükseltme (Adaptive Boosting) modelinden elde edilmiştir.

Bu çalışmanın yapılan diğer çalışmalardan farkı 7 farklı makine öğrenmesi modelleri ile güneş radyasyonu ve panel sıcaklığı değerleri verilerek güneş enerjisi üretim tahmini optimizasyonu ilk kez yapılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Ortam ve panel sıcaklığı, fotovoltaik panelin performansını etkileyen önemli bir parametredir. Literatürde, bu parametrenin etkisini inceleyen pek çok çalışma bulunmaktadır:

Deniz (2013) tarafından yapılan çalışmada güneş enerji santrallerinde oluşabilecek kayıplar (düzlem açısı, spektrum, yansıma, gölgelenme, tozlanma, sıcaklık, kablo, DC/AC çevrim, MPPT vb.) incelenmiş, GES sistem performansına etkileri açıklanmıştır.

Keçel ve Yavuzcan (2008) tarafından yapılan çalışmada fotovoltaik modüllerin, güneş ışımalarının olduğu soğuk bir günde, sıcak havaya göre enerji üretiminin daha yüksek olduğu incelenmiştir. Kristal yapıları için her 1°C değişim için açık devre gerilimi (V_{oc}) %0,37, kısa devre akımı (I_{sc}) %0,05 lik azalma göstermiştir.

Rahman ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmada 1000 W/m² güneş radyasyonu altında 56 °C ye ulaşan panel sıcaklığı ısı eşanjörü ile soğutulmuştur. Her 1°C sıcaklık düşüşte çıkış gücü 0,37 W ve elektriksel verimi %0,06 artmıştır.

Keskin (2019) tarafından yapılan çalışmada sistem performans ve kayıp parametreleri incelenmiştir. Bu parametreler, Fotovoltaik dizi kazancı (YA), Referans kazancı (YR), Final kazancı (YF), Performans oranı (PR), Kapasite faktörü (CF), Evirici verimi (η_{INV}), Sistem verimi (η_{SYS}) dir.

Pamukçu (2018) tarafından yapılan çalışmada Türkiye geneli fotovoltaik panel performans oranlarının tespiti yapılmıştır. Panel yüzey sıcaklığının belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalarda, yapılan kabullere göre kimi zaman sadece dış ortam sıcaklığı ve güneşten gelen radyasyona bağlı çalışmalar yapmışlar kimi zaman da rüzgâr hızı gibi farklı parametreleri de çalışmalarına dahil edip güneş panel yüzey sıcaklığının tespitine yönelik formüller geliştirmişlerdir.

Gedik (2016) tarafından yapılan çalışmada PV modülü 10,20,30 ve 40 °C ortam sıcaklığında test edilmiştir. Hesaplara göre panel sıcaklığı 14,9 °C için %12,07 olan verim panel sıcaklığı 51,3 °C için %10,7 olmuştur.

Akar (2016) tarafından yapılan çalışmada Ankara ili Haymana ilçesinde kurulmuş 1 MW gücündeki güneş enerji santralinin tasarımı, kurulumu incelenmiştir. PVSYST paket programı ile performans oranı simüle edilmiştir. Program ile modellenen aylık enerji üretim değerlerinin gerçekleşen üretim değerleri ile örtüştüğü görülmüştür.

Akman (2019) tarafından yapılan çalışmada artan panel sıcaklığını enerji üretimi verimini düşürmesini engellemek amaçlı su kanallı ve su serpantinli soğutma yöntemleri incelenmiştir. Enerji verimi, eş ortamda bulunan soğutmasız panelde %13, serpantinli panelde %16 ve su kanallı panelde %17 olarak bulunmuştur.

Millad (2019) tarafından yapılan çalışmada PV modülün MATLAB/Simulink simülasyonu ile gerçekleşen üretim değerleri %97 oranında karşılanmıştır.

Bilgin (2013) tarafından yapılan çalışmada panel yüzey sıcaklık etkisi deneysel olarak incelenmiştir. En yüksek panel verimine radyasyon değerinin yüksek, panel sıcaklığının düşük olduğu Mart ve Nisan aylarında ulaşılmıştır.

Öztürk (2014) tarafından yapılan çalışmada sıcaklığın panel verimine etkisi incelenmiştir. Panel verimi, panel sıcaklığı 14,9 °C iken %12 iken panel sıcaklığı 51,3 °C olduğunda %10,7 olmuştur.

Sancar (2018) tarafından yapılan çalışmada panel verimine etki eden sıcaklık, rüzgâr, ışınım, nem ve kirlenme faktörleri araştırılmıştır. Rüzgâr ve sıcaklığın panel performansını %4 azalttığı tespit edilmiştir.

Doğan (2019) tarafından yapılan çalışmada santral kurulumu SWOT analizi yapılmış ve Çanakkale’de bulunan üç santralde analiz tespitlerinin doğruluğu görülmüştür.

Şimşek (2018) tarafından yapılan çalışmada ele alınan güneş santrallerinde verimi en fazla sıcaklık etkisinin düşürdüğü görülmüştür. Tozlanma, yansıma ve dizi uyumsuzluğu kayıpları ardı sıra gelmiştir.

Oruç (2021) tarafından yapılan çalışmada yapay sinir ağları regresyon algoritmaları ile güneş enerjisi tahminleri çalışılmıştır.

Çevik (2018) tarafından yapılan çalışmada yapay sinir ağları ile ertesi günün saatlik güneş ışınım verisi tahmini yapılmıştır.

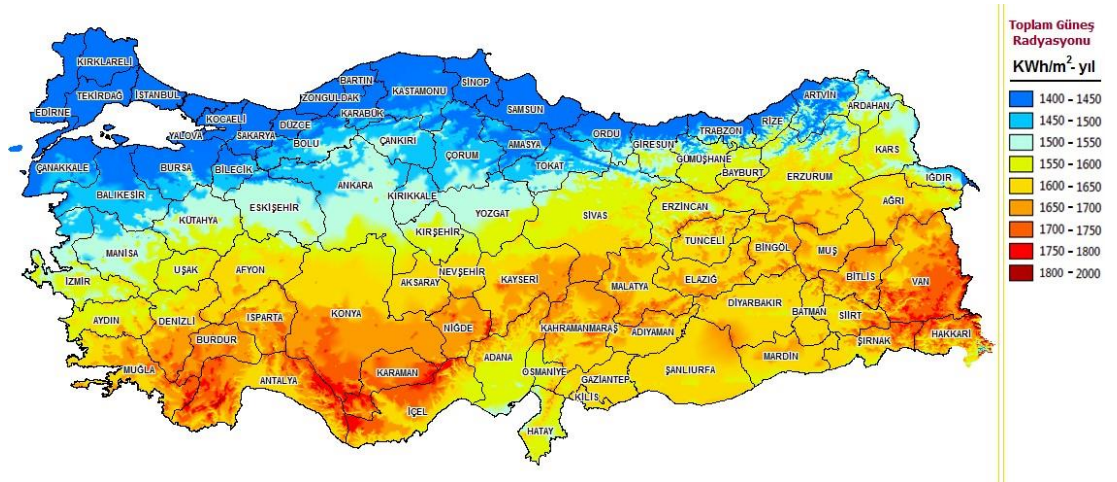
Rodríguez ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada hava durumu tahmini verileri kullanılarak yapay sinir ağları ile güneş enerjisi üretim değerleri tahmini yapılmıştır.

3. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, kaynağı Güneş olan ısı ve parlak ışıktır. Güneş'in çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışınım enerjisidir. Dünya atmosferinin dışında Güneş ışınımının şiddeti, aşağı yukarı sabit ve 1.370 W/m^2 değerindedir; ancak yeryüzüne düşen ışınım $0-1.100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin Dünya'ya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiştir. Güneş enerjisi, çevresel olarak temiz bir birincil enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

3.1 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası Şekil 3.1'de verilmiştir.



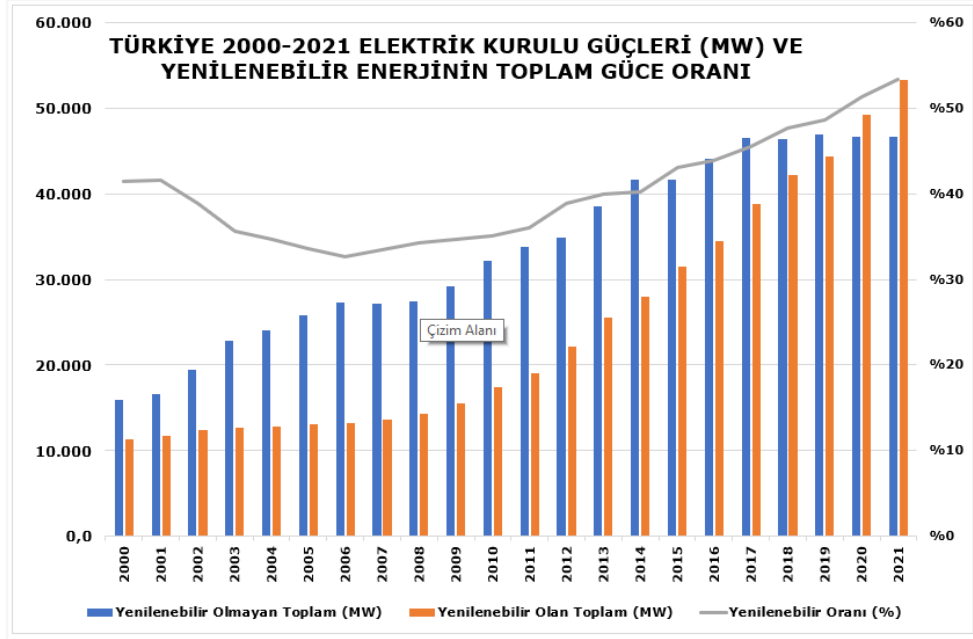
Şekil 3.1: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası

Türkiye'de 2000-2021 yılları arasında toplam kurulu güç, yenilenebilir olmayan (fosil vb.) ve yenilenebilir (hidrolik, güneş vb.) olan enerji üretim miktarları Tablo 3.1'de verilmiştir (IRENA, 2022).

Tablo 3.1: Türkiye 2000-2021 yılları Kurulu Güç Miktarları

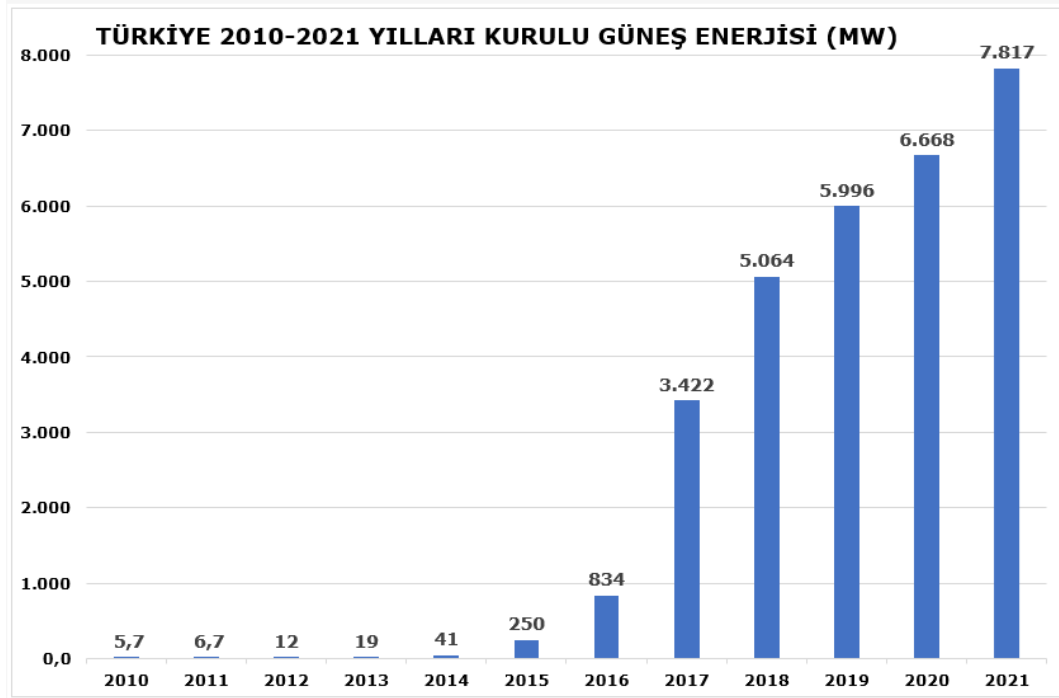
Yıl	Toplam Kurulu Güç (MW)	Yenilenebilir Olmayan		Yenilenebilir Olan									GES Kurulu Güç Oranı (%)	
		Fosil Yakıtlar	Diğer	Hidroelektrik	Rüzgâr Enerjisi	Güneş Enerjisi	Güneş Termal Enerjisi	Biyoenjerji	Katı biyoyakıtlar	Sıvı biyoyakıtlar	Biyogaz	Belediye Atıkları		Jeotermal Enerji
2000	27.264	15.957	19	11.175	19	0		76	72		4		18	0,00%
2001	28.332	16.527	19	11.673	19	0		76	72		4		18	0,00%
2002	31.847	19.468	19	12.241	19	1		81	72		9		18	0,00%
2003	35.588	22.874	19	12.579	19	1		81	72		9		15	0,00%
2004	36.826	24.045	19	12.645	19	2		81	72		9		15	0,00%
2005	38.845	25.793	27	12.906	21	2		81	72		9		15	0,01%
2006	40.568	27.307	27	13.063	59	3		86	72		14		23	0,01%
2007	40.838	27.156	27	13.395	146	3		88	72		16		23	0,01%
2008	41.822	27.466	27	13.829	364	4		102	69		33		30	0,01%
2009	44.766	29.210	27	14.553	792	5		102	47		55		77	0,01%
2010	49.530	32.134	27	15.831	1.320	6		118	47		71		94	0,01%
2011	52.918	33.805	27	17.137	1.729	7		99	10		89		114	0,01%
2012	57.071	34.857	28	19.609	2.261	12		142	10		132		162	0,02%
2013	64.027	38.412	64	22.289	2.760	19	1	172	10		162		311	0,03%
2014	69.521	41.503	78	23.643	3.630	41	1	221	10	7	204		405	0,06%
2015	73.148	41.533	99	25.868	4.503	250	1	271	12	7	252		624	0,34%
2016	78.498	43.913	139	26.681	5.751	834	1	359	55	7	297		821	1,06%
2017	85.201	46.285	170	27.273	6.516	3.422	1	472	83	12	377		1.064	4,02%
2018	88.552	46.090	231	28.291	7.005	5.064	1	587	129	19	438	1	1.283	5,72%
2019	91.268	46.492	387	28.503	7.591	5.996	1	784	214	19	548	2	1.515	6,57%
2020	95.892	46.302	391	30.984	8.832	6.668	1	1.101	314	19	762	6	1.613	6,95%
2021	99.821	46.186	402	31.493	10.607	7.817	1	1.641	605	19	1.000	17	1.676	7,83%

2000-2021 yılları arası kurulu güç ve yenilenebilir enerjinin toplam güce oran grafiği Şekil 3.2’de verilmiştir (IRENA, 2022).



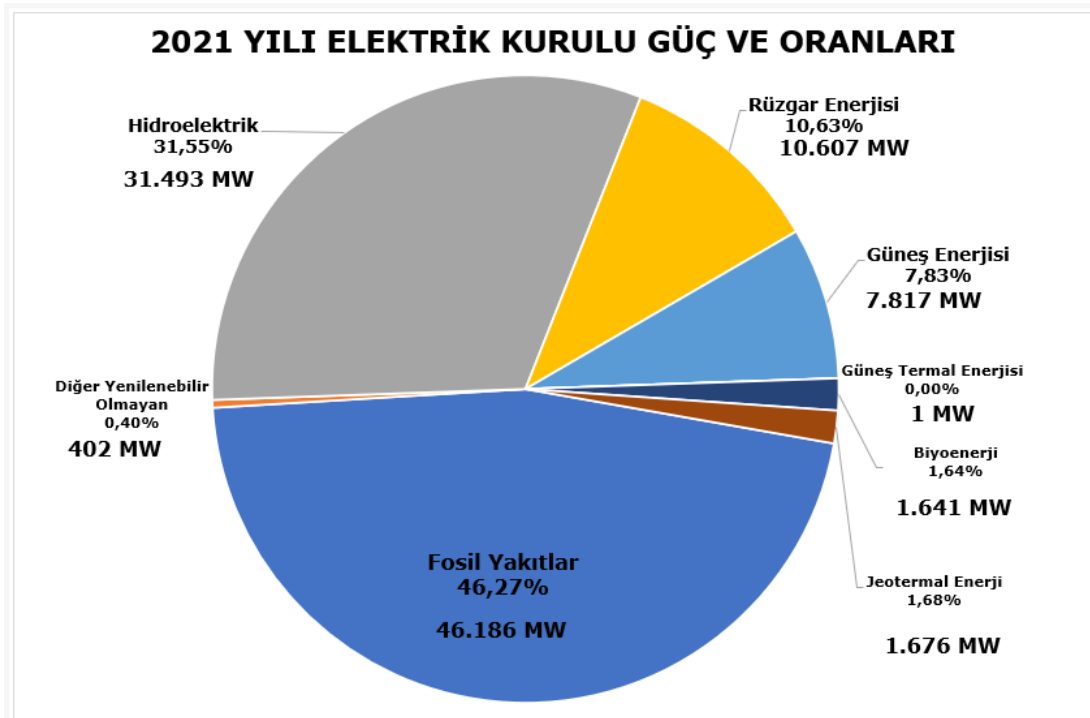
Şekil 3.2: Kurulu Güç ve Yenilenebilir Enerjinin Toplam Güce Oranı

Türkiye’de 2010-2021 yılları arası kurulu güneş enerjisi miktarları Şekil 3.3’te verilmiştir (IRENA, 2022).



Şekil 3.3: Türkiye 2010-2021 yılları arası kurulu güneş enerjisi miktarları

2021 yılı Türkiye elektrik kurulu güçleri ve üretim çeşitlerine göre oranları Şekil 3.4'te verilmiştir (IRENA, 2022).



Şekil 3.4: Türkiye 2021 yılı kurulu güçler ve oranları

3.2 Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi: Fotovoltaik (PV) Paneller

Fotovoltaik panel olarak bilinen PV paneller yarı iletken malzemelerden yapılmış olup, güneşin enerjisini yakalar ve elektrik enerjisine dönüştürür.

Fotovoltaik paneller tarafından üretilen elektrik her yerde kullanılabilir. En çok karşılaşılan PV sistemi, adından da anlaşılacağı gibi ulusal şebekeye bağlı olan şebekeye bağlı (on-grid) sistemdir. Bu sistem, güneş panelleri enerji üretmediği durumlarda şebekeden elektrik kullanılabileceği anlamına gelir.

Diğer PV sistemi, şebekeye bağlı olmayan (off-grid) bağımsız sistemdir. Bu durumda, güneş radyasyonu olmadığı zamanlarda elektriğe sahip olmak için sisteme batarya ekleyebilirsiniz. Bu sistem, diğer elektrik kaynakları için alternatif olmayan,

uzak bölgelerde gerçekten uygun olabilir. Bugün, binlerce insan PV panelleri yardımıyla evlerini ve işlerini güçlendiriyor.

3.3 Solar PV panellerin çalışma prensibi

Basitçe söylemek gerekirse, bir güneş paneli, fotonların veya ışık parçacıklarının atomlardan arındırılmış elektronları vurmasına ve bir elektrik akışı oluşturmaya izin vererek çalışır. Güneş panelleri aslında fotovoltaiik hücreler olarak adlandırılan birçok, daha küçük birimleri içermektedir. (Fotovoltaiik, güneş ışığını elektriğe dönüştürdükleri anlamına gelir.) Birbirine bağlı birçok fotovoltaiik hücre bir güneş paneli oluşturur.

Her fotovoltaiik hücre temelde iki dilim yarı iletken malzemeden, genellikle silikondan oluşan bir yapıdır.

Çalışmak için fotovoltaiik hücrelerin bir elektrik alanı kurması gerekir. Zıt kutuplar nedeniyle oluşan bir manyetik alan gibi, zıt yükler de ayrıldığında bir elektrik alanı oluşur. Bu alanı elde etmek için, üreticiler silikonu diğer malzemelerle kompozit oluşturacak şekilde birleştirerek sandviçin her dilimini pozitif veya negatif bir elektrik yükü verir.

Spesifik olarak, fosfor silikonun üst tabakasına yerleştirilir, bu da bu katmana negatif bir yük ile ekstra elektronlar ekler. Bu arada, alt tabaka daha az elektron veya pozitif bir yük ile sonuçlanan bir bor dozu alır. Bu, silikon tabakalar arasında bir elektrik alan oluşturur. Daha sonra, bir güneş ışığı fotonu bir elektronu serbest bıraktığında, elektrik alan bu elektronu silikon tabakadan dışarı itecektir.

Hücrenin diğer birkaç bileşeni bu elektronları kullanılabilir elektrik gücüne dönüştürür. Hücrenin kenarlarındaki metal iletken plakalar elektronları toplar ve tellere aktarır. Bu noktada, elektronlar bir elektrik kaynağı gibi akabilir.

Son zamanlarda, araştırmacılar sadece 1,3 mikron kalınlığında -bir insan saçının genişliği- ve bir ofis kağıdından 20 kat daha hafif olan ultra ince, esnek güneş pilleri üretti. Aslında, hücreler o kadar hafif ki, bir sabun köpüğü üzerinde durabilir ve buna rağmen yine de cam bazlı güneş pilleri kadar verimlilikle enerji üretebilirler.

Bunlar gibi daha hafif, daha esnek güneş pilleri mimari, havacılık teknolojisi veya hatta giyilebilir elektroniklere entegre edilebilir (Alpkunt, 2022)

Fotovoltaik güneş panellerinden farklı bir şekilde çalışan güneş enerjisi ve konsantre güneş enerjisi (CSP) dahil olmak üzere diğer birçok güneş enerjisi teknolojisi türleri vardır ve hepsi güneş ışığının gücünü elektrik oluşturmak, su veya havayı ısıtmak için kullanır. Şekil 3.5'te örnek bir PV panel verilmiştir.



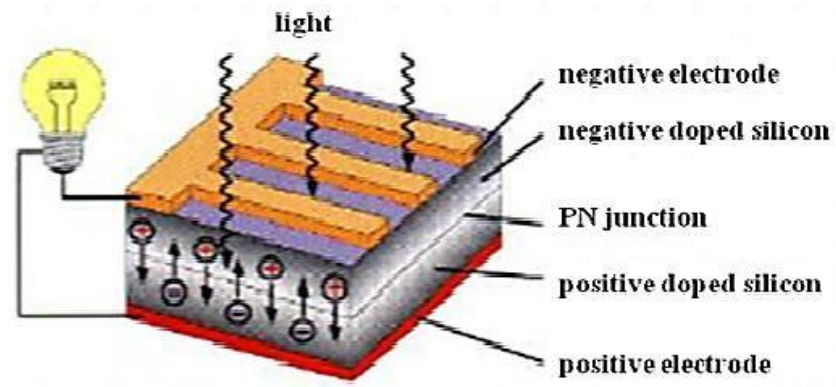
Şekil 3.5: 300 W Monokristal 60 hücreli PV Panel

3.3.1 Fotovoltaik Hücreler

Bir güneş paneli, elektrikle bağlanmış ve bir çerçeve içine yerleştirilmiş bir grup güneş hücresinden yapılır. Fotovoltaik hücreler, silikon gibi yarı iletken

malzemelerden yapılır ve fotovoltaik etkiyi kullanarak güneş ışığını elektriğe dönüştürür. Güneş ışığı, fotonlar adı verilen küçük enerji parçacıklarından oluşur. Bir saat içinde Dünya'ya çarpan güneş ışığı miktarı, bir yıllık enerji talebini karşılamak için yeterli olacaktır. Güneş hücreleri, bu fotonlar üzerlerine çarptığında negatif ve pozitif bir elektrik alanı oluşturur. Fotonlar hücrede emildiğinde, elektronlar serbest bırakılır ve hücrenin dibine doğru ve bir tel aracılığıyla yönlendirilir, böylece elektrik üretir.

Günümüzde üretilen güneş panelleri, aldıkları güneş ışığının yaklaşık %20'sini elektriğe dönüştürebilir. Ticari amaçlar için tasarlanmış bazı panellerde bu değer %40'a ulaşabilir, fakat diğer sistemlere göre daha maliyetlidir. Teknolojideki gelişmeler, fiyatları düşürürken verimliliği artırmaya kesinlikle yardımcı olmaktadır. Bir PV hücrenin yapısı ve çalışma prensibi Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6: PV Hücresinin Yapısı

3.3.2 Fotovoltaik Hücresinin Avantajları

Güneş enerjisi, tamamen yeşil ve önemli ölçüde karbon ayak izi azaltan bir enerji kaynağıdır. Yüksek ilk yatırım maliyetine rağmen, güneş panelleri, geri ödeme süresi kısa, özellikle binalarda ve sanayide elektrik enerjisi kullanım maliyetleri üzerinde büyük tasarruf sağlayan bir enerji dönüşüm sistemidir. Güneş panellerinin başlıca avantajları şunlardır:

- Hiçbir kirlilik oluşturmaz, gürültü üretmez ve yenilenemeyen enerji kaynaklarına çok iyi bir alternatif oluşturur.

- Garanti süresi en az 25 yıl olmasına rağmen, ortalama ömrü 30 ile 40 yıl arasındadır.
- Genelde bakım maliyeti yoktur. Sadece paneller kirlendiğinde temizlenmelidir.
- Yapılan yatırım, kendini yaklaşık 5-10 yıl içinde geri öder.
- Fazladan üretilen enerjiyi şebekeye verilerek maliyet düşürülebilir.

3.3.3 PV Sistem Bakımı

Güneş paneli temizliği oldukça basittir; sadece temiz tutulması ve gölgeleme etkisi sınırlarında olmaması gerekir. Toz veya kar bir sorun haline gelirse, ılık su ve bir fırça veya yüksek basınç hortumu ile temizlenmesi gerekir.

PV panellerin ömrü 35 yıl veya daha fazla sürmesi muhtemeldir ancak güneş paneli eviricisinin 10 ila 15 yıl sonra değiştirilmesi gerekir.

3.4 Solar PV Sistemlerin Bileşenleri

Fotovoltaik sistemler genellikle beş bileşenden oluşur: solar PV panel dizisi, şarj regülatörü, pil bankası, evirici, elektrik sayacı. Bu bileşenlerin teknik açıdan doğru montajı, PV sistemini verimini belirler.

Bununla birlikte, şarj regülatörü ve pil bankası isteğe bağlıdır. Bu iki bileşen üretilen enerjiyi depolamanıza yardımcı olsa da PV sistemin yatırım maliyetini artırabilirler.

3.4.1 PV Panel Dizisi

Birbirine seri halde bağlı güneş PV panelleri bir dizi oluşturur. Güneş PV dizisi güneş ışığından DC elektrik üretir.

Modüler fotovoltaik dizilerin esnekliği sayesinde, PV sistemleri kurulum yüzeyinin ne kadar büyük veya küçük olmasına bakılmaksızın birçok farklı tasarım ve çok çeşitli elektrik ihtiyacını karşılar.

PV sistemlerin, diziyi destekleyebilen ve en az 25 yıl boyunca rüzgâr, yağmur ve korozyon gibi hava koşullarına dayanabilen kararlı montaj yapılarına kurulması gerektiğini akılda tutmak önemlidir.

3.4.2 Şarj Regülatörü

Şarj regülatörü, pillerin aşırı şarj olmadığından emin olmak için DC'yi düzenler. Bir şarj regülatörü pillerin tamamen şarj olup olmadığını ölçebilir ve pillerin kalıcı hasar görmesini önlemek için akımı durdurabilir.

Şarj kontrolörleri iki tipe ayrılabilir: darbe genişlik modülasyonu (PWM) ve maksimum güç noktası izleme (MPPT). PWM tipi 4 ile 60 amper arasında değiştii için daha küçük PV sistemler ve pil bankaları için uygundur. Öte yandan, MPPT şarj kontrolörleri, 160 VDC'ye kadar PV sistemler için daha uygundur.

Her fotovoltaik sistemin güneş pili bankası olmadığından, sisteminize bir şarj regülatörü dahil etmek her zaman gerekli değildir. Başka bir deyişle, sistemde bir pil bankanız varsa şarj kontrol cihazına ihtiyacınız vardır.

3.4.3 Pil Bankası

Bir pil Bankası, PV dizisi tarafından üretilen ve hemen tüketilmeyen enerjiyi depoladığı için kullanılmayan enerjinizin hiçbirinin boşa gitmediğinden emin olur. Daha sonra, örneğin, yetersiz güneş ışığı olduğunda gece boyunca veya çok bulutlu havalarda elektrik sağlayabilir.

3.4.4 DC-AC Eviricisi

Bir güneş enerjisi eviricisi, güneş panelleri tarafından üretilen doğru akımı (DC) şebekeye güç vermek için kullanıma hazır alternatif akıma (AC) dönüştürür.

Çoğu evirici tipik olarak %93 ile %96 arasında bir dönüşüm verimliliğine sahiptir. Bununla birlikte, %97 ve %99 aralığında verimlilik derecelerine sahip bazı yeni modeller vardır. Yüksek verimli eviricilerin yatırım maliyeti de yüksek olacaktır.

Çoğu güneş enerjisi eviricileri yaklaşık 5 ila 10 yıllık bir ömre sahiptir. Optimum güneş PV evirici verimliliğini sağlamak için düzenli bakım gerektirirler. Yüksek kaliteli, bakımlı bir dize eviricinin ömrü 15 yıla kadar sürebilir, oysa düşük kaliteli, çok iyi bakımlı olmayan bir güneş enerjisi eviricinin ömrü 5 yıl civarında olacaktır.

3.4.5 Elektrik Sayacı

Üretim tarafında bulunan elektrik sayacı PV sistemine bağlanır ve sistemde ne kadar elektrik üretildiğini ölçer. Depolanmamış veya kullanılmayan PV panellerden üretilen enerji, elektrik şebekesine geri beslenebilecektir.

3.5 Solar PV Paneller İçin Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MPPT)

PV panellerinden elde edilecek enerjinin en verimli şekilde kullanılması ve depolanması için Maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT) tasarımları gerçekleştirilmiştir.

Günümüzde birçok MPPT denetim tekniği kullanılmaktadır. Bu teknikler “dolaylı denetim” ve “doğrudan denetim” olarak iki grupta ele alınabilir. Dolaylı denetim tekniğinde PV çıkışlarının gerçek gücü, sürekli olarak hesaplanmaz. Bu teknikte kontrol işlemi için gerekli olan denetim sinyali oluşturma işlemi, PV hücrelerinin karakteristik özelliklerine göre belirlenmektedir. Bu işlem PV hücrelerinin açık devre gerilimi, kısa devre akımı, ışınım şiddeti ve modül sıcaklığının okunması ile yapılır. Doğrudan denetim tekniği ile oluşturulan sistemler sürekli olarak PV çıkış gücünü okuyarak gerçek MPPT noktasına ulaşmayı sağlayacak dönüştürücü referans sinyalini oluşturur. Dolaylı denetim yöntemleri hızlı olmalarına karşın PV panellere bağımlıdır ve gerçek MPPT denetimi yapamazlar. Doğrudan yöntemler ise dolaylı denetim tekniğe göre daha yavaştır ancak PV panellerden bağımsızdır.

Bu sebeple doğrudan denetim tekniği gerçek maksimum güç noktasında çalışmak için en uygun tekniktir. MPPT ve gerilimin uygun seviyelere getirilmesi için kullanılan güç dönüştürücüleri, zorlamalı anahtarlama ve akım ile gerilimdeki ani değişimler nedeniyle elektromanyetik girişim (EMI) ve radyo frekanslı girişim (RFI) oluşumuna neden olurlar. Bu durumu önlemek amacıyla birçok EMI azaltma yöntemleri geliştirilmiştir. Gürültü yalıtım ve bastırma yöntemleri ile yumuşak anahtarlama tekniklerinin kullanılması bunlardan bir kaçıdır.

3.5.1 MPPT'nin Çalışma Prensibi

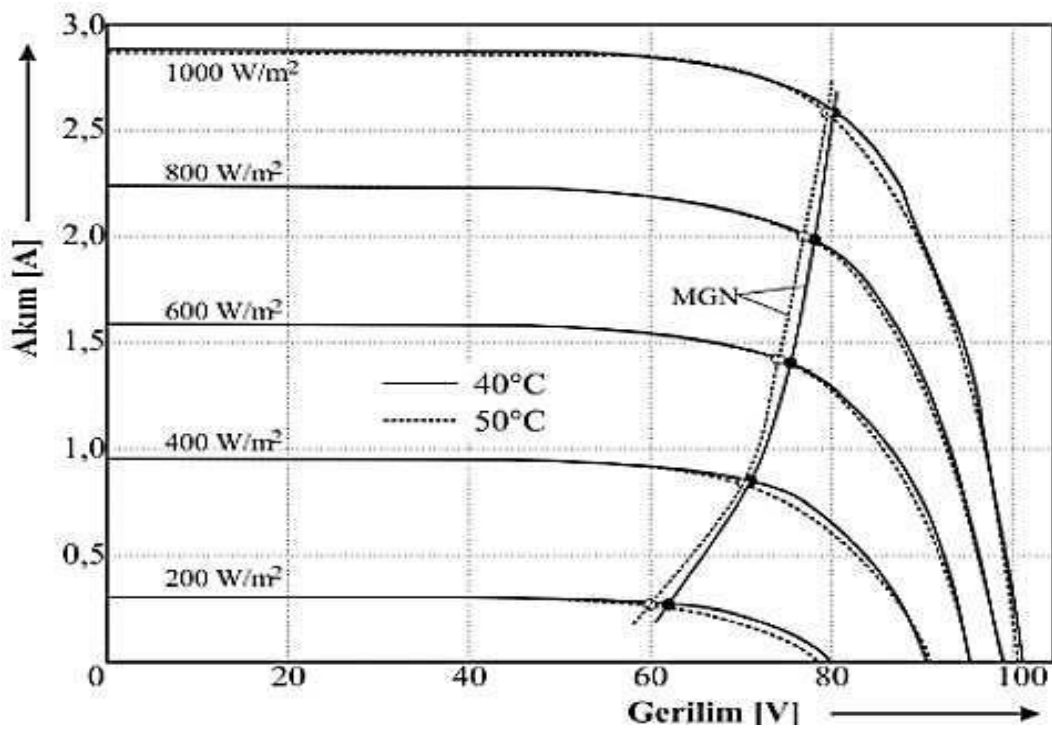
MPPT'ler, enerjinin elde edildiği fotovoltaik piller ile enerji depo birimi arasında yerleştirilen DC-DC dönüştürücülerdir. Fakat bu dönüşüm tek bir aşamada meydana gelen bir olay değildir. Önce fotovoltaik hücrelerden alınan DC gerilim AC'ye çevrilir. Ondan sonra o anki sistem güç ihtiyacına göre farklı gerilim ve akım değerleri tekrar DC'ye dönüştürülür. Buradaki temel amaç fotovoltaik pilden, yüke (sisteme) maksimum gücün iletilmesini sağlamaktır. Farklı MPPT cihazları Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Farklı MPPT Cihazları

3.5.2 Maksimum Güç Noktası Değişimi

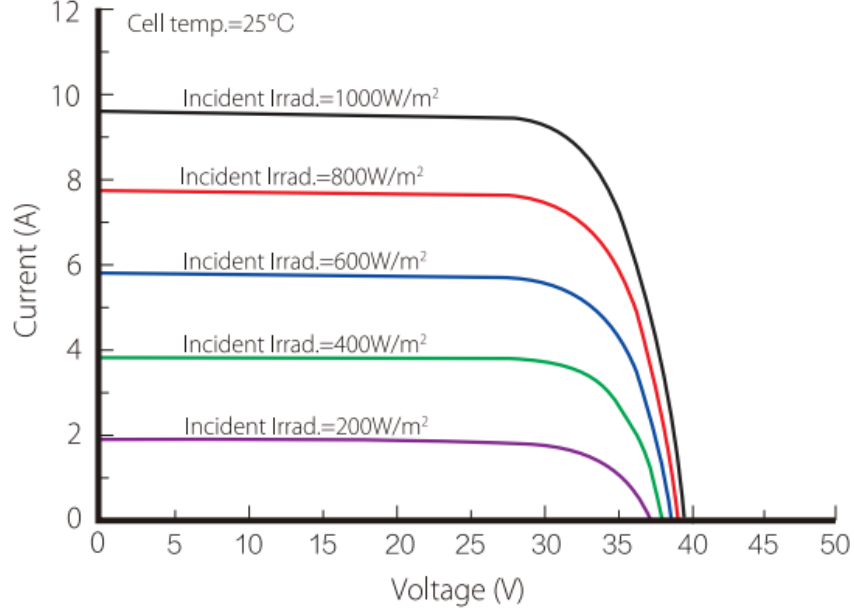
Fotovoltaik panellerin maksimum verimle ve maksimum çıkış gücü sağlayarak çalıştığı maksimum güç noktası, güneş ışınlarının panel yüzeyine yaptığı açığa ve panel sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla yükün çalışma noktası her zaman maksimum güç noktası fotovoltaik sistemin maksimum güç noktası değildir. Beslenen yüke talep ettiği gücü sürekli olarak sağlayabilmek amacıyla PV sistemler gerektiğinden daha fazla modül içerecek şekilde tasarlanırlar. Bu durumda sistem maliyeti oldukça yükselir, ayrıca önemli miktarda enerji kaybı yaşanır. Bu problemin çözümü için maksimum güç noktası izleyicisi (MGNI) olarak adlandırılan anahtarlamalı güç konvertörü kullanılabilir. Böylece fotovoltaik panellerin maksimum güç noktasında sürekli çalışması sağlanabilir. MGNI fotovoltaik panelin gerilim ve akımını yükten bağımsız olarak kontrol ederek bu işlemi gerçekleştirmektedir. Doğru tasarlanmış bir MGNI algoritması ve modelleme hesaplamaları ile maksimum güç noktasının yeri ne paneller tarafından izlenmesi gerçekleştirilebilir. Maksimum güç noktası, güneş ışınımı miktarı ve az da olsa sıcaklıkla değişmektedir. Bu değişim Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8: Maksimum Güç Noktasının Değişimi

3.5.3 PV Sistemi ve MPPT Algoritmaları

Güneş panelleri fotovoltaik (PV) sistemde temel enerji dönüşüm elemanıdır. PV sistemin enerji verimliliği, güneş ışığını alma seviyesi, paneli oluşturan hücrelerin gövde sıcaklığı ve yüklenme durumu gibi faktörlere bağlıdır.



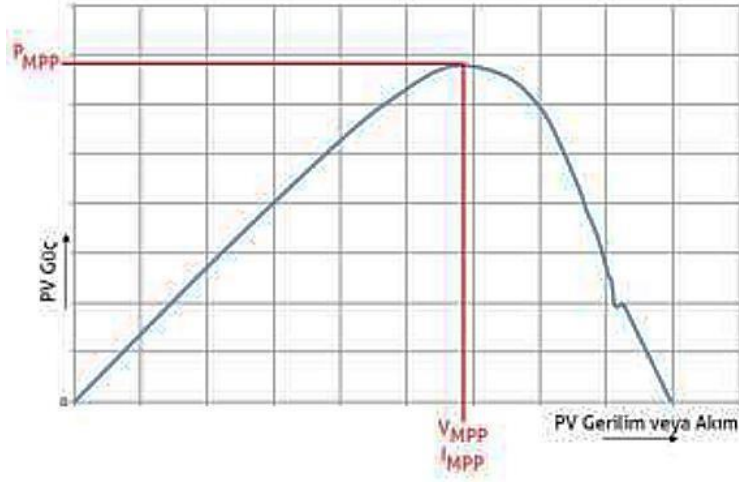
Şekil 3.9: Panel I-V Karakteristiği

Şekil 3.9'da PV panel I-V karakteristiği görülmektedir. Güneş ışığı şiddeti Watt/m^2 olarak ifade edilmektedir. Karakteristik üzerindeki önemli noktalar; birinci nokta kısa devre akımı I_{sc} ve ikinci nokta açık devre gerilimi V_{oc} 'dir. Bu iki noktada PV panel gücü sıfırdır. Sistemin maksimum güç noktası, I-V karakteristik eğrisinde eğimin sıfır olduğu noktadır. Bu noktadaki akım ve gerilim değerleri maksimum güç değerini oluşturmaktadır.

3.5.4 Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT) Algoritmaları

Maksimum güç noktası izleme (MPPT) tekniği, fiziksel hareket sağlayan donanım veya mekanik yapı olmayıp, PV sistemin gerilim ve akım değerlerini izleyen ve bir algoritma yapısı ile çıkış gerilimini kontrol eden elektronik bir donanımdır. Günümüzde yarı iletken üreticileri elektronik donanımsal MPPT kontrolü sağlayan dijital ve analog yapıdan oluşan tüm devre yapılar üretmeye başlamıştır. Şekil 3.10'da gösterilen PV karakteristik eğrisi eğiminin sıfır olduğu $dP/dV=0$ veya $dP/PI=0$ noktaları maksimum güç noktası (MPP) olarak tanımlanır. Maksimum güç noktasının

güç, gerilim veya akım eksenlerine iz düşümleri, P_{MPP} , V_{MPP} ve I_{MPP} değerlerini ifade eder.



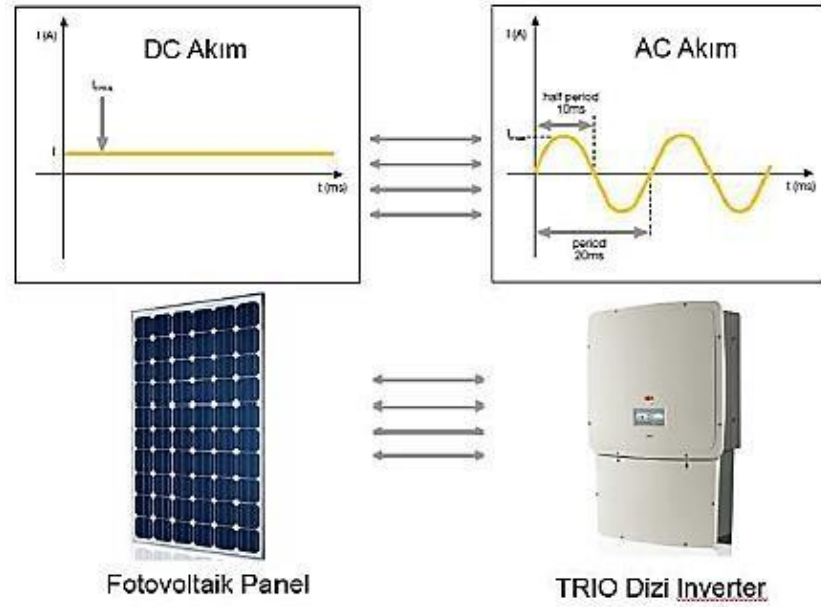
Şekil 3.10: Maksimum Güç Noktası (MPP)

3.6 PV Güneş Enerjisi Sistemlerinde Kullanılan Eviriciler

Fotovoltaik enerji üretim sistemlerinin temel çalışma prensibi; güneşten gelen enerjinin paneller ile DC akıma ardından evirici ile AC akıma yani evlerimizde ya da sanayide kullandığımız elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. PV sistem için seçilecek olan eviriciler şebeke parametrelerini baz alarak panellerde üretilen enerjiyi yüksek verimde çevrimini gerçekleştirip uzun süreler çalışmaya uygun olmalıdır. Unutulmamalıdır ki Enerji= Güç x Zaman'dır ve kurulu güç sorunsuz bir şekilde uzun süre aktif çalışmalıdır ki ihtiyacımız olan enerji üretilebilsin. Eviricinin sahip olduğu MPPT özelliği ile panelin değişken voltaj – akım çarpımı sürekli maksimum düzeyde tutarak, güç çıkışını maksimize edecektir. Bu noktada PV sistemler için uygun evirici seçimi oldukça önem kazanmaktadır. Şekil 3.11'de fotovoltaik panelde üretilen doğru akım formunun evirici ile alternatif akım formuna dönüşümü gösterilmiştir.

Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan evirici çeşitlerini şebeke bağlantılı ve şebekeden ayrık olarak ikiye ayırabiliriz. Şebeke bağlantılı eviriciler şebekenin voltaj seviyesi ve frekansına göre enerji beslemesini enterkonnekte sisteme vermektedirler. Buna karşın şebekeden ayrık eviriciler akü grupları ile tüketici arasında güç çevirimini gerçekleştirmektedir.

Şebeke bağlantılı eviriciler uygulama alanlarına göre dizi ve merkezi olarak sınıflandırılabilirler. Evirici seçiminde birçok parametre değerlendirilmek durumundadır ve bu nedenle genelde paket programlar kullanılmaktadır.



Şekil 3.11: PV Panel ile DC-AC Çevirimi

Tablo 3.2’de verilen evirici güç aralığı ve AC gerilim değerleri çok özet olup sistem gereksinimlerine uygun farklı güçlerde birçok evirici üretilmektedir.

Tablo 3.2: Evirici Güçleri

	Evsel Eviriciler	Dizi Eviriciler	Merkezi Eviriciler
Güç Aralığı	1,5-10 kW	12-110 kW	1-4 MW
AC Gerilim	230-400 V	230-400 V	400-690 V

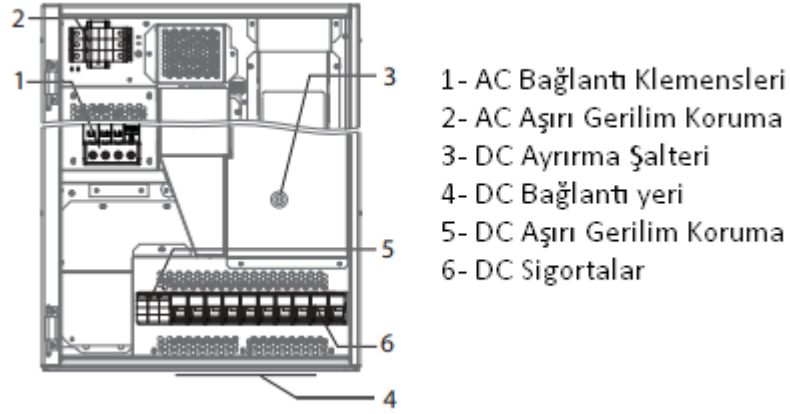
3.6.1 Evsel Eviriciler

Panellerin seri olarak bağlandığı 1,5-10 kW güç aralığındaki dizi eviricilerdir. 1,5-5 kW aralığında AC gerilim değeri 230 V, 5-10 kW aralığında AC gerilim değeri 400 V’tur.

3.6.2 Dizi Eviriciler

DC giriş gerilimlerinin müsaade ettiği voltaj değerine kadar panellerin seri bağlandığı ve her bir PV dizinin doğrudan eviriciye bağlantısı ile oluşturulan sistemlerin eviricisidir.

Şekil 3.12’de dizi sigorta, parafudur ve şalter korumaları ile oluşturulmuş paket evirici ve bağlantı kutusu çözümlerine dair 50 kW AC güç değerine sahip evirici gösterilmektedir.



Şekil 3.12: 50 kW AC Güç Evirici

3.6.3 Merkezi Eviriciler

Merkezi evirici teknolojisi diğer evirici tiplerinden farklı olarak, panellerin evirici öncesinde DC korumanın yapıldığı bağlantı kutularında birleştirildikten sonra eviriciye bağlantının yapıldığı sistemlerdir. Merkezi eviriciler diğer evirici tiplerine göre daha büyük panel grupları tek merkezden yönetmektedir. Şekil 3.13’te 4 MW gücünde merkezi evirici gösterilmiştir. Genel olarak merkezi eviricilerin alçak gerilim voltaj değerleri normal dağıtım trafolarının 400 V değerlerinden farklı olup 300V, 350V, 400V ve 690 V olacak şekilde üretilmektedirler. Merkezi evirici çıkışından sonra merkezi eviricinin alçak gerilim voltaj seviyesine göre üretilmiş trafodan geçerek orta gerilim şebekesine 31,5 kV – 34,5 kV seviyesinden bağlantısı yapılır.



Şekil 3.13: 4 MW AC Güç Merkezi Evirici

3.7 Evirici Seçim Kriterleri

Ülkemizde, lisanssız sistemler için çatılarda tesisin sözleşme gücüne kadar ve lisanslı sistemlerin verilen lisans izni kapsamında daha büyük kurulumlara izin verilmektedir.

3.7.1 Sistemin gücü

Tüketiciler veya kurulumcu firmalar verilen yasal izinler ve kurulum alanının durumuna göre sistemin boyutlarını belirlemektedir. Örneğin evsel bir kurulumda 2-3 kW'lık bir sistem enerji ihtiyaçları için yeterli olmakta ve çoğunlukla kurulum yapılacak alanın yüzey alanı buna müsaade etmektedir. Buna karşın fabrika çatıları MW seviyesine kadar kurulum alana sahip olmaktadır. Bu kapsamda küçük sistemlerde dizi evirici kullanımı, MW boyutundaki ticari ve santral uygulamalarında dizi evirici kullanımı ve büyük santral uygulamalarında merkezi evirici kullanımı uygun düşmektedir.

3.7.2 Kurulum yüzeyinin durumu

Fotovoltaik sistemler çatı ve açık arazide kurulumları yapılabilen, kurulu güç talebine göre yeterli alan var ise ölçeklendirilerek güç artışı sağlanabilen sistemlerdir. Kurulumlarda dikkat edilmesi gereken en önemli nokta fotovoltaik paneller üzerinde gölge gelmeyecek bir tasarım ile başlamaktır. Paneller üzerine düşen en ufak bir gölge faktörünün sistemin genel performansını etkilemesi ve 25 yıllık çalışma periyodunda büyük enerji kayıplarına sebep olacağı bilinmelidir. Özellikle çatı uygulamalarında gölgeye sebep olan faktörlere dikkat edilmesi gerekmektedir.

PV panel üstünde gölge yaratacak çanak anten, paratoner ve benzeri etkilerden kaçınılmalıdır. Gölge yaratacak etkenlerin çok olduğu bir yüzeyde çalışılıyor ise daha küçük güçlü ve/veya MPPT sayısı fazla olan eviriciler seçilmesi gerekir. Kuzey yarım kürede PV panellerin güneye bakacak şekilde kurulum yapılması daha yüksek enerji üretimi sağlamaktadır. Kurulum yüzeyinde farklı oryantasyonda ve farklı açıda kurulum yapılması zorunluluğu var ise farklı evirici veya aynı eviricinin farklı MPPT devrelerini kullanmak oluşabilecek enerji kayıplarını minimize edecektir.

3.7.3 Kurulum bölgesi koşulları

Hava koşullarının günlük, aylık ve mevsimsel olarak değişmesinden dolayı, kurulacak olan sistemin tüm yıl boyunca yüksek performanslı çalışması için tasarım yapılması gerekmektedir. Değişen hava koşullarında fotovoltaik sistemi ilgilendiren kısım ışınım ve sıcaklık değişimleridir. Ülkenin kuzey bölgelerini yıllık sıcaklık değerleri ile güney bölgelerinin bir olmaması nedeni ile sistemde kullanılacak seri bağlı panel adedi değişim gösterecektir. Panellerin voltajı dış ortam sıcaklığının artması ile düşmekte ve dış ortamın soğuması ile panel voltajları yükselmektedir.

Bu durumda seçilecek olan eviricinin hangi MPPT voltaj aralığında olduğuna dikkat edilmelidir. Özellikle dar MPPT voltaj aralığına sahip eviriciler sezonluk sıcaklık farklarının yüksek olduğu bölgelerde dikkatli tasarlanması gerekmektedir.

3.8 Üretim Kayıpları

Fotovoltaik sistemde oluşabilecek başlıca kayıplar aşağıda verilmiştir.

3.8.1 Açık Yansımaya Faktörü

Panel yüzeyine gelen her radyasyon hücreler tarafından absorbe edilemez. Gelen radyasyonun çoğu panelin içinde emilirken, bir kısmı yansıtılır. Bu nedenle yansıyan ışının panel montaj açısına göre meydana gelen küresel ışınım üzerindeki kayıplarını gösterir. Bu kayıplar aynı zamanda optik kayıpları da temsil eder.

3.8.2 Panel Kirlilik Kaybı

Santralin yerleşimine göre farklılık gösterebilecek bir kaybı ifade etmektedir. Paneller üzerinde oluşan tozlanma/karlanma sebebi ile panellerin üretemeyeceği enerjiyi göstermektedir.

3.8.3 Işınımaya Bağlı PV Kayıplar

PV paneller üzerine gelen yetersiz ışınım ve gölgelenme sebebi ile oluşan kayıpları göstermektedir.

3.8.4 Sıcaklığa Bağlı PV Kayıplar

PV paneller aracılığı ile üretilen gerilim, sıcaklık ile ters orantılıdır. Yani aynı ışınım miktarında, aynı PV panellerden oluşan dizilerden soğuk ortamda bulunan daha fazla gerilim üretir. Eviricilerin çalışmaya başlama gerilimi birbirlerine göre farklılık gösterdiğinden, sistemin sabah devreye girme zamanları da buna bağlı olarak farklılık göstermektedir.

3.8.5 Zamana Bağlı Panel Verim Kaybı

PV panellerin çalışma süresi içinde veriminde gerçekleşen kayıpları ifade etmektedir.

3.8.6 Dizi Uyumsuzluk Kaybı

Her ne kadar aynı özellikte panellerden tesis edilse bile; PV dizilerde tüm güneş panellerinin aynı akım ve gerilim değerinde olmayabilir. Dizinin akım değerini dizi üzerinde seri bağlı bulunan en düşük akım değerine sahip PV panel belirler. Böyle bir durumda söz konusu akım değerinden daha fazla bir akım değerine sahip olan panellerde potansiyel bir üretim kaybı meydana gelecektir.

3.8.7 DC Kablo Kaybı

Paneller ile eviriciler arasında kullanılan DC kablolara ait kayıplardır. Bu değer kablunun uzunluk, kesit ve iletken türüne göre farklılık göstermektedir.

3.8.8 Evirici İşletme Kayıpları

Her cihaz için olduğu gibi eviriciler de belirli bir verime sahiptir. Bu kayıplar evirici verimi sebebi ile üretilmeyecek elektrik enerjisini göstermektedir.

Eviriciler AC çıkış kapasitelerinin üzerinde bir değerde DC güç kapasitesi ile yüklendiğinde, belli zaman aralıklarında üretilebilecek enerjinin kayba dönüşmesi söz konusu olabilir. Bu değer böyle zamanlarda gerçekleşecek olan kayıpları göstermektedir. Bu değer sistem tasarımına göre değişiklik gösterebilir.

Eviricinin teknik özellikleri dahilinde, güç eşik değerinin altında veya üstünde kalınması durumunda oluşacak kaybı simgelemektedir.

Sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösteren dizi gerilimleri belli zamanlarda nominal değerinin altında ya da üzerinde olabilir. Bu zamanlarda meydana gelecek enerji kaybı bu şekilde belirtilmektedir.

3.8.9 AC Kablolama ve Çıkış Trafo Kayıpları

Evirici çıkışında üretilen elektrik enerjisinin taşındığı AC kablolardan dolayı oluşacak ve trafo iç tüketimi kayıp miktarını ifade etmektedir. Tesiste kullanılan kablo kesiti, uzunluğu ve kablo iletkeninin türüne göre değişiklik göstermektedir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez kapsamında 2018 Kasım ayında tamamlanan İzmir ili Tire ilçesi Çayırılı Mahallesi 103 Ada 2 ve 3 nolu parseller üzerine kurulmuş olan 1.188 kWp/993,6 kWe kapasiteli SYA ve PRONEN güneş enerji santralleri incelenmiştir. Tesis, 2011 yılında yayınlanan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik kapsamında yapılmıştır.

Arazinin mevcut konum ve özelliklerine göre tasarlanan PV Güç Sisteminde Energy Gap firmasının 60 adet mono kristal hücreden oluşan 300 Wp panel ve Siemens Kaco firmasının 50 kWe tek MPPT dizi evirici teknolojisi tercih edilmiştir.

Veri kaydedici olarak MeteoControl Firmasının blue'Log XM model cihazı kullanılmıştır.

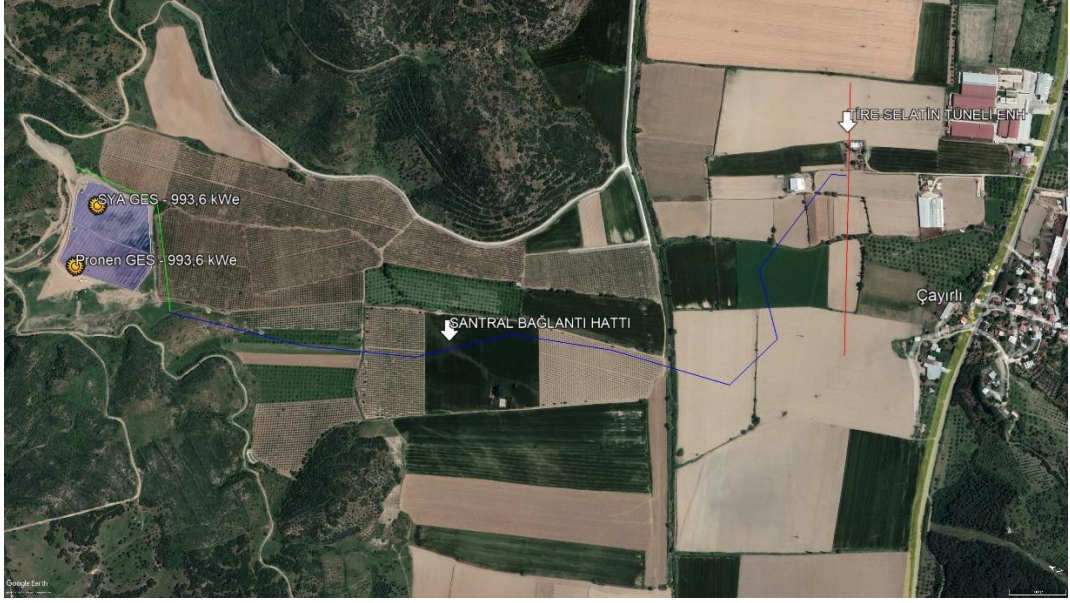
Bu tez çalışmasında santralin meteorolojik bilgilerinin alınması için Seven Sensor firmasının mobil meteoroloji istasyonu, ışınım, ortam sıcaklık, panel sıcaklık, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü sensörleri kullanılmıştır.

4.1 Arazinin Özellikleri

PV sistemin kurulum alanı; Tire şehir merkezine yaklaşık 10 km uzaklıkta olup, söz konusu alana dört mevsim ulaşım mevcuttur.

Tire bölgesinde yazlar sıcak, kurak ve açık ve kışlar uzun, soğuk, yağışlı ve parçalı bulutlu. Yıl içerisinde sıcaklık normalde 2°C ila 36°C arasında değişiklik gösterir ve nadiren -2°C altında ve 39°C üzerinde olur. En çok yağmur yağışı Aralık ayında olmaktadır.

Mevcut alan 38°05'20.87" Kuzey enleminde ve 27°38'43.19" Doğu boylamında yer almaktadır. Santral alanının uydu görüntüsü Şekil 4.1'de verilmiştir. Santraller ile Tire-Selatin Tüneli ENH arasında OG bağlantı hattı vardır.



Şekil 4.1: Santral Alanı Uydu Görüntüsü

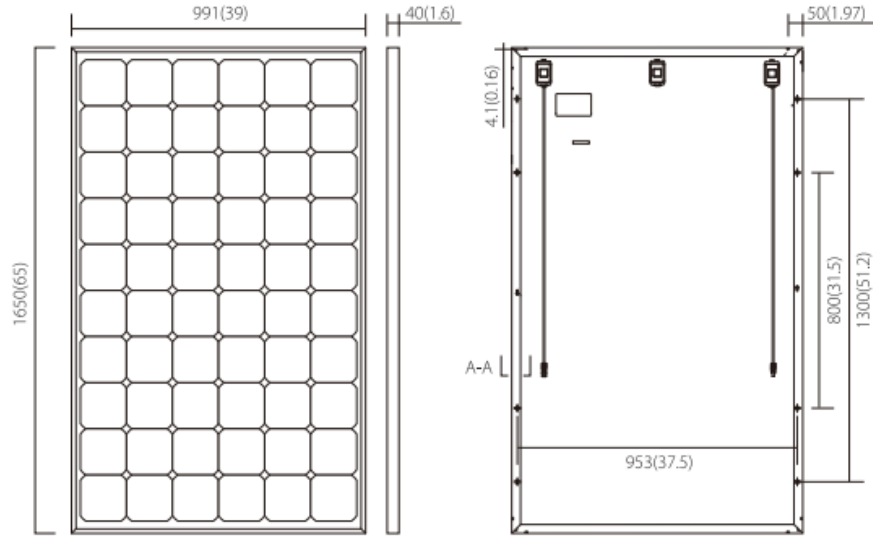
İzmir ili yüksek tehlike deprem kuşağına girmektedir (Deprem Dairesi Başkanlığı AFAD, 2018).

4.2 Fotovoltaik Sistem Tasarımı

Bu bölümde kurulumu gerçekleştirilen PV enerji santralinde kullanılan paneller ve eviricilerin teknik özellikleri incelenmiştir.

4.2.1 Fotovoltaik Paneller

İncelenen PV sistemde pik gücü 300 Wp olan mono kristal hücre teknolojisine dayalı PV panel kullanılmıştır. Panelin boyutları Şekil 4.2’de ve elektriksel değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir.



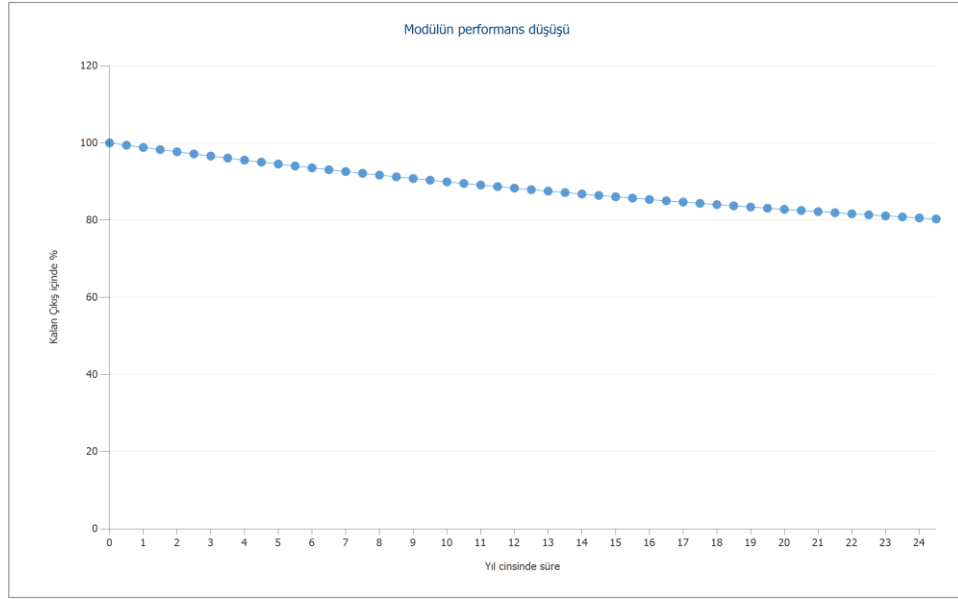
Şekil 4.2: Güneş Panelinin boyut bilgisi

Tablo 4.1: Santralde kullanılan fotovoltaik panele ait elektriksel özellikleri

Modül Tipi	EGM-60-300/L	
Boyutlar (YxGxD) (mm)	1650×991×40	
Test Koşulları	STC	NOCT
Güç Çıkışı- Pmax (W)	300	220,5
Açık Devre Gerilimi- Voc (V)	40,1	37,1
Kısa Devre Akımı- Isc (A)	9,81	7,91
Mak. Güç Noktasındaki Gerilim- Vmp (V)	32,8	30,1
Mak. Güç Noktasındaki Akım- Imp (A)	9,15	7,32
Verimlilik (%)	18,36	/
Sıcaklık Katsayısı- Isc (%/°C)	+0,059	
Sıcaklık Katsayısı- Voc (%/°C)	-0,300	
Sıcaklık Katsayısı- Pmax (%/°C)	-0,390	

STC (Standart Test Koşulu) Işınım 1000 W/m², Hücre Sıcaklığı 25°C, Hava Kütlesi 1,5
 NOCT (Nominal Çalışma Hücresi Sıcaklığı) Işınım 800 W/m², Ortam Sıcaklığı 20°C,
 Rüzgâr Hızı 1 m/s, Hava Kütlesi 1,5

Santralde kullanılan panellerin performans düşüşü Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3: Yıllara göre Panel Verim Kaybı

4.2.2 Eviriciler

PV sistemde dizi tipi 50 kW gücünde sahip eviriciler kullanılmıştır. Kullanılan dizi eviriciye ait elektriksel değerler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Santralde kullanılan dizi eviriciye ait elektriksel veriler

Önerilen Giriş Gücü Aralığı	50 - 70 kW
Giriş Gerilim Aralığı	580-1050 V
Anma/Başlama Gerilimi	600 / 670 V
Maksimum Giriş Akımı	90 A
Maksimum Çıkış Akımı	72,4 A @ 400 V
Maksimum Çıkış Gücü	51.600 W
MPP regülatörü sayısı	1 Adet
Anma Gücü	50.000 VA
Şebeke Gerilimi	230/400 V
Nominal Frekans	50/60 Hz
Gürültü Emisyonu	61 dB
Çevre Sıcaklığı Aralığı	-20 ... +60°C, (+50'tan itibaren güç azalması)
Maksimum kurulum yüksekliği	3000 m (2000'den itibaren güç azalması)
Toplam Harmonik Bozulma THD	< % 1,6

4.3 Veri Kaydedici (Datalogger)

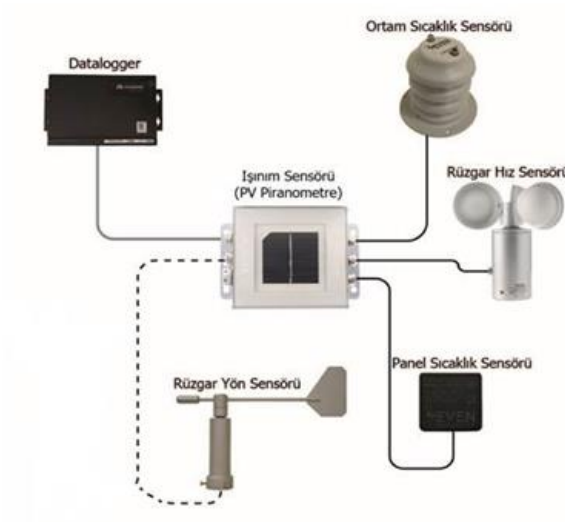
Santralde MeteoControl firmasının blue'Log XM modeli veri kaydedici cihazı bulunmaktadır. 100 adet cihaza kadar bağlantı yapılabilmektedir. RS 485 portu üzerinden mobil meteoroloji istasyonu bağlanmıştır. İstasyonda bulunan ışınım, ortam sıcaklık, panel sıcaklık, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü sensörlerinden alınan veriler dakika ölçeğinde kaydedilmiştir. Cihaz Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Veri Kaydedici

4.4 Taşınabilir Meteoroloji İstasyonu

Mobil meteoroloji istasyonu (Seven Sensor firmasının sensörleri ile) genel yerleşimi Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5: Meteoroloji İstasyonu Genel Yerleşimi

Bu istasyon, santrale Şekil 4.6'daki gibi tesis edilmiştir.



Şekil 4.6: Santrale Tesis Edilen Meteoroloji İstasyonu

Bir arazide, güneş enerjisi santrali yapılmadan önce o alandaki güneş radyasyon yoğunluğunun bilinmesi çok önemlidir. Güneş radyasyon bilgisi, tasarım ve onarım masraflarını minimuma indirmek amacıyla olabildiğince doğru ve kapsamlı olmalıdır. Araştırmacılara göre, solar bilgilerdeki %20'lik bir hata payı, solar enerjiyi elektrik enerjisine çeviren sistemlerin uygulamalarında %4 ile %20 arasında bir değişime sebep olur.

4.4.1 Işınım Sensörü- Piranometre



Şekil 4.7: Işınım Sensörü- Piranometre

Şekil 4.7’de örneği gösterilen ışınım sensörleri; güneşten gelen ışınımı W/m^2 cinsinden ölçmek için kullanılan sensörlerdir. Referans hücrenin kısa devre akımı ölçülerek aynı zamanda ışınım da ölçülmektedir. Referans hücrelerde düz cam kullanıldığı için ışığın cam yüzeyindeki yansıması her farklı açı değeri için değişkenlik göstermektedir.

Silikon ışınım sensörü, uygun maliyetli olmasının yanında sağlam özellikle güneş ışınımının ölçümü konusunda en güvenilir çözümdür. Bir PV modülüne karşılık gelen sensör elemanının yapısına bağlı olarak, PV sistemlerinin izlenmesi için referans olarak idealdirler. Özellikle PV modüllerine benzetilebilir spektral yanıt ve benzer eğim hatası (olay açısı değiştirici), verileri kullanılarak PV enerji performansının kesin bir analizine izin verir.

Işınım Sensörü; cam ve tedlar arasındaki referans hücre, alüminyum veya plastik kutu ile kullanılan emniyetli ve sağlam bir sensördür. Sensör $0-1600 W/m^2$ aralığındaki güneş ışınımını ölçmek için kullanılır.

Referans hücre, cam ve Tedlar arasında Etilen-Vinil-Asetat (EVA) içine yerleştirilmiştir. Kutunun üst kapağına kolay entegrasyonu, ölçüm kablosunun bağlantısı için kablo rakorlu ve vidasız terminalli UV ışınlarına dayanımlı malzemeden yapılmış olumsuz hava koşullarına dayanıklı bağlantı kutusu ile sensör yapısı standart bir PV panelin yapısına benzetilebilir. Elektrik bağlantısı 3 metrelik bir kablo ile gerçekleştirilir.

4.4.2 Ortam Sıcaklık Sensörü



Şekil 4.8: Ortam Sıcaklık Sensörü

Şekil 4.8’de örneği gösterilen ortam sıcaklık sensörü içinde DS18B20 dijital sıcaklık probu bulunur. -55 °C ile +125 °C arasında $\pm 0,5$ °C hata payı ile ölçüm yapar. Koruma sınıfı IP68 olup, 2 pinli konektör ile ışınım sensör kutusuna bağlanır.

4.4.3 Panel Sıcaklık Sensörü



Şekil 4.9: Panel Sıcaklık Sensörü

Şekil 4.9’da örneği gösterilen panel sıcaklık sensörü içinde DS18B20 dijital sıcaklık probu bulunur. -55 °C ile +125 °C arasında $\pm 0,5$ °C hata payı ile ölçüm yapar. Koruma sınıfı IP67 olup, 3 pinli konektör ile ışınım sensör kutusuna bağlanır.

4.4.4 Rüzgâr Hızı Sensörü- Anemometre



Şekil 4.10: Rüzgâr hızı Sensörü- Anemometre

Şekil 4.10'da örneği gösterilen rüzgâr hızı sensörü, rüzgâr hızını elektriksel sinyale dönüştürerek hızını ölçer. Rüzgâr hızı sensörünün datalogger ile bağlantısı Seven ışınım sensörü ile sağlanır. Rüzgâr hız sensörü 3 m ve 5 pinli konnektörlü kablo ile verilir. Rüzgâr hız sensörleri yatay rüzgâr hızının yönden bağımsız ölçülmesi için tasarlanmıştır. Rüzgâr hız sensörlerinde ölçüm yapan elektronik eleman, rüzgâr çanaklarına bağlı döner mıknatısın tahrik ettiği reed röledir. Ölçüm değeri, rüzgâr hızıyla orantılı olan kare dalga şeklinde frekans olarak verilir. Alınan kare dalga sinyali ile rüzgâr hızı hesaplanır. Belirsizlik ve tepki süresi açısından fotovoltaiik sistemlerin izlenmesine uygundur. IEC 61724-1 Photovoltaic System Performance standardının tüm şartlarını sağlamaktadır.

4.4.5 Rüzgâr Yönü Sensörü



Şekil 4.11: Rüzgâr Yönü Sensörü

Şekil 4.11'de örneği gösterilen rüzgâr yönü sensörü, yatay rüzgâr yönünü ölçmek için kullanılan profesyonel bir meteorolojik araçtır. Analog çıkış sinyali ile küçük ve ekonomik sensördür. Evrensel uygulamalarda ve GES projelerinde rüzgâr yönünü ölçmek için kullanılır. UV dayanımlı plastik bir malzemedен imal edilmiştir. Rüzgâr yönü sensörü, 0 ° ile 359 ° arasında \pm %3 hata payı ile ölçüm yapar. Koruma sınıfı IP65 olup, 4 pinli konnektör ile ışınım sensör kutusuna bağlanır.

4.5 Sistem Performans Oranı

PV tesislerde sistem performans oranı (PR), birim güneş radyasyonu miktarı için üretilen elektrik enerjisine göre belirlenir. Sistem performans oranı yüzde olarak hesaplanan bir değerdir. Yıllık olarak sisteme girmesi muhtemel güneş radyasyonu miktarından, öngörülen kayıplar düşüldükten sonra, elde edilen toplam elektrik enerjisi miktarıdır. Sistem performans oranı, PV sistemlerde verimlilik hesaplaması olarak da adlandırılabilir. PR, Denklem 4.1’de belirtildiği şekilde hesaplanır (Akar, 2016).

$$PR = \frac{E_{AC} \times I_{STC}}{P_{nom} \times H} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1’de yer alan E_{AC} sistemin belirlenen zamanda kWh cinsinden üreteceği elektrik enerjisini ifade ederken, I_{STC} ise STC (standart test koşulları) altında 1 kWp/m² olarak alınan güneş radyasyon değerini, P_{nom} sistemin kWp cinsinden toplam gücünü ve H (kWh/m²) belirlenen zaman dilimi içinde güneş panellerinin üzerine düşen küresel ışıınım değerini ifade etmektedir.

Sistem performans oranı belirlenirken, güneş panellerine ait belgelerde belirtilen yıllarına bağlı olarak panellerde oluşacak verim azalmaları da göz önünde bulundurulmaktadır.

Genel anlamda kristal yapıları PV güneş panellerinin verimleri, üretildikleri ilk yıldan sonra %1- 4, sonraki yıllar için de her yıl %0,7- %1,0 arasında azalma gösterir. P_{nom} sistemin kWp cinsinden DC gücünü (toplam panel gücünü) simgeler. Ancak burada dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri kWp cinsinden toplam kapasite belirtilirken yıllara bağlı olarak verimde meydana gelecek düşüşlerin de dikkate alınmasıdır.

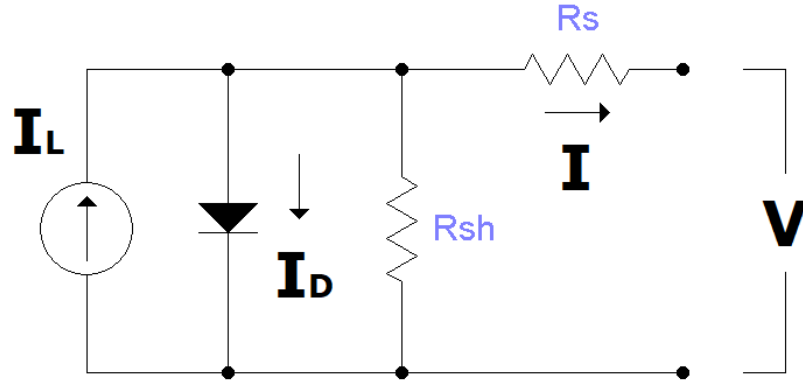
Sistem performans oranını reel sonuçlar ile kıyaslayabilmek için, santralden bağımsız olacak şekilde santrale bir ölçüm istasyonu montajlanır. Öncelikle reel ışıınım miktarını ölçerek kaydetmek amaçlanmıştır. Işıınımı ölçen cihazlar piranometre olarak tanımlanırlar. Piranometrenin doğru ölçüm yapması tesisin PR’nın doğru belirlenebilmesi için önemlidir. Yatay düzleme gelen ışıınım değeri ile belli bir açı ile yerleştirilmiş bir düzleme gelen ışıınım miktarları aynı olmayacağından

piranometrenin güneş panelleri ile aynı açıda montajlanmış olması gerekir. PR formülüne bakıldığı zaman, kurulu bir santralde yıllık PR değerini belirleyen iki parametre vardır. Bunlar üretilen enerji miktarı E_{AC} ve H değerleridir. P_{nom} değeri de yıllık ölçekte değişim göstereceği için yıllık PR oranını etkileyen iki parametrede yine E_{AC} ve H değerleridir. PV santrallerin PR değerleri hava sıcaklıkları ile ters orantılıdır. Hava sıcaklıklarının arttığı ilkbahar ve yaz aylarında PR oranı düşük, hava sıcaklıklarının düştüğü kış aylarında ise PR oranı yüksek olmuştur.

Güneşin daha dik geldiği yaz aylarında ışınlam miktarı ile toplam enerji üretimi değerlerinin arasındaki fark artmıştır. Bu sebeple PR'nın azaldığı görülmüştür. PR'deki düşüşe sıcaklığın artması neden olmuştur (Akar, 2016).

4.6 Panel Verimliliği

Gelen güneş ışığı, elektronları p katmanına iter ve n katmanında delikler bırakır. Bu işlem, bir elektrik devresinden çıkarılacak bir elektrik gücü üretir. Güneş enerjisi elektriksel ekserjiye dönüştürülür. Solar PV sisteminin tipik bir elektrik devresi Şekil 4.12'de şematik olarak gösterilmiştir (Srivastava ve Sudhakar, 2013).



Şekil 4.12: Solar PV hücresinin tipik elektrik devresi

Bir güneş panelinin enerji verimliliği, güç çıkışının güneş paneline verilen enerjiye oranı, geleneksel olarak güneş PV verimliliğini ölçmek için kullanılır (Srivastava ve Sudhakar, 2013).

Termodinamiğin birinci yasası kullanılarak, kararlı durum varsayımı altında açık bir sistem için ekserji denkleminin en genel formülasyonu şu şekilde yazılabilir:

$$Ex_{in} = Ex_{out} \quad (4.2)$$

$$Ex_{in} - Ex_{out} = Ex_{loss} \quad (4.3)$$

Denklem 4.3, ekserji dengesi için genel bir denklemdir. Ex_{out} , verilen ekserjisi Ex_{in} olan bir sistemden elde edilebilecek maksimum ekserji miktarıdır. Tüketilen ekserji ne kadar küçükse, ekserji kaybı o kadar küçüktür. Bir güneş pilinin enerji dönüşüm verimliliği, bir güneş pili bir elektrik devresine bağlandığında dönüştürülen (soğurulan ışıktan elektrik enerjisine) dönüştürülen ve toplanan gücün yüzdesidir. Solar PV'nin enerji verimliliği, güç çıkışının solar PV'nin enerji girişine oranı olarak tanımlanabilir. Ancak PV sisteminin çıkış gücü ve enerji verimliliği, güneş ışığına ve yüzey sıcaklığına bağlı olarak dalgalanır (Srivastava ve Sudhakar, 2013).

Solar PV'nin enerji dönüşüm verimliliği (η_{enerji}) denklem 4.4'ten hesaplanır (Srivastava ve Sudhakar, 2013).

$$\eta_{enerji} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{A \times G} \quad (4.4)$$

Güneş pilinin elektrik devresinin akım-voltaj karakteristikleri aşağıdaki basitleştirilmiş denklem ile açıklanabilir.

$$I = I_1 - I_0 \times \exp(q \times (V - I R_s)) / (A \times K \times T) \quad (4.5)$$

PV'nin elektrik güç çıkışı

$$P_{el} = I \times V \quad (4.6)$$

Ayrıca, maksimum çıkış gücü Denklem 4.7'de verilmiştir.

$$P_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = V_{mp} \times I_{mp} \quad (4.7)$$

PV modülleri tarafından emilen güneş enerjisi, konveksiyon, iletim ve radyasyon yoluyla yayılan elektrik enerjisine ve termal enerjiye dönüştürülür. Isı transfer sürecinin hızı, PV sisteminin tasarımına bağlıdır. Bir PV modülünün verimini

elde etmek için, basitlik için plaka üzerinde homojen kabul edilebilecek ve ortam koşullarına bağlı olan çalışma sıcaklığı T_c belirlenmelidir. Daha yüksek yüzey sıcaklığı, PV verimliliğinde azalmaya neden olabilir. Bu nedenle, özellikle sıcak bölgede, modülün arka tarafından hava veya su geçirilerek hücreler yapay olarak soğutulabilir.

4.7 Panel Sıcaklığının Verime Etkisi

Bir PV jeneratörü tarafından sağlanan DC gücü,

$$P_{dc} = G_{eff} \times \eta_g \times A_g \quad (4.8)$$

G_{eff} : etkili güneş radyasyonu (W/m^2), η_g : üretim verimliliği, A_g : toplam panel yüzey alanı (m^2) dir. Standart test koşullarında;

$$P_g^* = G^* \times \eta_g^* \times A_g \quad (4.9)$$

P_g^* : anma tepe gücü ve $G^* = 1000W/m^2$ dir. Denklem 4.8 ve Denklem 4.9 birleştirildiğinde

$$P_{dc} = P_g^* \times \frac{G_{eff}}{G^*} \times \frac{\eta_g}{\eta_g^*} \quad (4.10)$$

$\frac{\eta_g}{\eta_g^*}$ oranı termal kayıpları temsil eder. Panel hücre sıcaklığının $T_c=25^\circ C$ 'den daha yüksek olması durumunda T_c 'den kaynaklanan enerji kaybıdır. Bu oran aşağıdaki denklemler ile ışıınım ve ortam sıcaklığı T_a ile ilişkilendirilebilir.

$$\frac{\eta_g}{\eta_g^*} = 1 - \frac{\beta \times (T_c - T_c^*)}{100} \quad (4.11)$$

$$T_c = T_a + C_T \times G_{eff} \quad (4.12)$$

$$C_T = \frac{NOCT-20}{0,8 \times G^*} \quad (4.13)$$

Burada β : sıcaklık kayıp katsayısını ve NOCT: Nominal çalışma hücresi sıcaklığını panel üreticileri ürün veri sayfasında belirtir (Perpiñan, ve diğ., 2007).

4.8 Makine Öğrenmesi Modelleri ile Enerji Üretim Tahmini

Santralden elde ettiğimiz radyasyon, panel sıcaklığı bilgisi ve gerçekleşen enerji üretim değerleri değişik makine öğrenme modellerinden geçirilerek istenen radyasyon ve panel sıcaklığı bilgileri ile yaklaşık enerji üretim değeri tahmini yapılmıştır. Verilerin (Radyasyon, Panel Sıcaklığı, Üretim Değeri) 17 Mayıs 2022 ile 20 Mayıs 2022 tarihleri arasına gelen saatlik görünümü Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3: Makine Öğrenmesi Çalışması için Örnek Veriler

Saat	17.05.2022			18.05.2022			19.05.2022			20.05.2022		
	Radyasyon	Panel S	Üretim	Radyasyon	Panel S	Üretim	Radyasyon	Panel S	Üretim	Radyasyon	Panel S	Üretim
00	0,24	16,16	0,000	0,33	15,20	0,000	0,17	18,64	0,000	0,37	15,34	0,000
01	0,31	15,82	0,000	0,39	14,45	0,000	0,25	16,21	0,000	0,41	14,06	0,000
02	0,31	15,25	0,000	0,43	13,79	0,000	0,29	16,94	0,000	0,48	13,29	0,000
03	0,35	14,34	0,000	0,48	13,24	0,000	0,28	16,34	0,000	0,53	12,91	0,000
04	0,38	13,70	0,000	0,50	12,72	0,000	0,39	13,61	0,000	0,51	12,45	0,000
05	1,19	14,15	0,000	1,41	12,55	0,000	0,61	12,06	0,000	1,72	10,60	0,000
06	64,04	13,54	0,000	68,17	13,33	0,000	10,81	12,87	0,000	78,02	11,37	0,000
07	326,38	18,80	15,525	338,89	17,83	13,800	39,62	12,00	5,175	314,22	13,76	15,525
08	584,47	23,23	127,650	593,72	23,24	129,375	52,57	12,36	43,125	655,00	16,26	127,650
09	791,14	27,08	357,075	797,94	26,95	365,700	106,48	15,07	65,550	820,10	18,72	436,425
10	915,58	28,91	589,950	928,04	30,01	598,575	174,67	15,02	127,650	943,34	20,90	669,300
11	968,40	29,58	767,625	974,43	31,43	779,700	211,19	15,65	215,625	986,88	22,76	828,000
12	941,84	30,11	891,825	966,70	32,30	897,000	449,81	15,99	301,875	961,81	24,50	950,475
13	845,67	31,19	957,375	841,81	33,56	960,825	769,02	17,78	398,475	847,23	25,15	969,450
14	675,49	33,60	962,550	688,55	32,99	960,825	666,75	18,70	848,700	682,89	26,89	967,725
15	470,18	32,64	919,425	470,69	31,85	926,325	418,39	18,64	874,575	472,13	27,90	948,750
16	199,83	33,42	814,200	208,61	30,03	821,100	245,46	19,45	693,450	206,15	28,21	838,350
17	62,58	32,13	662,400	70,65	28,76	664,125	103,01	19,65	488,175	69,98	29,06	669,300
18	49,66	28,33	438,150	54,27	26,97	431,250	56,08	19,48	396,750	56,62	27,47	443,325
19	24,86	24,88	189,750	26,99	24,86	189,750	40,26	18,65	200,100	45,11	24,78	196,650
20	1,67	21,48	34,500	1,89	22,91	39,675	3,96	18,04	65,550	4,18	20,89	60,375
21	0,12	19,12	3,450	0,08	21,84	3,450	0,29	16,39	8,625	0,12	18,84	8,625
22	0,18	18,09	0,000	0,09	19,78	0,000	0,34	15,46	0,000	0,23	16,59	0,000
23	0,24	16,57	0,000	0,18	18,81	0,000	0,35	15,46	0,000	0,34	15,17	0,000

Bu tez çalışmasında Karar Ağaçları (Decision Trees), Rastgele Orman (Random Forest), Ekstra Ağaçlar (Extra Trees), Uyarlanabilir Yükseltme (Adaptive Boosting), Gradyan Yükseltme (Gradient Boosting), XG Yükseltme (XG Boost), K-Komşular (KNeighbors) modelleri ile çalışılmıştır.

Her model için RMSE Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Square Error) değerleri hesaplanmıştır. Bir makine öğrenmesi modelinin, tahminleyicinin tahmin ettiği değerler ile gerçek değerleri arasındaki uzaklığın bulunmasında sıklıkla kullanılan, hatanın büyüklüğünü ölçen kuadratik bir metriktir. RMSE tahmin hatalarının (kalıntıların) standart sapmasıdır ve Denklem 4.14’te verilen eşitlik ile hesaplanmıştır (Veri Bilimcisi, 2022).

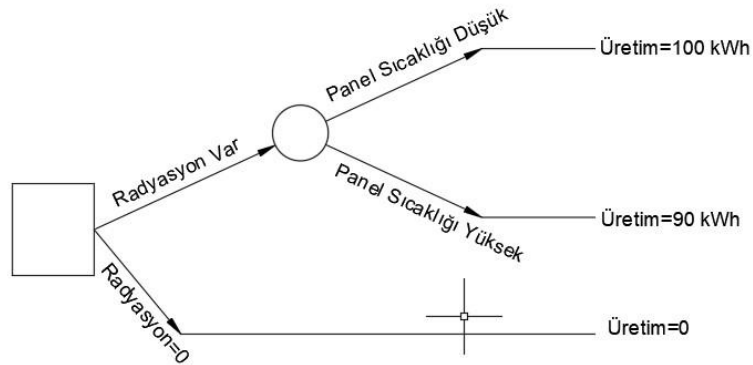
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n e_j^2}{n}} \quad (4.14)$$

Hatalar, regresyon hattının veri noktalarından ne kadar uzakta olduğunun bir ölçüsüdür; RMSE ise bu hataların ne kadar yayıldığıнын bir ölçüsüdür, verilere en iyi uyan çizgi etrafında o verilerin ne kadar yoğun olduğunu söyler. RMSE değeri 0 ile sonsuz arasında değişebilir. Daha düşük değerlere sahip tahminleyiciler daha iyi performans gösterir. RMSE değerinin sıfır olması modelin hiç hata yapmadığı anlamına gelir (Veri Bilimcisi, 2022).

Bu tezde çalışılan modellerin çalışma mantıkları aşağıda verilmiştir.

4.8.1 Karar Ağaçları (Decision Trees)

Santralde elde edilen radyasyon bilgilerine göre üretim yapılmış, bu üretime panel sıcaklığının etkisi değerlendirilmiştir. Şekil 4.13’te örnek bir karar ağacı verilmiştir. Şekildeki “kare” verdiğimiz karar, “daire” ise verdiğimiz kararların sonuçları dallarını içerir (Noyan, 2019).

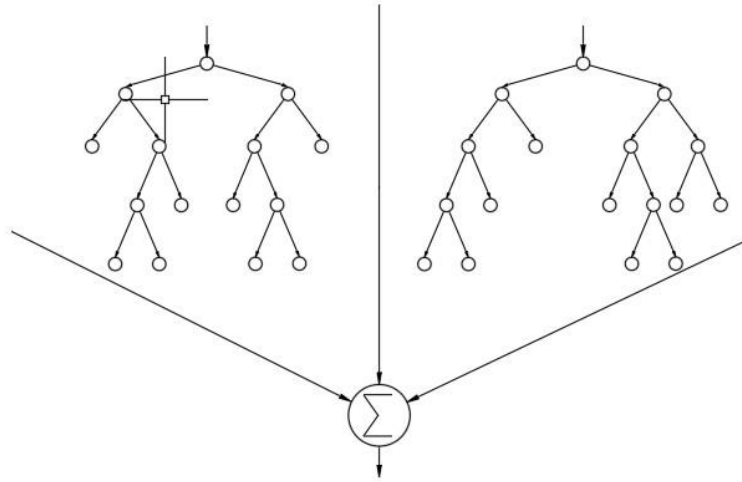


Şekil 4.13: Örnek Karar Ağacı

Büyük veri setlerinde entropi ve bilgi kazanımı değerleri tespit edilir. Entropi, bilgi düzensizliği olarak tanımlanabilir. Bilgi kazanımı (information gain) ise düzensiz verilerin kategorize edilmesi durumudur. Karar ağacında ilerledikçe her veri seti ile yeni bir durumu öğrenebiliyoruz ve kategorize edilmesi daha da kolaylaşır.

4.8.2 Rastgele Orman (Random Forest)

Rastgele Orman, denetimli bir makine öğrenme modelidir. Adından da anlaşılacağı gibi, bir orman oluşturur ve bunu bir şekilde rastgele yapar. Kurduğu “orman”, çoğu zaman “bagging” yöntemiyle eğitilen karar ağaçları topluluğudur. Bagging yönteminin genel fikri, öğrenme modellerinin bir kombinasyonunun genel sonucu arttırmasıdır. Özetle: Rastgele orman, birden fazla karar ağacını oluşturur ve daha doğru ve istikrarlı bir tahmin elde etmek için onları birleştirir. Şekil 4.14’te şematik gösterimi verilmiştir (Devhunter, 2018).



Şekil 4.14: Rastgele Orman Modeli

4.8.3 Ekstra Ağaçlar (Extra Trees)

Veri kümesinin çeşitli alt örneklerinde bir dizi rastgele karar ağaçlarına (ekstra ağaçlar) uyan bir tahminci uygulanır ve tahmin doğruluğunu iyileştirmek, aşırı uydurmayı kontrol etmek için ortalamayı kullanır (Brownlee, 2021).

4.8.4 Uyarlanabilir Yükseltme (Adaptive Boosting)

Uyarlanabilir yükseltme regresörü, orijinal veri setine bir regresör sığdırarak başlayan ve daha sonra regresörün ek kopyalarını aynı veri setine sığdıran ancak örneklerin ağırlıklarının mevcut tahminin hatasına göre ayarlandığı bir tahmin edicidir (Scikit Learn, 2022).

4.8.5 Gradyan Yükseltme (Gradient Boosting)

Gradyan yükseltme, tipik olarak karar ağaçları olan zayıf tahmin modelleri topluluğu şeklinde bir tahmin modeli verir. Bir karar ağacı zayıf öğrenen olduğunda, elde edilen modele gradyan destekli ağaçlar denir; genellikle rastgele ormandan daha iyi performans gösterir. Gradyan destekli bir ağaç modeli, diğer artırma yöntemlerinde olduğu gibi aşamalı bir şekilde oluşturulur, ancak diğer yöntemleri, keyfi bir türevlenebilir kayıp fonksiyonunun optimizasyonuna izin vererek geliştirir (Masui, 2020).

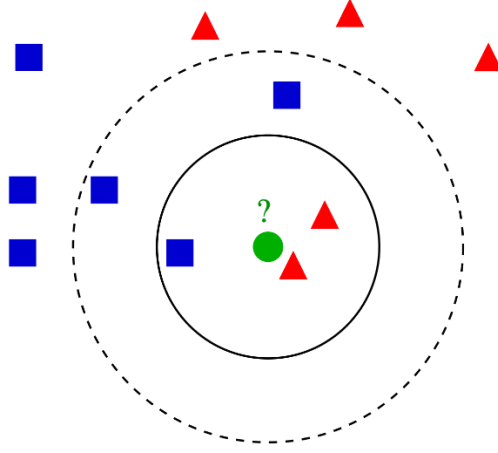
4.8.6 XG Yükseltme (XG Boost)

Bu model ile uyarlanabilir yükseltme, gradyan yükseltme, bagging ve rastgele orman metotları birleştirilerek daha başarılı tahmin elde edilebilmiştir (Samur, 2020).

4.8.7 K-Komşular (KNeighbors)

Bu model, iki temel değer üzerinden tahmin yapar. Distance (Uzaklık): Tahmin edilecek noktanın diğer noktalara uzaklığı hesaplanır. K (komşuluk sayısı): En yakın kaç komşu üzerinden hesaplama yapılacağını söyleriz. K değeri sonucu direkt etkileyecektir. K=1 olursa üstüne giyme (overfit) etme olasılığı çok yüksek olacaktır. Çok büyük olursa da çok genel sonuçlar verecektir. Bu sebeple optimum K değerini tahmin etmek problemin asıl konusu olarak karşımızda durmaktadır. K değerinin önemi Şekil 4.15'te verilmiştir. Eğer K=3 (düz çizginin olduğu yer) seçersek sınıflandırma modeli “?” işareti ile gösterilen noktayı, kırmızı üçgen sınıfı olarak

tanımlayacaktır. Fakat $K=5$ (kesikli çizginin olduğu alan) seçerse sınıflandırma modeli, aynı noktayı mavi kare sınıfı olarak tanımlayacaktır (Arslan, 2020).



Şekil 4.15: K-Komşular Modeli

5. SONUÇLAR

Çalışmanın ana konusu olan Pronen GES PV tesisinde kullanılan panellerin bir yıllık üretimi simülasyon çıktıları ve gerçekleşen değerler ile ortaya konulmuştur.

Santrale genel bakış Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1: Santral Sistem Özellikleri

Pronen GES PV sistemi - Şebekeye bağlı PV sistemi

İklim verileri	Çayırılı Mahallesi, Tire, İzmir, Türkiye (1991 - 2010)
PV jeneratör çıkışı	1.188 kWp
PV jeneratör yüzeyi	6.475,2 m ²
Sayı PV modülleri	3960
Evirici Sayısı	20

Santral kazancı Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2: Santral Kazancı Bilgileri

Kazanç

PV jeneratör enerjisi (AC şebekesi)	2.026.469 kWh
Şebeke beslemesi	2.026.469 kWh
Besleme noktasındaki düzenleme	0 kWh
Kişisel Güç Tüketimi	0,0 %
Güneş Enerjisi Oranı	0,0 %
Yıllık Özgül Kazanç	1.705,78 kWh/kWp
Sistem kullanım oranı (PR)	86,0 %
Önlenen CO ₂ emisyonu	1.215.882 kg/yıl

Kurulumda bulunan PV Panel Alanı bilgisi Tablo 5.3’te verilmiştir.

Tablo 5.3: Santral PV Panel Alanı Bilgileri

PV jeneratörü, Panel Alanı

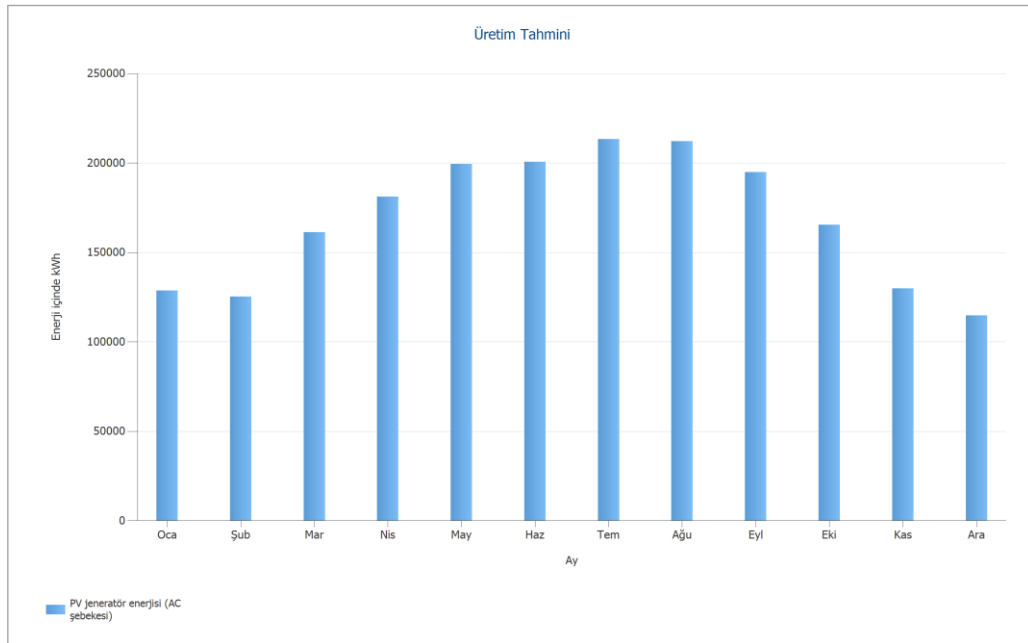
PV panelleri	3960 x 300 Wp
Üretici	Energy GAP
Eğim	30 °
Yerleşim Yönü	Güney 180 °
Montaj Türü	Arazi Kurulumu
PV jeneratör yüzeyi	6.475,2 m ²

PV*SOL programı simülasyon sonuçları Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4: PV*SOL Simülasyon Sonuçları

PV sistemi	
PV jeneratör çıkışı	1188 kWp
Yıllık Özgül Kazanç	1.705,78 kWh/kWp
Sistem kullanım oranı (PR)	86,0 %
Şebeke beslemesi	
İlk yıl içindeki şebeke beslemesi (Modülün performans düşüşü dahil)	2.026.469 kWh/Yıl
Bekleme Konumundaki Tüketim (Evirciler)	1.169 kWh/Yıl
Önlenen CO ₂ emisyonu	1.215.882 kg/yıl

Aylara göre enerji üretim tahmini Şekil 5.1'de verilmiştir



Şekil 5.1: Santral Aylık Enerji Üretim Tahminleri

Santralin PV paneller üzerinden enerji üretimi, kayıp bilgileriyle beraber Tablo 5.5'te verilmiştir. Bulunan yerleşimin ışınım değeri 1.776,75 kWh/m²'dir. Panel üzerine düşen toplam ışınım 1.904,59 kWh/m²'dir. Sistemde 3960 adet panel kullanıldığı için toplam alan 6.475,2 m²'dir. Panel üzerine düşen ışınım ile hesabı yapıldığında Toplam PV ışınımı enerjisi 12.332.601,96 kWh olarak hesaplanmıştır. Panelin STC verimi %18,36 olduğu için Anma PV Enerjisi 2.263.683,31 kWh

hesaplanmıştır. Sistemdeki diğer kayıplar da hesaba katıldığında şebeke beslemesi 2.026.469,48 kWh olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.5: PV Sistemi Enerji Üretim Bilgileri

PV sistemi enerji bilançosu

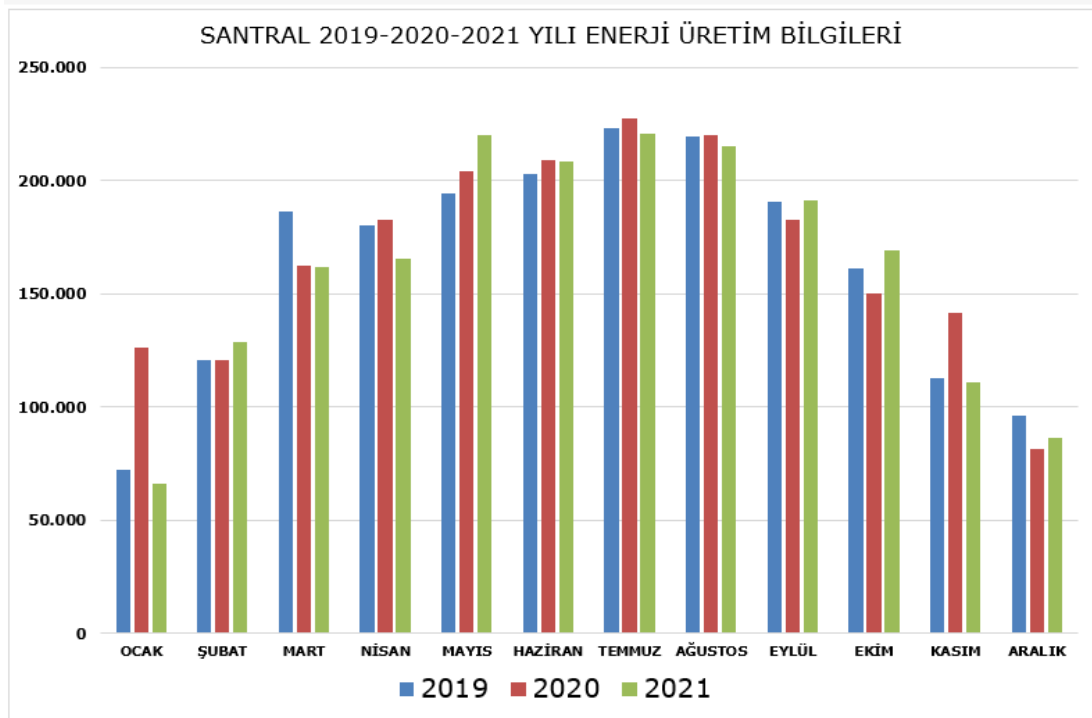
Toplam Işınım - Yatayda	1.776,75 kWh/m²	
Standart spektrumdan sapma	-17,77 kWh/m ²	-1,00 %
Zemin Yansıtma Katsayısı (Albedo)	23,57 kWh/m ²	1,34 %
Modül yüzeyinin Yerleşim Yönü ve Eğimi	200,35 kWh/m ²	11,24 %
Gölgeleme	0,00 kWh/m ²	0,00 %
Panel yüzeyinde yansıma	-78,31 kWh/m ²	-3,95 %
Panel Üzerine Düşen Toplam Işınım	1.904,59 kWh/m²	
	1.904,59 kWh/m ²	
	x 6475,19 m ²	
	= 12.332.601,96 kWh	
Toplam PV Işınımı	12.332.601,96 kWh	
Kirlenme	0,00 kWh	0,00 %
STC Dönüşümü (Modülün nominal verimliliği 18,36 %)	-10.068.918,66 kWh	-81,64 %
Anma PV Enerjisi	2.263.683,31 kWh	
Düşük ışık performansı	-35.292,93 kWh	-1,56 %
Nominal modül sıcaklığından sapma	-106.971,42 kWh	-4,80 %
Diyotlar	-10.607,09 kWh	-0,50 %
Uyumsuzluk (üretici bilgisi)	-42.216,24 kWh	-2,00 %
Uyumsuzluk (konfigürasyon / gölgeleme)	0,00 kWh	0,00 %
Evirici düzenleyici olmadan PV enerjisi (DC)	2.068.595,63 kWh	
DC başlangıç çıkışına ulaşamadı	-90,72 kWh	0,00 %
MPP-gerilim aralığı için düzenleme	-91,43 kWh	0,00 %
Maks. DC Akımı için düzenleme	0,00 kWh	0,00 %
Maks. DC Performans için düzenleme	0,00 kWh	0,00 %
Maks. AC Performans/cos phi için düzenleme	-4.473,81 kWh	-0,22 %
MPP Eşleme	-3.377,22 kWh	-0,16 %
PV Enerjisi (DC)	2.060.562,46 kWh	
Evirici Girişindeki Enerji	2.060.562,46 kWh	
Giriş gerilimi anma geriliminden sapıyor	-2.167,02 kWh	-0,11 %
DC/AC Dönüştürme	-31.925,96 kWh	-1,55 %
Bekleme Konumundaki Tüketim (Eviriciler)	-1.169,20 kWh	-0,06 %
Toplam kablo kayıpları	0,00 kWh	0,00 %
Bekleme Konumundaki Kullanımı Hariç PV Enerjisi (AC)	2.025.300,28 kWh	
Şebeke beslemesi	2.026.469,48 kWh	

5.1 Santralden Elde Edilen Veriler

Santralde 2019-2020-2021 yılları gerçekleşen enerji üretim bilgileri sayısal olarak Tablo 5.6'da grafiksel olarak Şekil 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.6: Santral 2019-2020-2021 Enerji Üretim Bilgileri

	2019	2020	2021
OCAK	72.271	126.552	66.237
ŞUBAT	121.024	120.751	128.633
MART	186.193	162.264	161.720
NİSAN	180.080	182.881	165.327
MAYIS	194.175	204.243	220.062
HAZİRAN	202.900	208.925	208.566
TEMMUZ	223.048	227.128	220.919
AĞUSTOS	219.738	220.194	215.308
EYLÜL	190.935	182.552	191.422
EKİM	161.273	150.194	169.467
KASIM	113.022	141.516	110.819
ARALIK	96.301	81.321	86.723
Toplam	1.960.959	2.008.521	1.945.203



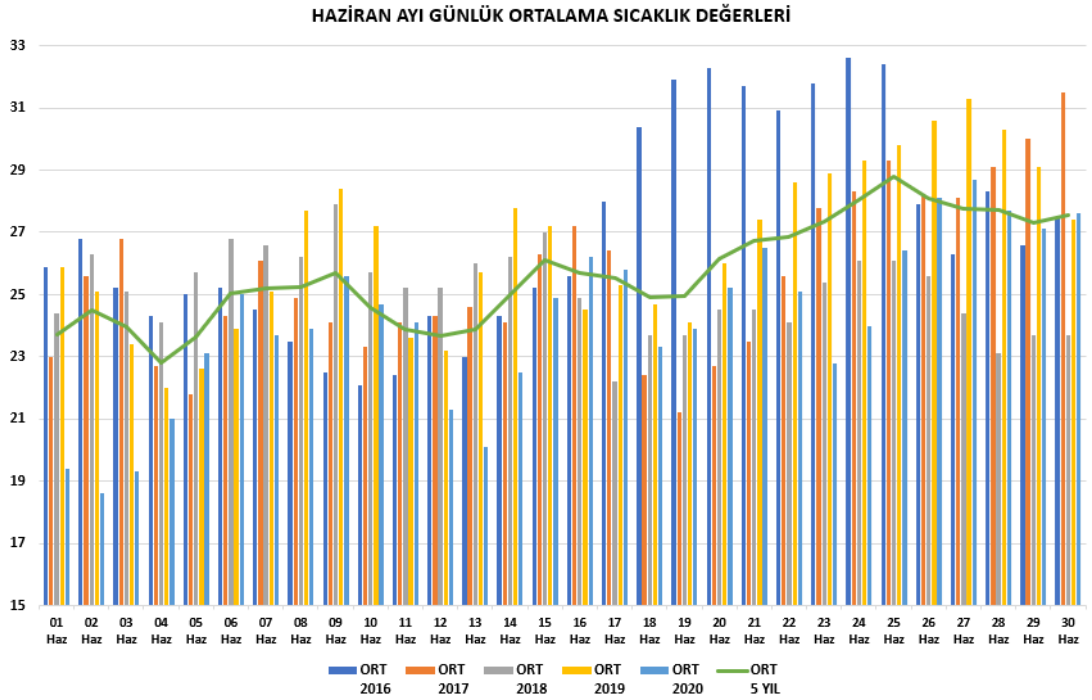
Şekil 5.2: Santral 2019-2020-2021 Yılları Aylık Enerji Üretimleri

5.2 Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden Elde Edilen Veriler

Bu tez kapsamında, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden güneş enerji santralının bulunduğu Tire ilçesine ait meteorolojik veriler alındı. Bu veriler günlük

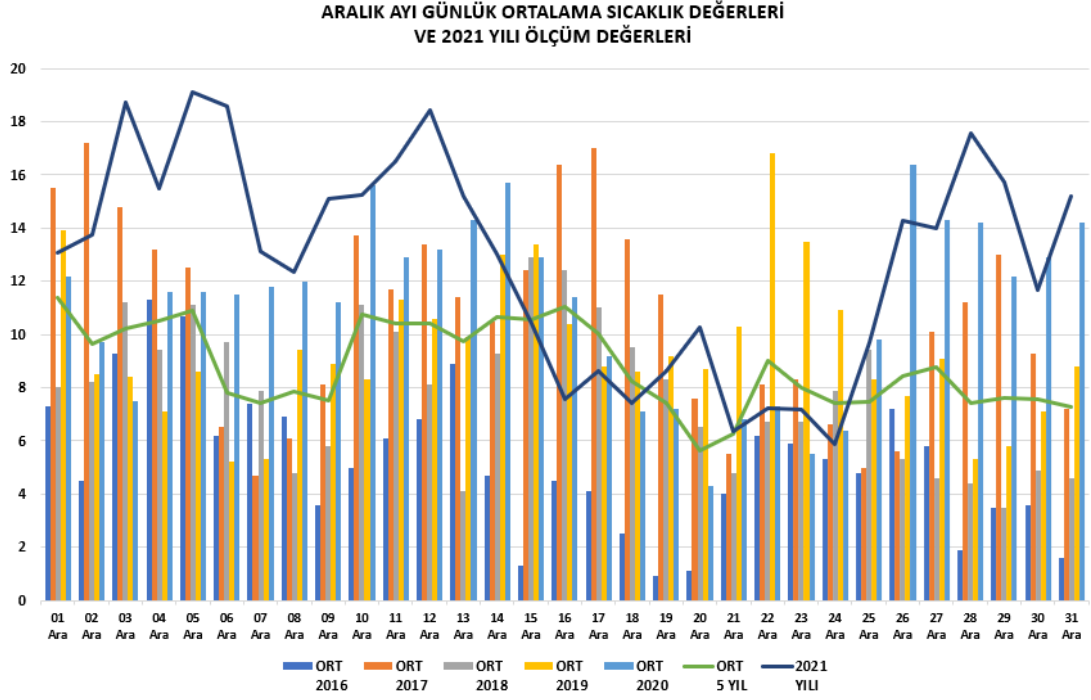
maksimum sıcaklık, günlük minimum sıcaklık, günlük ortalama sıcaklık, saatlik sıcaklık, basınç, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, nem, yağış, güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu bilgileridir.

Günlük maksimum sıcaklık, günlük minimum sıcaklık, günlük ortalama sıcaklık ve saatlik sıcaklık değerleri 1 Ocak 2016 ile 31 Aralık 2020 tarihleri arası için alınmıştır. Örnek olarak Haziran ayı günlük ortalama sıcaklık değerleri ve 5 yılın ortalaması Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3: Haziran Ayı Ortalama Sıcaklık Değerleri

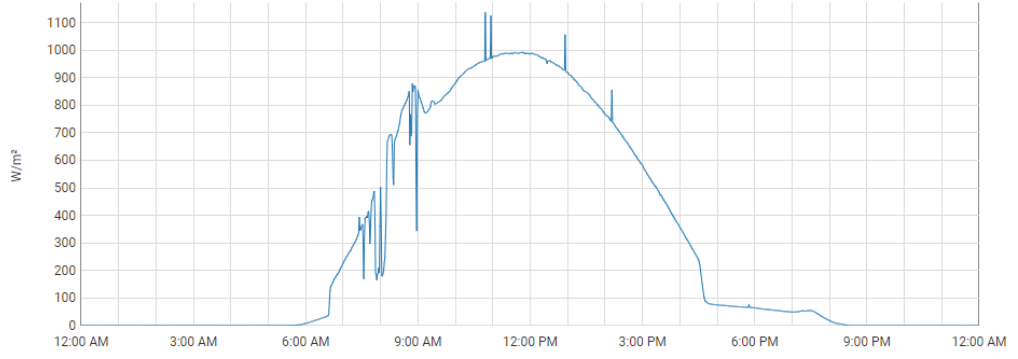
Aralık 2021 ayına ait meteoroloji istasyonundan elde edilen ölçüm değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen 5 yıllık değerler ile karşılaştırması Şekil 5.4'te verilmiştir.



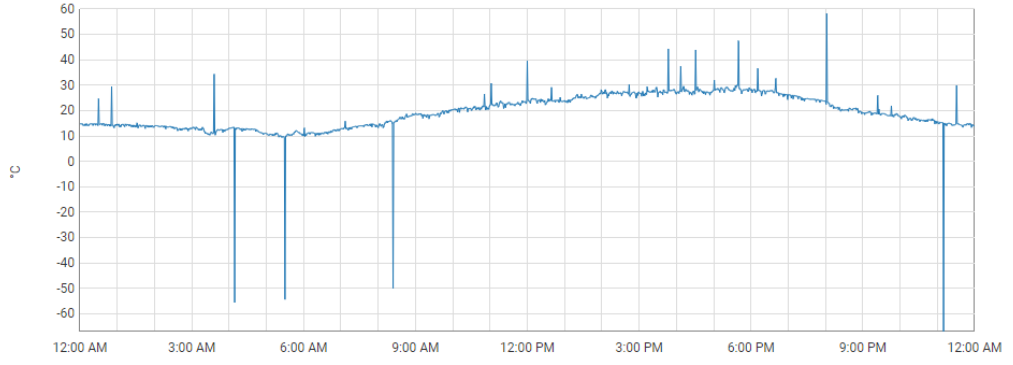
Şekil 5.4: Aralık Ayı Ort. Sıcaklık Değerleri ve 2021 Aralık Ölçüm Değerleri

5.3 Mobil Meteoroloji İstasyonundan Elde Edilen Veriler

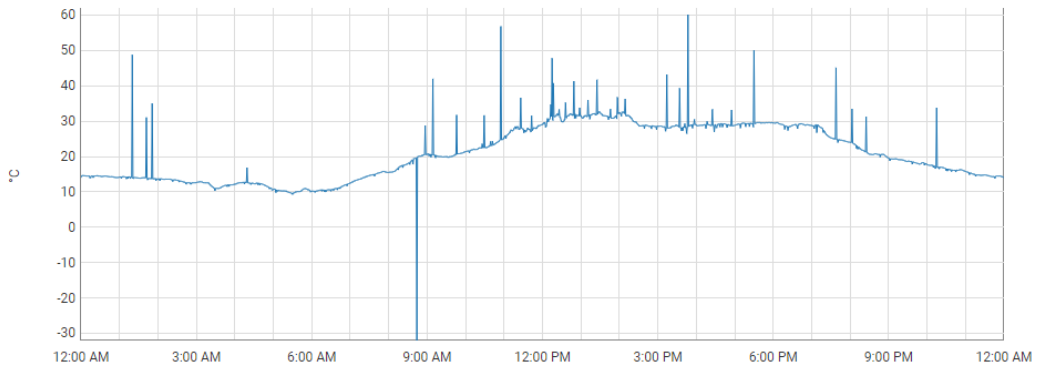
Mobil meteoroloji istasyonu sensörleri, veri kaydedici cihaza RS485 ile bağlanmıştır. Veri kaydedici cihazın kendi içinde web sunucu özelliği vardır. Veri kaydedici cihaz üzerinden görülen örnek ölçüm ekranları aşağıdaki şekillerdedir. Şekil 5.5'te radyasyon grafiği, Şekil 5.6'da ortam sıcaklığı grafiği, Şekil 5.7'de dahili sıcaklık grafiği, Şekil 5.8'de panel sıcaklığı grafiği, Şekil 5.9'da rüzgâr hızı grafiği, Şekil 5.10'da rüzgâr yönü grafiği verilmiştir.



Şekil 5.5: Radyasyon Grafiği



Şekil 5.6: Ortam Sıcaklığı Grafiği

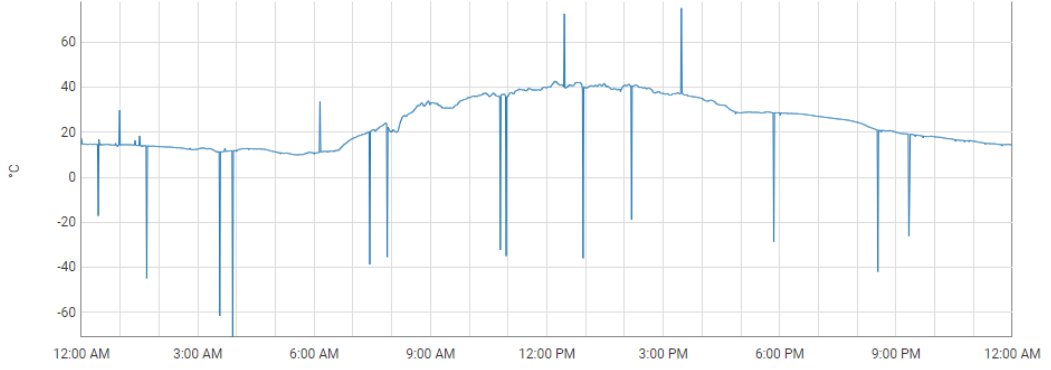


Şekil 5.7: Dahili Sıcaklık Grafiği

Chart

PANEL SICAKLIĞI

< 20 May 2022 >

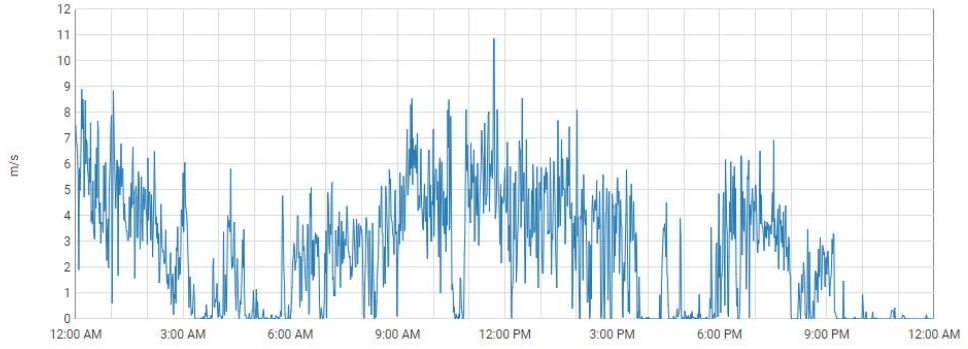
 Real-time values

Şekil 5.8: Panel Sıcaklığı Grafiği

Chart

RÜZGAR HIZI

< 20 May 2022 >

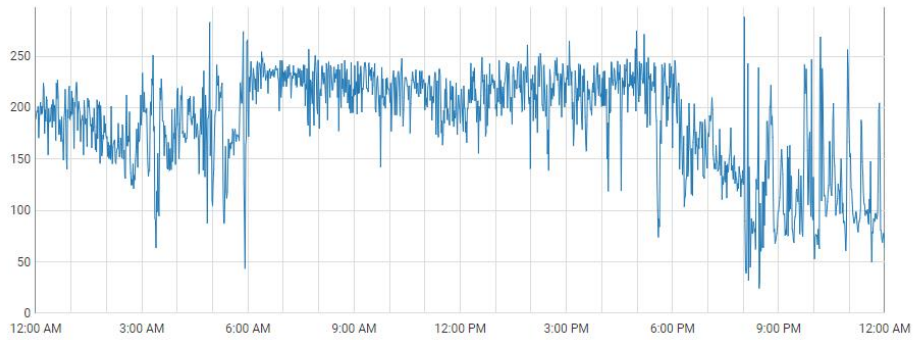
 Real-time values

Şekil 5.9: Rüzgâr Hızı Grafiği

Chart

RÜZGAR YÖNÜ

< 20 May 2022 >

 Real-time values

Şekil 5.10: Rüzgâr Yönü Grafiği

Veri kaydedici cihaz üzerinden ölçümlerin tablo formatında dakika ölçeğinde değerleri görülebilmektedir. Örnek, Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7: Veri Kaydedicide Toplanan Radyasyon Değerleri

Zaman	Irradiance (W/m ²)
20.05.2022 09:00	854,9
20.05.2022 09:01	841,17
20.05.2022 09:02	831,54
20.05.2022 09:03	825,77
20.05.2022 09:04	819,23
20.05.2022 09:05	813,44
20.05.2022 09:06	808,5
20.05.2022 09:07	800,2
20.05.2022 09:08	791,36
20.05.2022 09:09	784,48
20.05.2022 09:10	777,88

Güneş Enerji Santralinde meteoroloji istasyonu ile bu veriler toplanmıştır. Bu çalışma kapsamında 20 Eylül 2021'den 17 Temmuz 2022 tarihine kadar kayıt yapıldı. Elektrik kesintisi gibi arızalar hariç yaklaşık 290 bin satır veri (Radyasyon, Dahili Sıcaklık, Panel Sıcaklığı, Ortam Sıcaklığı, Rüzgâr Hızı ve Rüzgâr Yönü) cihazdan elektronik tabloya aktarıldı. Dakikada 6 veri alındığı için yaklaşık 1.720.000 adet değer işlenmiştir. Bu verilerden örnek satırlar Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8: Veri Kaydedicide Toplanan Tüm Değerler

Zaman	Radyasyon W/m ²	Dahili Sıcaklık °C	Panel Sıcaklığı °C	Ortam Sıcaklığı °C	Rüzgâr Hızı m/s	Rüzgâr Yönü °
20.05.2022 12:00	986,66	29,04	39,7	39,6	5,85	185,06
20.05.2022 12:01	987,48	29,17	39,93	24,19	4,63	206,83
20.05.2022 12:02	988,76	29,5	40,07	24,01	4,11	218,33
20.05.2022 12:03	988,92	29,64	40,05	23,62	4,2	203,57
20.05.2022 12:04	987,46	29,4	40	23,53	6,85	188,42
20.05.2022 12:05	986,06	28,28	40	22,84	5,26	177,09
20.05.2022 12:06	986,46	28,59	40,31	24,29	2,64	221,18
20.05.2022 12:07	986,37	30,18	40,74	24,83	3,64	200,65
20.05.2022 12:08	983,87	30,73	41,11	24,6	2,23	199,04
20.05.2022 12:09	983,71	29,83	41,54	24,79	5,9	176,18
20.05.2022 12:10	983,33	30,45	41,78	24,47	2,31	186,7
20.05.2022 12:11	983,29	30,5	42,12	24,66	0,03	166,39
20.05.2022 12:12	981,04	30,98	42,55	24,48	1,12	199,35
20.05.2022 12:13	980,2	34,66	42,69	24,42	1,22	198,77
20.05.2022 12:14	977,18	31,3	42,65	24,63	1,73	217,48
20.05.2022 12:15	976,47	47,72	42,15	23,66	5,27	217,94
20.05.2022 12:16	977,33	30,27	41,75	22,9	3,09	204,63
20.05.2022 12:17	975,99	40,73	41,58	23,89	5,01	208,87

20.05.2022 12:18	971,54	31,24	41,34	24,12	5,72	243,44
20.05.2022 12:19	971,11	31,3	41,03	24,06	1,42	204,91
20.05.2022 12:20	973,77	31,36	40,97	24,21	2,03	230,49

5.4 Makine Öğrenmesi Modelleri Tahmin Sonuçları

Bu bölümde, İzmir ili, Tire İlçesinde yer alan 1 MW gücündeki santralin 24 saatlik elektrik üretim tahmini toplamda 7 farklı makine öğrenmesi yöntemiyle gerçekleştirilmiş ve sonuçları verilmiştir.

5.4.1 Veri Seti

Tahmin için kullanılan veri seti, İzmir İli, Tire İlçesinde yer alan 1 MW gücündeki santrale ait, 21 Eylül 2021 saat 00:00 ile 8 Temmuz 2022 saat 23:00 arasındaki toplam 4272 adet saatlik radyasyon, panel sıcaklığı ve enerji üretim verileridir. Bu verilerden, radyasyon ve panel sıcaklığı verileri modellerin girişini ve enerji üretim verisi ise modellerin çıkışını oluşturmaktadır.

Makine öğrenmesi modellerini eğitmek için; makine öğrenmesi modellerinde eğitim için 3398 adet veri, doğrulama için 850 adet veri kullanılmıştır. Modellerin başarılarını karşılaştırmak için ise 8 Temmuz 2022 gününe ait 24 adet test verisi kullanılmıştır.

5.4.2 Eğitimde Kullanılan Yazılımlar

Makine öğrenmesi modellerini oluşturmak, bu modelleri eğitmek ve modeller arasındaki karşılaştırmaları yapmak amacıyla açık kaynak kodlu bir programlama dili olan Python kullanılmıştır.

Makine öğrenmesi konularında Python kullanılarak geliştirilmiş pek çok açık kaynaklı kütüphane bulunmaktadır. Açık kaynaklı bu kütüphanelerden bazıları şunlardır: TensorFlow, scikitlearn, Theano, PyTorch. Bu tez çalışmasında scikitlearn kütüphanesi kullanılmıştır.

5.4.3 Tahmin Sonuçları

Bu tez çalışmasında 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahminini yapmak üzere 7 adet makine öğrenmesi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemler; Karar Ağaçları (Decision Trees), Rastgele Ormanlar (Random Forest), Ekstra Ağaçlar (Extra Trees), Uyarlanabilir Yükseltme (Adaptive Boosting), Gradyan Yükseltme (Gradient Boosting), XG Yükseltme (XG Boost) ve K-Komşular (K-Neighbors)'dır.

5.4.3.1 Karar Ağaçlarına Ait Tahmin Sonuçları

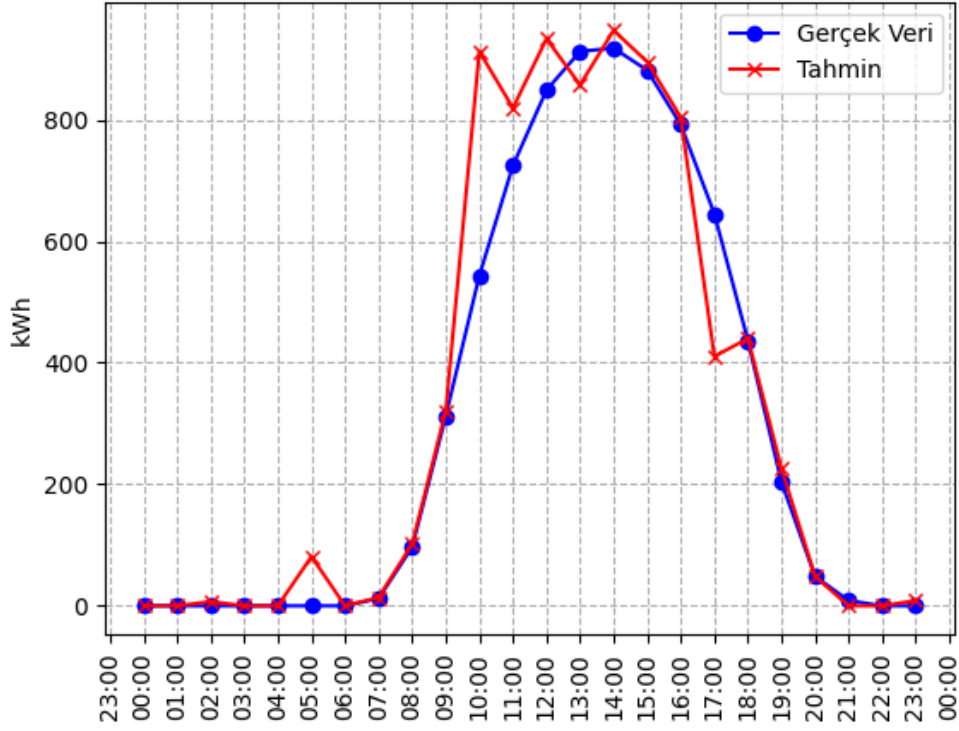
Karar Ağaçları (Decision Trees) modelinin giriş boyutu, giriş verileri olarak radyasyon ve panel sıcaklığı kullanıldığı için 2'dir.

Her düğümde bölünmeyi seçmek için kullanılan ayırıcı parametresi en iyi olarak seçilmiştir. Bir dahili düğümü bölmek için gereken minimum örnek sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Bir yaprak düğümünde olması gereken minimum örnek sayısı ise 1 olarak seçilmiştir. Modelin çıkış boyutu ise 1'dir.

Oluşturulan model 8 Temmuz 2022 tarihine ait 24 adet saatlik elektrik enerjisi üretim verisi üzerinde test edilmiştir. Yapılan test sonucunda RMSE değeri 95,54 olarak tespit edilmiştir.

Karar Ağaçları'na ait 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonucu Şekil 5.11'de gösterilmiştir.

Decision Tree - Prediction
08.07.2022



Şekil 5.11: Karar Ağaçları 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini

Karar Ağaçlarına ait elektrik enerjisi üretim tahmini değerleri, gerçek değerler ve değerler arasındaki hataların mutlak değerleri Tablo 5.9'daki gibidir.

Tablo 5.9: Karar Ağaçları 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonuçları

Karar Ağaçları				
08 Temmuz 2022				
Saat	Gerçek Değerler (kWh)	Tahmin Değerleri (kWh)	Hata (kWh)	Hata Oranı
00:00	0	0	0	-
01:00	0	0	0	-
02:00	0	6,9	6,9	-
03:00	0	0	0	-
04:00	0	0	0	-
05:00	0	81,07	81,07	-
06:00	0	0	0	-
07:00	12,07	13,8	1,72	14,33%
08:00	96,6	101,77	5,17	5,35%
09:00	312,22	320,85	8,62	2,76%
10:00	543,37	912,52	369,15	67,94%

11:00	724,5	819,37	94,87	13,09%
12:00	848,7	933,22	84,52	9,96%
13:00	912,52	857,32	55,2	-6,05%
14:00	917,7	947,02	29,32	3,19%
15:00	881,47	895,27	13,8	1,57%
16:00	791,77	803,85	12,07	1,53%
17:00	645,15	410,55	234,6	-36,36%
18:00	436,42	439,87	3,45	0,79%
19:00	203,55	225,97	22,42	11,01%
20:00	48,3	48,3	0	0,00%
21:00	8,62	0	8,62	-100,00%
22:00	0	0	0	-
23:00	0	8,62	8,62	-

5.4.3.2 Rastgele Ormanlara Ait Tahmin Sonuçları

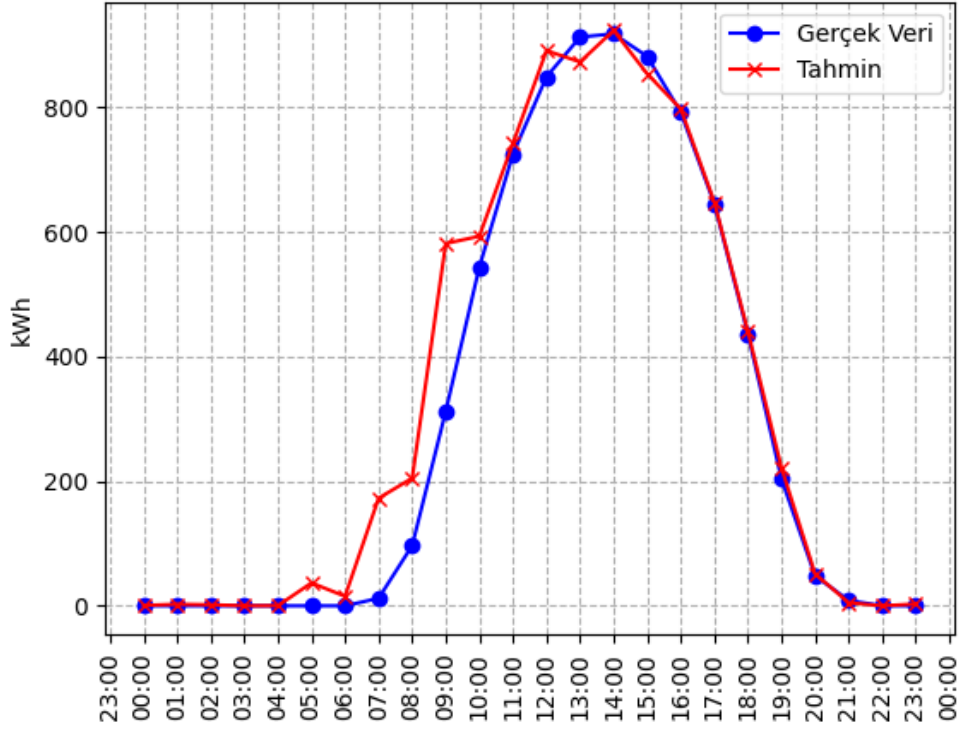
Rastgele Ormanlar (Random Forest) modelinin giriş boyutu, giriş verileri olarak radyasyon ve panel sıcaklığı kullanıldığı için 2'dir.

Ormandaki ağaç sayısı 30 olarak belirlenmiştir. En iyi bölünmeyi ararken göz önünde bulundurulması gereken özelliklerin sayısı otomatik olarak seçilmiştir. Bir dahili düğümü bölmek için gereken minimum örnek sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Bir yaprak düğümünde olması gereken minimum örnek sayısı ise 1 olarak seçilmiştir. Modelin çıkış boyutu ise 1'dir.

Oluşturulan model 8 Temmuz 2022 tarihine ait 24 adet saatlik elektrik enerjisi üretim verisi üzerinde test edilmiştir. Yapılan test sonucunda RMSE değeri 70,33 olarak tespit edilmiştir.

Rastgele Ormanlara ait 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonucu Şekil 5.12'de gösterilmiştir.

Random Forest - Prediction
08.07.2022



Şekil 5.12: Rastgele Ormanlar 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini

Rastgele Ormanlara ait elektrik enerjisi üretim tahmini değerleri, gerçek değerler ve değerler arasındaki hataların mutlak değerleri Tablo 5.10'daki gibidir.

Tablo 5.10: Rastgele Ormanlar 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonuçları

Rastgele Ormanlar				
08 Temmuz 2022				
Saat	Gerçek Değerler (kWh)	Tahmin Değerleri (kWh)	Hata (kWh)	Hata Oranı
00:00	0	0,69	0,69	-
01:00	0	2,47	2,47	-
02:00	0	1,72	1,72	-
03:00	0	0	0	-
04:00	0	0,23	0,23	-
05:00	0	36,68	36,68	-
06:00	0	15,29	15,29	-
07:00	12,07	172,61	160,54	1330,07%
08:00	96,6	204,75	108,15	111,96%
09:00	312,22	581,21	268,98	86,15%
10:00	543,37	592,94	49,56	9,12%

11:00	724,5	741,8	17,3	2,39%
12:00	848,7	890,73	42,03	4,95%
13:00	912,52	872,56	39,96	-4,38%
14:00	917,7	923,16	5,46	0,59%
15:00	881,47	853,53	27,94	-3,17%
16:00	791,77	797,23	5,46	0,69%
17:00	645,15	647,73	2,58	0,40%
18:00	436,42	440,04	3,62	0,83%
19:00	203,55	221,43	17,88	8,78%
20:00	48,3	51,4	3,1	6,42%
21:00	8,62	5	3,62	-42,00%
22:00	0	0	0	-
23:00	0	2,93	2,93	-

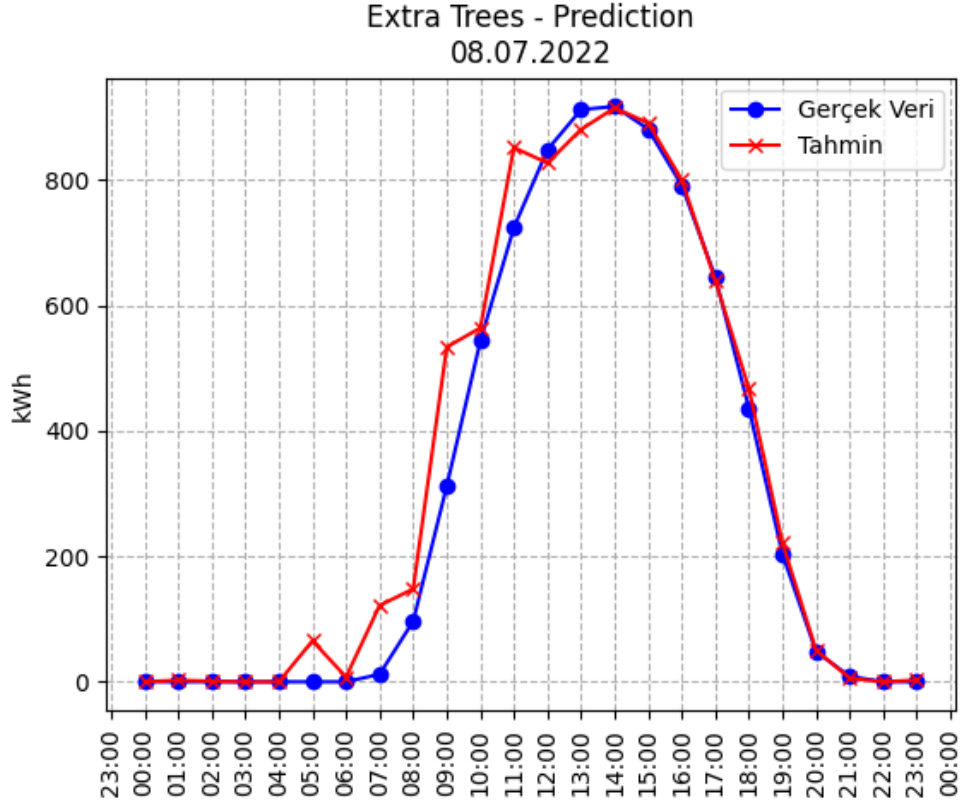
5.4.3.3 Ekstra Ağaçlara Ait Tahmin Sonuçları

Ekstra Ağaçlar (Extra Trees) modelinin giriş boyutu, giriş verileri olarak radyasyon ve panel sıcaklığı kullanıldığı için 2'dir.

Ormandaki ağaç sayısı 15 olarak belirlenmiştir. En iyi bölünmeyi ararken göz önünde bulundurulması gereken özelliklerin sayısı otomatik olarak seçilmiştir. Bir dahili düğümü bölmek için gereken minimum örnek sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Bir yaprak düğümünde olması gereken minimum örnek sayısı ise 1 olarak seçilmiştir. Modelin çıkış boyutu ise 1'dir.

Oluşturulan model 8 Temmuz 2022 tarihine ait 24 adet saatlik elektrik enerjisi üretim verisi üzerinde test edilmiştir. Yapılan test sonucunda RMSE değeri 60,50 olarak tespit edilmiştir.

Ekstra Ağaçlara ait 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonucu Şekil 5.13'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13: Ekstra Ağaçlar 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini

Ekstra Ağaçlara ait elektrik enerjisi üretim tahmini değerleri, gerçek değerler ve değerler arasındaki hataların mutlak değerleri Tablo 5.11'deki gibidir.

Tablo 5.11: Ekstra Ağaçlar 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonuçları

Ekstra Ağaçlar				
08 Temmuz 2022				
Saat	Gerçek Değerler (kWh)	Tahmin Değerleri (kWh)	Hata (kWh)	Hata Oranı
00:00	0	0,34	0,34	-
01:00	0	2,53	2,53	-
02:00	0	1,03	1,03	-
03:00	0	0	0	-
04:00	0	0	0	-
05:00	0	65,43	65,43	-
06:00	0	7,59	7,59	-
07:00	12,07	121,78	109,71	908,95%
08:00	96,6	148,12	51,52	53,33%
09:00	312,22	533,94	221,72	71,01%
10:00	543,37	564,42	21,04	3,87%

11:00	724,5	852,03	127,53	17,60%
12:00	848,7	827,42	21,27	-2,51%
13:00	912,52	881,01	31,51	-3,45%
14:00	917,7	915,4	2,3	-0,25%
15:00	881,47	891,13	9,66	1,10%
16:00	791,77	800,4	8,62	1,09%
17:00	645,15	639,97	5,175	-0,80%
18:00	436,42	467,7	31,28	7,17%
19:00	203,55	221,37	17,82	8,75%
20:00	48,3	50,37	2,07	4,29%
21:00	8,62	5,75	2,87	-33,29%
22:00	0	0	0	-
23:00	0	2,87	2,87	-

5.4.3.4 Uyarlanabilir Yükseltmeye Ait Tahmin Sonuçları

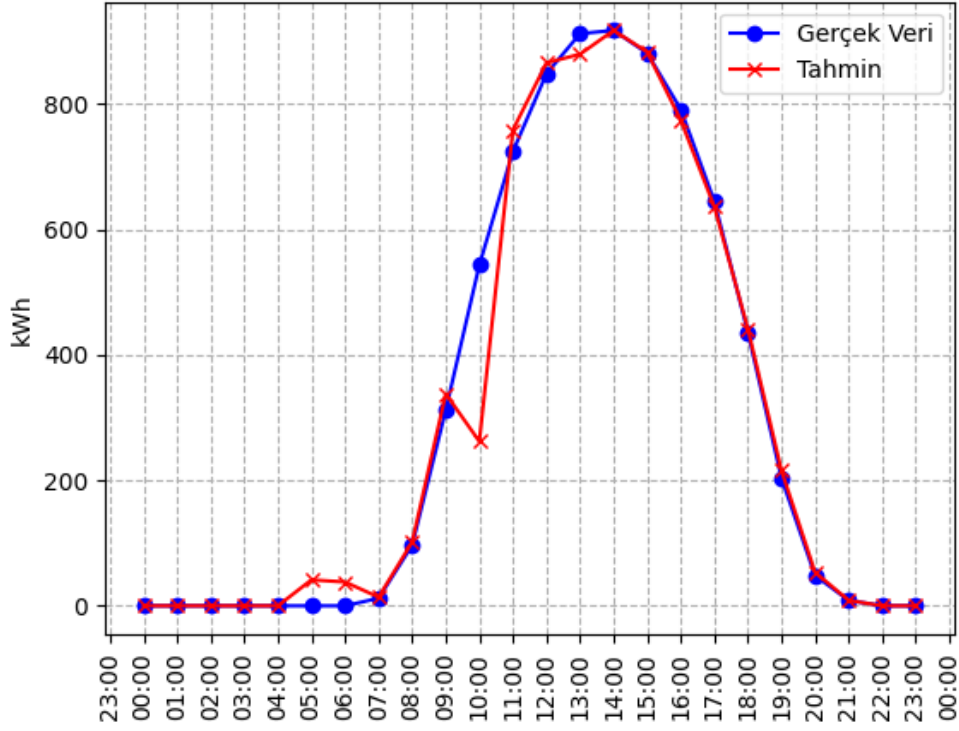
Uyarlanabilir Yükseltme (Adaptive Boosting) modelinin giriş boyutu, giriş verileri olarak radyasyon ve panel sıcaklığı kullanıldığı için 2'dir.

Tahminci sayısı 40 olarak belirlenmiştir. Öğrenme oranı 0,1 olarak seçilmiştir. Kayıp fonksiyonu lineer olarak belirlenmiştir. Modelin çıkış boyutu ise 1'dir.

Oluşturulan model 8 Temmuz 2022 tarihine ait 24 adet saatlik elektrik enerjisi üretim verisi üzerinde test edilmiştir. Yapılan test sonucunda RMSE değeri 59,87 olarak tespit edilmiştir.

Uyarlanabilir Yükseltmeye ait 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonucu Şekil 5.14'te gösterilmiştir.

ADABOOST - Prediction
08.07.2022



Şekil 5.14: Uyarlanabilir Yükseltme 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini

Uyarlanabilir Yükseltmeye ait elektrik enerjisi üretim tahmini değerleri, gerçek değerler ve değerler arasındaki hataların mutlak değerleri Tablo 5.12'deki gibidir.

Tablo 5.12: Uyarlanabilir Yükseltme 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonuçları

Uyarlanabilir Yükseltme				
08 Temmuz 2022				
Saat	Gerçek Değerler (kWh)	Tahmin Değerleri (kWh)	Hata (kWh)	Hata Oranı
00:00	0	0	0	-
01:00	0	0	0	-
02:00	0	0	0	-
03:00	0	0	0	-
04:00	0	0	0	-
05:00	0	41,4	41,4	-
06:00	0	37,95	37,95	-
07:00	12,07	13,8	1,72	14,33%
08:00	96,6	101,77	5,17	5,35%
09:00	312,22	338,1	25,87	8,29%
10:00	543,37	262,2	281,17	-51,75%

11:00	724,5	759	34,5	4,76%
12:00	848,7	865,95	17,25	2,03%
13:00	912,52	879,75	32,77	-3,59%
14:00	917,7	917,7	0	0,00%
15:00	881,47	883,2	1,72	0,20%
16:00	791,77	774,52	17,25	-2,18%
17:00	645,15	636,52	8,62	-1,34%
18:00	436,42	441,6	5,17	1,19%
19:00	203,55	215,62	12,07	5,93%
20:00	48,3	53,47	5,17	10,70%
21:00	8,62	8,62	0	0,00%
22:00	0	0	0	-
23:00	0	0	0	-

5.4.3.5 Gradyan Yükseltmeye Ait Tahmin Sonuçları

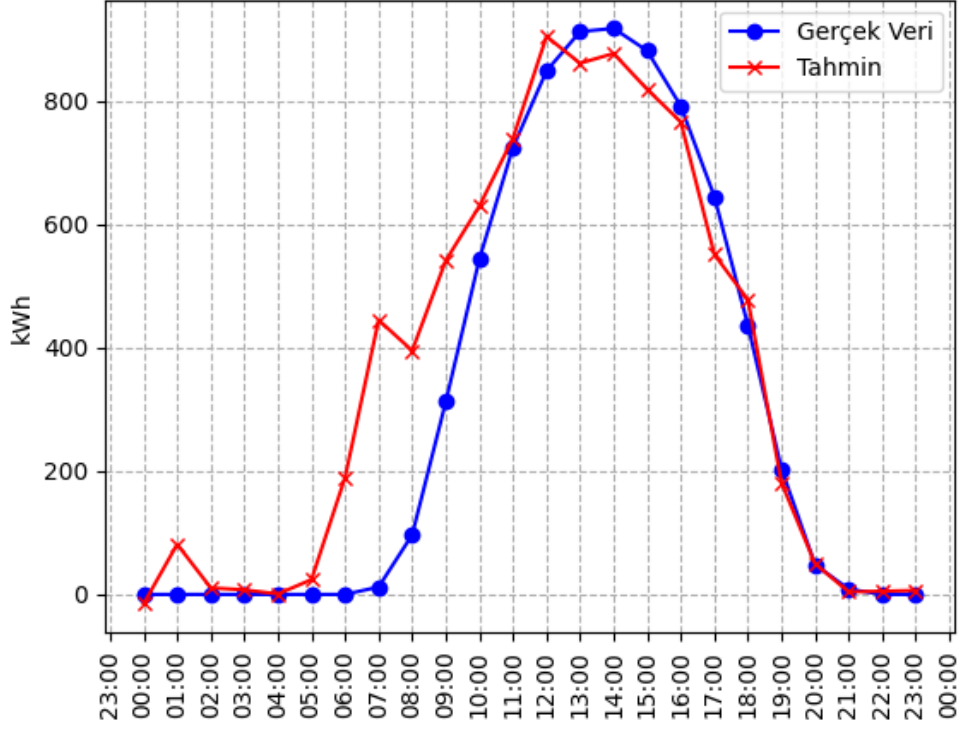
Gradyan Yükseltme (Gradient Boosting) modelinin giriş boyutu, giriş verileri olarak radyasyon ve panel sıcaklığı kullanıldığı için 2'dir.

Tahminci sayısı 600 olarak belirlenmiştir. Optimize edilecek kayıp fonksiyonu karesel hata olarak seçilmiştir. Öğrenme oranı 0,1 olarak belirlenmiştir. Bir dahili düğümü bölmek için gereken minimum örnek sayısı 2 olarak seçilmiştir. Bir yaprak düğümünde olması gereken minimum örnek sayısı ise 1 olarak belirlenmiştir. Modelin çıkış boyutu ise 1'dir.

Oluşturulan model 8 Temmuz 2022 tarihine ait 24 adet saatlik elektrik enerjisi üretim verisi üzerinde test edilmiştir. Yapılan test sonucunda RMSE değeri 129,62 olarak tespit edilmiştir.

Gradyan Yükseltmeye ait 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonucu Şekil 5.15'te gösterilmiştir.

GradientBoosting - Prediction
08.07.2022



Şekil 5.15: Gradyan Yükseltme 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini

Gradyan Yükseltmeye ait elektrik enerjisi üretim tahmini değerleri, gerçek değerler ve değerler arasındaki hataların mutlak değerleri Tablo 5.13'teki gibidir.

Tablo 5.13: Gradyan Yükseltme 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonuçları

Gradyan Yükseltme				
08 Temmuz 2022				
Saat	Gerçek Değerler (kWh)	Tahmin Değerleri (kWh)	Hata (kWh)	Hata Oranı
00:00	0	-15,2	15,2	-
01:00	0	81,37	81,37	-
02:00	0	10,64	10,64	-
03:00	0	7,43	7,43	-
04:00	0	0,77	0,77	-
05:00	0	24,01	24,01	-
06:00	0	189,45	189,45	-
07:00	12,07	444,91	432,83	3586,08%
08:00	96,6	395,31	298,71	309,22%
09:00	312,22	541,21	228,98	73,34%
10:00	543,37	629,46	86,09	15,84%

11:00	724,5	739,57	15,07	2,08%
12:00	848,7	904,75	56,05	6,60%
13:00	912,52	861,2	51,31	-5,62%
14:00	917,7	877,06	40,63	-4,43%
15:00	881,47	818,84	62,63	-7,11%
16:00	791,77	766,22	25,55	-3,23%
17:00	645,15	551,3	93,84	-14,55%
18:00	436,42	477,65	41,23	9,45%
19:00	203,55	180,98	22,56	-11,09%
20:00	48,3	49,9	1,6	3,31%
21:00	8,62	4	4,61	-53,60%
22:00	0	5,22	5,22	-
23:00	0	6,42	6,42	-

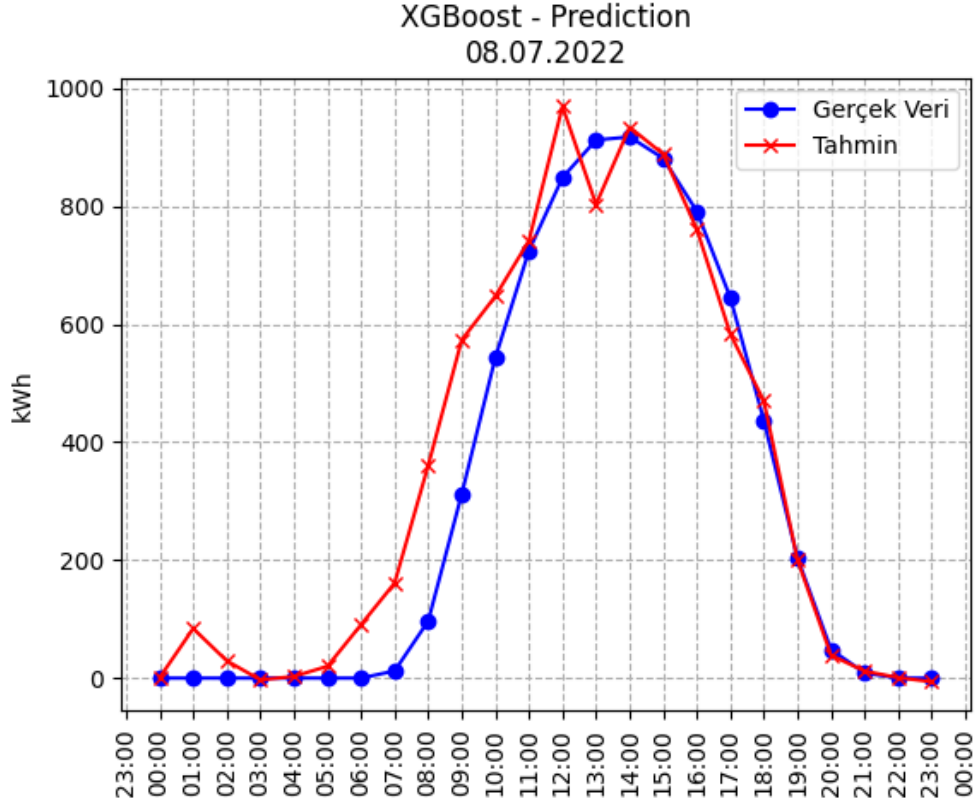
5.4.3.6 XG Yükseltmeye Ait Tahmin Sonuçları

XG Yükseltme (XG Boost) modelinin giriş boyutu, giriş verileri olarak radyasyon ve panel sıcaklığı kullanıldığı için 2'dir.

Tahminci sayısı 50 olarak belirlenmiştir. Öğrenme oranı 0,3 olarak seçilmiştir. Bir dahili düğümü bölmek için gereken minimum örnek sayısı 2 olarak seçilmiştir. Bir ağacın maksimum derinliği 6 olarak belirlenmiştir. Modelin çıkış boyutu ise 1'dir.

Oluşturulan model 8 Temmuz 2022 tarihine ait 24 adet saatlik elektrik enerjisi üretim verisi üzerinde test edilmiştir. Yapılan test sonucunda RMSE değeri 95,87 olarak tespit edilmiştir.

XG Yükseltmeye ait 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonucu Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



Şekil 5.16: XG Yükseltme 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini

XG Yükseltmeye ait elektrik enerjisi üretim tahmini değerleri, gerçek değerler ve değerler arasındaki hataların mutlak değerleri Tablo 5.14'teki gibidir.

Tablo 5.14: XG Yükseltme 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonuçları

XG Yükseltme				
08 Temmuz 2022				
Saat	Gerçek Değerler (kWh)	Tahmin Değerleri (kWh)	Hata (kWh)	Hata Oranı
00:00	0	0,78	0,78	-
01:00	0	84,06	84,06	-
02:00	0	29,33	29,33	-
03:00	0	-3	3	-
04:00	0	2,79	2,79	-
05:00	0	20,04	20,04	-
06:00	0	90,59	90,59	-
07:00	12,07	161,18	149,11	1235,38%
08:00	96,6	360,46	263,86	273,15%
09:00	312,22	573,45	261,22	83,67%
10:00	543,37	647,53	104,15	19,17%

11:00	724,5	741,64	17,14	2,37%
12:00	848,7	969,44	120,74	14,23%
13:00	912,52	803,32	109,2	-11,97%
14:00	917,7	934,14	16,44	1,79%
15:00	881,47	888,56	7,09	0,80%
16:00	791,77	761,51	30,25	-3,82%
17:00	645,15	583,3	61,84	-9,59%
18:00	436,42	469,67	33,24	7,62%
19:00	203,55	200,37	3,17	-1,56%
20:00	48,3	38,83	9,46	-19,61%
21:00	8,62	11,72	3,09	35,96%
22:00	0	0,85	0,85	-
23:00	0	-6,3	6,3	-

5.4.3.7 K-Komşulara Ait Tahmin Sonuçları

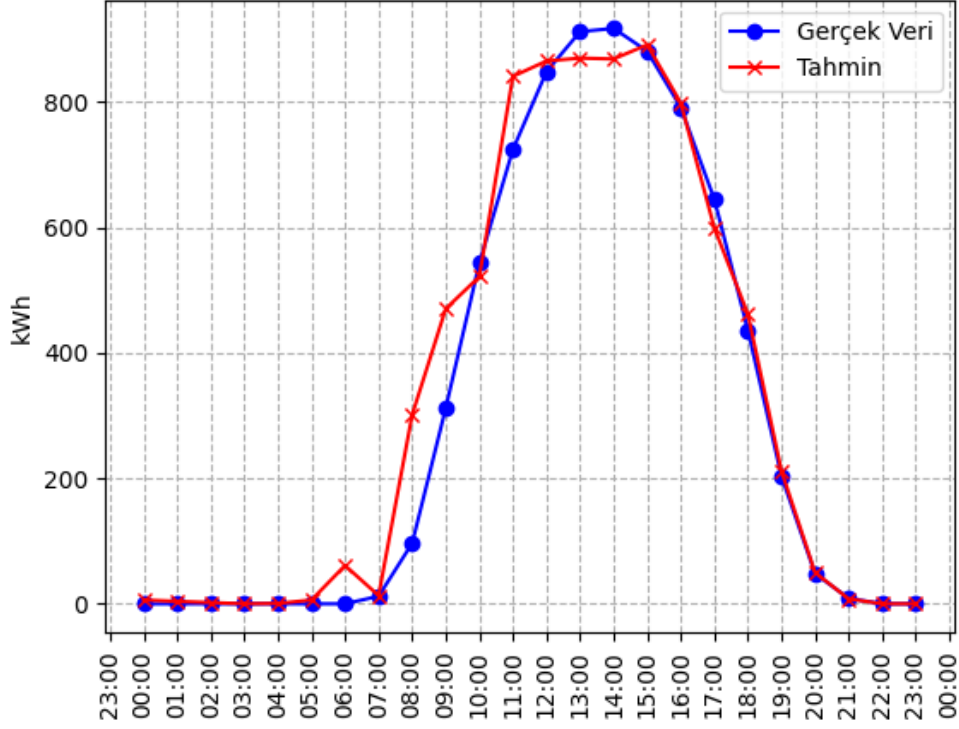
K-Komşular (K-Neighbors) modelinin giriş boyutu, giriş verileri olarak radyasyon ve panel sıcaklığı kullanıldığı için 2'dir.

Komşu sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Tahminde kullanılan ağırlık fonksiyonu üniform olarak seçilmiştir. En yakın komşuları belirlemek için kullanılan model otomatik olarak belirlenmiştir. Ağaç için kullanılacak mesafe metriği minkowski olarak seçilmiştir. Modelin çıkış boyutu ise 1'dir.

Oluşturulan model 8 Temmuz 2022 tarihine ait 24 adet saatlik elektrik enerjisi üretim verisi üzerinde test edilmiştir. Yapılan test sonucunda RMSE değeri 62,05 olarak tespit edilmiştir.

K-Komşulara ait 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonucu Şekil 5.17'de gösterilmiştir.

KNeighbors - Prediction
08.07.2022



Şekil 5.17: K-Komşular 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini

K-Komşulara ait elektrik enerjisi üretim tahmini değerleri, gerçek değerler ve gerçekler arasındaki hataların mutlak değerleri Tablo 5.15'teki gibidir.

Tablo 5.15: K-Komşular 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini sonuçları

K-Komşular				
08 Temmuz 2022				
Saat	Gerçek Değerler (kWh)	Tahmin Değerleri (kWh)	Hata (kWh)	Hata Oranı
00:00	0	6,12	6,12	-
01:00	0	3,86	3,86	-
02:00	0	1,99	1,99	-
03:00	0	0	0	-
04:00	0	0,56	0,56	-
05:00	0	6,03	6,03	-
06:00	0	61,11	61,11	-
07:00	12,07	13,06	0,98	8,20%
08:00	96,6	301,53	204,93	212,14%
09:00	312,22	470,62	158,39	50,73%
10:00	543,37	521,69	21,67	-3,99%

11:00	724,5	841,19	116,69	16,11%
12:00	848,7	865,68	16,98	2,00%
13:00	912,52	870,32	42,19	-4,62%
14:00	917,7	868,99	48,7	-5,31%
15:00	881,47	891,53	10,05	1,14%
16:00	791,77	798,85	7,08	0,89%
17:00	645,15	599,41	45,73	-7,09%
18:00	436,42	462	25,57	5,86%
19:00	203,55	211,72	8,17	4,01%
20:00	48,3	49,85	1,55	3,21%
21:00	8,62	7,91	0,7	-8,24%
22:00	0	0	0	-
23:00	0	0	0	-

6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

6.1 Meteoroloji İstasyonu Verilerinin Değerlendirilmesi

Meteoroloji istasyonundan elde edilen dakika ölçeğindeki veriler, enerji üretim verileri saat ölçeğinde olduğu için saatlik ortalamaları alınmıştır. Santralin, 20 Mayıs 2022 günü saat ölçeğinde Radyasyon, Dahili Sıcaklık, Panel Sıcaklığı, Ortam Sıcaklığı, Rüzgâr Hızı ve Rüzgâr Yönü bilgileri ile bu sene ve önceki sene üretim değerleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1: Saatlik Ortalama Meteorolojik Değerler ve Üretim Değerleri

Saat Dilimi	Radyasyon W/m ²	Dahili Sıcaklık °C	Panel Sıcaklığı °C	Ortam Sıcaklığı °C	Rüzgâr Hızı m/s	Rüzgâr Yönü °	2022 üretimi kWh	2021 üretimi kWh
20.05.2022 00	0,370	14,381	14,338	14,917	5,299	192,274	0,000	0,000
20.05.2022 01	0,408	15,170	13,222	14,061	4,617	188,029	0,000	0,000
20.05.2022 02	0,479	13,131	13,006	13,287	2,784	160,753	0,000	0,000
20.05.2022 03	0,531	11,946	9,463	12,521	1,008	170,277	0,000	0,000
20.05.2022 04	0,508	12,240	12,352	11,299	1,268	183,825	0,000	0,000
20.05.2022 05	1,724	10,265	10,548	9,541	0,341	174,549	0,000	0,000
20.05.2022 06	78,022	10,872	13,016	11,372	2,048	230,445	0,000	0,000
20.05.2022 07	314,218	14,428	18,500	13,762	2,839	225,416	15,525	13,800
20.05.2022 08	655,000	17,345	27,970	15,182	2,683	222,229	127,650	134,550
20.05.2022 09	820,095	20,883	32,420	18,723	4,919	220,367	436,425	384,675
20.05.2022 10	943,336	23,536	34,042	20,901	3,416	219,335	669,300	619,275
20.05.2022 11	986,878	27,780	38,629	22,756	5,398	205,110	828,000	667,575
20.05.2022 12	961,809	31,707	40,221	24,242	4,052	209,466	950,475	874,575
20.05.2022 13	847,230	31,879	40,070	25,149	4,205	219,035	969,450	964,275
20.05.2022 14	682,892	29,919	38,466	26,894	2,973	217,241	967,725	966,000
20.05.2022 15	472,128	29,390	37,108	27,625	2,295	214,931	948,750	926,325
20.05.2022 16	206,154	28,984	31,871	27,946	0,691	218,045	838,350	815,925
20.05.2022 17	69,981	29,666	27,818	28,751	0,386	209,579	669,300	626,175
20.05.2022 18	56,621	28,941	27,992	27,475	3,250	169,639	443,325	407,100
20.05.2022 19	45,111	26,425	25,899	24,779	3,497	147,095	196,650	155,250
20.05.2022 20	4,184	21,768	20,702	21,482	1,047	114,067	60,375	29,325
20.05.2022 21	0,124	18,670	17,617	18,844	0,519	123,976	8,625	1,725
20.05.2022 22	0,232	16,913	16,858	16,590	0,071	126,898	0,000	0,000
20.05.2022 23	0,343	14,742	14,946	13,548	0,014	106,247	0,000	0,000

Elde edilen verilerden panel sıcaklığı sistemin verimindeki termal kayıpları olan Denklem 4.11’de yerine koyulmuştur. Kullanılan PV panelin β değeri Tablo

4.1'den görülebildiği gibi 0,39'dur. Panel sıcaklığı $T_c = 40^\circ C$ için termal kayıp katsayısı $\frac{\eta_g}{\eta_g^*} = 1 - \frac{0,39 \times (40-25)}{100} = 0,9415$ olarak hesaplanmıştır.

Sistemin ortalama üretim değeri $P = A_g \times \eta_g \times \frac{G_{eff}}{G^*} \times \frac{\eta_g}{\eta_g^*}$ formülü ile hesaplanmıştır. Santralin PV panel alanı $A_g = 3960 \times 1,65 \times 0,991 = 6.475,19 m^2$ 'dir. Kullanılan panelin verimi $\eta_g = 0,1836$ 'dır. Radyasyon değeri $G_{eff} = 876,31 W/m^2$ ve Panel sıcaklığı $T_c = 35,58^\circ C$ formüle konulduğunda;

$$P = 6475,19 \times 0,1836 \times \frac{876,31}{1000} \times 0,9587 = 998,8 \text{ kWh} \quad \text{hesaplanmıştır.}$$

Gerçekleşen üretim değeri 967,725 kWh olmuştur. Sistemin diğer kayıpları (kirlilik, evirici vb) nedeniyle farklı çıkmıştır. Sıcaklık haricindeki diğer kayıpları %3,11 hesaplanmıştır.

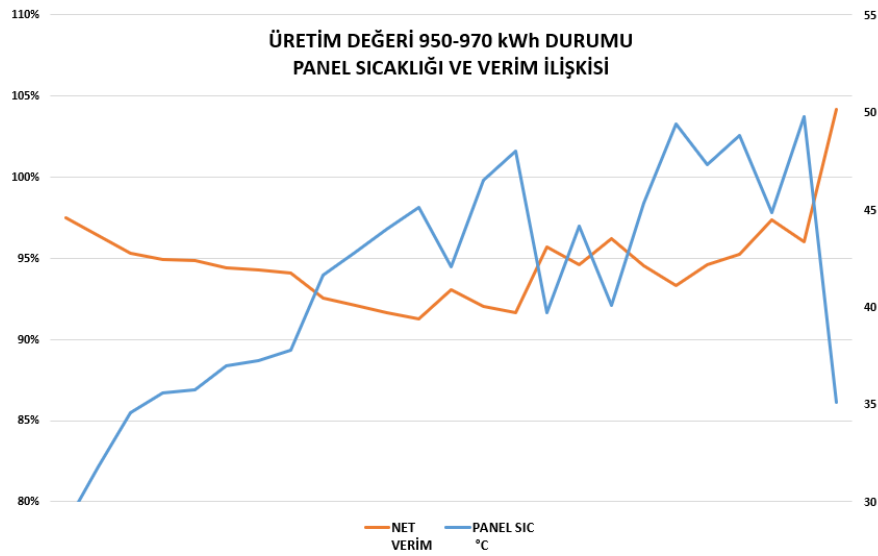
Veri tablosundan gerçekleşen üretimin 950-970 kWh olduğu günün 13. Saati için süzülen değerler Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2 Üretim Değeri 950-970 kWh için Saat 13 Değerleri

zaman	RADYASYON W/m ²	PANEL ORTAM		ÜRETİM kWh	SICAKLIK KATSAYISI	NET VERİM
		SIC °C	SIC °C			
23.03.2022 13	878,46	28,84	13,59	962,550	0,9850	97,53%
19.02.2022 13	979,17	31,80	13,58	969,450	0,9735	96,38%
26.03.2022 13	956,52	34,55	16,40	969,450	0,9627	95,32%
23.09.2021 13	876,31	35,58	21,42	967,725	0,9587	94,92%
25.03.2022 13	925,14	35,76	19,08	966,000	0,9580	94,85%
05.05.2022 13	885,56	36,96	21,55	969,450	0,9534	94,39%
10.04.2022 13	891,07	37,27	23,80	969,450	0,9521	94,27%
27.03.2022 13	942,82	37,79	20,13	969,450	0,9501	94,07%
30.03.2022 13	917,55	41,64	21,35	962,550	0,9351	92,59%
07.05.2022 13	891,35	42,84	26,15	964,275	0,9304	92,12%
09.04.2022 13	896,05	44,01	26,81	967,725	0,9259	91,67%
10.05.2022 13	888,99	45,12	28,09	962,550	0,9215	91,24%
09.05.2022 13	873,19	42,05	27,18	966,000	0,9335	93,06%
12.05.2022 13	884,49	46,53	28,12	967,725	0,9160	92,03%
08.05.2022 13	888,18	48,01	27,04	967,725	0,9102	91,65%
24.09.2021 13	850,43	39,74	23,28	967,725	0,9425	95,72%
22.05.2022 13	854,43	44,13	30,06	960,825	0,9254	94,59%
20.05.2022 13	847,23	40,07	25,15	969,450	0,9412	96,25%
14.05.2022 13	857,84	45,34	28,09	964,275	0,9207	94,55%
21.05.2022 13	859,94	49,42	31,53	953,925	0,9048	93,31%

15.05.2022	13	844,73	47,31	30,02	950,475	0,9130	94,65%
17.05.2022	13	845,67	48,80	31,74	957,375	0,9072	95,23%
11.05.2022	13	834,41	44,84	27,48	966,000	0,9226	97,38%
18.05.2022	13	841,81	49,79	33,32	960,825	0,9033	96,01%
03.12.2021	13	777,32	35,09	20,63	962,550	0,9606	104,16%

Bu durumda oluşan panel sıcaklığı verim grafiği Şekil 6.1’de verilmiştir. Panel sıcaklığı 28,84 °C iken net verim %97,53 ve panel sıcaklığı 44,01 °C iken net verim %91,67 hesaplanmıştır. Sıcaklık farkı 15,17 °C için net verim %5,86 azalmıştır. Her 1 °C panel sıcaklığı artışı için net verim %0,386 azalmıştır.



Şekil 6.1: Üretim 950-970 kWh için Panel Sıcaklığı-Verim İlişkisi

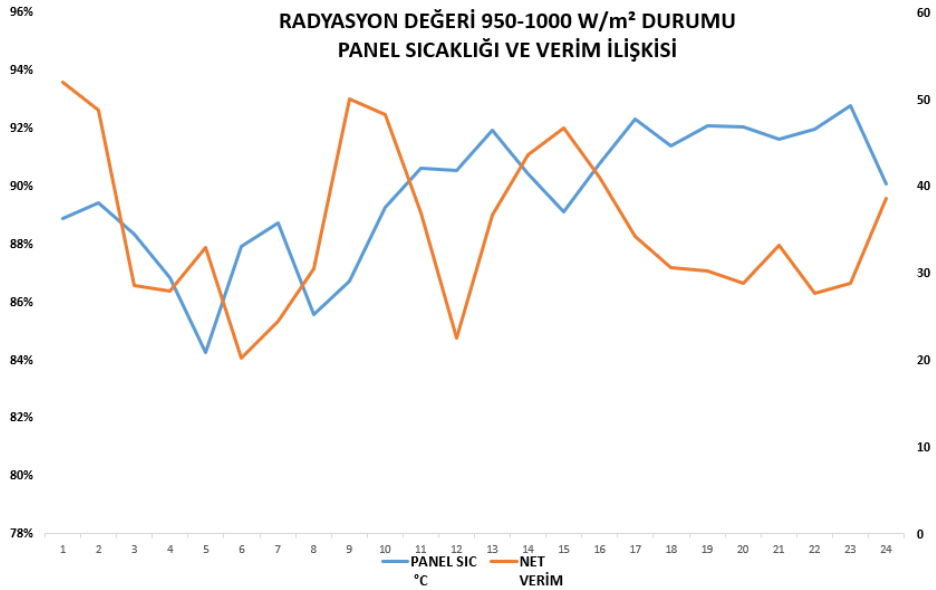
Veri tablosundan radyasyon değerinin 950-1000 W/m² olduğu günün 12. Saati için süzülen değerler Tablo 6.3’te verilmiştir.

Tablo 6.3: Radyasyon Değeri 950-1000 W/m² için Saat 12 Değerleri

zaman	RADYASYON W/m ²	PANEL SIC °C	ORTAM SIC °C	ÜRETİM kWh	SICAKLIK KATSAYISI	NET VERİM	
23.09.2021	12	988,72	36,30	19,93	943,575	0,9559	93,58%
24.09.2021	12	985,98	38,15	21,51	931,500	0,9487	92,62%
05.01.2022	12	988,74	34,47	18,40	841,800	0,9631	86,57%
20.01.2022	12	966,80	29,45	4,50	798,675	0,9826	86,36%
26.01.2022	12	951,31	20,84	3,76	708,975	1,0162	87,89%
31.01.2022	12	955,17	33,12	10,44	740,025	0,9684	84,09%
26.02.2022	12	979,97	35,78	10,41	834,900	0,9580	85,34%
03.03.2022	12	959,63	25,21	7,44	583,050	0,9992	87,17%
23.03.2022	12	954,94	29,13	12,23	945,300	0,9839	93,03%
25.03.2022	12	982,18	37,60	16,74	893,550	0,9509	92,47%

30.03.2022	12	963,94	42,06	18,93	891,825	0,9335	89,09%
08.04.2022	12	997,93	41,86	21,97	843,525	0,9343	84,76%
09.04.2022	12	980,85	46,40	24,12	915,975	0,9166	89,01%
10.04.2022	12	983,26	41,48	22,10	926,325	0,9357	91,09%
05.05.2022	12	975,43	37,11	21,30	938,400	0,9528	92,02%
07.05.2022	12	979,41	42,55	24,74	945,300	0,9315	90,33%
08.05.2022	12	978,31	47,75	27,01	921,150	0,9113	88,27%
09.05.2022	12	953,72	44,68	25,69	905,625	0,9232	87,18%
10.05.2022	12	961,87	46,94	26,31	900,450	0,9144	87,08%
11.05.2022	12	956,52	46,77	25,48	888,375	0,9151	86,67%
12.05.2022	12	965,34	45,46	25,31	914,250	0,9202	87,95%
14.05.2022	12	951,95	46,61	24,81	902,175	0,9157	86,31%
18.05.2022	12	966,70	49,27	30,96	897,000	0,9054	86,65%
20.05.2022	12	961,81	40,22	24,24	950,475	0,9406	89,58%

Bu durumda oluşan panel sıcaklığı verim grafiği Şekil 6.2’de verilmiştir. Panel sıcaklığı 29,13 °C iken net verim %93,03 ve panel sıcaklığı 49,27 °C iken net verim %86,65 hesaplanmıştır. Sıcaklık farkı 20,14 °C için net verim %6,38 azalmıştır. Her 1 °C panel sıcaklığı artışı için net verim %0,316 azalmıştır.



Şekil 6.2: Radyasyon 950-1000 W/m² için Panel Sıcaklığı-Verim İlişkisi

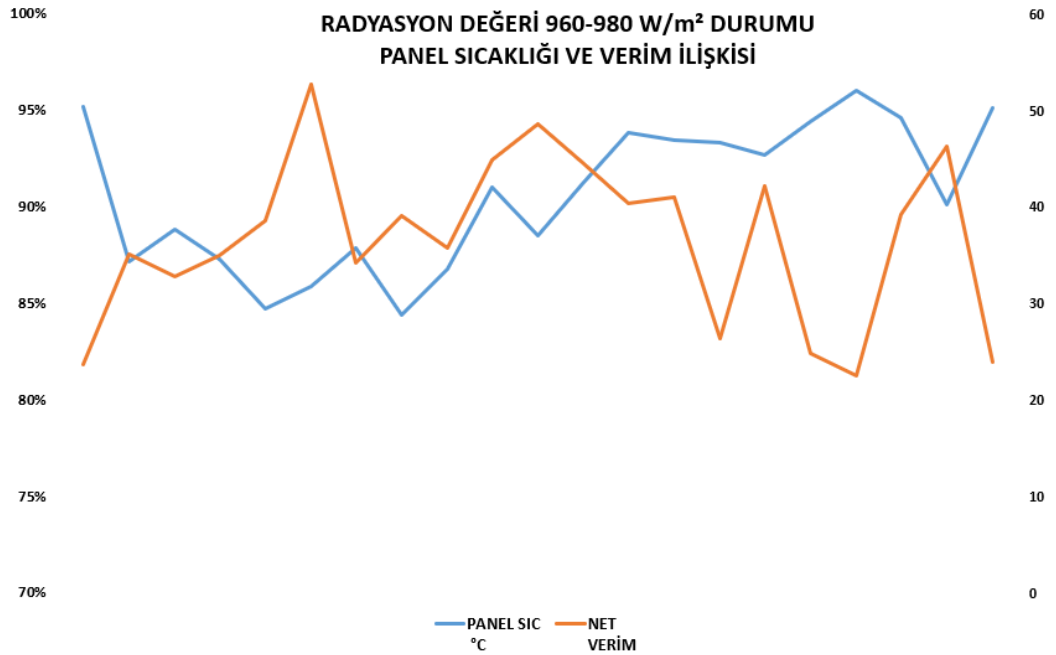
Veri tablosundan radyasyon değerinin 960-980 W/m² için süzülen değerler Tablo 6.4’te verilmiştir.

Tablo 6.4: Radyasyon Değeri 960-980 W/m² için Değerler

zaman	RADYASYON W/m²	PANEL SIC °C	ORTAM SIC °C	ÜRETİM kWh	SICAKLIK KATSAYISI	NET VERİM
-------	----------------	--------------	--------------	------------	--------------------	-----------

21.09.2021	11	972,45	50,49	32,17	703,800	0,9006	81,87%
23.09.2021	10	978,42	34,38	18,29	467,475	0,9634	87,58%
24.09.2021	10	979,97	37,70	19,78	579,600	0,9505	86,41%
05.01.2022	11	960,42	34,61	18,57	408,825	0,9625	87,50%
20.01.2022	12	966,80	29,45	4,50	798,675	0,9826	89,33%
19.02.2022	13	979,17	31,80	13,58	969,450	0,9735	96,38%
26.02.2022	12	979,97	35,78	10,41	834,900	0,9580	87,09%
23.03.2022	11	976,16	28,83	11,92	777,975	0,9851	89,55%
26.03.2022	11	979,74	33,57	14,32	752,100	0,9666	87,87%
30.03.2022	12	963,94	42,06	18,93	891,825	0,9335	92,42%
05.05.2022	12	975,43	37,11	21,30	938,400	0,9528	94,34%
07.05.2022	12	979,41	42,55	24,74	945,300	0,9315	92,23%
08.05.2022	12	978,31	47,75	27,01	921,150	0,9113	90,23%
10.05.2022	12	961,87	46,94	26,31	900,450	0,9144	90,54%
12.05.2022	11	965,21	46,66	25,68	798,675	0,9155	83,23%
12.05.2022	12	965,34	45,46	25,31	914,250	0,9202	91,11%
17.05.2022	11	968,40	48,94	30,00	767,625	0,9066	82,42%
18.05.2022	11	974,43	52,13	31,43	779,700	0,8942	81,29%
18.05.2022	12	966,70	49,27	30,96	897,000	0,9054	89,64%
20.05.2022	12	961,81	40,22	24,24	950,475	0,9406	93,13%
21.05.2022	11	968,90	50,27	30,26	783,150	0,9014	81,95%

Bu durumda oluşan panel sıcaklığı verim grafiği Şekil 6.3'te verilmiştir. Panel sıcaklığı 28,83 °C iken net verim %89,55 ve panel sıcaklığı 50,49 °C iken net verim %81,87 hesaplanmıştır. Sıcaklık farkı 21,66 °C için net verim %7,68 azalmıştır. Her 1 °C panel sıcaklığı artışı için net verim %0,354 azalmıştır.



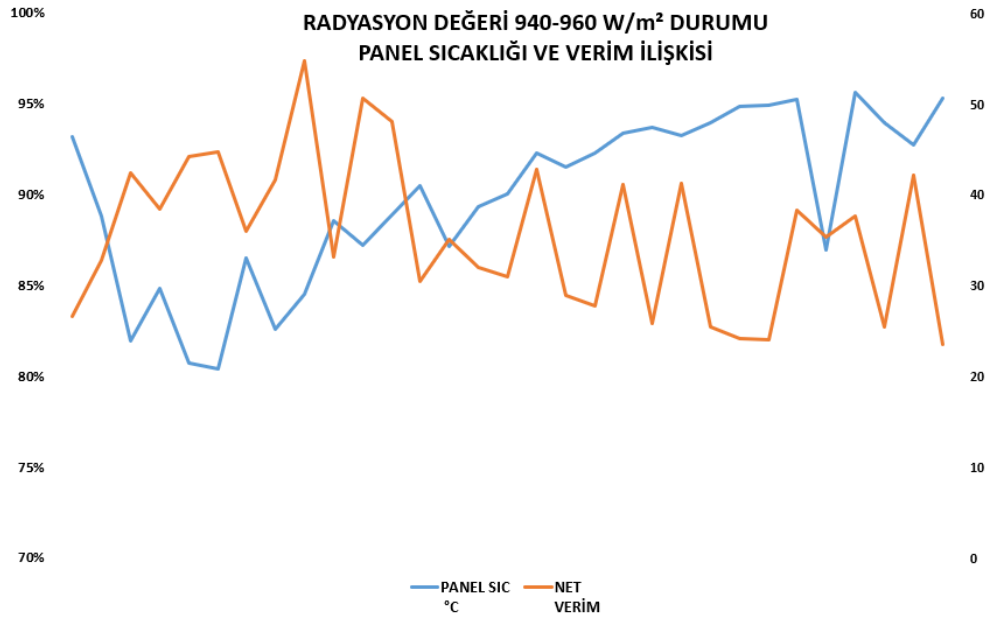
Şekil 6.3: Radyasyon 960-980 W/m² için Panel Sıcaklığı-Verim İlişkisi

Veri tablosundan radyasyon değerinin 940-960 W/m² için süzülen değerler Tablo 6.5'te verilmiştir.

Tablo 6.5: Radyasyon Değeri 940-960 W/m² için Değerler

zaman	RADYASYON W/m ²	PANEL SIC °C	ORTAM SIC °C	ÜRETİM kWh	SICAKLIK KATSAYISI	NET VERİM
22.09.2021 12	942,77	46,40	27,03	859,050	0,9166	83,32%
06.01.2022 11	952,09	37,75	19,22	391,575	0,9503	86,39%
14.01.2022 12	941,60	24,02	5,25	791,775	1,0038	91,26%
17.01.2022 12	942,31	29,74	6,64	738,300	0,9815	89,23%
19.01.2022 13	948,77	21,58	5,11	752,100	1,0134	92,12%
26.01.2022 12	951,31	20,84	3,76	708,975	1,0162	92,39%
31.01.2022 12	955,17	33,12	10,44	740,025	0,9684	88,03%
03.03.2022 12	959,63	25,21	7,44	583,050	0,9992	90,84%
23.03.2022 12	954,94	29,13	12,23	945,300	0,9839	97,42%
25.03.2022 11	942,64	37,19	16,43	729,675	0,9524	86,59%
26.03.2022 13	956,52	34,55	16,40	969,450	0,9627	95,32%
27.03.2022 13	942,82	37,79	20,13	969,450	0,9501	94,07%
30.03.2022 11	946,96	41,02	20,02	726,225	0,9375	85,23%
03.04.2022 12	942,15	34,35	20,62	715,875	0,9635	87,59%
06.05.2022 11	949,23	38,79	20,94	821,100	0,9462	86,02%
09.05.2022 11	959,75	40,15	23,49	769,350	0,9409	85,54%
09.05.2022 12	953,72	44,68	25,69	905,625	0,9232	91,41%
10.05.2022 11	959,89	43,10	25,35	774,525	0,9294	84,49%
11.05.2022 11	941,93	44,69	24,67	750,375	0,9232	83,93%
11.05.2022 12	956,52	46,77	25,48	888,375	0,9151	90,60%
14.05.2022 11	945,36	47,42	26,60	790,050	0,9126	82,96%
14.05.2022 12	951,95	46,61	24,81	902,175	0,9157	90,67%
15.05.2022 11	951,20	47,96	28,06	764,175	0,9105	82,77%
15.05.2022 12	940,95	49,79	28,02	879,750	0,9033	82,12%
16.05.2022 11	944,41	49,95	30,31	752,100	0,9027	82,06%
17.05.2022 12	941,84	50,55	30,11	891,825	0,9004	89,15%
20.05.2022 10	943,34	34,04	20,90	669,300	0,9647	87,70%
21.05.2022 12	941,94	51,27	30,45	895,275	0,8976	88,87%
22.05.2022 11	952,56	47,96	28,75	772,800	0,9105	82,77%
22.05.2022 12	941,67	45,54	29,13	886,650	0,9199	91,08%
23.05.2022 11	941,06	50,73	30,89	769,350	0,8997	81,79%

Bu durumda oluşan panel sıcaklığı verim grafiği Şekil 6.4'te verilmiştir. Panel sıcaklığı 29,13 °C iken net verim %97,42 ve panel sıcaklığı 51,27 °C iken net verim %88,87 hesaplanmıştır. Sıcaklık farkı 22,14 °C için net verim %8,55 azalmıştır. Her 1 °C panel sıcaklığı artışı için net verim %0,386 azalmıştır.



Şekil 6.4: Radyasyon 940-960 W/m² için Panel Sıcaklığı-Verim İlişkisi

Sonuç olarak, veri setinin içinden 4 farklı koşulda (950-970 kWh üretim ve Saat 13 değerleri, 950-1000 W/m² radyasyon ve Saat 12 değerleri, 960-980 W/m² radyasyon değerleri, 940-960 W/m² radyasyon değerleri) hesaplanan net verim kayıpları Tablo 6.6’da verilmiştir. Net verim kayıpları %0,316 ile %0,386 arasında değişmiştir. Yapılan hesaplamalara göre her 1 °C panel sıcaklığı artışı için ortalama net verim %0,36 azalmıştır.

Tablo 6.6: İstasyon Verilerinden Net Verim Kaybı Değerlendirilmesi

Hesaplama Koşulları	Net Verim Kaybı
950-970 kWh üretim ve Saat 13 değerleri	%0,386
950-1000 W/m ² radyasyon ve Saat 12 değerleri	%0,316
960-980 W/m ² radyasyon değerleri	%0,354
940-960 W/m ² radyasyon değerleri	%0,386

Rahman ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmada 1000 W/m² güneş radyasyonu altında her 1°C sıcaklık düşüşte çıkış gücü 0,37 W ve elektriksel verimi %0,06 artmıştır.

Keçel ve Yavuzcan (2008) tarafından yapılan çalışmada panellerde her 1°C sıcaklık artışı için açık devre gerilimi (V_{oc}) %0,37, kısa devre akımı (I_{sc}) %0,05 lik azalma göstermiştir.

Bu çalışmada elde edilen değer, İzmir ili Tire ilçesinde bulunana arazi tipi güneş enerji santralinde yapılmıştır. İleride yapılacak çalışmalarda değişik konumlarda yapılacak ölçümler ile yapılabilir.

6.2 Sonuçlar ve Öneriler

Bu tez çalışmasında 7 farklı makine öğrenmesi modeli kullanılmış ve oluşturulan bu makine öğrenmesi modellerinin İzmir İli, Tire İlçesinde yer alan 1 MW gücündeki santralin 8 Temmuz 2022 tarihine ait 24 saatlik elektrik enerjisi üretim tahmini üzerindeki tahmin başarıları değerlendirilmiştir.

Kullanılan makine öğrenmesi modellerinde kullanılan eğitim ve doğrulama verileri, karşılaştırmanın doğru yapılabilmesi için toplam veri içerisinde aynı rastgelelikte olacak şekilde seçilmiştir. Eğitim verisi olarak tüm verinin %80'i, doğrulama verisi olarak da tüm verinin %20'si kullanılmıştır.

Yapılan deneysel testler sonucunda, en iyi tahmin başarısını Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) değeri 59,87 olarak tespit edilen Uyarlanabilir Yükseltme (Adaptive Boosting) modeli göstermiştir. Tüm makine öğrenmesi modellerinin tahmin başarıları RMSE değerleri ile Tablo 6.7'de gösterilmiştir.

Tablo 6.7: Makine Öğrenmesi Modellerinin RMSE Değerleri

Makine Öğrenmesi Modeli	RMSE Değeri
Karar Ağaçları (Decision Trees)	95,54
Rastgele Orman (Random Forest)	70,33
Ekstra Ağaçlar (Extra Trees)	60,50
Uyarlanabilir Yükseltme (Adaptive Boosting)	59,87
Gradyan Yükseltme (Gradient Boosting)	129,62
XG Yükseltme (XG Boost)	95,87
K-Komşular (KNeighbors)	62,05

Farklı makine öğrenmesi modelleri ile yapılan 8 Temmuz 2022 tarihine ait gerçek üretim değerleri ve tahmin değerleri Tablo 6.8'de gösterilmiştir.

Tablo 6.8: Gerçek Değerler ve 7 Modelin Tahmin Değerleri

Gerçek Değerler ve 7 Farklı Modele Göre Tahmin Değerleri (kWh)								
08 Temmuz 2022								
Saat	Gerçek Değerler	Karar Ağaçları	Rastgele Ormanlar	Ekstra Ağaçlar	Uyarlanabilir Yükseltme	Gradyan Yükseltme	XG Yükseltme	K-Komşular
00:00	0	0	0,69	0,34	0	-15,2	0,78	6,12
01:00	0	0	2,47	2,53	0	81,37	84,06	3,86
02:00	0	6,9	1,72	1,03	0	10,64	29,33	1,99
03:00	0	0	0	0	0	7,43	-3	0
04:00	0	0	0,23	0	0	0,77	2,79	0,56
05:00	0	81,07	36,68	65,43	41,4	24,01	20,04	6,03
06:00	0	0	15,29	7,59	37,95	189,45	90,59	61,11
07:00	12,07	13,8	172,61	121,78	13,8	444,91	161,18	13,06
08:00	96,6	101,77	204,75	148,12	101,77	395,31	360,46	301,53
09:00	312,22	320,85	581,21	533,94	338,1	541,21	573,45	470,62
10:00	543,37	912,52	592,94	564,42	262,2	629,46	647,53	521,69
11:00	724,5	819,37	741,8	852,03	759	739,57	741,64	841,19
12:00	848,7	933,22	890,73	827,42	865,95	904,75	969,44	865,68
13:00	912,52	857,32	872,56	881,01	879,75	861,2	803,32	870,32
14:00	917,7	947,02	923,16	915,4	917,7	877,06	934,14	868,99
15:00	881,47	895,27	853,53	891,13	883,2	818,84	888,56	891,53
16:00	791,77	803,85	797,23	800,4	774,52	766,22	761,51	798,85
17:00	645,15	410,55	647,73	639,97	636,52	551,3	583,3	599,41
18:00	436,42	439,87	440,04	467,7	441,6	477,65	469,67	462
19:00	203,55	225,97	221,43	221,37	215,62	180,98	200,37	211,72
20:00	48,3	48,3	51,4	50,37	53,47	49,9	38,83	49,85
21:00	8,62	0	5	5,75	8,62	4	11,72	7,91
22:00	0	0	0	0	0	5,22	0,85	0
23:00	0	8,62	2,93	2,87	0	6,42	-6,3	0

Karar ağaçları ve Uyarlanabilir Yükseltme modeli hariç makine öğrenmesi modelleri, enerji üretimi yapılamayan 22:00 ile sabah 06:00 saatleri arasında üretim tahminleri yapılmıştır.

Bu çalışmada 178 gün 24 saat ölçeğinde veri kullanılmıştır. Veri setinin artırılması ile ve farklı makine öğrenmesi modelleri ilavesi ve verilerin yılın 4 mevsimine göre ayrıştırılması ile başarı oranının artacağı düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

- AKAR, A., "Bir Güneş Enerji Santralının Kurulumu ve Performansının Analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi FBE*, Elazığ, (2016).
- AKMAN, Ö., "Fotovoltaik Panellerde Sıcaklığın Elektriksel Verime Etkileri ve Termal Güç Eldesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi FBE*, Karabük, (2019).
- ALPKUNT, B., <https://ungo.com.tr/2022/03/gunes-enerjisi-nedir-ve-nasil-calisir>, (2022)
- ARSLAN. E., <https://arslanev.medium.com/makine-%C3%B6%C4%9Frenmesi-knn-k-nearest-neighbors-algoritmas%C4%B1-bdfb688d7c5f>, (2020).
- BİLGİN, M., "Fotovoltaik Panellerin Verimine Panel Yüzey Sıcaklığı Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi FBE, İstanbul (2013).
- BROWNLEE. J., <https://machinelearningmastery.com/extra-trees-ensemble-with-python>, (2021).
- ÇEVİK, S., "YSA Tabanlı Gün Öncesi Saatlik Güneş Işınım Kestirimi", Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi FBE*, Trabzon (2018).
- DENİZ, E., "Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar", İzmir, (2013).
- Deprem Dairesi Başkanlığı AFAD, Türkiye Deprem Tehlike Haritası, <https://deprem.afad.gov.tr/images/depbolge/deprem-tehlike-haritasi.pdf>, (2018).
- DEVHUNTER, <https://devhunteryz.wordpress.com/2018/09/20/rastgele-ormanrandom-forest-algoritmasi/comment-page-1>, (2018).
- DOĞAN, M., "Güneş Enerjisi Santrallerinin İncelenmesi ve Verimlilik Analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi FBE*, Sakarya, (2019).
- GEDİK, E., "Experimental Investigation of Module Temperature Effect on Photovoltaic Panels Efficiency", *Journal of Polytechnic*, 19 (4), 569-576, (2016).
- Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator>, (2022).
- IRENA, https://www.irena.org/IRENADocuments/IRENA_Stats_Tool.xlsb, (2022).
- KEÇEL, S. ve YAVUZCAN H.G. "Türkiye'deki Bölgesel Sıcaklık Değişimlerinde Güneş Panellerinde Verimliliğine Etkisi", *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, Sayı: 22, s.12-20, (2008).

KESKİN, A., "Niğde İli Güneş Enerji Santrali Modellemesi ve Performans Parametreleri Değerlendirmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi FBE*, Ankara, (2019).

MASUI, T., <https://towardsdatascience.com/all-you-need-to-know-about-gradient-boosting-algorithm-part-1-regression-2520a34a502>, (2020).

MILLAD, M.A.M., "Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Güç Santralinin benzetimi Ve Performans Analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi FBE*, Kastamonu, (2019).

NOYAN, M., <https://medium.com/deep-learning-turkiye/karar-teorisi-karar-a%C4%9Fa%C3%A7lar%C4%B1-rassal-orman-ve-ensemble-learning-d05845dce28e>, (2019).

O'NEILL, Z., NIU, F., PANG, Z., "Solar radiation prediction using recurrent neural network and artificial neural network: A case study with comparisons" Elsevier, *Renewable Energy*, 156, 279-289, (2020).

ORUÇ, E.N., "Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Kısa Süreli Güneş Enerjisi Tahmini", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi LEE*, İstanbul, (2021).

ÖZTÜRK, C., "Güneş Enerji Sistemlerinde Verim Analizi ve Enerji Kayıplarının Tespiti", Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi FBE, Gaziantep, (2020).

ÖZTÜRK, E., "Fotovoltaik Panellerin Verimine Modül Sıcaklığının Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi FBE*, Karabük, (2014).

PAMUKÇU, T., "Türkiye İçin Fotovoltaik Panel Performans Oranının Dış Sıcaklık ve Güneş Radyasyonuna Bağlı Olarak Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi FBE*, Rize, (2018).

PERPIÑAN, O., LORENZO, E., CASTRO, M.A., "On the calculation of energy produced by a PV grid-connected system", *Progress in Photovoltaics*, 15(3), 265-274, (2007).

RAHMAN, M.M., HASANUZZAMAN, M., RAHIM, N.A., "Effects of various parameters on PV-module power and efficiency", *Energy Conversion and Management*, 103, 348–358, (2015).

RODRÍGUEZ, F., FLEETWOOD, A., GALARZA, A., FONTAN, L., "Predicting solar energy generation through artificial neural networks using weather forecasts for microgrid control", Elsevier, *Renewable Energy*, 126, 855-864, (2018).

- SAMUR. O., <https://www.datascienceearth.com/boosting-algoritmaları>, (2020).
- SANCAR, M.R., "Fotovoltaik Panelin Performansına Etki Eden Faktörlerin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi FBE*, Isparta, (2018).
- Scikit Learn, <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.AdaBoostRegressor.html>, (2022).
- SRIVASTAVA, T. and SUDHAKAR, K., "Energy and exergy analysis of 36 W solar photovoltaic module" *International Journal of Ambient Energy*, (2013).
- ŞİMŞEK, S., "Fotovoltaik Sistemlerde Verimliliği Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi FBE*, Ankara, (2018).
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>, (2022).
- VERİ BİLİMCİSİ, <https://veribilimcisi.com/2017/07/14/mse-rmse-mae-mape-metrikleri-nedir>, (2022).