



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

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE DERİN ÖĞRENME İLE AYLIK ELEKTRİK ÜRETİM TAHMİNİ

Ömer ÇETİN

BURDUR, 2022

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

**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE DERİN
ÖĞRENME İLE AYLIK ELEKTRİK ÜRETİM
TAHMİNİ**

Ömer ÇETİN

Danışman: Doç. Dr. Ali Hakan IŞIK

BURDUR, 2022

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Güneş Enerji Santrallerinde Derin Öğrenme ile Aylık Elektrik Üretim Tahmini”** başlıklı bu tezin;

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

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

.... / / 20..

(İmza)

Öğrencinin Adı SOYADI

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Ali Hakan IŞIK’a teşekkürlerimi sunarım.

Güneş enerji santral verilerini benim ile paylaştığı için Humartaş Enerji Taahhüt A.Ş firmasına teşekkürlerimi sunarım.

Türkiye’deki şehirlerin aylık ortalama hava durumu ve güneşlenme sürelerini paylaştığı için Meteoroloji Genel Müdürlüğü’ne teşekkürlerimi sunarım.

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

Haziran, 2022

Ömer ÇETİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL DİZİNİ	iv
ÇİZELGE DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	11
2. GENEL BİLGİLER	12
2.1. Yenilenebilir Enerji	12
2.2. Dünyada Yenilenebilir Enerji	12
2.3. Güneş Enerjisi	13
2.4. Güneş Pilleri ve Yapay Zekâ için Genel Bilgiler	16
2.5. Tez Konusu ile İlgili Literatür Araştırması	17
2.6. Tez Çalışması ile Ulaşılmak İstenen Hedef	19
2.7. GES’de Kullanılan Sistemler ve Santral Verimliliğini Etkileyen Parametreler	20
2.7.1. Kristalin Silikon (Birinci Nesil)	21
2.7.2. İnce Film (İkinci Nesil)	22
2.7.3. Boyaya Duyarlılaştırılmış Güneş Pilleri (Üçüncü Nesil)	22
2.7.4. Santral Verimliliğini Etkileyen Faktörler	23
2.7.4.1. Sayısal Performans Parametreleri ile PV Sistemlerinde Verim	23
2.7.4.2. PV Modülün Düzlem Açısı Kayıpları	25
2.7.4.3. Güneşlenme Süresi ve Gölgeleme	25
2.7.4.4. Spektrum Kayıpları	28
2.7.4.5. Düşük Işınım Kayıpları	28
2.7.4.6. Hava Durumu	29
2.7.4.7. İnverter Etkisi	30
2.7.4.8. Albedo (Yansıma) Etkisi	30
2.7.4.9. Tozlanma Etkisi	34
2.8. LSTM Yöntemi ile GES Üretim Verisi Tahmin Etme	35
2.8.1. LSTM Mimarisi	35
2.8.2. RNN Mimarisi	37
2.8.2.1. Düz Sinir Ağı ve Özyinelemeli Sinir Ağı (RNN) Karşılaştırılması	37
2.8.2.2. RNN Türleri ve Örnekleri	38
3. MATERYAL VE YÖNTEM	41
3.1. Veri Toplama	41
3.2. Veri Çoğaltma	41
3.2.1. Eksik Verilerin Kendini Yok Etmesi	42
3.2.2. En Sık ve Sıfır/Sabit Değerleri Kullanarak Veri Çoğaltma	42
3.2.3. K-NN (K-Nearest Neighbors) Kullanarak Veri Çoğaltma	42
3.2.4. Zincirli Denklemlerle Çok Değişkenli Veri Çoğaltma	43
3.2.5. Derin Öğrenme ile Veri Çoğaltma	44
3.2.6. Ortalama/Medyan Değerleri Kullanan Veri Çoğaltma	44
3.3. Yapay Zekâ Öğrenme Türleri	45

3.4. Verilerin Eğitilmesi.....	46
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	51
5. SONUÇ.....	64
KAYNAKLAR.....	65



ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Hücreler ve verimlilikleri.....	15
Şekil 2.2. Güneş enerji pilleri çalışma prensibi.....	16
Şekil 2.3. Yapay zekâ ve alt alanları.....	17
Şekil 2.4. Fotovoltaik(PV) panel içeriği.....	20
Şekil 2.5. Monokristal silikon sıcaklık ve güneş ışınımının etkisi.....	21
Şekil 2.6. Güneş paneli çeşitleri.....	22
Şekil 2.7. Kristal silikon ve ince film verim karşılaştırılması.....	23
Şekil 2.8. Ticari güneş paneli verimleri.....	23
Şekil 2.9. Güneş enerji santralinde kayıp oranlarını etkileyen faktörler ve yüzdeleri.....	24
Şekil 2.10. Türkiye'nin güneşlenme süresi haritası.....	25
Şekil 2.11. Güneş paneli gölge etkisi.....	26
Şekil 2.12. Gölge etkisinden kaynaklı verim düşüşü.....	26
Şekil 2.13. Paneller arası yatay aralık etkisi.....	27
Şekil 2.14. PV teknolojisinin normalize edilmiş spektral tepkileri.....	28
Şekil 2.15. Türkiye'nin güneş enerji potansiyel haritası.....	29
Şekil 2.16. PV panellerin sıcaklık bağımlılığı.....	30
Şekil 2.17. Güneş panellerinin normalize edilmiş dış kuantum verimliliği-ışınım grafiği.....	32
Şekil 2.18. Kullanılan yüzey malzemeleri ve pv panellerin özeti.....	32
Şekil 2.19. Endüstriyel alanda yapılan çalışmalar yansıma-güneş paneli grafiği.....	33
Şekil 2.20. Ticari amaçlı kullanılan malzemelerin yansıma-güneş paneli grafiği.....	33
Şekil 2.21. Kullanılan malzemelerin yansıma-güneş paneli grafiği.....	34
Şekil 2.22. LSTM ve RNN arasındaki fark.....	36
Şekil 2.23. Düz mimari.....	37
Şekil 2.24. RNN mimarisi.....	38
Şekil 2.25. Basit sinir ağı mimarisi.....	38
Şekil 2.26. Yarı RNN mimarisi.....	38
Şekil 2.27. Vektörden diziye ilerleme.....	39
Şekil 2.28. Resimden metine çevirme örneği.....	39
Şekil 2.29. Sekans-Vektör-Sekans üretimi.....	40
Şekil 2.30. Diziden dizi üretimi.....	41
Şekil 3.1. Sıfır değeri kullanılarak veri çoğaltma işlemi.....	42
Şekil 3.2. K-NN kullanarak veri çoğaltma modeli.....	43
Şekil 3.3. Çoklu atamalarda kullanılan ana adımlar.....	43
Şekil 3.4. Impute kullanarak zincirli denklemlerle çok değişkenli veri çoğaltma.....	44
Şekil 3.5. 2020 Yılı enerji Şanlıurfa ili enerji verileri ve diğer parametreler.....	47
Şekil 3.6. GetData uygulaması ile site içerisinde veri çekme.....	47
Şekil 3.7. Bazı arazi örtülerinin albedo değerleri.....	48
Şekil 3.8. Sol taraftaki 270 Watt, sağ taraf 465 Watt güneş paneli fiziksel özellikleri.....	49
Şekil 3.9. Pvsyst programı performans oranı çıktısı.....	50
Şekil 4.1. Betimsel istatistik.....	51
Şekil 4.2. Verilerin illere göre dağılımı.....	51
Şekil 4.3. Enerji verileri-zaman ortak dağılım grafiği.....	52
Şekil 4.4. Enerji verileri yoğunluk dağılımı.....	52
Şekil 4.5. Panel çeşidi-albedo ve enerji verileri grafiği.....	53

Şekil 4.6. Albedo değerleri ile aykırı değer analizi.....	53
Şekil 4.7. Panel çeşidi-enerji verilerindeki değişim arasındaki aykırılık.....	54
Şekil 4.8. Panel-inverter çeşidi ve enerji verileri değişim grafiği.....	55
Şekil 4.9. Panel çeşidi ve enerji verilerinin dağılımı.....	55
Şekil 4.10. Panel çeşidi-güneşlenme süresi-albedo ve enerji verileri grafiği.....	56
Şekil 4.11. Panel çeşidi-invertor çeşidi-güneşlenme süresi ve enerji verileri grafiği.....	56
Şekil 4.12. İnverter çeşitleri ve enerji verileri aykırılık grafiği.....	57
Şekil 4.13. Enerji verilerinde birbirine yakın olan değerlerin gruplandırılması.....	57
Şekil 4.14. Gerçek değer ile tahmin edilen enerji değeri grafiği.....	58
Şekil 4.15. Gerçek enerji verileri.....	58
Şekil 4.16. Tahmin edilen enerji verileri.....	59
Şekil 4.17. Model kayıp grafiği.....	59
Şekil 4.18. LSTM yöntemi kullanılarak batch size değeri 70 olan gerçek veriler ile tahmin edilen verilerin aylık hata oranı grafiği.....	60
Şekil 4.19. LSTM yöntemi kullanılarak batch size değeri 32 olan gerçek veriler ile tahmin edilen verilerin aylık hata oranı grafiği.....	61
Şekil 4.20. Panel gücü, invertör gücü ve saha yılı olmadan LSTM yöntemi kullanılarak gerçek veriler ile tahmin edilen verilerin aylık hata oranı grafiği.....	62

ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 4.1. LSTM yöntemi kullanılarak batch size değeri 70 olan gerçek veriler ile tahmin edilen verilerin bir yıllık karşılaştırılması.....	60
Tablo 4.2. LSTM yöntemi kullanılarak batch size değeri 32 olan gerçek veriler ile tahmin edilen verilerin bir yıllık karşılaştırılması.....	61
Tablo 4.3. Panel gücü, invertör gücü ve saha yılı olmadan LSTM yöntemi kullanarak gerçek veriler ile tahmin edilen verilerin bir yıllık karşılaştırılması.....	62



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a-Si	: Amorf Silikon
Mono-Si	: Monokristalin Silikon
pc-Si	: Polikristalin Silikon
CdTe	: Cadmium Telluride
DSSC	: Dye-Sensitized Solar Cell
<i>Edc</i>	: Belirli Bir Sürede Üretilen Elektrik Enerjisi
<i>A</i>	: Güneş Paneli Alanı
<i>H</i>	: Güneşten Gelen Toplam Işınım Miktarı
<i>P</i>	: Panel Gücü
<i>t</i>	: Geçen Süre
<i>CF</i>	: Kapasite Faktörü
<i>PO</i>	: Performans Oranı
MGN	: Maksimum Güç Noktası
DMGN	: Dağıtılmış Maksimum Güç Noktası
MPPT	: Maksimum Power Point Tracing
AM	: Maksimum Power Point Tracing
PV	: Photovoltaik
c-Si	: Kristal Silisyum
γ_{Pmpp}	: Güç Sıcaklık Katsayısı
STK	: Standart Test Koşulları
η_{STC}	: Standart Test Koşulları Verimi
W_p	: Watt Peak
NOCT	: Nominal Operating Cell Temperature
RNN	: Recurrent Neural Network - Yinelemeli Sinir Ağı
LSTM	: Long Short Term Memory – Uzun Kısa Süreli Bellek
GES	: Güneş Enerji Santrali
GRU	: Gated Recurrent Unit – Geçitlenmiş Özyinelemeli Birimler
SHD	: Sabit Hata Döngüsü
CNN	: Convolutional Neural Network - Evrişimli Sinir Ağı
LightGBM	: Light Gradient Boosting Machine
K-NN	: K-Nearest Neighbors
UML	: Unified Modeling Language-Birleşik Modelleme Dili

BT	: Bilgi Teknoloji
CASE	: Computer Assisted Software Engineering
AG	: Alçak Gerilim
Kw	: Kilowatt
HO	: Hata Oranı



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Güneş Enerji Santrallerinde Derin Öğrenme ile Aylık Elektrik Üretim Tahmini

Ömer ÇETİN

**Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Ali Hakan IŞIK

Haziran, 2022

Türkiye'deki toplam kurulu güç 97.070 MW olup bunun %64'ü yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının %7,2'sini güneş enerji santralleri oluşturmaktadır. Elektrik üretiminde fosil yakıt kullanımını azaltmak ve yenilenebilir enerji ile ülkemizde artan elektrik ihtiyacı karşılanmak istenmektedir. Bu kapsamda, güneş enerjisi santrallerine olan talep her geçen gün artmaktadır. Ancak yatırımcıları tedirgin eden önemli unsurlardan biri amortisman süresidir. Yapay zekâ ve derin öğrenme uygulamaları kullanılarak bu sürenin tahmin edilmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu tez çalışmasında LSTM (Uzun Kısa Süreli Bellek) yapay sinir ağıları kullanılmıştır. Makine öğrenimi ile güneş enerjisi santralının gelecek aylarda ne kadar elektrik enerjisi üretebileceği tahmin edilmiştir. Hesaplama hava koşulları, güneş panelleri, inverterler (eviriciler), geçmiş yılların performans oranı gibi parametreler kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda %1 ile %17 arasında hata oranı ile karşılaşılmıştır. Bu oranın diğer yapay zekâ algoritma tahminlerine karşın çok daha başarılı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: LSTM, yapay zekâ, güneş enerjisi santralleri, enerji tahmini

SUMMARY

M. Sc. Thesis

Monthly Electricity Production Forecast with Deep Learning in Solar Power Plants

Ömer ÇETİN

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali Hakan IŞIK

June, 2022

The total installed power in Turkey is 97,070 MW, of which renewable energy sources provide 64%. Solar power plants constitute 7.2% of renewable energy sources. It is desired to reduce the use of fossil fuels in electricity generation and to meet the increasing electricity demand in our country with renewable energy. In this context, the demand for solar power plants is increasing day by day. However, one of the critical factors that worry investors is the amortization period. A study was conducted on estimating this time using artificial intelligence and deep learning applications. In this thesis, LSTM (Long Short Term Memory) artificial neural networks were used. With machine learning, it has been estimated how much electricity the solar power plant can produce in the coming months. The calculation used parameters such as weather conditions, solar panels, inverters, and performance ratio of the past years. As a result of the analyzes made, an error rate between 1% and 17% was encountered. It has been seen that this rate is much more successful than other artificial intelligence algorithm predictions.

Keywords: LSTM, artificial intelligence, solar power plants, energy forecast

1. GİRİŞ

Dünya genelinde elektrik üretimi, iletim ve dağıtımının 20. Yüzyıldan itibaren daha da arttığı gözlemlenmektedir. Gün geçtikçe elektrik ile çalışan cihazların artması dünya genelinde elektrik tüketimini artırmıştır. Buna istinaden elektrik üretimi de çok değerli hale gelmiştir. Ülkelerde fosil yakıtlar genellikle akaryakıt, ısınma gibi ihtiyaçlar için kullanılmaktadır. Aynı zamanda elektrik üretiminde de yoğun olarak kullanılsa da çevreye verdiği zarardan dolayı kullanımı tasvip edilmemektedir.

2016 yılının nisan ayında yapılan Paris Anlaşması ile birçok ülke fosil yakıt kullanımının azaltılması konusunda taraf olmuştur. Yapılan anlaşma sonucunda kademeli olarak fosil yakıt kullanımının azaltılacağı mutabakatına varılmıştır. Devletlerin yenilenebilir enerji teşvikleri de bu çerçevede artmaya başlamıştır. Türkiye de bu kapsamda çeşitli teşvikler vererek yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımı artırmıştır. Türkiye’de yapılan son çalışmalarda toplam kurulu gücün %64’ü yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Bu gücün %7,2 oranını güneş enerji santralleri oluşturmaktadır (URL-1, 2020).

Enerji santralleri arasında güneş enerji santrallerinin kurulumu yatırımcılar tarafından yoğun olarak tercih edilmektedir. Fakat bu santrallerin maliyetleri oldukça yüksektir. Yatırım yapmak isteyen bir yatırımcı, yapılan yatırımın amortisman süresini merak etmektedir. Yapay zekanın gelişimi ile bu süreyi tahmin etmek giderek kolaylaşmaktadır.

21. yüzyılın ortalarında insan hayatında yer edinmeye başlayan yapay zekâ, insan zekasına özgü olan, öğrenme, düşünme, fikir yürütme, sorunları çözme, çıkarım yapma ve karar verme gibi yüksek bilişsel fonksiyonlar veya otonom davranışlar sergilemektedir. Günümüzde pek çok alanda yapay zekâ kullanılmaktadır. Rüzgârdan üretilen elektrik enerjisini tahmin etme, hidroelektrik santrallerindeki enerji verilerini tahmin etme gibi pek çok yenilenebilir enerji alanında da yapay zekâ algoritmaları yoğun olarak kullanılmaktadır (Küçük ve Gezer, 2020).

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji kaynakları çevreye zarar vermeyen temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarıdır. Artan enerji talebini karşılama, arz ve talep dengesini aynı noktaya taşıyabilme olanağına sahip olan bu kaynaklar kullanılarak, çevreye daha az zarar verilerek elektrik enerjisi üretilabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ile büyük ölçekli santraller kurulabildiği gibi bireysel olarak kurulum yapılabilen küçük ölçekli santraller de kurulabilmektedir. Bu sayede arz ve talep kolaylıkla dengelenebilmektedir. Bunu bilen birçok ülke, yenilenebilir enerji kaynaklarına birçok teşvik sunmaktadır. Bu sayede daha yaşanabilir bir dünya hedeflenmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi ve biokütle enerjisidir. Jeotermal ve hidroelektrik enerji kaynakları potansiyel olarak belirli yerlerde bulunmaktadır. Ancak diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına hemen her yerde ulaşılabilir. Bununla birlikte kurulum yapılacak santraller için dikkat edilmesi gereken konular bulunmaktadır. Örneğin biokütle kaynaklı santrallerde koku oluşumu olabileceği için yerleşim alanları içerisinde kurulmaması daha faydalı olacaktır. Aynı şekilde büyük rüzgâr türbinlerinin de yüksek ses ile çalışması, çevresinde yaşayanları rahatsız edebileceği için yerleşim alanlarından uzak yerlere kurulması daha iyi olmaktadır. Güneş enerji santrallerinin ise diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha yaygın kullanım alanları bulunmaktadır.

2.2. Dünyada Yenilenebilir Enerji

Küresel ısınma ile yenilenebilir enerjiye olan ihtiyacın farkına varılmıştır. Buna istinaden yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi artmıştır. Teknolojinin gelişmesi ile yenilenebilir enerji kaynaklarının verimliliği artarken, maliyetleri azalmıştır. Bu nitelikleri sayesinde yenilenebilir enerji kaynakları son dönemlerde popüler hale gelmiştir. Uzun yıllar kullanılan hidroelektrik enerji kaynağına ek olarak, güneş ve rüzgâr enerji kaynakları hızlı bir artış göstererek kurulumu kolay yapılabilen yenilenebilir enerji kaynakları olarak ön plana çıkmaktadır.

Yaşamdan örnek verilecek olursa; büyük şirketlerden Apple, 2014 yılından beri tüm veri merkezlerinin enerji ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamaktadır. Aynı zamanda Apple'in genel merkezi, Kuzey Amerika'daki Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik Platinum sertifikalı, en büyük ofis binası Apple Park da tamamen

yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji ihtiyacını karşılamaktadır (URL-2, 2018). Dünyanın en fazla yenilenebilir enerji satın alan şirketi Google, güneş ve rüzgâr enerjisi başta olmak üzere yenilenebilir enerji sektöründe yer alan birçok şirketle anlaşması bulunmaktadır.

Bazı ülkelerde yenilenebilir enerjinin kurulu gücünün büyüklüğü yapılan projelerle görülmektedir. Örneğin Hindistan'daki; Pavagada Solar Park (2050 MW), Bhadla Solar Park (1515 MW), Kurnool Ultra Mega Solar Park (1000 MW), Çin'deki; Tengger Desert Solar Park (1547 MW), Longyangxia Dam Solar Park (850 MW), Datong Solar Power Top Runner Base (1000MW) gibi projeler tek konumda yapılan en büyük projelerden birkaçı ve sadece güneş enerji kaynaklı projelerdir (URL-3, 2020). Bu büyük projelerin yanı sıra birçok konutun çatısı da güneş enerjisiyle donatılmıştır. Ayrıca başka yenilenebilir enerji yatırımlarının da olduğu bilinmektedir. Dünyanın sağlıklı ve yaşanabilir bir geleceğe sahip olabilmesi için yenilenebilir enerjiye olan ilgi her geçen gün artmaktadır.

2.3. Güneş Enerjisi

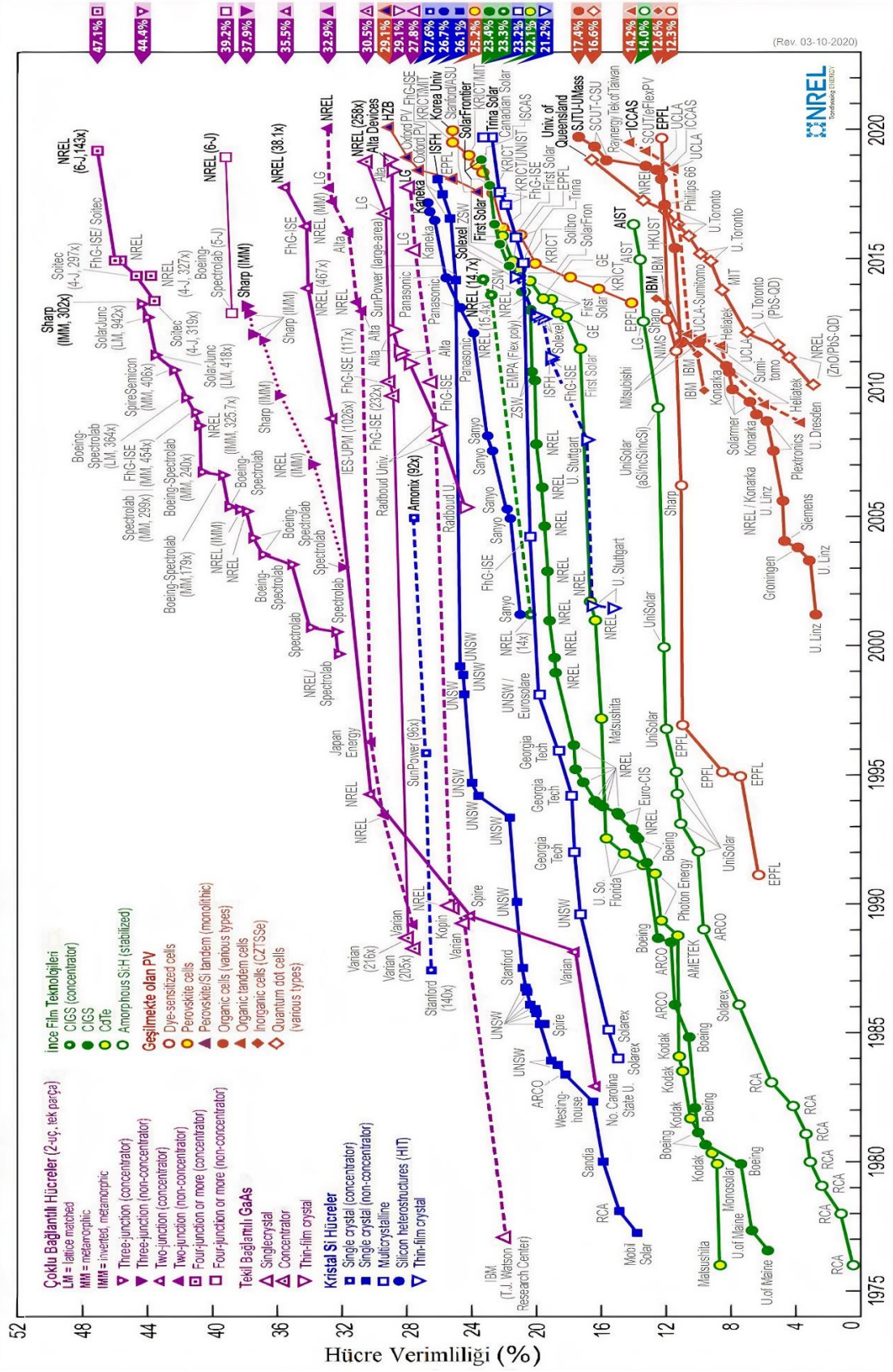
Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi ayrı bir yere sahiptir. Güneş, yaşamın olduğu her yere ulaşabilen bir enerji kaynağı olduğu için diğer enerji kaynaklarına karşın elektrik enerjisi üretiminde daha büyük potansiyele sahiptir. Güneş enerjisi birçok alanda kullanılmaktadır. İlk olarak termal su ısıtma ve benzeri uygulamalar ile hayatımızda yer almaya başlamış olan güneş enerjisi, sonraki aşamalarda ışık ileten boru kullanılarak normal şartlarda güneş ışığı girmeyen yerler aydınlatılmıştır. Bu çalışmada kapsamlı bir alana sahip olan güneş enerjisi, elektrik üretimi açısından incelenmiştir.

Güneş enerjisi ile elektrik üretmek için genel olarak kullanılan iki çeşit güneş enerji sistemi vardır. Bunlar termal ve fotovoltaik sistemlerdir. Termal sistemler, güneş ışınlarının bir merkeze toplamak amacıyla devasa aynaları kullanılarak içi sıvı dolu borulara güneş ışığını odaklayan sistemlerdir. Sistemdeki aynalar c şeklinde de olabilmektedir. Aynalar sayesinde güneş ışığı ile ısınan sıvı, buharlaşarak türbini döndürür ve jeneratör vasıtası ile bu enerji, elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Bazı kimyasallar kullanılarak oluşturulan güneş panelleri üzerine güneş ışığının düşmesi ile panel üzerindeki fotonlar hareket etmektedir. Hareket eden fotonlar elektrik enerjinin üretilmesini sağlamaktadır. Güneş panellerinin seri veya paralel elektrik bağlantıları sonucunda güneş enerji santralleri oluşmaktadır.

Fotovoltaik güneş enerji santrallerini oluşturan hücrelerin tarihçesine bakıldığında, Alexandre Edmond Becquerel, fotovoltaik (PV) etkisini, ışığa maruz kalan iletken bir çözeltinin içindeki elektrot sayesinde fark etmiştir (Altın, 2005). 1877'de Adams ve Day

katılmış selenyumda PV etkisini gözlemlemiştir. 1904'te Hallwachs bakır ve bakır oksit ile yarı iletken birleşimi güneş pili yapmıştır. Bununla birlikte, bu dönemlerde yapılan keşifler ilkel denilebilecek ve bilimsel bir ortak nokta olmadan yapılan deneysel keşifler olarak bilinmektedir. PV hücrelerin teorik ve temel potansiyel gelişmeleri PV tarihinin ikinci aşamasında, yani 1905 ile 1950 arasında olduğu gözlemlenmiştir. İkinci aşamayı etkileyen en kritik olaylardan biri Einstein'ın foton teorisi ile Czochralski'in kristal büyüme yönteminin tek kristal silikon ve germanyum büyümesi için uyarlanması ve yüksek saflıkta tek kristal yarı iletkenler için bant teorisini geliştirilmesi olmuştur. Geliştirilen PV hücre teorisi o zaman, yüksek verimli güneş pilleri için yüksek saflıkta tek kristal yarı iletkenlerin önemini belirtmiştir. Bell Labs tarafından silikon güneş pili 1954'te duyurulmuştur. 1957'de Chapin, Pearson ve Fuller %8 verimli silikon güneş hücresi patenti almıştır (Karasu vd., 2020). Günümüzde bu tip PV hücrelerden üretilen modüller oldukça yaygın kullanılmaktadır. Oldukça fazla çeşidi bulunan güneş hücreleri için yıllara göre çeşitleri ve verimlilik oranları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

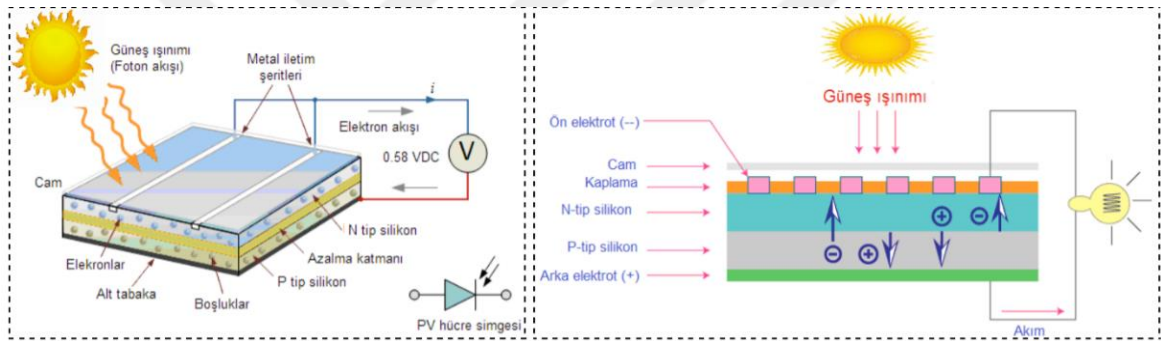


Şekil 2.1. Hücreler ve verimlilikleri (URL-4, 2021)

2.4. Güneş Pilleri ve Yapay Zekâ için Genel Bilgiler

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde bulunan hidrojen gazını helyuma dönüştüren füzyon reaksiyonu sonucu ortaya çıkan çok güçlü bir enerjidir (Taktak ve İl, 2018). Güneş ışınları sayesinde dünyamıza gelen bu ışınlar farklı teknolojiler kullanarak büyük yararlar sağlamaktadır. Güneş ışınları, dünyamıza ısı ve ışık anlamında doğrudan, elektrik enerjisi üretimi açısından dolaylı olarak yardımcı olmaktadır.

1950’li yıllarda güneş enerjisinden elektrik üretilmeye başlanmış ve son yıllarda gelişen teknoloji ile fosil yakıtlara alternatif olmuştur (URL-5, 2019). Silikon hücreleri, metal çerçeve, cam muhafaza ünitesi, panel üzerinden üretilen elektrik akımını aktarmak için kullanılan doğrusal akım kablolarından oluşan güneş panellerinin üzerine, güneş ışınlarının düşmesi ile panel içerisinde bulunan elektronlar hareket etmektedir. Bunun sonucunda güneş panelleri elektrik enerjisi üretmektedir.

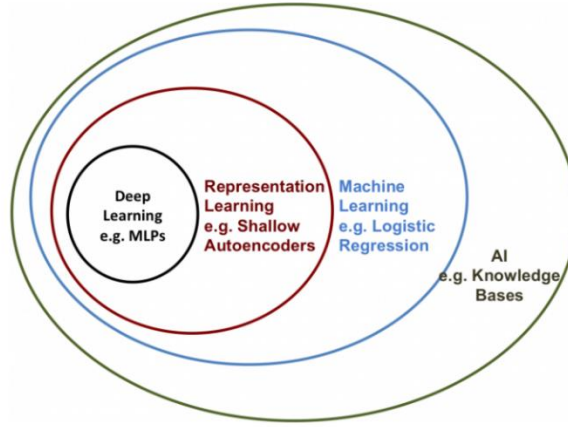


Şekil 2.2. Güneş enerji pilleri çalışma prensibi (Öztürk, 2018)

Güneş enerji santrallerinde PV paneller doğru akım (DC) elektrik üretmektedir (Şekil 2.2). Fakat iletim ve dağıtım hatları alternatif akım (AC) olduğu için üretilen doğru akım, transformatörler sayesinde alternatif akıma dönüştürülerek şehir şebekesine verilmektedir.

Yapay zekâ; insan zekasına eş değer ölçüde öğrenme, düşünme ve tahmin etme gibi pek çok yetinin makineler tarafından yapılması konusunda yapılan çalışmaların genel adına denilmektedir. 21. Yüzyılda çalışmalara başlanan ve son zamanlarda teknolojinin gelişmesi ile regresyon analizlerinde doğruluk oranı %99 seviyelere ulaşan bir teknolojidir. Bu oran çok yüksek olmakla birlikte birçok alanda makine öğrenmesinin ve yapay zekâ çalışmalarının gelecekte ne kadar önemli olacağını göstermektedir.

Yapay zekâ, insanlara özgü davranışları sergileme teknolojisi düşüncesindeyken, makine öğrenme algoritmaları büyük veri değişmezliklerini ve modellerini bulmaya yönelik çalışmalar yapmaktadır.



Şekil 2.3. Yapay zekâ ve alt alanları

Makine öğrenmesi, geçmişteki verileri kullanarak, yeni veri için en uygun modeli bulmaya çalışan algoritmadır. Tahmin ve regresyon analizlerinde çoğunlukla kullanılmaktadır.

Şekil 2.3'te görüldüğü üzere yapay zekâ içerisinde birçok dal bulunmaktadır. Bunların başında makine öğrenmesi gelmektedir. Makine öğrenmesi, geçmişteki verileri kullanarak yeni veri için optimum modeli oluşturmaktadır. Temsili öğrenmede (Representation Learning), bir sinir ağını ikincil, denetimli bir öğrenme görevinde eğiterek etiketlenmemiş verilerden özellikler çıkarmaktadır (Bengio vd., 2014). Derin öğrenme ise yapay sinir ağları olarak adlandırılan beynin yapısı ve işlevinden esinlenen algoritmalarla ilgili makine öğreniminin bir alt alanı olarak bilinmektedir.

2.5. Tez Konusu ile İlgili Literatür Araştırması

Yapay zekâ algoritmaları ile birçok veri tahmini yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar arasında LSTM (Long Short Term Memory) yöntemi de yaygın olarak kullanılmaktadır. Akademik yayınlardan tezin konusu ile alakalı birkaç makale bu bölümde incelenmiştir.

Ninh Quang Nguyen ve arkadaşları (2021), Vietnam'da bulunan büyük bir güneş enerji santralının enerji üretim çıktısını tahmin etmek için LSTM modelinin optimal parametreleri hakkında tavsiyeler sunmaktadır. Vietnam'da bulunan büyük ölçekli bir güneş enerji santralının hava durumu verilerine bağlı olarak tahmin modelini ele almaktadır. Bu modelde 4 katman ve 100 döngüden oluşan bir model oluşturulmuştur. Ortalama mutlak hatası %10,857 ile %3,491 arasında değişiklik gösterdiği bildirilmektedir.

Jarkko Tulensalo ve arkadaşları (2020), mevcut yöntemlerin yerel hava koşullarını hesaba katma kabiliyeti sınırlı olması ve şebeke kayıplarının tahmini daha karmaşık hale geldiği için LSTM yöntemini kullanarak bir model oluşturmuşlardır. Modelde elektrik piyasaları, yerel hava durumu, tarih ve saat verileri ile zaman serisi verilerinin uzun vadeli ilişkileri öğretilmektedir. Oluşturulan bu model, Finlandiya'daki elektrik şebekesi kayıplarını bulmak için kullanılmıştır.

Zhuang Zheng ve arkadaşları (2019), LSTM yöntemini kullanarak evlerde tüketilen elektrik enerjisini tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu tahmin ilk başlarda başarısız olmalarına karşın, ilerleyen aşamalarda doğruluk oranının yükseldiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak da eğitilen verilerin artması olduğu söylenmektedir.

Fei Wang ve arkadaşları (2020), LSTM ve RNN yapay zekâ algoritmalarını kullanarak güneş enerji santrallerinde bir gün önceden elektrik üretim tahmini yapmışlardır. Elektrik enerjisi üretmek için fotovoltaik güneş panellerinin etkili bir araç olduğunu dile getiren Fei Wang ve arkadaşları, bu alanla ilgili bir çalışma yürütmüştür. İlk olarak, uzun-kısa süreli bellek tekrarlayan sinir ağına (LSTM-RNN) dayalı, bağımsız bir gün öncesi PV güç tahmin modeli kurulmuştur. İkinci aşamada, tahmin gününde farklı PV gücü modelleri ile ilgili zaman korelasyon ilkelerine dayalı olarak LSTM-RNN modelinin tahmin sonuçlarını güncellemek için bir modifikasyon yöntemi önerilmiştir. Üçüncü aşamada ise modifikasyon parametrelerini yönlendirmek için kullanılan ve belirli günlerin doğru günlük model tahmin bilgilerini sağlamak için kısmi, bir günlük model tahmini önerilmiştir. Bu çalışmada şebeke yönetimini iyileştirmek ve ani dalgalanmaları bertaraf etmek için LSTM ve RNN yapay zekâ modellerini kullanmışlardır.

Mingming Gao ve arkadaşları (2019), Fei wang ve arkadaşları gibi bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada büyük ölçekli güneş enerji santrallerinde gün öncesi elektrik üretim tahmini yapılmaktadır. Hava durumu kıstası başta olmak üzere bir tahmin modeli kurulmuştur. İdeal hava koşulları için, uzun kısa süreli bellek (LSTM) kullanılarak bir sonraki günün meteoroloji verilerine dayalı bir tahmin yöntemi önerilmiştir. İdeal olmayan hava koşulları için, bitişik gün zaman serileri ve tipik hava tipi bilgileri sunularak LSTM modelinde zaman serisi uygunluğu ve belirli ideal olmayan hava tipi karakteristikleri göz önünde bulundurularak bir tahmin yapılmıştır. Önerilen yöntemler ile geleneksel algoritmalar arasındaki tahmin performansı karşılaştırıldığında, ideal hava durumunda LSTM performansının %4,62 olduğu gözlemlenmiştir.

2.6. Tez Çalışması ile Ulaşılmak İstenen Hedef

Tezin amacı, sürekli artan enerji ihtiyacına önemli bir çözüm sunan yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önemin artması ve bu kaynakların verimli bir şekilde kullanılması için gerçek veriler ve bilimsel analizler ile yapay zekâ algoritmalarını kullanarak gelecekle ilgili senaryoları belirleyip buna bağlı optimum çözümler üretecek bir yazılım geliştirmektir. Bu kapsamda geçmişteki güneş enerji santrallerinin elektrik üretim verileri kullanılarak, günümüz ve geleceğin popüler teknolojisi yapay zekâ algoritmaları ile belirli parametrelere bağlı olarak güneş enerji santrallerinin gelecek aylarda ne kadar elektrik üretebileceği tahmini yapılmıştır. Gelecek ayın enerji analizi ve gelecek ayda oluşabilecek olumsuz olaylara karşı bir ay önceden optimum çözümler üretmekte bu çalışmanın yardımcı olması hedeflenmiştir.

Güneş enerji santrallerine olan ilginin oldukça fazla olması, santrallerin hızlı bir şekilde yaygınlaşmasına ve bu yaygınlaşma verimsiz enerji santrallerinin kurulmasına yol açmaktadır. Verimsiz enerji santrali kurulumunun önüne geçebilmek adına, LSTM yöntemi ile bir yapay zekâ algoritması oluşturup kurulumu yapılacak olan güneş enerji santrallerinin üretim verilerini aylık olarak tahmin etmek istenmiştir. Bu kapsamda Türkiye’de hangi ilde santralin kurulacağı, kullanılacak güneş enerji santral malzemeleri, santral çevresinde bulunan yapılara bağlı olarak üretim miktarı tahmin edilmektedir. Detaylı ve birçok parametreyi ele alarak yapılan bu çalışma aynı zamanda kurulumu yapılmış güneş enerji santralleri için santralin kaç yıllık olduğu, santralde kullanılan malzemeler ve santral çevresinde bulunan yapılar gibi birçok parametre, yapılan çalışmaya eklenerek gelecek ay santralin ne kadar elektrik üretebileceği tahmin edilmiştir. Bu sayede, tekno-ekonomik analizler yapılarak farklı güneş enerji santrali modelleri çıkarılabilmekte, yatırımcı ve güneş enerji santrali tasarımı yapan mühendisler en uygun santral tipi seçiminde yardımcı olacaktır.

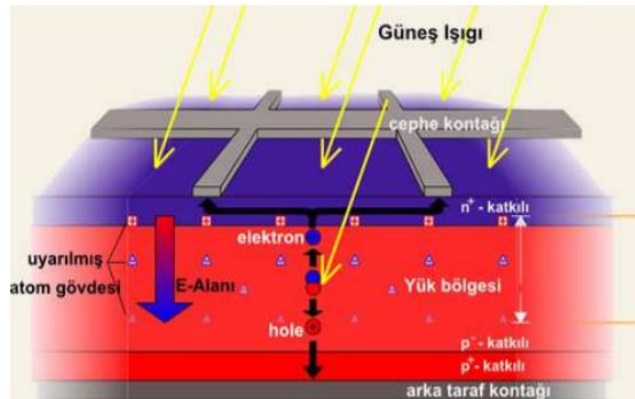
Bu çalışmada Python programlama dili kullanılmıştır (URL-6, 1990). Ayrıca PVsyst ve Microsoft Excel programları kullanılmıştır (URL-7, 2016). Çalışmanın hızlı ilerlemesi amacı ile Google Colabs kullanılmıştır (URL-8, 2017). Çalışma yapıldıktan sonra sahadan alınan gerçek veriler ile tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır. Sistemin doğruluk oranı buna göre belirlenmiştir.

2.7. GES’de Kullanılan Sistemler ve Santral Verimliliğini Etkileyen Parametreler

Güneş enerjisi, nükleer enerji dışında dünyada bulunan tüm enerji yakıtlarının ana kaynağını oluşturmaktadır. Güneşin içerisinde sürekli Hidrojen’in Helyum’a dönüştüğü füzyon reaksiyonları gerçekleşmektedir. Bu dönüşüm sırasında kütle farkı nedeniyle ısı enerjisi ortaya çıkarak uzaya yayılmaktadır. Güneşte gerçekleşen bu reaksiyonun çok az kısmı yeryüzüne ulaşabilmektedir. Bunun nedeni; kat ettiği yol başta olmak üzere, atmosferdeki karbondioksit, ozon, su buharı gibi gazların ışınları absorbe etmesi olarak bilinmektedir. Dış yüzey sıcaklığı 6000°K olarak kabul edilen ve uzayda bilinen en büyük cisim olan güneş, yaydığı ışınımının sadece %70 kadarını yeryüzüne ulaştırabilmektedir. Eksilmeler ortaya çıkmadan önce, atmosferin dışında ışınım değeri 1367 W/m²’dir (Aslan vd., 2015). Bu sayı güneş sabiti olarak alınmaktadır.

Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yoğunluğu ise 0 ila 1100 W/m² arasında değişmektedir (Cezim, 2013). Havanın açık olduğu zaman ile bulutlu olduğu zaman arasında gelen enerji miktarları farklılık göstermektedir.

Güneş enerjisi, ülkemizde genellikle sıcak su elde edilmesinde kullanılmaktadır. Güneş enerjisi kullanılarak soğutma yapma, güneşlenme süresinin yüksek olduğu yerlerde görülmektedir. Bu uygulamaların yanı sıra son yıllarda güneş enerjisinden elektrik üretimi artmıştır.



Şekil 2.4. Fotovoltaik (PV) panel içeriği

Güneş enerjisinden elektrik üretimi ilk kez 1839 yılında Alexander Edmond Becquerel tarafından platin tabakalar üzerinde yaptığı bilimsel çalışmalar sırasında fotovoltaik etkiyi saptaması ile başlamıştır (Şekil 2.4). 1970 yıllarında petrol krizinin ardından alternatif enerji kaynaklarına yönelim de artmıştır (Yılmaz ve Kalkan, 2017).

Fotovoltaik piller, belirli sayıda paralel ve seri bağılı modüllerden oluşur. Uzay teknolojilerinde daha verimli fotovoltaik hücreler kullanılsa da günlük hayatta çeşitli fotovoltaik hücrelerle karşılaşmaktadır.

Fotovoltaik modüllerde birçok hücre tipi vardır (Hemza vd., 2017):

- (i) Kristal ve çok kristalli silikon güneş pilleri
- (ii) İnce film güneş pilleri (a-Si, kadmiyum tellürür ve CİS)
- (iii) Nanoteknoloji tabanlı güneş pilleri (tandem, süper tandem ve ara bant güneş pilleri, vb.)

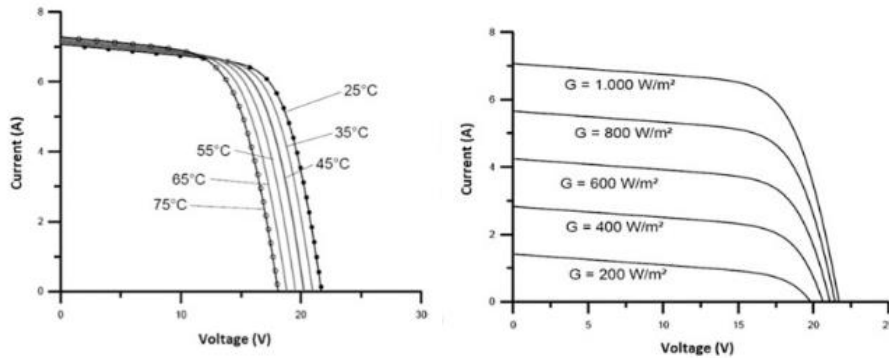
En sık kullanılan tipler kristalin silikon, kadmiyum tellürid ve CİS/CİGS hücreleridir (Grunow vd., 2009).

Güneş enerji santralleri fotovoltaik modüllerin güneşe karşı uygun açılar ile birleştirilmesi ile oluşurlar. Güneş enerji santrallerinin çalışma koşullarını etkileyen pek çok faktör vardır. Santrali oluşturan bileşenlerin nominal karakteristik değerleri, santralin bulunduğu konum, sistem konfigürasyonu, kurulum yapısının etrafında bulunan yapılar gibi parametreler çeşitli kayıplara neden olabilmektedir.

2.7.1. Kristalin Silikon (Birinci Nesil)

Türkiye’de ve dünyanın birçok yerinde kristalin silikon güneş paneli yoğun olarak tercih edilmektedir. Mono-Si güneş pilleri, %24,4’ten daha yüksek verime sahiptirler (Kalyani vd., 2021). Bunu takip eden bir diğer güneş paneli hücresi ise pc-Si’dur. Pc-Si en yüksek %20,4 verim ile çalışmaktadır (URL-9, 2022). Pc-Si, mono-Si’den daha ucuzdur. Ancak düzensiz atomik yapısı nedeniyle mono-Si’den daha düşük verime sahiptirler.

Mono-Si ve pc-Si hücrelerin verimliliğini etkileyen temel etkenler, hücre sıcaklığı ve güneş radyasyon yoğunluğudur. Şekil 2.5’te hücre sıcaklığı ve güneş ışınımı etkileriyle voltaj ve akım değerlerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Monokristal silikon sıcaklık ve güneş ışınımının etkisi

Kristal silikon PV modülleri verimlilik ve uzun ömürlü olmaları açısından gelecekte de yoğun olarak kullanılmaları ön görülmektedir. Kristal silikon teknolojilerinin en büyük sorunu, kaynak tüketim verimliliğindeki artışla birlikte hücre verimliliğinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu iyileştirmeler üretim otomasyonundaki verimi artırarak ve hammadde tüketiminin azaltılmasıyla sağlanabilir. Şekil 2.6’da güneş paneli çeşitleri görülmektedir.



Şekil 2.6. Güneş paneli çeşitleri

2.7.2. İnce Film (İkinci Nesil)

Bir diğer hücre ise ince film güneş paneli hücresidir. Üretimindeki maliyeti, görünümü ve montaj kolaylığı nedeniyle tercih edilmektedir. Bunların yanı sıra yüksek sıcaklıklarda aşırı ısınmaya karşı düşük hassasiyet göstermektedir. Kurak iklim koşullarında yoğun olarak tercih edilmektedir.

Kadmiyum tellürür (CdTe) panelleri ince film teknolojilerinde pazar lideri bir konuma sahiptir (Helbig vd., 2016). CIGS hücrelerinin üretim süreci ve maliyeti CdTe hücrelerinden daha düşük olduğundan dolayı CIGS hücreleri ile CdTe hücreleri arasında rekabet vardır. Ancak deneysel ölçümler sonucunda en iyi sıcaklık katsayısını CdTe sunmaktadır. Bu nedenle yüksek sıcaklığa sahip bölgelerde CdTe tercih edilmektedir.

2.7.3. Boyaya Duyarlılaştırılmış Güneş Pilleri (Üçüncü Nesil)

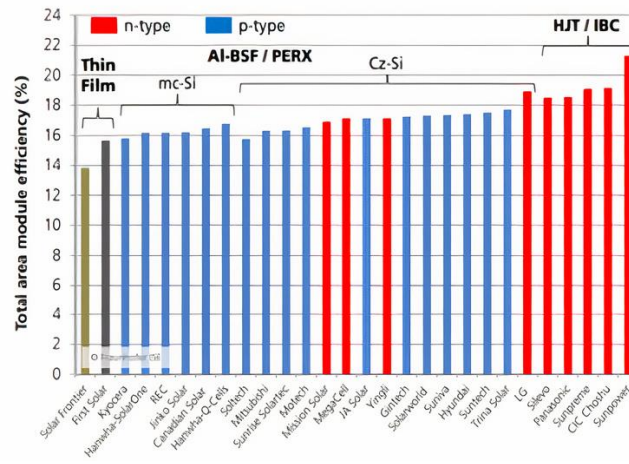
Boyaya Duyarlılaştırılmış Güneş Pilleri, bir elektrolit ile ışığa duyarlı hale getirilmiş bir anot arasındaki yarı iletkenin oluşturulduğu fotoelektrokimyasal yapıya denilmektedir. DSSC’lerde foton emilimi çok yüksektir.

Sistemdeki ana kayıplar, ön elektrottaki optik kayıplar ile iletim kayıplarıdır. Sadece boya tarafından emilen fotonlar akım üretebilmektedir. Aslına bakıldığında, boya molekülleri silikonun aksine yüksek dalga boylarında (spektrumun kırmızı ve kızılötesi kısmı) düşük absorpsiyona sahiptirler. Böyle olması, daha az foton ile elektrik enerjisi

üretimi yapmayı sağlamaktadır. Silikon hücreler ile karşılaştırıldığında %12 daha az üretim gerçekleştirmektedir (Mussard ve Amara, 2018). Bunun incelemesi şekil 2.7 ve şekil 2.8’de gösterilmiştir.

PV Teknoloji		Hücre Verimi (%)	Modül Verimi (%)
Kristal Silikon	Tek kristal silikon	25.0	15–20
	Çok kristal silikon	21.3	14–16
	Galyum Arsenid	27.5–29.1	
İnce film	Amorf silikon	13.6	6–9
	Kadmiyum Tellür	22.1	9–12
	CIS/CIGS	22.3	8–14

Şekil 2.7. Kristal silikon ve ince film verim karşılaştırılması



Şekil 2.8. Ticari güneş paneli verimleri

2.7.4. Santral Verimliliğini Etkileyen Faktörler

2.7.4.1. Sayısal Performans Parametreleri ile PV Sistemlerinde Verim

Güneş enerji santralinde verimi etkileyen parametreler şekil 2.9’da gösterilmiştir. Solar sistemlerde verim; üretilen enerjinin, güneş paneli yüzey alanı ile güneş ışıınının çarpımlarına bölünmesi ile bulunmaktadır. Aşağıdaki formül 2.1’de ifade edilmiştir.

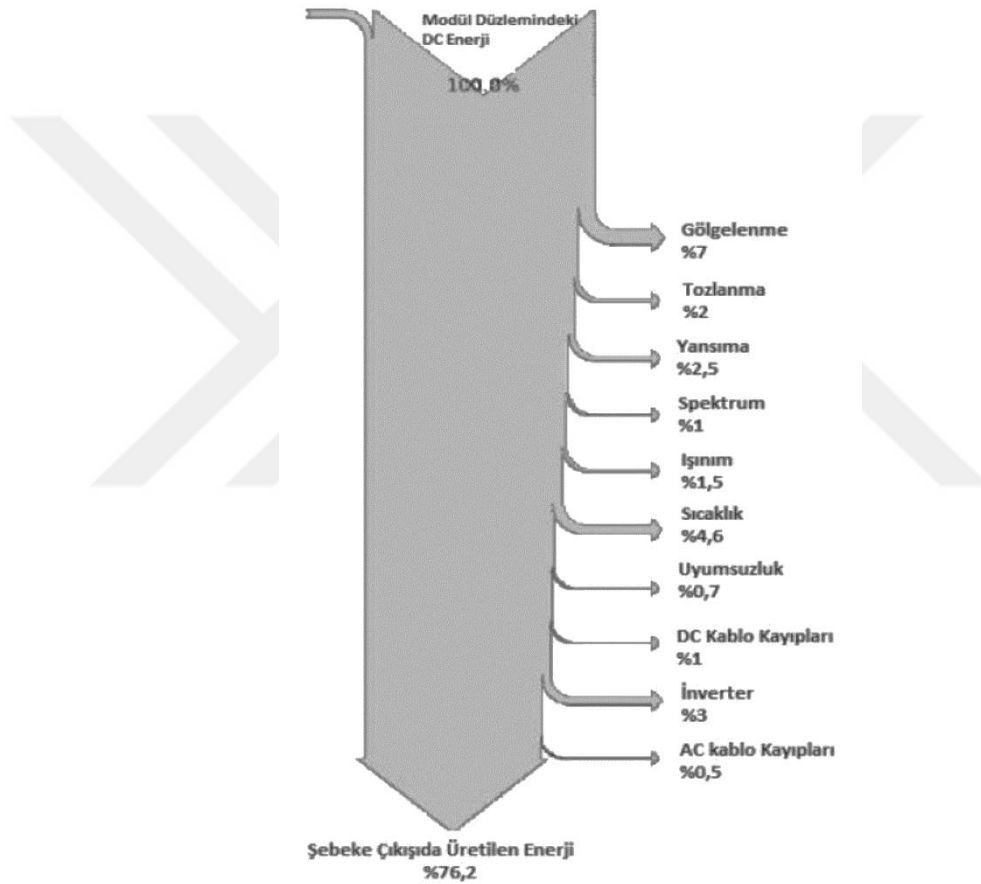
$$n = \frac{Edc}{A \times H} \quad (2.1)$$

Formülde geçen Edc belirli bir sürede üretilen elektrik enerjisini ifade etmektedir. A , güneş panelinin alanını, H ise güneşten gelen toplam ışıının miktarını ifade etmektedir.

Kapasite faktörü, belirli bir sürede (genellikle 1 yıl) üretilen elektrik enerjisinin kurulu kapasiteye bölünmesi ile bulunmaktadır.

$$CF = \frac{Edc}{P \times t} \quad (2.2)$$

Formülde geçen Edc üretilen elektrik enerjisini ifade etmektedir. P panel gücünü, t ise geçen süreyi ifade etmektedir (Mussard ve Amara, 2018).



Şekil 2.9. Güneş enerji santralinde kayıp oranlarını etkileyen faktörler ve yüzdeleri

Bir güneş enerji santralinin performansına Performans Oranı- PO (Performance Ratio – PR) denilir. Bu oran PV paneller tarafından üretilen enerjinin, STK (25°C solar hücre sıcaklığı, 1.000 W/m² ışıınım değeri ve Air Mass - AM 1,5 güneş spektrumu) oranıdır. Buradan da anlaşıldığı üzere sistem kaybı ne kadar düşük olursa PO o kadar yüksek olmaktadır.

$$PO = \frac{\text{Üretilen Enerji (Şebeke Çıkış Gücü)}}{\text{Referans Enerji}} \quad (2.3)$$

$$PO = \frac{\text{Şebeke Çıkış Gücü}}{\text{Solar Işınım} \times \text{Üreteç Alanı} \times \text{STK'daki Modül Verimi}} \quad (2.4)$$

2.7.4.2. PV Modülün Düzlem Açısı Kayıpları

Ülkemizin Kuzey yarımkürede bulunması nedeniyle PV panellerin yüzey azimut açıları sıfır olacak şekilde güneye dönük yatay biçimde yerleştirilmesi sistem verimliliği için daha uygun olmaktadır. PV modülün açısına bağlı olarak gelen fotonların etkisi azalıp artabilmektedir. Mevsimsel olarak güneş ışınlarının dünyaya geliş açısı değişmektedir. Bu değişimlere bağlı olarak her ay panel açısını değiştirerek maksimum verim elde edilebilmektedir. Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGİS) ile konuma bağlı olarak aylık ve yıllık panel açıları belirlenebilir. Panel açısı değişimi ile kış aylarında yaklaşık %5, yaz aylarında ise yaklaşık %20 oranında kazanç farkı olabileceği düşünülmektedir (Işıker ve Yeşilata, 2006).

2.7.4.3. Güneşlenme Süresi ve Gölgeleme

Güneş enerji santralının konumuna bağlı olarak güneşlenme süresi değişebilmektedir. Güneş ışınlarının her ne kadar önemli olduğu düşünülse de güneşlenme süresinin de önemi göz ardı edilmemelidir. Türkiye’de toplam yıllık güneşlenme süresi Elektrik İşleri Etüt İdaresi (İEİ) tarafından 2735 saat (günlük toplam 7,49 saat); yıllık toplam ışıınım şiddeti 1523 kWh/m² (günlük toplam 4,17kWh/m²) olarak belirtilmektedir (Başay, 2019). Bu oran Avrupa ülkelerine göre çok daha yüksektir.

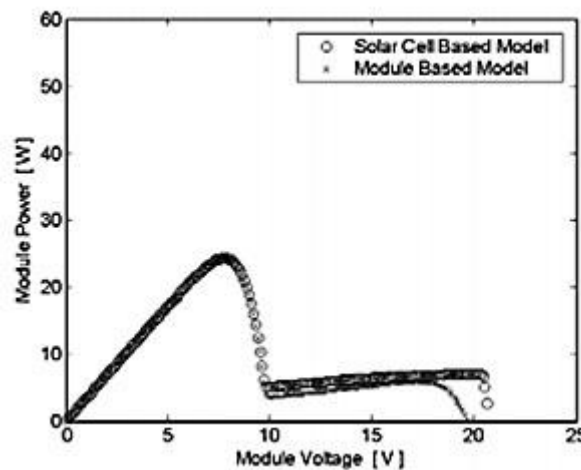


Şekil 2.10. Türkiye'nin güneşlenme süresi haritası

Gölge: güneşin ağaçlara, binalara veya bir önceki güneş paneline gelmesi sonucunda cisimlerin arkasına düşen yansımaya denmektedir. Güneş panellerinin üzerine düşen gölge, güneş ışınlarının panel üzerine düşmesini engellemektedir. Bundan dolayı güneş enerji santrallerinin verimi etkilenmektedir. Bu sebeple güneş panellerinin gölge olan yerlere konulmaması tercih edilir. Ancak bazı kısıtlı durumlarda gölge düşen yerlere güneş paneli yerleştirmek zorunda kalınabilmektedir. Böyle durumlarda güneş panellerinin çoğunu güneş alan kısımlara yerleştirmek verim açısından büyük önem arz etmektedir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere gölge gelen güneş panelindeki voltaj değeri azımsanamayacak kadar düşmüştür (Şekil 2.11,2.12).

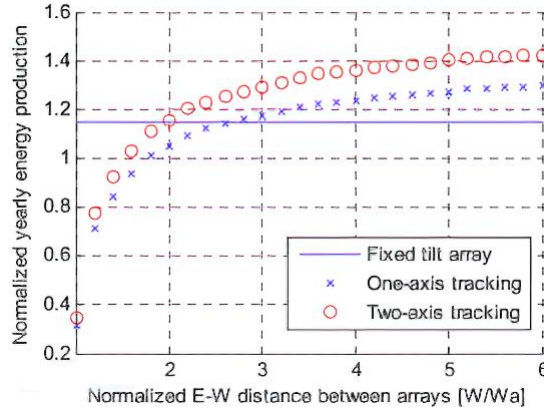
Güneş Panelinin Üzerine Düşen Gölge Yüzdesi%	Güneş Panelinin Düşen Gölge ile Kaybettiği Güç
% 13	% 44
% 11	% 47
% 9	% 48
% 6,5	% 44
% 3	% 25

Şekil 2.11. Güneş paneli gölge etkisi



Şekil 2.12. Gölge etkisinden kaynaklı verim düşüşü

Güneş panellerinin art arda yerleştirildiği güneş tesislerinde bir önceki panelin bir sonraki panele gölgesi düşmemesi için minimum 2,5 metre mesafe bırakılmaktadır. Bu mesafe hem panelleri temizlemek için hem de gölge etkisini azaltmak için bırakılır.



Şekil 2.13. Paneller arası yatay aralık etkisi

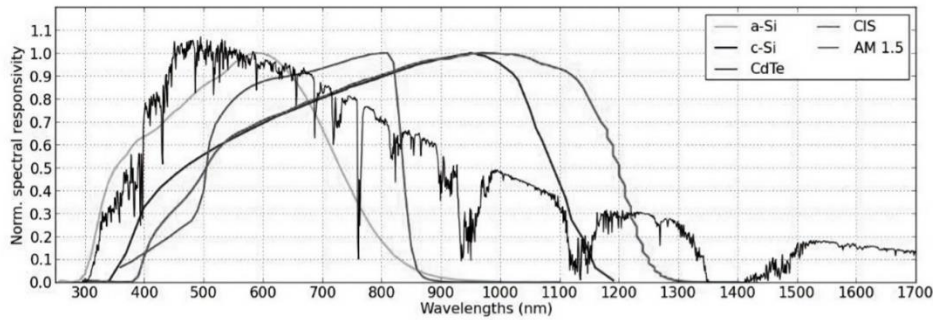
Şekilde görülen grafikte güneye yönlendirilmiş sabit eğimli, tek eksenli güneş izlemeli ve iki eksenli güneş izlemeli sistemlerin paneller arası yatay aralık etkisi incelenmektedir. Bu araştırma İzmir Bornova’da yapılmıştır. Farklı enlemlerde farklı sonuçlar elde edilebileceği öngörülmektedir (Boztepe, 2017).

Kısmi gölgelenme fotovoltaik panel verimini önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Kısmi gölgelenme olduğu durumunda; gölgenin düştüğü paneldeki kısa devre akımı sıfır olmaktadır. Gölgelemiş olan hücrenin üzerinde fotovoltaik sistem tarafından üretilen akım akmaktadır. Bunun sonucunda fotovoltaik sistemin toplam çıkış gerilimi, gölgeli hücreden dolayı azalmaktadır ve farklı verim tepeleri meydana gelmektedir. Bu nedenle PV panelin gölgelenmeye maruz kalıp kalmayacağının belirlenmesine dikkat edilmelidir. Gölgeleme sorununun olduğu bölgelerde geleneksel MGN (Maksimum Güç Noktası) izleyiciler ya da global MGN izleyiciler kullanmak yerine Dağıtılmış Maksimum Güç Noktası (DMGN) izleyicilerin kullanılması tercih edilmektedir. DMGN izleyici PV panelin gerilim ve akımını yükten bağımsız olarak kontrol ederek güç noktası izleme işlemini gerçekleştirmektedir. DMGN izleyici ile fotovoltaik panellerin maksimum güç noktasında sürekli çalışması sağlanabildiği için kısmi gölgelemenin olduğu bölgelerde bile en iyi performansı sağlamaktadır. Ancak maliyeti yüksektir. Uygun panel seçimi veya gölgeleme olan dizilere MPPT’li (Maksimum Power Point Tracing) inverterler kullanarak bu sorun çözülebilmektedir.

2.7.4.4. Spektrum Kayıpları

Anlık ışınlamında, AM 1,5'teki standart güneş spektrumundan sapma olması durumunda, sistemde PV modüllerin spektral tepkilerindeki seçicilikten kaynaklanan kayıplar ortaya çıkmaktadır. Güneş ve açık gökyüzü ideal spektrumlarında (AM 1,5) farklılık gösterebilmektedir. Bu parametreler göz önünde bulundurularak PV modül seçimi yapılmaktadır.

Şekil 2.14'teki grafiğe bakıldığında, CIS (Bakır İndiyum Selenür) ve c-Si (Kristal Silisyum) teknolojilerinin spektral tepki aralıkları diğer teknolojilere göre daha geniştir. Bu nedenle spektral absorpsiyon diğer PV panel türlerine göre daha yüksektir. CdTe (Kadmiyum Tellürid) malzemeden üretilmiş PV paneller 350 – 800 nm aralığında salınan daha dar spektral tepki alanları vardır, a-Si malzemeden yapılmış modüller ise yüksek güneş elevasyon ve difüz güneş ışınlamı açılarında daha yüksek enerji üretebilmektedir (Grunow vd., 2009).



Şekil 2.14. PV Teknolojisinin Normalize Edilmiş Spektral Tepkileri

Güneş ve gökyüzü ışınlamaları için bir yıl boyunca gözlemlenen spektra, açık gökyüzünün ideal spektrumundan (AM 1,5) farklılık göstermektedir. Konum faktörüne dikkat edilip PV modül seçimi yapıldığında spektrum kayıpları azalarak güneş enerji santrallerindeki verimin artacağı öngörülmüştür.

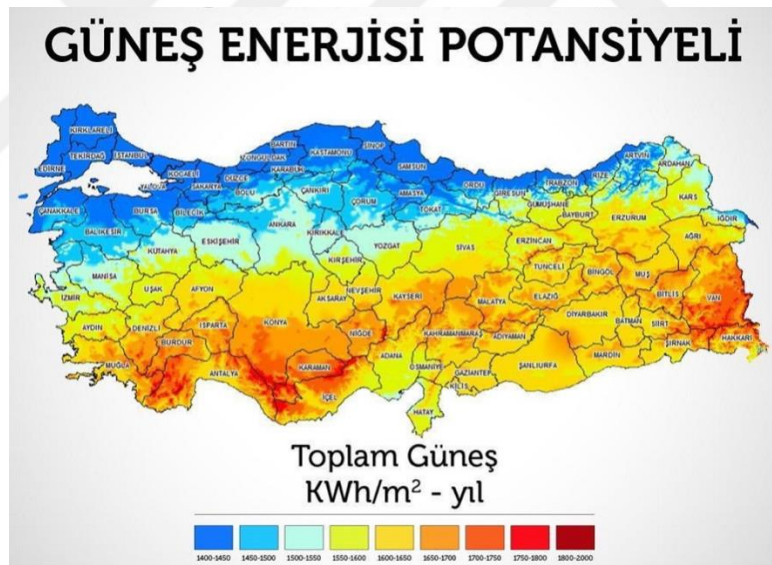
2.7.4.5. Düşük Işınlam Kayıpları

Bulutların güneşin önüne geçmesi sonucunda ışınlam kayıpları olmaktadır. Bu da PV modüllerde verim kaybına neden olur. Günlük hayatta güneş ışınlarının bulutlar tarafından engellenmesi nadiren karşılan bir olay olmasına rağmen, güneş enerji santralleri için bu olay önemli bir faktördür.

Güneş enerji santrali yatırımcıları ve sistemi tasarlayan mühendisler PV modül karakteristiklerine bakarak sahanın konumuna bağlı PV modül seçmektedirler. Kataloglardaki önemli parametreler: güç sıcaklık katsayısı (γ_{Pmpp}), STK (Standart Test Koşulları), modül çıkış gücü (Watt Peak, W_p), STK'daki verim (η_{STC}) ve STK'dakinden daha düşük ışıyım değerlerindeki modül parametrelerini içermektedir (Herteleer, 2012). Bu parametreler göz önünde bulundurularak en optimal çözüm ile kurulan santrallerin verim kaybı çok düşük olmaktadır.

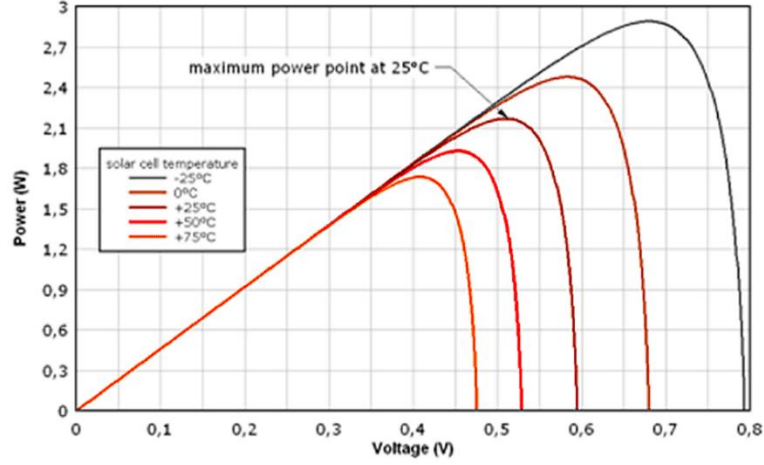
2.7.4.6. Hava Durumu

Güneş enerji santrallerinde verimi etkileyen en önemli parametrelerden biri hava durumudur. PV paneller sıcaklık ile ters orantılı olarak çalışmaktadırlar. Hücreler ne kadar ısınırsa panel verimi o kadar düşmektedir. Türkiye'deki güneş haritasına bakıldığında, genellikle soğuk ama güneşlenme süresi yüksek olan şehirlerde santral verimi daha yüksek görülmektedir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Türkiye'nin güneş enerji potansiyel haritası

Bir PV hücresinin, 1m/s rüzgâr, 800 W/m² ışıyım ve 20 °C ortam sıcaklığı koşullarındaki sıcaklığına Hücre Nominal Çalışma Sıcaklığı (Nominal Operating Cell Temperature- NOCT) denilmektedir. Şekil 2.16'da görüldüğü üzere panel sıcak değeri arttıkça verimde düşüş meydana gelmektedir. Bir panelin 25 °C'de maksimum güç noktasına ulaştığı görülmektedir.



Şekil 2.16. PV panellerin sıcaklık bağımlılığı (URL-10, 2021)

2.7.4.7. İnverter Etkisi

Güneş enerji santrallerindeki en önemli parametrelerden biri de inverterlerdir. İnverterler doğru akımı (DC), alternatif akıma (AC) çeviren elektriksel güç eviricileridir. Çevrim sırasında elektriksel fark nedeniyle bir verim kaybı yaşanmaktadır. İnverterdeki DC/AC çevrim kayıpları, PV inverter dahilinde kullanılan yarı iletken ve güç katmanı topolojisinin tipine, manyetik elementler, kapasitörlerin iletim ve anahtarlama gibi operasyonel karakteristiklerine bağlıdır (Koutroulis ve Blaabjerg, 2011).

Genellikle PV inverter verimi, her 150 V DC giriş gerilim genliğinde %0,3-%1 oranlarında azalmaktadır. Bununla birlikte düşük ışınlım, yüksek DC giriş gerilimlerinde kontrol ünitesinin güç tüketiminde ve anahtarlama kayıplarında %5'e kadar düşüş görülebilmektedir (Giesler, 2010). Günümüz teknolojisinde üretilmekte olan trafosuz şebeke bağlantılı inverterlerin nominal DC giriş gerilimlerinde, maksimum Avrupa verimleri %98 civarında olduğu bilinmektedir. Bu oran çok yüksek görülebilir fakat sahaya uygun inverter seçilmediği takdirde ekipman uyumsuzluğuna bağlı kayıplar yaşanmaktadır. İnverterler string (dizi) ve merkezi olmak üzere ikiye ayrılırlar. Sahanın yapısına, panellerin ve inverterin gücüne bağlı olarak seçilecek olan inverterler verim kaybında etkili olmaktadır.

2.7.4.8. Albedo (Yansım) Etkisi

Albedo kısaca bir yüzeyin yansıtma gücü olarak bilinmektedir. PV modüller üzerine düşen güneş ışınlarının bir kısmını paneller emmeden geri yansıtmaktadırlar. Bunun sonucunda yansım kayıpları oluşmaktadır.

Katı bir cisim üzerine düşen ışınlım ile genellikle aşağıdaki üç optik hareket meydana gelir:

- Yansıma: ışının cismin yüzeyine çarpıp geri dönmesi.
- İletim: ışının cismin içine işlemesi.
- Emilme: ışının cismin içine girmesi ve yakalanması; enerji farklı bir forma dönüştürülür.

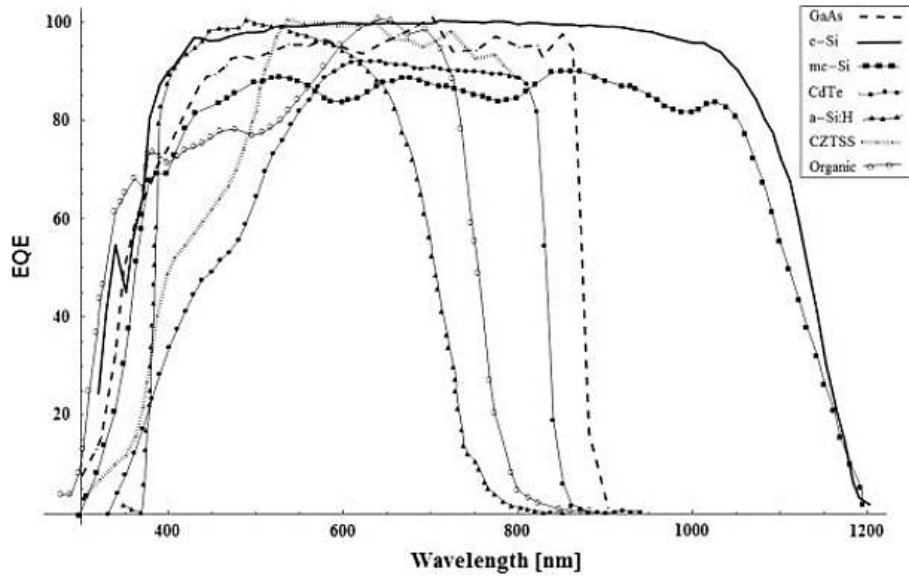
PV modüller, ışınım akısının bir kısmını emerek elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Yansıma iletimdeki kayıpların azlığına, malzemenin kalitesine, optik yansımaya, emilen ışınım yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Kristal silisyum güneş panelleri, amorf silisyum güneş panellerine göre daha çok ışık emmektedir.

PV modüllerin camlarına temperli bir yapıya sahip yüzey kaplama yapılarak ışınım yansıması en aza indirilip, ışınım emilimini en üst seviyeye çıkarmak amaçlanmaktadır. PV hücreler ise ışığın yansımasını önleyecek Yansıma Önleyici Kaplama (Anti – Reflective Coating) malzemeler ile kaplanmaktadır.

Yansıyan solar ışının şiddeti, modülün kırılma indeksine, PV modül ve güneş arasındaki açıya bağlıdır. Normal bir ışınımda PV modüller, gelen ışığın %4'ünü yansıtır (URL-11, 2019). Yansımayı etkileyen sadece güneş panellerinin yüzeyi değildir. Çevresinde bulunan yapılar da yansımayı etkilemektedir. Yüzeye bağlı olarak yansıtma gücü yani albedo etkisi değişiklik göstermektedir (Angström, 1925). Bu bağlamda santral etrafında olan yapıların değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yapılan bir araştırmaya göre 7 çeşit güneş paneli ile 22 farklı ortam arasında panel verimlerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Deneyde kullanılan güneş panelleri;

- (1) Kristalin silikon (c-Si),
- (2) Çok kristalli silikon (mc-Si),
- (3) Hidrojene amorf silikon bazlı (a-Si: H),
- (4) Kadmiyum tellürid (CdTe),
- (5) Bakır çinko teneke selenyum (CZTSS, IBM),
- (6) Galli aresenide (GaAs) ve
- (7) Organik PV.



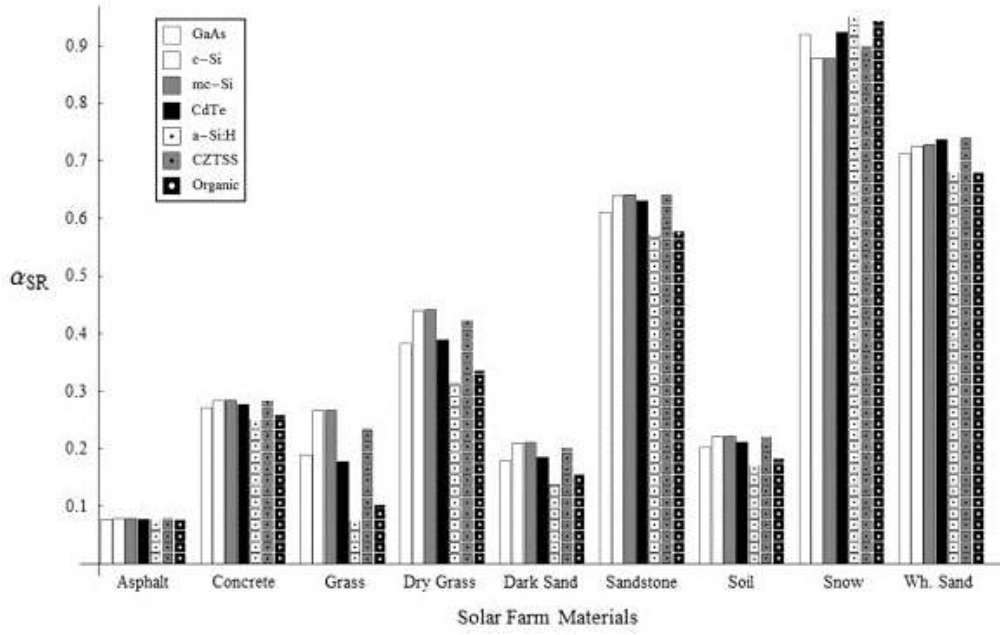
Şekil 2.17. Güneş panellerinin normalize edilmiş dış kuantum verimliliği-ışınım grafiği

Kristalin yapıdaki güneş panellerinin verimliliği diğer panellere oranla çok daha yüksek olduğu grafikte gösterilmiştir (Şekil 2.17).

Sınıf	Yüzey malzemeleri (ASTER ID)								
Sanayi	Asfalt	Beton	Çimen	Kuru Ot	Toprak	Beyaz Kum	Kar	Kumtaşı	Koyu Kum
Ticari	Asfalt	Beton	Siyah Kauçuk	Beyaz Kauçuk	Yeşil Boya	Yıpranmış Alümin.	Gal. Çelik	Pişmiş toprak	
Yerleşim	Gri Çakıl	Beyaz Çakıl	Kırmızı Çakıl	Yıpranmış Alümin.	Çam Ağacı	Yeşil Boya	Tuğla	Pişmiş toprak	
PV Mal.	GaAs	c-Si	mc-Si	CdTe	a-Si: H	CZTSS	Organik		

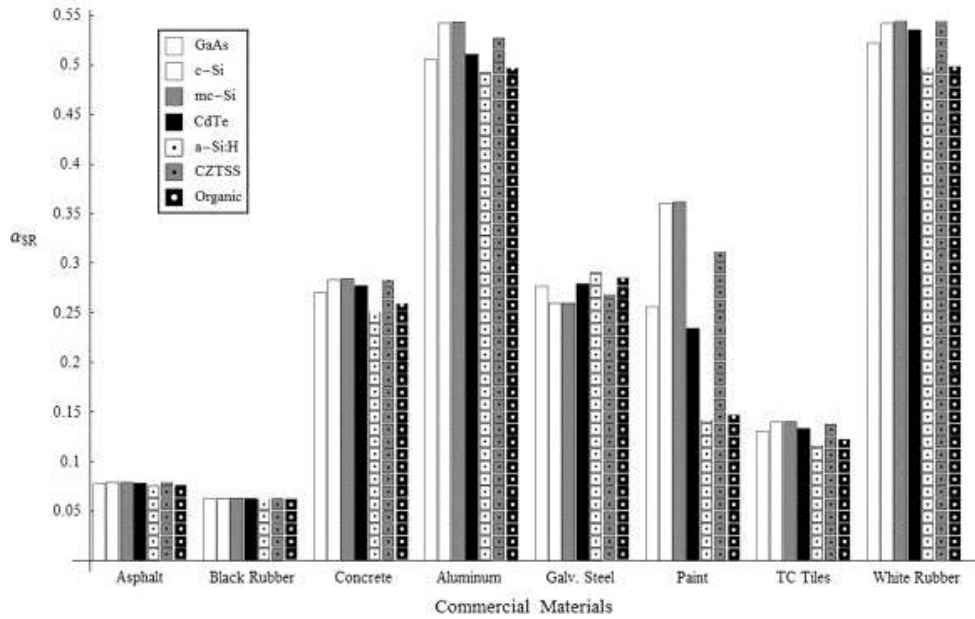
Şekil 2.18. Kullanılan yüzey malzemeleri ve PV panellerin özeti

Şekilde görüleceği üzere yüzey malzemeleri üç sınıfa ayrılmıştır (Şekil 2.18). Bunlar sanayi, ticari ve konut bölgesinde kullanılan malzemeleri kapsamaktadır.



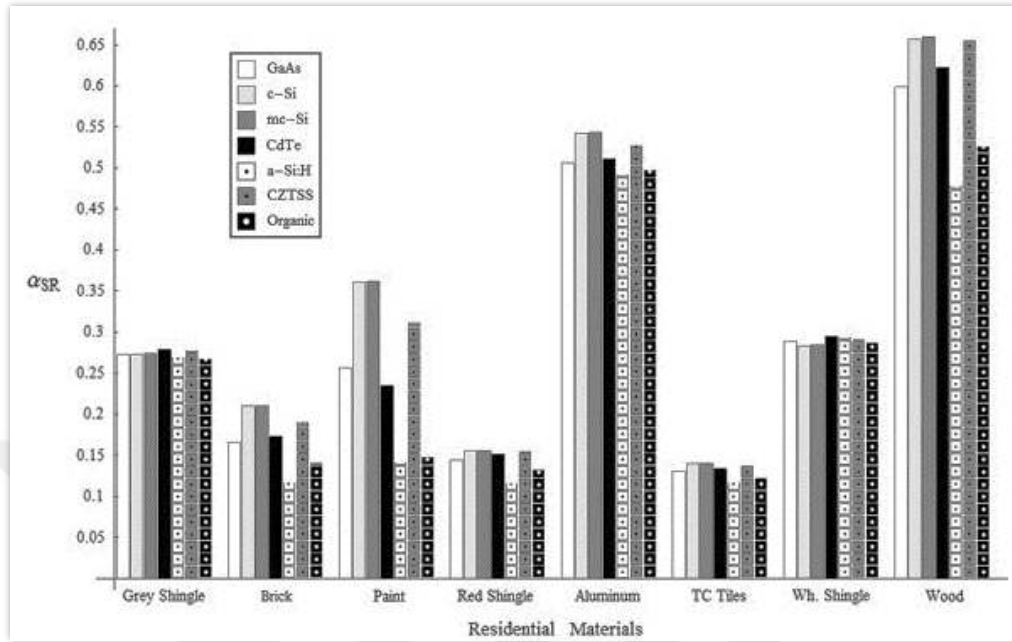
Şekil 2.19. Endüstriyel alanda yapılan çalışmalar yansım-güneş paneli grafiği

Şekil 2.19’da görüldüğü üzere yüzeyin renginin koyu olması albedo etkilerini azaltmakla birlikte paneller üzerindeki yansılarda azalmaktadır. Açık renkli malzemelerde albedo etkisi artarken, güneş panellerindeki yansılarda arttığı görülmektedir.



Şekil 2.20. Ticari amaçlı kullanılan malzemelerin yansım-güneş paneli grafiği

Şekil 2.20’de bahsedilen duruma benzer bir durumla karşılaşılmaktadır. Yapı malzemelerinin renginden kaynaklı albedo etkisi artıp azalmaktadır.



Şekil 2.21. Kullanılan malzemelerin yansım-güneş paneli grafiği

Benzer durum Şekil 2.21’de de geçerli olduğu görülmektedir. Araştırma sonucunda, güneş enerji santrali kurulumu yapılacak coğrafi konumda bu yansımalarla bakılarak güneş paneli seçilerek santral veriminin artırılabilceği sonucuna varılmıştır. Araştırmada, sıcaklık etkileri katılmadan sadece albedo etkisine bakıldığı görülmektedir (Brennan vd., 2014).

2.7.4.9. Tozlanma Etkisi

Toz etkisi genellikle kirlilik kaybı olarak adlandırılmaktadır. Güneş paneli üzerindeki tozlanma, güneşten gelen ışınların panele ulaşmasına engellemektedir. Bunun sonucunda paneldeki üretim düşmektedir. Tozlanmadan kaynaklı enerji üretim miktarı %15 ile %30 oranında düşebilmektedir. Bu verim kaybını engellemek amacıyla güneş panellerinde toz tutmaz veya hidrofobik malzemeler kullanılmaktadır. Ya da düzenli olarak güneş panelleri temizlenmektedir.

PV tesislerinde tozlanmanın etkisi uzun vadede büyük enerji ve yatırım kayıplarına neden olmaktadır. Özellikle kurak havaların olduğu bölgelerde; çöl gibi yerlerde, panellerin tozlanma olasılığı daha yüksektir. Bunun bir nedeni de çöl fırtınalarının olmasıdır. Aynı zamanda yağmurun yağması ile panellere toz ve farklı parçacıklar yapışabilmektedir. Bu

nedenle yağmurdan sonra güneş panellerinin temizlenmesi önerilmektedir. Arabistan’da yapılan bir araştırmada, 7 gün tozlanmaya maruz kalan bir güneş panelinin verimi %92’den %84’te düştüğü görülmüştür (Al Shehri vd., 2016).

Panel üzerine büyük boyutlu parçacıkların birikme olasılığı daha yüksek iken küçük parçacıkların birikme olasılığı daha düşüktür. Çünkü hafif yağmur yağmasıyla veya rüzgâr esintileriyle küçük parçacıklar havaya karışabilmektedir. Büyük parçacıkların panel yüzeyini hemen kaplaması çok büyük dezavantaj oluşturmaktadır. Büyük parçacıkların birikmesindeki temel etken panellerin duruş açısıdır. Panellerin yatay konumda durması, verim açısından negatif bir etki oluşturmaktadır. Küçük parçacıklar için panellerin duruş açısının pek bir önemi olmadığı bilinmektedir. Fas ve Kuveyt’te yapılan bazı araştırmalar sonucunda kum fırtınası olan bölgenin ilk elektrik enerjisi üretim kaybı %53,5 iken 9 ay sonrasında %5,9’a ve 25 ay sonrasında %0,8’e düştüğü görülmüştür (Wiesinger vd., 2018).

Sıcaklık ve toz birikimi güneş enerji santrallerinde performansı etkileyen ana parametrelerdir. Kirlilikten dolayı ortalama günlük verim düşüşü, modele bağlı olarak %0,61 ile %0,77 arasında olabilmektedir. Yüksek rüzgâr hızı ve yüksek nem oranı güneş enerji santrallerinin verimini olumlu yönde etkilemektedir (Said vd., 2018).

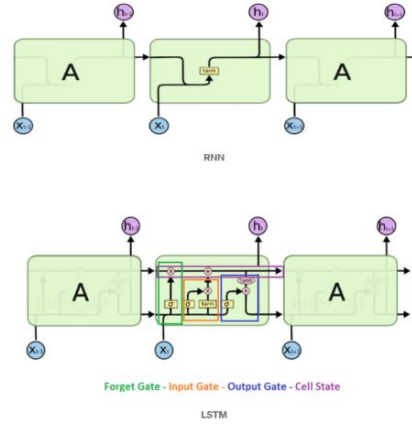
2.8. LSTM Yöntemi ile GES Üretim Verisi Tahmin Etme

2.8.1. LSTM Mimarisi

Klasik derin öğrenme ağları giriş ve çıkış verilerinden bağımsız olarak çalışmaktadır. Fakat RNN (Recurrent Neural Network, Özyinelemeli Sinir Ağı) giriş verilerini kullanarak çıkış verilerini etkileyebilmektedir. Bir cümle yazımında nasıl ki insanlar önceki deneyimlerine bağlı olarak tam bir cümle kurabiliyorsa RNN yapay sinir ağı da aynı şekilde tahmin yaparak kelimelerin mantık çerçevesinde art arda gelmesini sağlayabilmektedir. RNN önceki adımların sonuçlarını belleğinde tutmaya çalışır. Teorik olarak RNN’ler uzun dizilerde (long-sequence) iyi sonuçlar vermesi beklenirken pratikte edinilen tecrübeler sonucunda bunu başaramadığı görülmektedir. Bu gibi problemleri çözebilmek için LSTM ve GRU (Geçitlenmiş Özyinelemeli Birimler) gibi ağlar tasarlanmıştır.

Uzun kısa süreli bellek (İngilizce: Long Short-Term Memory (LSTM)) 1997 yılında Sepp Hochreiter ve Jürgen Schmidhuber tarafından ortaya atılmıştır (Şeker vd., 2017). LSTM, Sabit Hata Döngüsü (SHD) birimlerini tanıtarak, yok olan ve patlayan gradyan problemlerini ele almaktadır. Derin öğrenme alanında kullanılan tekrarlayan bir yapay sinir ağı (RNN) mimarisine sahiptir. Diğer sinir ağları gibi ileri besleme mantığına göre değil,

geri besleme mantığı ile çalışmaktadır. LSTM ve RNN arasındaki fark şekil 2.22’de gösterilmiştir.



Şekil 2.22. LSTM ve RNN arasındaki fark

LSTM bloğunun ilk sürümünde hücreler, giriş ve çıkış kapıları bulunmaktaydı. Şu an ise LSTM ünitesi, 4 katmandan oluşmaktadır. Bunlar; bir hücre, bir giriş kapısı, bir çıkış kapısı ve bir unutma kapısıdır. Hücre, rastgele zaman aralıklarındaki değerleri hatırlar. Bu üç kapı ise hücreye giren ve çıkan bilgi akışını düzenlemektedir.

Cell State hücresi tahmin yapmak için anlamlı bilgileri hücreler boyunca taşımaktadır. Bu hücre, bir iletişim hattı ve ağız hafızası olarak adlandırılabilir. Bununla birlikte kısa süreli bellek problemi çözülür ve geçmişteki veriler ağ boyunca taşınabilir. Cell State hücresinin taşıdığı verileri kapılar belirleyebilmektedir. Kapılar sayesinde gerekli veya gereksiz veriler ayırt edilebilir. Kapılara gelen veriler 0 ile 1 arasında sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile sıkıştırılmaktadır. Aktivasyon sonucunda 0 olan veriler unutulurken, 1 olan veriler Cell State hücresi ile ilerlemeye devam etmektedir.

Unutma kapısı hangi bilgilerin unutulacağı, hangilerinin devam edeceğine karar vermektedir. Önceki hücreden gelen bilgi ve mevcut bilgi sigmoid aktivasyon fonksiyonuna konulmaktadır. Bunun sonucunda karar verilmektedir. 0 olan bilgiler unutulurken 1 olan bilgiler Cell State ile taşınmaya devam etmektedir.

Giriş kapısı, Cell State güncellemesi yapmaktadır. Mevcut bilgi ve önceki bilgiler sigmoid aktivasyon fonksiyonuna konulmaktadır. Bunun sonucunda güncelleme yapıp yapılmayacağına karar verilir. 0 olan bilgiler önemsiz olarak görülürken 1 olan bilgiler kullanılmaktadır. Aynı zamanda ağı düzenleme işlemi için veriyi -1 ve 1 aralığına sıkıştıran tanh aktivasyon fonksiyonu da kullanılmaktadır. Sonrasında sigmoid ve tanh fonksiyonu

çıkışları birbiri ile çarpılmaktadır. Bunun sonucunda hangi bilginin güncelleneceği kararı verilmektedir.

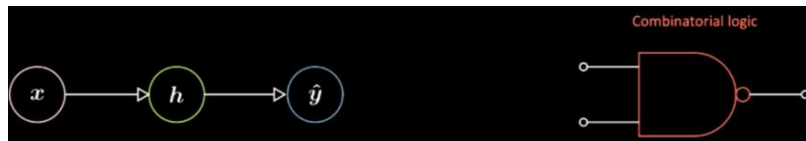
Çıkış kapısı bir sonraki hücrenin girişini belirlemektedir. Aynı zamanda tahmin yapmak için de kullanılmaktadır. Öncelikle mevcut bilgi ve önceki bilgi sigmoid fonksiyonundan geçirilmektedir. Daha sonra Cell State üzerinde var olan bilgi tanh fonksiyonundan geçirilmektedir. Son olarak iki sonuç çarpılarak hangi bilgilerin bir sonraki hücre için giriş hücresi olacağına karar verilmektedir. Kapı işlemleri tamamlandığında bir sonraki hücreye gidecek olan Cell State ve hücrenin giriş bilgisi olarak tanımlanan Hidden State bilgilerine karar verilmektedir.

2.8.2. RNN Mimarisi

RNN dizi şeklindeki verilerde sıklıkla kullanılan mimarilerden biridir. CNN (Convolutional Neural Network, Evrişimli Sinir Ağı) sinyali, alana bağlı olarak, tek veya 2 ya da 3 boyutlu olabilmektedir.

2.8.2.1. Düz Sinir Ağı ve Özyinelemeli Sinir Ağı (RNN) Karşılaştırılması

Düz sinir ağları ile RNN arasında çok fazla fark bulunmaktadır. Şekil 4.2’de üç katmanlı düz bir sinir ağının diyagramı görülmektedir. Pembe balon girdi vektörü x ’i gösterirken gizli katman ve çıktı katmanı sırasıyla yeşil ve mavi ile gösterilmektedir. Düz mimarinin çalışma mantığı; şeklin sağ tarafındaki dijital elektronik (Combinatorial logic) örneğinde görüldüğü gibi bu kombinasyonel mantığa benzemektedir. Şimdiki çıktı sadece şimdiki girdiye bağlı olarak çalışmaktadır.



Şekil 2.23. Düz mimari

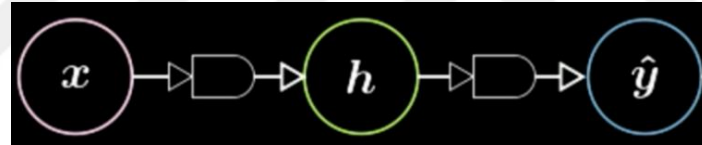
Ancak düz sinir ağının aksine, özyinelemeli sinir ağlarında şimdiki çıktı sadece şimdiki girdiye değil, aynı zamanda, Şekil 4.3’te görüldüğü gibi sistemin o anki durumuna da bağlı olarak çalışmaktadır. Bu durum şeklin sağ tarafında (Sequential logic) gösterildiği gibi dijital elektronikteki ardışık mantığa benzemektedir. Çıktı bir “mandal” (flip-flop, dijital elektronikte basit bir bellek ünitesi) devresine bağımlı olarak çalışmaktadır. Bu nedenle iki

sinir ağındaki ana farklılık; düz sinir ağı çıktısı sadece o anki girdiye bağlı çalışırken, özyinelemeli bir sinir ağında çıktı sistemin durumuna bağlı olarak çalışmaktadır.

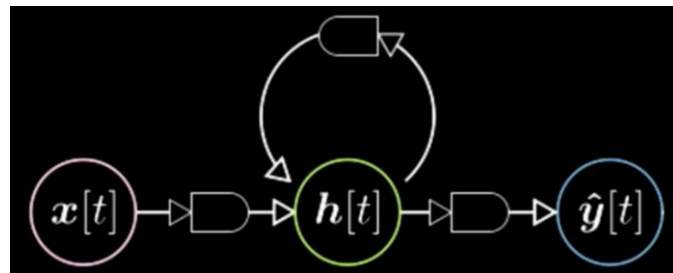


Şekil 2.24. RNN mimarisi

Yann diyagramı, bir tensörden (vektörden) diğerine eşlemeyi göstermek için nöronları kullanmaktadır. Örneğin, Şekil 2.25'te girdi vektörü x , bu eklenmiş birimden eşlenip gizli gösterim h 'e gitmektedir. Bu bir afin dönüşümdür, yani döndürme ve sonrasında bozma olmaktadır. Daha sonrasında başka bir dönüşümle gizli katmandan son çıktı alınmaktadır (Şekil 2.26). Benzer şekilde, RNN diyagramında görüldüğü gibi, nöronlar arasına eklenmiş şekiller aynı işlevi görmektedirler.



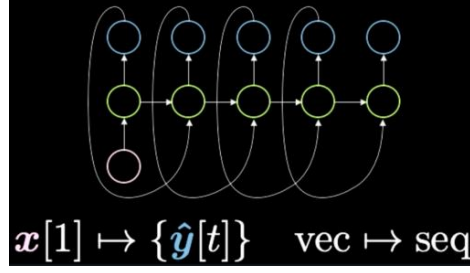
Şekil 2.25. Basit sinir ağı mimarisi



Şekil 2.26. Yann RNN mimarisi

2.8.2.2.RNN Türleri ve Örnekleri

Sistemin içsel durumunun evrimi Şekil 2.27'de yeşil balonlar ile gösterilmektedir. Sistem evirildiği sürece her zaman adımında belirli bir çıktı olmaktadır.



Şekil 2.27. Vektörden diziye ilerleme

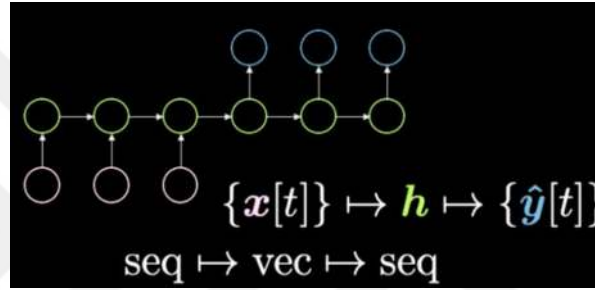
Bu tür mimari örnekleri girdi olarak bir görüntü alıp, çıktı olarak görüntünün kelime dizisi halinde, İngilizce açıklamasının üretilmesi için kullanılmaktadır. Şekil 2.28'deki görüntüye bakıldığında, her bir mavi balon İngilizce kelimelerin İngilizce sözlükteki indeksi olabilir. Örneğin, eğer çıktı “This is a yellow school bus” cümlesiyse, öncelikle “This” kelimesinin indeksi, sonra “is” kelimesinin indeksi alınarak devam etmektedir. Şekil 2.28’de sol üst fotoğrafta üretilen açıklama, “A person riding a motorcycle on dirt road.” (“Toprak yolda motosiklet süren bir kişi.”), detaylı bir bilgi vermiştir. Hemen yan sütunda ise resim için “Two dogs play in the grass.” (“İki köpek çimenlik alanda oynuyor.”) cümlesi üretilmektedir, ancak resimde aslında üç köpek vardır. Sonuç olarak bu ağ, bazen başarısız olabilirken bazen de iyi sonuçlar ile çalışabilmektedir. Bu örnekte girdiler tek bir vektör; fotoğrafın gösterimi, çıktılar ise bir dizi sembol; İngilizce cümleleri oluşturan karakterlerin olduğunu göstermektedir. Bu tür mimarilere otoregresif ağ denilmektedir. Otoregresif ağ, bir önceki adımda üretilen çıktının bir sonraki adıma girdi olarak verildiği ağa denilmektedir.



Şekil 2.28. Resimden metne çevirme örneği

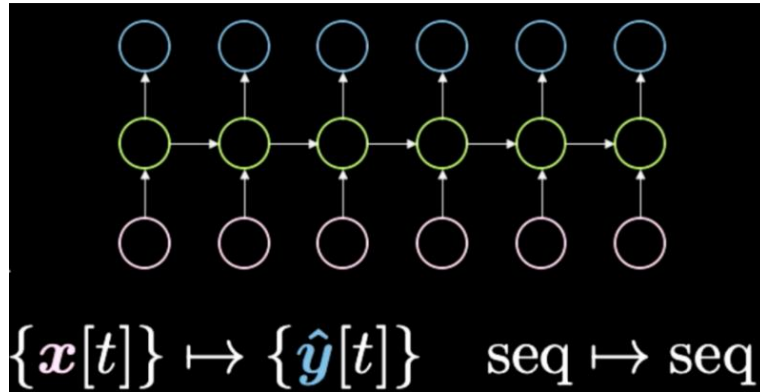
İkinci durum birinci durumun tam tersi olarak bir diziden bir vektör üretilmektedir. Bu ağı bir dizi sembolü besler ve sadece son adımda bir çıktı üretilmektedir.

Üçüncü durumda, Şekil 2.29’de görüldüğü üzere sekanstan vektör, vektörden de sekans üretilmektedir. Şekil 2.29’de pembe ile gösterildiği gibi bir dizi sembolle başlamaktadır. Her şey son h vektöründe toplanır ve bu vektör bir konsepti temsil etmektedir. Örneğin, bir cümleyi girdi olarak alıp, cümlemin anlamını ve vermek istediği mesajı temsil eden, geçici bir vektöre sıkıştırılabilir. Daha sonra herhangi bir gösterimde bu anlamı aldıktan sonra ağ başka bir dilde bunu çevirebilir. Mesela “Today, I’m very happy” (“Bugün çok mutluyum”) İtalyanca ya da Çince çevrilebilecek bir İngilizce kelime dizisidir. Son olarak, ağ aynı sıkıştırılmış versiyon verildiğinde bir kod çözme işlemi uygulayarak kelimeler başka dillere dönüştürülebilmektedir. Bu mimari 2018 yılında en iyi çalışan yöntem olarak ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.29. Sekans-Vektör-Sekans üretimi

Dördüncü ve son durumda, diziden dizi üretilmektedir. Bu aşda girdi beslendiği sürece ağ çıktı üretmektedir. Bu mimariye en iyi T9 örneği verilmektedir. Telefonlarda mesaj yazıldıkça telefon kelime önerilerinde bulunmaktadır. Bu durum yapay sinir ağının diziden dizi üretmesi sonucunda meydana gelmektedir. Şekil 2.30’da diziden dizi üretilmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.30. Diziden dizi üretimi

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Veri Toplama

Yapay zekâ algoritmaları kurulurken verilerin çokluğu veri analizindeki doğruluk için oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalarda veri modellerinin oluşturulması ve verilerin doğru eğitilmesi için birden fazla ve farklı verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bir güneş enerji santralinde santral verileri, veri kaydediciler (Datalogger) aracılığı ile kaydedilmektedir. Ülkemizde iki adet bu verileri depolamak için server bulunmaktadır. Bunlardan biri Pem Enerji firmasına, bir diğeri ise Huawei firmasına ait serverlardır. Aslında Pem Enerji firmasındaki serverlar da Huawei serverlarına veri aktarmaktadır, fakat ayrı bir yapısı vardır. Pem Enerji firması Huawei'in alt kümesi olarak düşünülebilir. Genellikle toplanan verilerde inverterlerin hata mesajları ile ilgilenilmektedir. Buna bağlı olarak inverter güncellemeleri yapılmaktadır. Fakat bu çalışmada santrallerin ürettiği elektrik üretim verileri toplanmış ve buna bağlı olarak analizler yapılmıştır.

LSTM yöntemi ile geçmiş yıllara ait güneş enerji santrali verilerini kullanarak bir zaman serisi içerisinde gelecek ay üretilebilecek elektrik enerjisi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Veriler, birden çok güneş enerji santral kurulumu yapmış olan Humartaş Enerji Taahhüt A.Ş. firmasından alınmıştır. Alınan veriler güneş enerji santrallerinde enerji kaybını etkileyen faktörlerden seçilmiştir. Bu faktörler 15 adet olup; enerji veri tarihi(ay-yıl), hava durumu, güneşlenme süresi, panel teknolojisi, panel gücü, inverter çeşidi, inverter gücü, santral türü, santralde kullanılan kablo türü, santral yaşı, panel açısı, santral performans oranı, santralin bulunduğu şehir ve santralin bulunduğu bölgenin albedo değerleri ele alınarak santralin gelecekte aylık ne kadar elektrik üretebileceği tahmin edilmiştir.

Çalışma için 14 şehirde bulunan güneş enerji santrallerinin verileri toplanmıştır. 2017-2021 yılları arasında güneş enerji santrallerinin aylık olarak ne kadar elektrik ürettiğini içermektedir. Eğitim için bine yakın gözlem toplanmıştır.

3.2. Veri Çoğaltma

Veri çoğaltma, derin sinir ağlarının genelleme yeteneklerini geliştirmeye yardımcı olan ve ağları dolaylı olarak düzenlileştirmeyi sağlayan bir tekniktir (Nalepa vd., 2019).

Bazı çalışmalarda veri eksikliğinden kaynaklı çok büyük hatalarla karşılaşilmektedir. Bu hatalardan bazıları veri tahmininin doğruluk oranını düşürmektedir. Bunun sonucunda çalışmalarda hata oranları artmaktadır. Veri eksikliğinden kaynaklı hata oranını düşürmek amacı ile farklı veri çoğaltma yöntemleri kullanılmaktadır.

3.2.1. Eksik Verilerin Kendini Yok Etmesi

Kullanılan bazı algoritmalar, eksik verileri kendi içerisinde hesaplayarak modelin içine katmaktadır. Bu şekilde eğitim kayıplarını azaltarak eksik veriler için en iyi atama değerlerini hesaplamaktadır. XGBoost algoritması bu yapıyı içermektedir. Bazı algoritmaların ise eksik olan verileri görmemezlikten gelme özelliği vardır. Bunu algoritma içerisine eklenen bir kod parçasıyla yapmaktadır. Örnek verilecek olursa LightGBM (Light Gradient Boosting Machine)'de "use missing=false" kodu eklenerek eksik veriler göz ardı edilmektedir. Diğer algoritmalarda eksik parametre ile karşılaşıldığında hata vermeye başlar. Örneğin Scikit öğrenme-Linear Regression algoritmalarında eksik veri olması durumunda hata ile karşılaşılmaktadır. Bu durumda ya eksik verileri işlemek ya da algoritmaya beslemeden önce temizlemek gerekmektedir.

3.2.2. En Sık ve Sıfır/Sabit Değerleri Kullanarak Veri Çoğaltma

En sık değerler kullanılarak veri çoğaltma işleminde eksik veriler her sütunda en sık görülen değerlerle değiştirilmektedir. Kategorik özelliklere bağlı veri çoğaltma işlemi yapılmaktadır. Kategorik özellikleri olan verilerde bu yöntem iyi çalışmaktadır. Ancak çoğaltılan veriler kategorik olarak çoğaltıldığı için önyargı oluşturabilmektedir.

Sıfır/sabit değerleri kullanarak veri çoğaltma işleminde, eksik parametre olan değerlerin yerine sabit bir değer ataması yapılmaktadır veya sıfır değeri atanmaktadır (Şekil 3.1).

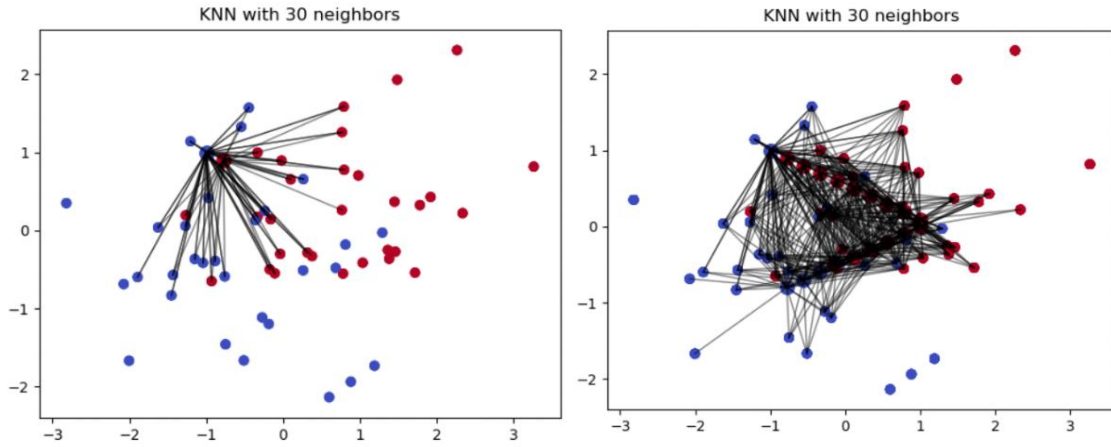
	col1	col2	col3	col4	col5			col1	col2	col3	col4	col5	
0	2	5.0	3.0	6	NaN	df.fillna(0)		0	2	5.0	3.0	6	0.0
1	9	NaN	9.0	0	7.0			1	9	0.0	9.0	0	7.0
2	19	17.0	NaN	9	NaN			2	19	17.0	0.0	9	0.0

Şekil 3.1. Sıfır değeri kullanılarak veri çoğaltma işlemi

3.2.3. K-NN (K-Nearest Neighbors) Kullanarak Veri Çoğaltma

Algoritma, herhangi bir yeni veri noktasının değerlerini tahmin etmek için özellik benzerliğini kullanmaktadır. Eksik parametrelere ve eğitim kümesindeki parametrelere bağlı olarak bir değer ataması yapılmaktadır. Yöntemin çalışma şekli, temel bir ortalama impute

(atfedilen) oluşturulmaktadır. K-NN'ler bulunduğundan sonra bunların ağırlıklı ortalaması alınarak veri çoğaltma işlemi tamamlanmaktadır (Şekil 3.2).

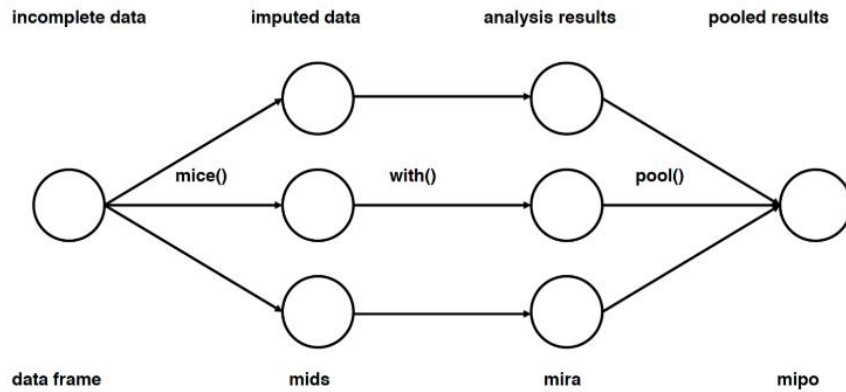


Şekil 3.2. K-NN kullanarak veri çoğaltma modeli

Yöntemin avantajı, veri kümesine bağlı olarak ortalama, medyan veya en sık kullanılan atama yöntemlerinden çok daha doğru sonuçlar verebilmektedir.

Dezavantaj olarak, maliyetlidir. K-NN, tüm eğitim veri setini bellekte saklayarak çalışmaktadır. Ayrıca, verilerdeki aykırı değerlere karşı oldukça hassastır.

3.2.4. Zincirli Denklemlerle Çok Değişkenli Veri Çoğaltma



Şekil 3.3. Çoklu atamalarda kullanılan ana adımlar

Zincirli denklemlerle çok değişkenli veri çoğaltma, eksik verileri birden çok kez doldurarak çalışır. Şekil 3.3'te çoklu atamalarda kullanılan ana adımlar gösterilmiştir. Çoklu atamalar, eksik değerlerin belirsizliğini daha iyi ölçtüğü için, tek bir atamadan çok daha

performanslı çalışmaktadır. Aynı zamanda zincirleme denklemler yaklaşımı da çok esnektir. Farklı veri türlerinin ve farklı değişkenlerin yanı sıra, sınırlar veya anket atlama modelleri gibi karmaşık eksik verilerde dahi kullanılabilir. Şekil 3.4'te impute kullanarak zincirli denklemlerle çok değişkenli veri çoğaltma örneği gösterilmiştir.

0	2	5.0	3.0	6.0	NaN		0	2.0	5.0	3.00	6.00	4.666667
1	9	NaN	9.0	0.0	7.0		1	9.0	10.0	9.00	0.00	7.000000
2	19	17.0	NaN	9.0	NaN		2	19.0	17.0	6.25	9.00	4.666667
3	7	10.0	3.0	6.0	4.0		3	7.0	10.0	3.00	6.00	4.000000
4	2	8.0	10.0	NaN	3.0		4	2.0	8.0	10.00	5.25	3.000000

Şekil 3.4. Impute kullanarak zincirli denklemlerle çok değişkenli veri çoğaltma

3.2.5. Derin Öğrenme ile Veri Çoğaltma

Derin öğrenme ile veri çoğaltma yöntemi, genellikle sayısal olmayan ve kategorik özellikteki değişkenlerde çok iyi çalışmaktadır. Derin Öğrenme Sinir Ağlarını ve Makine Öğrenimi modellerini içeren bir kütüphane ile veri çoğaltma işlemi yapmaktadır. Ayrıca eğitim için hem CPU hem de GPU'yu desteklemektedir.

Artıları:

- Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında oldukça doğru çalışmaktadır.
- Kategorik verileri işleyebilen bazı fonksiyonlara sahiptir (Feature Encoder).
- CPU ve GPU'ları destekler.

Eksileri:

- Tek sütunlu atama yapmaktadır.
- Büyük veri kümelerinde oldukça yavaş olabilmektedir.
- Empoze edilecek hedef sütunları belirtmek gerekir.

3.2.6. Ortalama/Medyan Değerleri Kullanan Veri Çoğaltma

Bu yöntem, eksik verilerin yerine ortalama bir değer veya medyan ataması yapmaktadır. Bir değişken içindeki tüm eksik değerlerin yerine, tüm değişkenlerin ortalaması veya medyanı yerleştirilmektedir. Sadece sayısal değerlerde çalışmaktadır. String değerlerde yani kelime içeren verilerde çoğaltma yapılamamaktadır.

Yöntem kullanılırken göz önünde bulundurulması gereken bazı kurallar şunlardır:

- Değişken normal bir dağılım izliyorsa, ortalama ve medyan yaklaşık olarak aynıdır.

- Değişkenin çarpık bir dağılımı varsa, medyan daha iyi bir temsildir.

Veri çoğaltma yöntemi, birden fazla değer içerdiği zaman ve verilerin %5'inden azı eksik olduğunda daha verimli çalıştığı bilinmektedir.

Ortalama ve medyan yönteminin avantajları:

- Kolay ve hızlıdır.
- Küçük sayısal veri kümeleriyle iyi çalışmaktadır.

Eksikleri:

- Özellikler arasındaki korelasyonları etkilememektedir. Yalnızca sütun düzeyinde çalışmaktadır.

- Kodlanmış kategorik özelliklerde kötü sonuçlar vermektedir. (Kategorik özelliklerde kullanılmaz.)

- Doğruluk oranı %100 değildir.
- Tahminlerdeki belirsizliği hesaba katmaz.

Çalışmada bazı verilerin eksik olması nedeniyle veri çoğaltma işlemine başvurulmuştur. Bu yöntem için Machine Learning SimpleImputer yöntemlerinden mean (ortalama) yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin kolay ve hızlı, olası ve küçük verilerde sağlıklı çalışması kullanım için tercih edilmede önemli bir etmen olmuştur.

3.3. Yapay Zekâ Öğrenme Türleri

Yapay zekâ uygulamalarında birçok öğrenme çeşidi vardır. Fakat öğrenme çeşitleri genel anlamda üç farklı öğrenme türüne ayrılır. Bunlar gözetimli öğrenme, gözetimsiz öğrenme ve pekiştirmeli öğrenmedir. İlgili modele bağlı olarak kullanılan öğrenme türü de değişiklik göstermektedir.

Gözetimli öğrenmede cevap bulmaktan ziyade veriler arası ilişkinin bulunması amaçlanır. Çünkü bu öğrenme türünde model eğitilirken her bir veri noktasındaki doğru sonuç açık bir şekilde etiketlenir. Bu sayede atanmamış veri göstergeleri ile karşılaşıldığında doğru bir şekilde sınıflandırma ya da tahmin yapılabilir.

Bu öğrenme türüne örnek verilecek olursa; veri göstergelerinin birbiri ile sürekli bağlantılı olduğu, dolar/TL zaman içerisindeki kur farkı tahmin algoritmaları gösterilebilir.

Gözetimsiz öğrenme türünde model, eğitim esnasında öğrenme algoritmasına cevap vermemektedir. Bu öğrenme şeklinin amacı, veri göstergeleri arasında anlamlı ilişkiler bulmaktır. Anlamlı ilişkiler bulmak için önemli desenleri (pattern) ve veriler arasındaki

bağlantıları keşfetmek gerekmektedir. Kümelemeler yapıldığı için bu öğrenme türünü kullanarak birbirine benzeyen iki parça kolaylıkla tespit ettirilebilmektedir.

Pekiştirmeli öğrenme türü hem gözetimli hem de gözetimsiz öğrenme türünün karışımıdır. Genellikle karmaşık problemler çözmek için kullanılmaktadır. Veriler çevre tarafından sağlanır ve algoritmanın cevap vermesi, öğrenmesi istenir. Bu öğrenme türüne en güzel örnek engellere çarpan robotun negatif geri bildirimleri sonucunda engellerden uzak durma davranışını öğrenmesidir.

Bu öğrenme türlerine bakıldığında yapılan çalışma için gözetimli öğrenme türü seçilmiştir. Bu seçimin nedeni; gözetimli öğrenme türünde farklı parametreler enerji verisini etkilemektedir. Bunun sonucunda da her bir veri noktasında doğru sonuç etkilenmiştir. Böylece sınıflandırma ve tahmin etme doğruluk oranı artmıştır.

3.4. Verilerin Eğitilmesi

Çalışmada Python programlama dili kullanılmıştır. Çalışmayı hızlı bir şekilde yapabilmek için Google Colaboratory içerisinde kodlama yapılmıştır.

Google Colaboratory kısaca Google Colab olarak da bilinmektedir. Ücretsiz GPU desteği vermesi nedeni ile birçok veri bilimci ve araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir. Google Colab ücretsiz versiyonunda, K80 ve P100 GPU'ları kullanılmaktadır. Ancak profesyonel kullanımlarda T4 ve P100 GPU'ları ile da öncelikli olarak işlem yapılabilir (Demir, A. F., 2020).

Yapılan çalışmanın kolay bir şekilde paylaşılabilmesi ve Google Drive'da depolanabilmesi büyük avantaj sağlamaktadır. Keras, TensorFlow, OpenCV, PyTorch ve TensorFlow gibi kütüphaneleri kullanıp derin öğrenme uygulamaları geliştirilebilmektedir.

Birçok kaynak Google Colab'ın nasıl kullanılacağı hakkında bilgi vermektedir. Bu ayrıcalıkları sebebiyle yapılan çalışmada Google Colab kullanılmıştır.

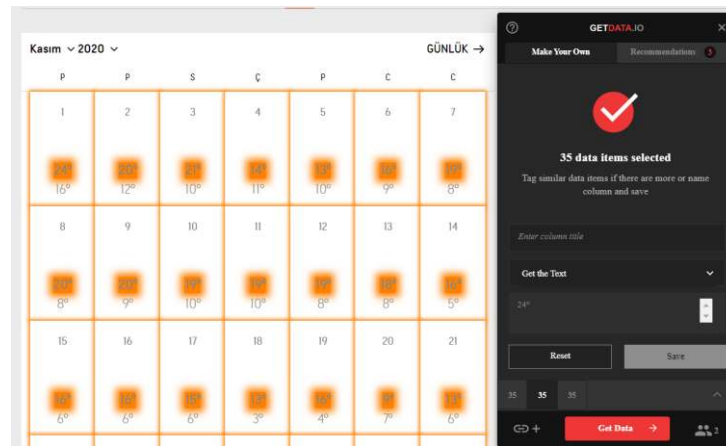
Humartaş Enerji firmasından alınan veriler Microsoft Excel aracılığı ile düzenlenmiştir. Tarih, enerji verileri, hava durumu, il, güneşlenme süresi, panel çeşidi, saha tipi, albedo etkisi, panel gücü, inverter çeşidi, inverter gücü, panel açısı, AG (Alçak Gerilim) kablo türü, performans oranı, saha yılı Microsoft Excel içerisinde yer alan parametrelerdir (Şekil 3.5). Bu parametreler baz alınarak bir öğrenme modeli oluşturulmuştur.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Date	EnerjiVerileri	HavaDurumu	Il	GuneslenmeSure	PanelCesidi	SahaTipi	Albedo	PanelGucu	InvertorCesidi	InvertorGucu	PanelAcisi	AGKabloTuru	PerformansOrani	SahaYili
2	2020.01	63550.92		6	63	4	1	1 0.80	320	1	60	25	2 80.45		3
3	2020.02	79609.01		7	63	5	1	1 0.70	320	1	60	25	2 80.45		3
4	2020.03	98533.49		11	63	6	1	1 0.20	320	1	60	25	2 80.45		3
5	2020.04	140330.61		16	63	8	1	1 0.20	320	1	60	25	2 80.45		3
6	2020.05	188971.07		22	63	10	1	1 0.20	320	1	60	25	2 80.45		3
7	2020.06	182734.25		28	63	12	1	1 0.20	320	1	60	25	2 80.45		3
8	2020.07	206672.19		32	63	12	1	1 0.20	320	1	60	25	2 80.45		3
9	2020.08	192287.21		31	63	11	1	1 0.20	320	1	60	25	2 80.45		3
10	2020.09	190690.65		27	63	10	1	1 0.20	320	1	60	25	2 80.45		3
11	2020.10	154944.59		20	63	8	1	1 0.20	320	1	60	25	2 80.45		3
12	2020.11	133923.97		13	63	6	1	1 0.20	320	1	60	25	2 80.45		3
13	2020.12	71316.84		7	63	4	1	1 0.20	320	1	60	25	2 80.45		3

Şekil 3.5. 2020 Yılı enerji Şanlıurfa ili enerji verileri ve diğer parametreler

Enerji verileri, 2017-2021 yılları arasında sahaların ürettiği elektrik enerji miktarları amper birimi olarak ele alınmıştır. Tarihler yıl ve ay cinsinden yazılmıştır. Hava durumu parametresi günlük ortalama sıcaklığı içermektedir. Bu parametreler T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü web sitesinden alınmıştır (URL-12, 2021). Aynı zamanda bir web sayfasında bulunan bir ay içerisinde aylık ortalama sıcaklık değerlerinin medyanı alınarak illerin ortalama sıcaklık değerleri tabloya girilmiştir (URL-13, 2021).

Verileri çekmek için “GetData” web sayfası kullanılmıştır (URL-14, 2021). Bu uygulama Google Chrome tarayıcısına uzantı olarak eklenebilmektedir. Veri çekmek istenilen web sitesine girilerek uzantı çalıştırılır ve çekmek istenilen veriler işaretlenerek istenilen veriler kolonlar şeklinde ayrışarak gelmektedir (Şekil 3.6). İstenildiği takdirde cvs, json veya başka formatlarda indirilebilmektedir. Uygulamanın bu ayrıcalıklarının kullanarak bir csv uzantılı dosyası indirilmiştir. İndirilen dosyaların medyanlarını alan bir algoritma yazılmıştır. Çıkan aylık ortalama hava durumu verileri ana Excel tablosundaki hava durumu kolonuna eklenmiştir.



Şekil 3.6. GetData uygulaması ile site içerisinde veri çekme

Tablodaki il kısmına santralin bulunduğu şehrin plaka numarası yazılmıştır. Güneşlenme süreleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün web sitesinden alınmıştır. Panel çeşidi verisi üç sınıfta incelenmiştir. 1 numaralı güneş panelleri monokristal güneş panellerini içerirken, 2 numara polikristal güneş panellerini, 3 numara ise ince film güneş panellerini ifade etmektedir. Verilere bakıldığında ele alınan santrallerde yoğun olarak monokristal güneş panelleri tercih edildiği görülmektedir. Saha tipi verisinde 1 numara, arazilere kurulan güneş enerji santrallerini ifade ederken, 2 numara çatılara kurulan güneş enerji santrallerini ifade etmektedir.

Santral çevresinde birçok yapı bulunabilmektedir. Genel kapsamda dağ yamaçlarına kurulan santrallerin yanı sıra yol yani asfalt kenarına veya çatı tipi güneş enerji santrallerinde zemini beton olan yapılara denk gelinebilmektedir. Son zamanlarda popülerliği artan çatı tipi güneş enerji santralleri için çatı kiremitlerinin de zeminde oldukça çok kullanıldığı görülmektedir. Verimliliği etkileyen parametrelerden olması nedeni ile albedo etkisi, bu çalışmada ele alınmıştır.

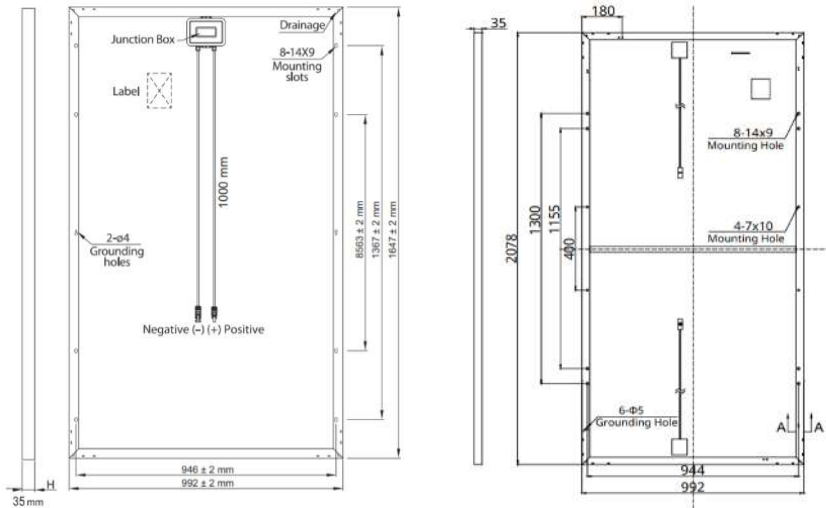
Yüzeyler	Albedo Değeri
Deniz (açıya göre değişken)	0.05-0.25
Bataklık	0.10
Karışık Orman	0.10
İğne Yapraklı Orman	0.10
Fundalık	0.15
Şehir	0.15
Çayır	0.20
Karışık Arazi	0.20
Çalılık	0.20
Kum	0.20
Çöl	0.30
Kirli Kar (Eski Kar)	0.45-0.90
Bulut	0.60-0.90
Temiz Kar	0.80-0.90

Şekil 3.7. Bazı arazi örtülerinin albedo değerleri

Santral çevresinde bulunan yapıların albedo etkileri Şekil 3.7'de belirtilen değerlere bakılarak çalışmada kullanılan Microsoft Excel tablosuna ilgili değerler eklenmiştir. Bu

değerler Boğaziçi Üniversitesi İklim Değişikliği ve Politikaları Uygulama ve Araştırma Merkezi (iklimBU) web sitesinden alınmıştır (URL-12, 2020).

Güneş enerji santrallerinde en önemli parametrelerden biri güneş panelidir. Bu doğrultuda bakıldığında güneş panelinin gücü, santralin kurulum yapılacağı alanı belirlemekle beraber, inverter güçleri ile ilişkili olarak santralin genel yapısını ve ne kadar elektrik üreteceği bilgisini vermektedir. Eski olan birçok santralde düşük güçlerde güneş paneli kullanılsa da yeni nesil güneş santrallerinde yüksek güçte güneş panelleri kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise gelişen güneş hücreleri ile birlikte güneş panellerinin gücü artarken boyutlarının değişmeme özelliği olarak bilinmektedir (Şekil 3.8). Ele alınan güneş enerji santrallerinde de birçok santralin yüksek güçte güneş paneli kullandığı görülmüştür. Panel gücü parametrelerinin birbirinden farklı olması elektrik üretim tahmini algoritması için ayrı bir performans sunmuştur.



Şekil 3.8. Sol taraftaki 270 Watt (URL-16, 2017), Sağ taraf 465 Watt güneş paneli fiziksel özellikleri (URL-17, 2021)

İnverterler güneş santrallerinde şebeke bağlantıları için olmazsa olmaz elektronik cihazlardır. Bu elektronik cihazlar güneş enerji santrallerinde merkezi veya string (dizi) inverter olarak kullanılmaktadır. Merkezi inverterler yüksek güçte olurken, string inverterler daha düşük güçte olabilirler. Verilerin eğitilmesi için kullanılan tabloda string inverterler 1 sayısı ile ifade edilirken, merkezi inverterler 2 sayısı ile gösterilmiştir.

İnverterler yukarıda da ifade edildiği üzere yüksek güçlerdeki inverterler hem daha büyük yapıya hem de daha fazla güce sahiptirler. İnverterlerin güç birimi watt olarak ele alınmıştır ve tabloya bu şekilde eklenmiştir.

Panel açısı parametresi her konum için değişiklik gösteren bir parametredir. Bu kapsamda bakıldığında ülkemizde bu açı 25 ila 30 derece arasında değişiklik göstermektedir. Farklı konumlardaki sahalar için bu farklar göz önünde bulundurularak tabloya eklenmiştir.

Güneş enerji santrallerinde alçak gerilim (AG) kablo türü olarak genellikle iki çeşit kablo kullanılmaktadır. Kablo seçiminde dikkat edilen en önemli parametre inverter ile trafo arasındaki mesafedir. Bunun nedeni ise gerilim kaybını azaltmak olarak bilinmektedir. Bu bakış açısı ile santrallerde kullanılan AG kablo türü farklılık göstermektedir. Verileri eğitmek için kullanılan tabloda 1 sayısı bakır kabloyu ifade etmektedir. 2 sayısı ise alüminyum kabloyu göstermektedir.

Güneş enerji santrali kurulum yapan şirketler genellikle PVsyst programını kullanmaktadırlar. Bu program ile kurulum yapılacak santralin performans oranları bilinmektedir (Şekil 3.9). Ele alınan verilere PVsyst programından elde edilen performans oranı eklenmiştir.

Simülasyonun genel sonuçları

Sistem üretimi

→ Üretilen enerji 1863 MWh/yıl
Performans oranı PR 80.45 %

Üretilbilir 1585 kWh/kWp/yıl

Yatırım
Yıllık maliyet
LCOE

Global 0.00 EUR
Taksitler 0.00 EUR/yıl
0.00 EUR/kWh

Özel 0.00 EUR/Wp
İşletme giderleri 0.00 EUR/yıl
Geri ödeme süresi **Kârsız**

Şekil 3.9. PVsyst programı performans oranı çıktısı

Güneş enerji santrallerinin ortalama 25 yıl ömrü bulunmaktadır (Akyüz, C., 2019). Yıllar geçtikçe güneş enerji santrallerinde alınan verim de azalmaktadır. Bu çalışma hem güneş enerji santrali kurmak isteyen hem de güneş enerji santrali olan yatırımcılar için yardımcı olabileceği düşünüldüğü için santral yılı parametresi de çalışmada ele alınmıştır. Her santralin kaç yıl önce kurulduğu verileri tabloya eklenerek yapay zekâ algoritmasında eğitilmiştir.

Bu parametreler kullanılarak LSTM yöntemi ile Google Colabs'da bir yapay zekâ algoritması ile analizler yapılmıştır.

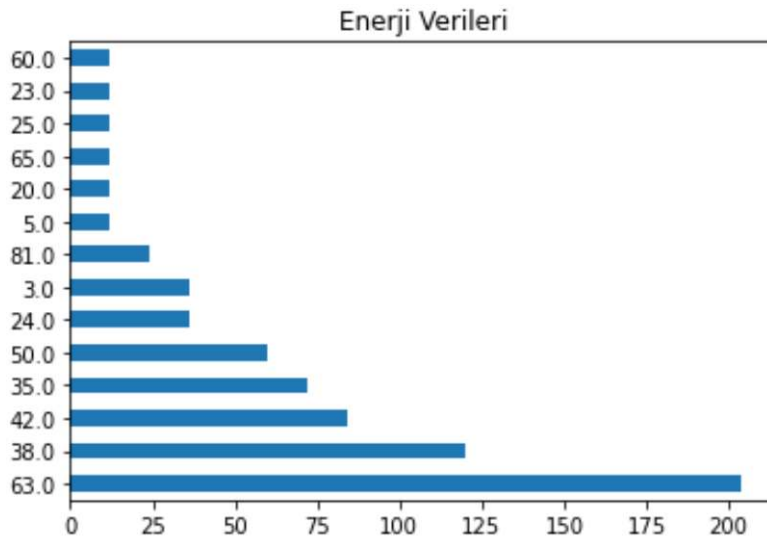
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Veriler eğitilmeden önce kendi aralarında bazı analizler yapılmıştır. Bu analizler ile hangi parametrelerin birbiri ile ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda gerekli gruplandırmalar yapılarak güneş enerji santrallerinde aylık elektrik üretim tahmini yapılmıştır.

	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
EnerjiVerileri	708.0	147260.032865	50646.057292	12947.30	103772.3825	152827.655	190691.7375	247280.11
Il	708.0	44.847458	18.297693	3.00	35.0000	42.000	63.0000	81.00
GuneslenmeSuresi	708.0	7.683616	3.074541	2.00	5.0000	7.000	10.0000	14.00
PanelCesidi	708.0	1.457627	0.562537	1.00	1.0000	1.000	2.0000	3.00
SahaTipi	708.0	1.152542	0.359800	1.00	1.0000	1.000	1.0000	2.00
Albedo	708.0	0.344986	0.273111	0.15	0.1500	0.200	0.6000	0.80
PanelGucu	708.0	291.186441	44.171669	117.50	265.0000	320.000	320.0000	365.00
InvertorCesidi	708.0	1.152542	0.359800	1.00	1.0000	1.000	1.0000	2.00
InvertorGucu	708.0	309.932203	745.711994	30.00	60.0000	60.000	60.0000	5000.00
PanelAcisi	708.0	25.169492	0.557400	25.00	25.0000	25.000	25.0000	27.00
AGKabloTuru	708.0	2.000000	0.000000	2.00	2.0000	2.000	2.0000	2.00
PerformansOrani	708.0	80.611356	1.095128	79.97	80.4500	80.450	80.4500	86.41
SahaYili	708.0	3.375706	1.289750	2.00	2.0000	3.000	5.0000	6.00

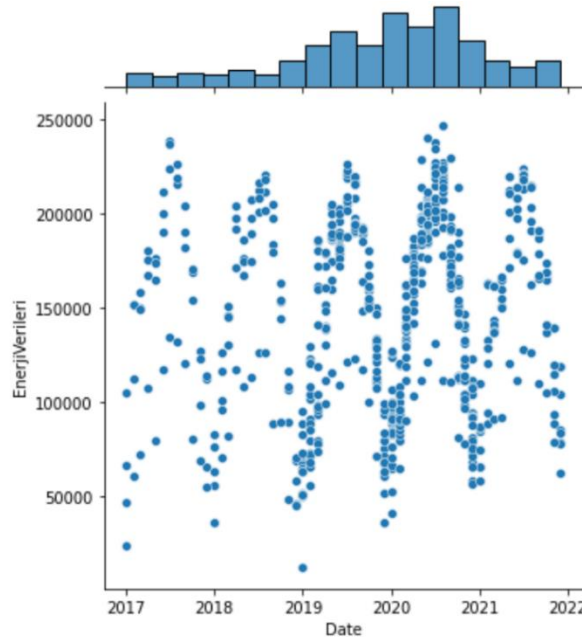
Şekil 4.1. Betimsel istatistik

Yukarıda gösterilen şekilde count; toplam ne kadar verinin olduğunu, mean; verilerin ortalamalarını, std; standart sapmayı, min; minimum değeri, %25 verilerin %25 değerini, %50 verilerin %50 değerini, %75 verilerin %75 değerini ve max ise verilerin en yüksek değerinin kaç olduğunu göstermektedir, Il ise şehirleri ifade etmektedir (Şekil 4.1).



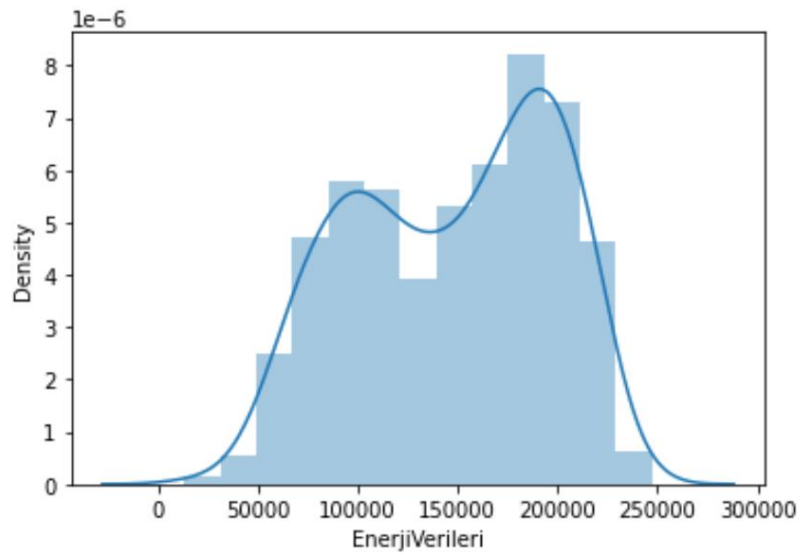
Şekil 4.2. Verilerin illere göre dağılımı

Şekil 4.2’deki grafikte x ekseninde illere ait kaç verinin bulunduğu, y ekseninde ise illerin plaka numaraları verilmiştir.



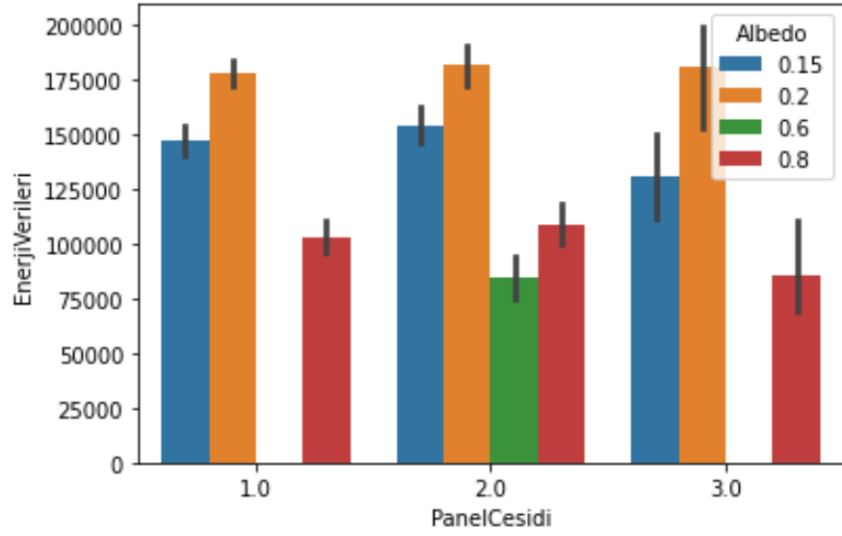
Şekil 4.3. Enerji verileri-zaman ortak dağılım grafiği

Yukarıda verilen grafikte, yıllara bağlı enerji verilerinin nasıl artıp azaldığı gösterilmiştir (Şekil 4.3).



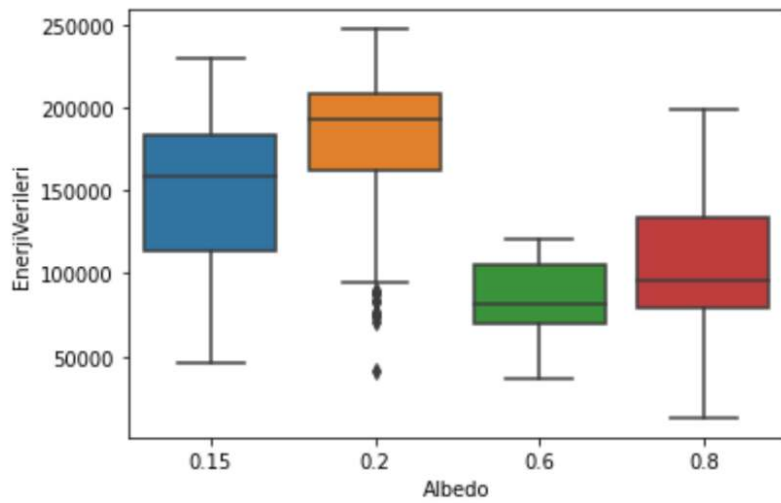
Şekil 4.4. Enerji verileri yoğunluk dağılımı

Şekil 4.4'te enerji verilerinin yoğunluğu verilmiştir. X eksenindeki enerji verilerinin birimi watt saattır. Y ekseninde ise enerji verilerinin yoğunluğu verilmiştir.



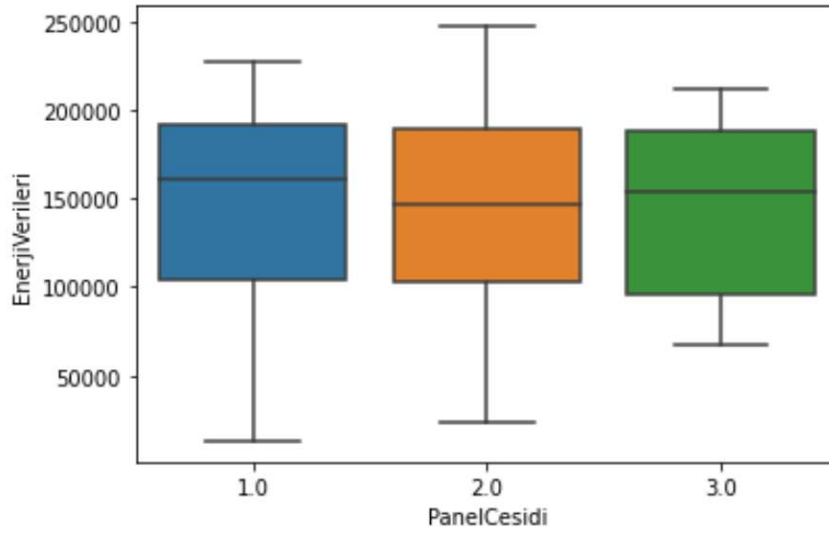
Şekil 4.5. Panel çeşidi-albedo ve enerji verileri grafiği

Şekil 3.7'de bazı arazi örtülerinin albedo değerleri verilmişti. Bu değerlere istinaden Şekil 4.5'te albedo etkisinin enerji verilerine olan etkisi ve panel çeşidi ile enerji verilerini nasıl değiştirdiği gösterilmiştir. Bir güneş enerji santrali kurulumu yapılacağı sırada bu grafiğe bakılarak albedo etkisi hesaba katılıp enerji üretimi yüksek olabilecek güneş paneli seçilebilir.



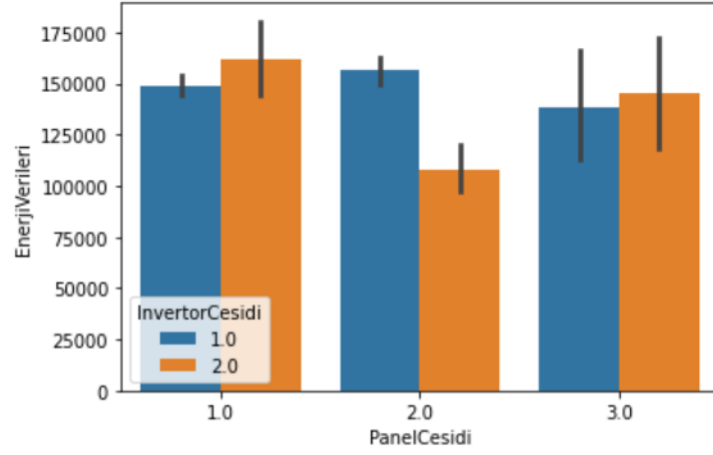
Şekil 4.6. Albedo değerleri ile aykırı değer analizi

Yukarıda verilen grafikte 0.2 değerine sahip albedonun olduğu alanda çok yüksek enerji üretildiği görülmektedir (Şekil 4.6). Buradan çayır, karışık arazilerin çevresinde bulunan güneş enerji santrallerinin daha verimli olduğu çıkarımında bulunulabilir. Bunu 0.15 değeri ile fundalık, şehir gibi alanların çevresinde bulunan güneş enerji santralleri takip etmektedir. Grafiğe bakılarak 0.6 albedo değeri ile havanın bulutlu olduğu zamanlarda ve güneş enerji santralının çevresinde kirli kar bulunduğu taktirde santral veriminin düştüğü görülmüştür. Buradan da beyaz rengin güneş ışığını geri yansıtmasından panel üzerine düşen ışının azaldığı düşünülebilir.



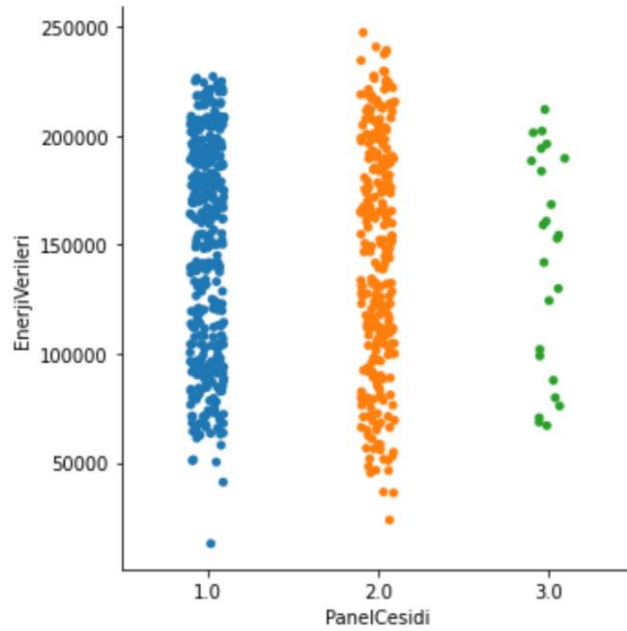
Şekil 4.7. Panel çeşidi-enerji verilerindeki değişim arasındaki aykırılık

Şekil 4.7'deki grafiğe bakıldığında güneş enerji santrallerindeki elektrik üretim değerleri, santralde kullanılan güneş paneline bağlı olarak değiştiği fark edilmiştir. Panel çeşitleri; 1 numara monokristal güneş panellerini ifade ederken, 2 numara polikristal güneş panellerini, 3 numara ise ince film güneş panellerini ifade etmektedir. Bu kapsamda güneş enerji santrallerinde en çok elektrik üretebilen güneş paneli monokristal olduğu gözlemlenirken en düşük enerji üreten güneş panelinin polikristal olduğu sonucu çıkarılmıştır. Ancak bu verim saha yapısına ve sahanın konumuna bağlı olarak değişiklik gösterebilir.



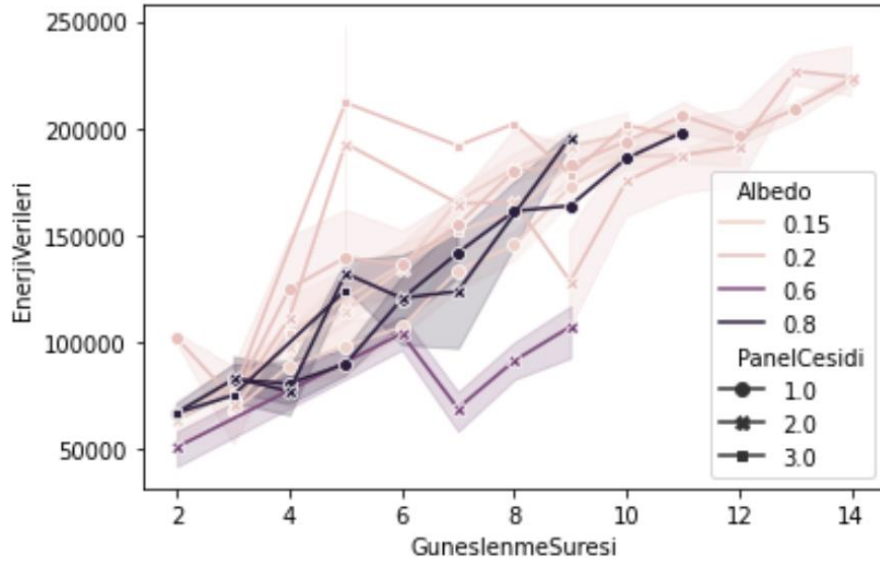
Şekil 4.8. Panel- İnverter çeşidi ve enerji verileri değişim grafiği

Güneş enerji santrallerinde en önemli malzemelerin güneş panelleri ve inverterler olduğundan bahsedilmişti. 1 numara string inverter çeşidini, 2 numara ise merkezi inverter çeşidini belirtmektedir. Yukarıda 1, 2, 3 numaralı güneş paneli çeşitlerinin ne anlama geldiği anlatılmıştı. Tüm bunlar ele alınarak malzeme olarak monokristal, ince film panellerinin ve merkezi inverter kullanılan güneş enerji santrallerin enerji verilerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.



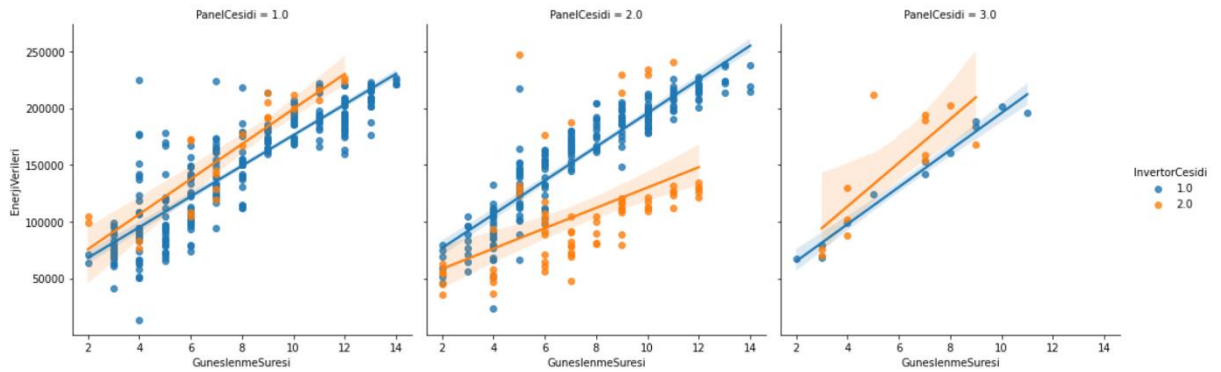
Şekil 4.9. Panel çeşidi ve enerji verilerinin dağılımı

Yukarıda güneş enerji santrallerinde kullanılan panel çeşitlerinin ürettiği enerji verileri görülmektedir (Şekil 4.9). Polikristal güneş paneli (2 numara) çeşidi her ne kadar yüksek enerji ürettiği gösterilse de üretilen enerjinin istikrarlı olmaması nedeni ile Şekil 4.7’de Panel çeşidi-enerji verilerindeki değişim arasındaki aykırılık grafiğinde enerji ortalaması en düşük olan güneş paneli olarak görülmüştür.



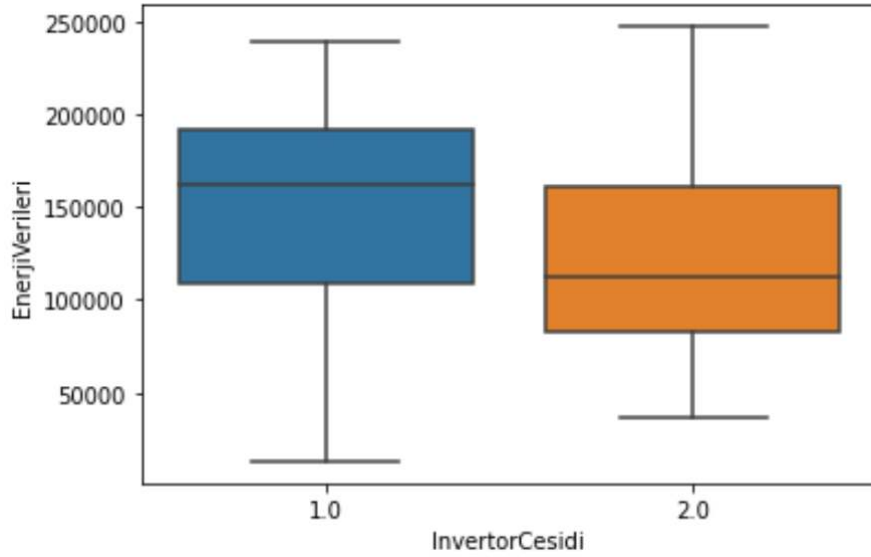
Şekil 4.10. Panel çeşidi-güneşlenme süresi-albedo ve enerji verileri grafiği

Yukarıda verilen grafikte görüldüğü üzere güneşlenme süresi arttıkça üretilen enerji verisinin de arttığı gözlemlenmektedir (Şekil 4.10). Buna bağlı olarak albedo etkisini ve panel çeşidinin değişmesi ile üretilen enerji verisinin değiştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.11. Panel çeşidi-invertor çeşidi-güneşlenme süresi ve enerji verileri grafiği

Şekil 4.11’de güneşlenme süresi artarken güneş enerji santrallerinde üretilen enerjinin arttığı görülmektedir. Bu grafikte merkezi inverterlerin ve monokristal ile ince film panel kullanılan güneş enerji santrallerinin daha fazla enerji ürettiği daha net bir şekilde görülmüştür.



Şekil 4.12. İnverter çeşitleri ve enerji verileri aykırılık grafiği

Yukarıdaki güneş paneli çeşitleri, inverter çeşitleri ve enerji verilerinin dağılımının aksine genel kapsamda bakıldığında string inverter çeşidi sahada kullanıldığında daha verimli olduğu görülmüştür (Şekil 4.12). Bu da güneş enerji santrallerinde üretilen enerji verilerinin diğer faktörlere bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir.

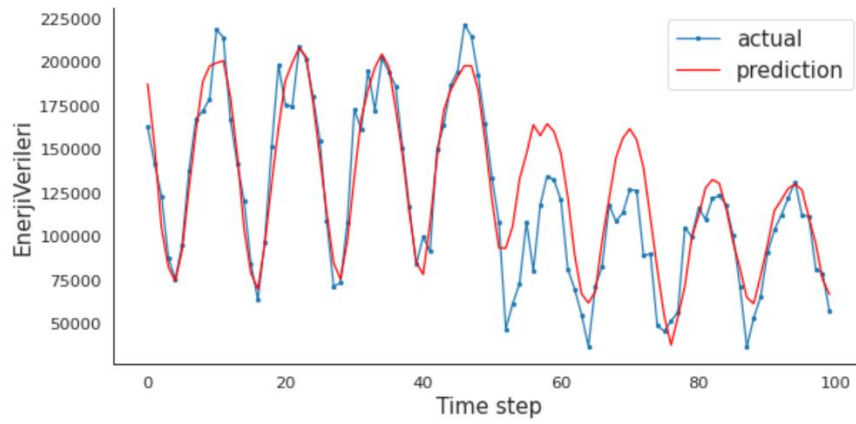
```
df.loc[(df['InvertorGucu']==30) | (df['InvertorGucu']==50), 'InvertorGucu']=50
df.loc[(df['InvertorGucu']==60) | (df['InvertorGucu']==265) | (df['InvertorGucu']==276), 'InvertorGucu']=265
df.loc[(df['PanelGucu']==117.5) | (df['PanelGucu']==270) | (df['PanelGucu']==320) | (df['PanelGucu']==265), 'PanelGucu']=270
df.loc[(df['PanelCesidi']==1) | (df['PanelCesidi']==3), 'PanelCesidi']=1
df.loc[(df['SahaYili']==5) | (df['SahaYili']==6), 'SahaYili']=5
df.loc[(df['SahaYili']==2) | (df['SahaYili']==3), 'SahaYili']=2
```

Şekil 4.13. Enerji verilerinde birbirine yakın olan değerlerin gruplandırılması

Güneş enerji santrallerinde farklı faktörlerin üretilen enerji verilerini etkilediği anlatılmıştı. Bu faktörlerden, bazı gözlem değerlerinin benzer enerji üretimi yaptığı

görülmüştür. Buna istinaden verileri gruplandırarak daha doğru tahmin çıktıları almak istenmiştir. Bunun için Python programla dilinin Pandas kütüphanesi kullanılmıştır (URL-18, 2008).

Şekil 4.13’de görüldüğü üzere bir gruplandırma yapılmıştır. Bu gruplandırmalar; inverter gücü 30 ve 50 Kw(Kilowatt) olanları 50 Kw’a, inverter gücü 60, 265 ve 276 Kw olan verileri 265 Kw’a, Panel gücü 117.5, 270, 320 Kw olan verileri 270 Kw’a, panel çeşidi 1 ve 3 olanları 1’e, saha yılı 5 ve 6 olan sahaları 5’e ve son olarak saha yılı 2 ve 3 olanları 2’e eşitleyerek bir gruplandırma yapılmıştır.



Şekil 4.14. Gerçek değer ile tahmin edilen enerji değeri grafiği

Yapılan gruplandırmanın ardından epochs=100, batch_size=70 için bir veri eğitimi yapılmıştır. Şekil 4.14’de görünen çıktı alınmıştır. Şekil 4.15 ve şekil 4.16’da görünen gerçek ve tahmin edilen enerji verileri çıktıları alınmıştır.

```
Y_test.tolist()
```

```
[[162456.99218131605,  
  141521.99785255795,  
  122894.00748066854,  
  87604.00449607361,  
  74978.00397008244,
```

Şekil 4.15. Gerçek enerji verileri

```
test_predict.tolist()
```

```
[[187268.421875],  
 [151343.125],  
 [104730.5078125],  
 [82132.1484375],  
 [73981.5078125],
```

Şekil 4.16. Tahmin edilen enerji verileri

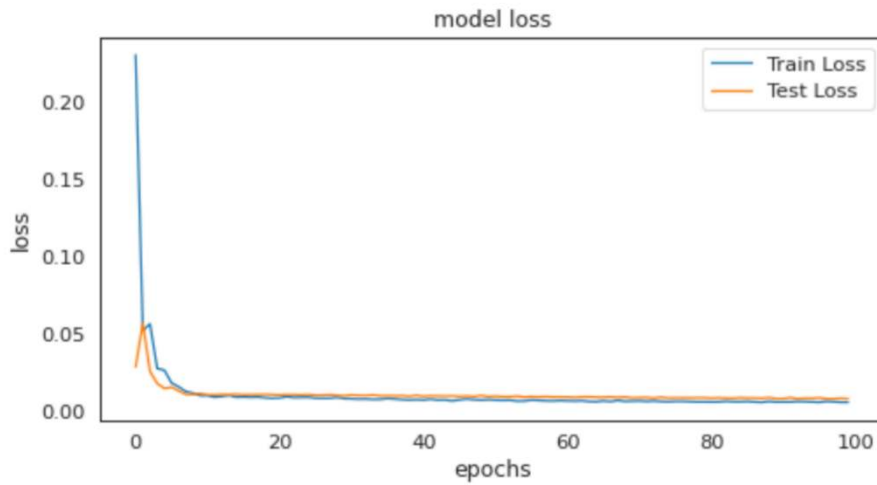
$$HO = \frac{|(\text{Gerçek Veri} - \text{Tahmin Verisi})|}{\text{Tahmin Verisi}} \times 100 \quad (4.1)$$

HO = Hata Oranı

$$HO = \frac{|(162456.99 - 187268.42)|}{187268.42} \times 100$$

HO = 13,24

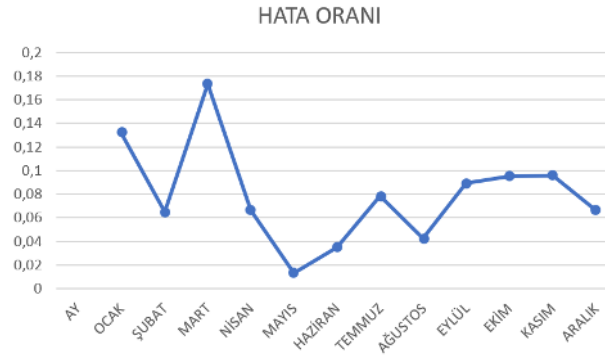
Hesaplanan bu hata oranı ocak ayına ait olan bir enerji veri tahminine aittir. Aynı hesaplama mantığı ile mayıs ayında bu hata oranı %1,34 olarak hesaplanmıştır. Model kayıp grafiği Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Model kayıp grafiği

Tablo 4.1. LSTM yöntemi kullanılarak batch size değeri 70 olan gerçek veriler ile tahmin edilen verilerin bir yıllık karşılaştırılması

AY	GERÇEK ENERJİ VERİSİ	TAHMİN EDİLEN ENERJİ VERİSİ	HATA ORANI
OCAK	162456,99	187268,42	% 13,24
ŞUBAT	141521,99	151343,12	% 6,48
MART	122894,00	104730,50	% 17,34
NİSAN	87604,00	82132,14	% 6,66
MAYIS	74978,00	73981,50	% 1,34
HAZİRAN	94892,99	91669,55	% 3,51
TEMMUZ	137496,00	127496,22	% 7,84
AĞUSTOS	166935,00	160119,07	% 4,25
EYLÜL	171631,98	188479,42	% 8,93
EKİM	178703,99	197537,01	% 9,53
KASIM	218394,99	199287,92	% 9,58
ARALIK	213850,99	200497,93	% 6,65

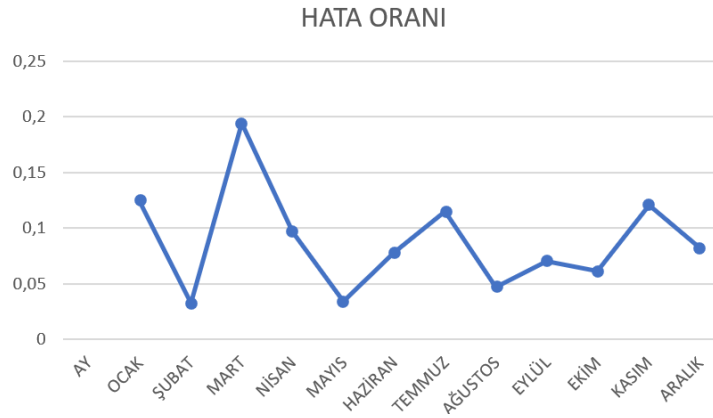


Şekil 4.18. LSTM yöntemi kullanılarak batch size değeri 70 olan gerçek veriler ile tahmin edilen verilerin aylık hata oranı grafiği

Tablo 4.1’de gösterildiği üzere tüm parametrelere bağlı olarak bir gelecek aylarda üretilebilecek enerji tahmini yapılmıştır. En düşük hata oranı Mayıs ayında çıkarken, en yüksek hata oranı Mart ayında görülmüştür. Şekil 4.18’de tahmin edilen enerji verilerinin gerçek veriler ile karşılaştırıldığında aylık hata oranları çok daha net bir şekilde görülmüştür.

Tablo 4.2. LSTM yöntemi kullanılarak batch size değeri 32 olan gerçek veriler ile tahmin edilen verilerin bir yıllık karşılaştırılması

AY	GERÇEK ENERJİ VERİSİ	TAHMİN EDİLEN ENERJİ VERİSİ	HATA ORANI
OCAK	162456,99	185574,90	% 12,45
ŞUBAT	141521,99	146258,98	% 3,23
MART	122894,00	102921,63	% 19,40
NİSAN	87604,00	79891,44	% 9,65
MAYIS	74978,00	72505,12	% 3,41
HAZİRAN	94892,99	88039,15	% 7,78
TEMMUZ	137496,00	123355,64	% 11,46
AĞUSTOS	166935,00	159427,18	% 4,70
EYLÜL	171631,98	184627,90	% 7,03
EKİM	178703,99	190363,29	% 6,12
KASIM	218394,99	194857,81	% 12,07
ARALIK	213850,99	197617,48	% 8,21



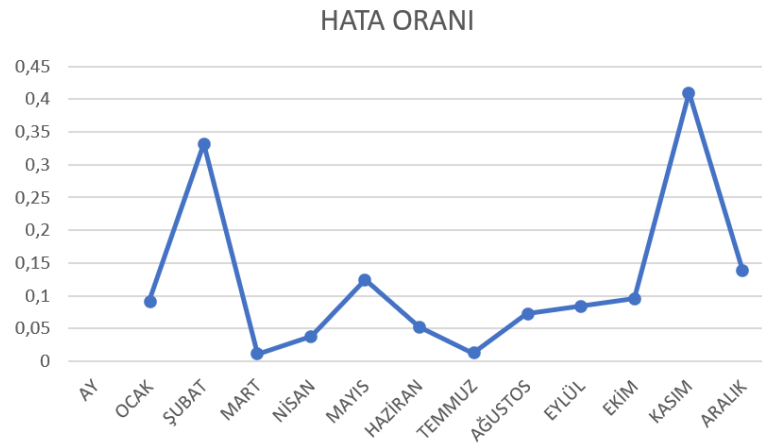
Şekil 4.19. LSTM yöntemi kullanılarak batch size değeri 32 olan gerçek veriler ile tahmin edilen verilerin aylık hata oranı grafiği

Tablo 4.2’de tüm parametreler ele alınarak, batch size değeri en fazla tercih edilen 32 değeri alınarak bir analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda en düşük hata oranı Şubat ayında çıkarken, en yüksek hata oranı Mart ayında görülmüştür. Tablo 4.1’de yer alan aylık hata oranları ile Tablo 4.2’de yer alan hata oranları karşılaştırıldığında uygulanan batch size

değerinin ne kadar doğru olduğu görülmüştür. Şekil 4.18’de tahmin edilen enerji verilerinin gerçek veriler ile karşılaştırıldığında aylık hata oranları çok daha net bir şekilde görülmüştür.

Tablo 4.3. Panel gücü, invertör gücü ve saha yılı olmadan LSTM yöntemi kullanarak gerçek veriler ile tahmin edilen verilerin bir yıllık karşılaştırılması

AY	GERÇEK ENERJİ VERİSİ	TAHMİN EDİLEN ENERJİ VERİSİ	HATA ORANI
OCAK	56381,50	62066,25	% 9,15
ŞUBAT	104787,13	78673,71	% 33,19
MART	99511,20	98387,04	% 1,14
NİSAN	116012,92	111766,63	% 3,79
MAYIS	109475,22	125071,91	% 12,47
HAZİRAN	121541,00	128257,89	% 5,23
TEMMUZ	123014,18	124612,79	% 1,28
AĞUSTOS	117800,61	109810,90	% 7,27
EYLÜL	100097,44	92351,55	% 8,38
EKİM	71256,34	75189,78	% 9,53
KASIM	36191,50	61287,91	% 40,94
ARALIK	52983,62	61467,19	% 13,80



Şekil 4.20. Panel gücü, invertör gücü ve saha yılı olmadan LSTM yöntemi kullanılarak gerçek veriler ile tahmin edilen verilerin aylık hata oranı grafiği

Tablo 4.3’de güneş paneli gücü, inverter gücü ve saha yılı parametreleri olmadan gelecek aylarda üretilebilecek enerji verilerinin tahmini yapılmıştır. En düşük hata oranı Temmuz ayında çıkarken, en yüksek hata oranı Kasım ayında çıkmıştır. Şekil 4.20’de aylık hata oranları çok daha net bir şekilde gösterilmektedir. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’ye bakılarak bazı önemli verilerin olmaması hata oranlarını ne derecede etkilediğini net bir şekilde göstermektedir.

Bu analiz sonucunda, parametrelerin güneş enerji santrallerinin verimini nasıl etkilediğine bakılmıştır ve yapılan enerji tahminlerinin gerçek veriler ile kıyaslandığında birbirine çok yakın değerler elde edildiği görülmüştür.

5. SONUÇ

Sunulan çalışmada, yapay sinir ağlarından LSTM yönetimi kullanılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi santrallerinin geçmiş üretim verileri yardımıyla santralin önümüzdeki ay üreteceği elektrik miktarı tahmin edilmiştir.

Çalışma sonucunda, LSTM sinir ağı yöntemi kullanılarak enerji verilerinin tahmininde gerçeğe çok yakın büyük başarı elde edildiği görülmüştür. Çalışma ile güneş enerji santrali yatırımı yapmak isteyen yatırımcılara, çalışmada dikkat edilen parametrelere bakılarak hem malzeme seçiminde yardımcı olurken hem de yapılacak yatırım ile santralden aylık üretililecek enerji miktarını öngörme imkânı sunulmuştur. Bu sayede yapılan yatırımın amortisman süresi hesaplanarak yatırımın mantıklı olup olmayacağı konusunda fikir vermektedir. Ayrıca bu çalışma, güneş enerji santrali olan yatırımcıların aylık ne kadar elektrik üretebileceğini tahmin etmede yardımcı olmaktadır.

Bu yöntem aynı zamanda çoğu yenilenebilir enerji santraline uygulanabilir. Bu sayede santrallerdeki üretim miktarları bir ay önceden tahmin edilebilir. Bir örnek verilecek olunursa, rüzgâr santrallerinde rüzgâr hızına, hava durumuna, rüzgâr kanadı malzemesine veya hidroelektrik santrallerinde yıllık yağış oranına bağlı olarak LSTM yöntemi ile aylık enerji üretim tahmini yapılabilir.

Çalışmada verilerin gruplandırılması ve epochs=100, batch_size=70 olarak alınarak verilerin eğitilmesi ile yapılan tahminlerin çok daha başarılı olduğu görülmüştür. Analizler için ele alınan değerlerin sadece bu çalışma için geçerli olduğu göz önünde bulundurularak, %1 ile %17 arasında hata oranlarına bakıldığında çalışmanın birçok veri tahmini yapan araştırmalara karşı çok daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akyüz, C., 2019. Orta ve Yüksek Dağlık Bölge Şartlarında Çalışan Fotovoltaik Sistemlerin Ömrünü Belirleyen Etkenlerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye.
- Al Shehri, A., Parrott, B., Carrasco, P., Al Saiari, H., & Taie, I., 2016. Impact of dust deposition and brush-based dry cleaning on glass transmittance for PV modules applications. *Solar Energy*, 135, 317-324.
- Altın, M., 2005. Yeni Yapı Malzemesi Fotovoltaik Paneller, Özellikleri ve Tarihçesi. Yeni Yapı Malzemesi Fotovoltaik Paneller, Özellikleri ve Tarihçesi, (Baskıda).
- Angström, A., 1925. The albedo of various surfaces of ground. *Geografiska Annaler*, 7(4), 323-342.
- Aslan, E., Tenekeci, M. E., Beşli N., Gümüşçü A., 2015. Solar Enerji Sistemleri için Güneş Radyasyon Hesaplama Yazılımı. <https://www.inet-tr.org.tr/ab15/bildiri/378.pdf>, (Erişim Tarihi: 03.01.2022)
- Başay, V., 2019. Orta Yükseklikte Dağlık Bölgelerde Kurulan Fotovoltaik Sistemlerin Performansını Belirleyen Parametrelerin Etki Oranlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye.
- Bengio Y., Courville A., Vincent P., 2014. Representation Learning: A Review and New Perspectives. <https://arxiv.org/pdf/1206.5538.pdf>, (Erişim Tarihi: 03.01.2022)
- Boztepe, M., 2017. Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler. *EMO İzmir Şubesi Aylık Bülteni*, 321, 13-17.
- Brennan, M. P., Abramase, A. L., Andrews, R. W., & Pearce, J. M., 2014. Effects of spectral albedo on solar photovoltaic devices. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 124, 111-116.
- Cezim, C., 2013. Fotovoltaik Sistemler ve Uygulamaları, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Eğitim ve Seminer Etkinlikleri. https://www.erbakan.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YElkEnrUrt/Fotovoltaik_Sistemler_ve_Uygulamalari.pdf, (Erişim Tarihi: 05.01.2022)
- Ciocia, V., Boicea, A., Dematteis, A., Leo, P. D., Giordano, F., Spertino, F., 2017. *PV System Integration in Buildings: an Energy and Economic Case Study*, in 2017 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), pp. 786-790.
- Demir, A. F., 2020. Google Colab. <https://github.com/AhmetFurkanDEMIR/Google-Colab>, (Erişim Tarihi: 03.04.2021).

- Grunow, P., Preiss, A., Koch, S., Krauter, S., 2009, Yield and Spectral Effects of A-Si Modules, in Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 2846-2829.
- Helbig, C., Bradshaw, A.M., Kolotzek, C., Thorenz, A., Tuma, A., 2016. *Supply risks associated with CdTe and CIGS thin-film photovoltaics*, Appl. Energy, 178, pp. 422-433.
- Hemza, H., Abdeslam, C., Rachid, M. P., Barakel, D., 2015. *Tracing Current-Voltage Curve of Solar Panel based on LabVIEW Arduino interfacing*, Journal of Biliřim Teknolojileri Dergisi, vol. 8, no. 3, pp. 117–123.
- Herteleer, B., Cappelle, J., Driesen, J., 2012. Quantifying low-light behaviour of photovoltaic modules by identifying their irradiance-dependent efficiency from data sheets, in *European Photovoltaic Solar Energy Conference*, pp. 1-8.
- Iřiker, Y., Yeşilata, B., Bulut, H., 2006. *Fotovoltaik Panel Gucüne Etki Eden Çalışma Parametrelerinin Araştırılması*, UGHEK’2006: I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskiřehir, 150-155.
- Kalyani, N.T., Dhoble S.J., Vengadaesvaran, B., Arof, A.K., 2021. Sustainability, Recycling and Lifetime Issues of Energy Materials. *Energy Materials*. Chapter 20, Pages 581-601.
- Karasu, B., Oytaç, Z. E., Ergani, E. S., & Buluç, A. F., 2020. *Solar Glass Panels: A Review*. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 20*, S. 548–565.
- Koutroulis, E., & Blaabjerg, F., 2011. Methods for the optimal design of grid-connected PV inverters. *International Journal Renewable Energy Research*, 1, 54-64.
- Küçük, D., Gezer, D., 2020. *Enerji Alanındaki Tahmin Problemleri İçin Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Yöntemlerinin Kullanılması*. Elektrik İletim ve Üretiminde Enerji Verimliliği Sempozyumu. 195-200.
- Mussard, M., Amara, M., 2018. *Performance of solar photovoltaic modules under arid climatic conditions: A review*. Solar Energy, 174, pp. 409-421.
- Nalepa, J., Marcinkiewicz, M., Kawulok, M., 2019. Data Augmentation for Brain-Tumor Segmentation: A Review, *Frontiers in Computational Neuroscience*, 13 (83), 1-18.
- Simsion, G., & Witt, G., 2004. *Data modeling essentials*. Elsevier.
- Öztürk, H., 2018. Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler. https://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf, (Erişim Tarihi: 11.10.2021).
- Said, S. A., Hassan, G., Walwil, H. M., & Al-Aqeeli, N., 2018. The effect of environmental factors and dust accumulation on photovoltaic modules and dust-accumulation mitigation strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 743-760.

- Şeker, A., Diri, B., Balık, H. H., 2017. Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(3): 47-64.
- Taktak, F., Ilı, M., 2018. Güneş Enerji Santrali (GES) Geliştirme: Uşak Örneği. *Geomatik*, 3(1), 1-21.
- URL-1, 2020. Güneş. www.enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes, (Erişim Tarihi: 10.11.2014).
- URL-2, 2018, Apple now globally powered by 100 percent renewable energy. <https://www.apple.com/newsroom/2018/04/apple-now-globally-powered-by-100-percent-renewable-energy/>, (Erişim Tarihi: 25.09.2021).
- URL-3, 2020. List of photovoltaic power stations. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_photovoltaic_power_stations (Erişim Tarihi: 30.09.2021).
- URL-4, 2021. Solar Cell Efficiency. <https://www.hisour.com/solar-cell-efficiency-39504/>, (Erişim Tarihi: 15.12.2021).
- URL-5, 2019. Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi. <http://www.solar-academy.com/menus/GENSED-PV-Elektrik-Uretimi.002847.pdf>, (Erişim Tarihi: 05.10.2021).
- URL-6, 1990. Python. <https://www.python.org/>, (Erişim Tarihi: 30.09.2021).
- URL-7, 2016. PVSyst. <https://www.pvsyst.com/>, (Erişim Tarihi: 05.11.2021).
- URL-8, 2017. Google Colab. <https://colab.research.google.com/>, (Erişim Tarihi: 08.12.2021).
- URL-9, 2022. Photovoltaics Report. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>, (Erişim Tarihi: 03.04.2022).
- URL-10, 2021. Solar Cells. <https://www.pvresources.com/en/solarcells/solarcells.php>, (Erişim Tarihi: 03.04.2021).
- URL-11, 2019. Fotovoltaik Sistemlerin Verimliliğin Etkilenen Faktörleri. www.enerjisistemlerimuhendisligi.com/fotovoltaik-sistemlerin-verimliliğin-etkilenen-faktörleri.html, (Erişim Tarihi: 05.04.2021).
- URL-12, 2021. İllere Ait Mevsim Normalleri. <https://www.mgm.gov.tr>, (Erişim Tarihi: 05.04.2021).
- URL-13, 2021. Şanlıurfa Sıcaklık. <https://www.accuweather.com/tr/tr/sanlıurfa/>, (Erişim Tarihi: 05.04.2021).
- URL-14, 2021. Turn any webpage into API. <https://getdata.io/>, (Erişim Tarihi: 12.04.2021).

- URL-15, 2020. Albedo Nedir. <http://climatechange.boun.edu.tr/albedo-nedir/>, (Erişim Tarihi: 14.04.2021).
- URL-16, 2017. SolarTürk Güneş Paneller Datasheet, <https://www.solarturk.com.tr/uploads/ST-ANATOLIA-datasheet-2017.pdf>, (Erişim Tarihi: 17.05.2021).
- URL-17, 2021. CW Enerji Güneş Panelleri Datasheet. <https://indir.cw-enerji.com/pdf/CWT445-144HCMBPM.pdf>, (Erişim Tarihi: 17.05.2021).
- URL-18, 2008. Pandas. <https://pandas.pydata.org/>, (Erişim Tarihi: 22.05.2021).
- Yılmaz, S., Kalkan, D. K., 2017. Enerji Güvenlięi Kavramı: 1973 Petrol Krizi Işığında Bir Tartışma. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/391852>, (Erişim Tarihi: 05.01.2022).
- Wiesinger, F., Sutter, F., Wolfertstetter, F., Hanrieder, N., Fernández-García, A., Pitz-Paal, R., & Schmücker, M., 2018. Assessment of the erosion risk of sandstorms on solar energy technology at two sites in Morocco. *Solar Energy*, 162, 217-228.