

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

**FOTOVOLTAİK SANTRALLERİN UZAKTAN İZLENMESİ VE AŞIRI
ÖĞRENME MAKİNALARI İLE İLERİYE YÖNELİK ÜRETİM TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜBRA NUR GÜL

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalı**

Prof. Dr. Mehmet Salih MAMIŞ

AĞUSTOS 2021

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

**FOTOVOLTAİK SANTRALLERİN UZAKTAN İZLENMESİ VE AŞIRI
ÖĞRENME MAKİNALARI İLE İLERİYE YÖNELİK ÜRETİM TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS

**Kübra Nur GÜL
(36173615032)**

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof. Dr. Mehmet Salih MAMIŞ

AĞUSTOS 2021

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Hayatımın her anında büyük bir özveriyle beni hem maddi hem de manevi anlamda destekleyen ayrıca bu çalışma sürecimde de her daim yanımda olan canım aileme,

Yüksek lisansım ve tez çalışmam süresince, çalışmalarıyla yardım, öneri, engin bilgi ve deneyimleriyle, beni destekleyip yön gösteren Sayın Prof. Dr. M.Salih MAMİŞ hocama,

Yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü yardım ve desteklerini gördüğüm İnönü Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği değerli öğretim üyelerine ve Adıyaman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulundan Öğr. Gör. Yasin İÇEL hocama,

Bu tez çalışmam süresince ölçüm istasyonlarının modellenmesi aşamalarında yardım ve desteklerini esirgemeyen İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden çok değerli Arş. Gör. Enes GÜL hocama ve her an her türlü yardımı sağlayan İnönü Üniversitesi lisans öğrencilerinden çok kıymetli kardeşim Enes DEMİRKOL'a

Teşekkürü bir borç bilirim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Fotovoltaik Santrallerin Uzaktan İzlenmesi Ve Aşırı Öğrenme Makinaları İle İleriye Yönelik Üretim Tahmini” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Kübra Nur GÜL



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	viii
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ	12
2.1 Dünya’da Güneş Enerjisi.....	12
2.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi.....	15
2.2.1 Malatya ilinin güneş enerjisi potansiyeli	17
3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER.....	20
3.1 PV sistemlerin yapısı ve çalışma ilkesi	22
3.2 PV Sistemlerin Elektriksel Yapısı	25
3.2.1 Bir güneş pilinin eşdeğer devresi	26
3.2.2 Çift diyotlu PV hücre elektriksel eşdeğer devre modeli.....	31
3.3 Fotovoltaik Hücre Çeşitleri	31
3.3.1 Kristalize silikon fotovoltaik hücreler	32
3.3.1.1 Monokristal silikon güneş pilleri	33
3.3.1.2 Çok kristalli silikon güneş pilleri	34
3.3.2 İnce film fotovoltaik hücreler	35
3.3.2.1 Amorf silisyum ince film güneş pilleri.....	36
3.3.2.2 Kadmiyum tellürid (CdTe) ince film fotovoltaik hücreler	37
3.3.2.3 Bakır indiyum galyum selenid (CIGS) ince film fotovoltaik hücreler.....	38
3.3.2.4 Galyum arsenit (GaAs) ince film fotovoltaik hücreler.....	39
3.3.3 Fotovoltaik güneş pillerinde verimlilik	40
3.4 Güneş Enerjisi Santralleri.....	41
3.4.1 Şebekeden bağımsız (off grid) PV sistemler	41
3.4.2 Şebeke bağlantılı PV sistemler (grid-connected PV system)	43
3.4.3 Hibrit (hybrid) fotovoltaik sistemler	44
4. GÜNEŞ PANELLERDE VERİM	46
4.1 Fotovoltaik Güneş Pillerinin Verimine Etki Eden Parametreler	47
4.2 Çevresel Parametrelerin Fotovoltaik Panel Verimine Etkileri	48
4.2.1 Güneş ışınım şiddetinin panel verimine etkileri	49
4.2.2 Ortam sıcaklığının ve fotovoltaik hücre sıcaklığının etkileri	49
4.2.3 Nem ve rüzgâr hızının etkileri	51
4.2.4 Toz birikintisinin etkisi.....	52
5. AŞIRI ÖĞRENME MAKİNELERİ (ELM)	55
5.1 ELM’nin Üstünlükleri	57
5.2 Aşırı Öğrenme Makinelerinin Aktivasyon Fonksiyonları	57

5.3 ELM'nin Hata Fonksiyonları	58
6. UYGULAMA VE DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	60
6.1 Ölçüm Bölgesinin Özelliği	60
6.1.1 Malatya ilinin özellikleri	60
6.1.2 Sistem tasarımı	60
6.2 Malatya İlinde Fotovoltaik Panel Verim Analizi	64
6.2.1 Güneş Işınım Değerinin Panel Verimine Etkisi	64
6.2.2 Ortam Sıcaklığının ve Fotovoltaik Hücre Sıcaklığının Etkileri	66
6.3 ELM Tahmin Sonuçları	67
6.3.1 Aylık tahmin sonuçları (Modül-1).....	67
6.3.2 Aylık tahmin sonuçları (Modül-2).....	73
6.4 Çevresel Faktörlerin Güç Üretim Tahmini Modellemelerine Etkisi	78
6.4.1 Güç üretim tahmini (Modül-3)	78
6.4.2 Güç üretim tahmini (Modül-4)	80
6.4.3. Güç üretim tahmini (Modül-5)	82
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	85
ÖZGEÇMİŞ	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1: 2018 Yılı İçin Dünya Genelindeki İlk 10 Ülkenin Güç Kapasitesi	13
Çizelge 2.2: 2015-2017 Yılı Aralığında Dünya Ülkeleri Güneş Enerji Sistemleri Üretim Güç Miktarlarının Analizi	14
Çizelge 2.3: Ülkelerin Dünyada Güneş Enerji Santrali Kurulu Gücü	14
Çizelge 2.4: Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgeler Bazında Dağılımı	17
Çizelge 3.1: Fotovoltaik Hücrelerin Verimlilik Karşılaştırılması	40
Çizelge 3.2: PV Panel Yapımında Kullanılmış Olan Malzemelerin Dünya Rezervlerindeki Miktarları	41
Çizelge 5.1: ELM Aktivasyon Fonksiyonları ve Matematiksel Karşılıkları	58
Çizelge 5.2: ELM Hata Fonksiyonları ve Matematiksel Karşılıkları	59
Çizelge 6.1: Panelin Katalog Değerleri	61
Çizelge 6.2: Modül-1'e ait ELM hata oranlarının sonuçları	68
Çizelge 6.3: Modül-2'e ait ELM hata oranlarının sonuçları	73
Çizelge 6.4: Modül-3'e ait ELM hata oranlarının sonuçları	78
Çizelge 6.5: Modül-4'e ait ELM hata oranlarının sonuçları	80
Çizelge 6.6: Modül-5'e ait ELM hata oranlarının sonuçları	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Kaynaklara göre kurulu güç dağılımı (Eylül 2019)	3
Şekil 2.1: Türkiye'nin coğrafi konumu	16
Şekil 2.2: Türkiye'ye ait güneş enerjisi potansiyeli atlası	16
Şekil 2.3: Malatya ili güneş enerjisi potansiyel atlası	18
Şekil 2.4: Malatya ili global radyasyon değerleri (KWh/m ² -gün)	18
Şekil 2.5: Malatya ili güneşlenme süresi (saat).....	19
Şekil 3.1: Fotovoltaik hücre, modül ve dizi tasarımları	21
Şekil 3.2: Fotovoltaik grup oluşumu	22
Şekil 3.3: Fotovoltaik hücrenin yapısı	23
Şekil 3.4: Fotovoltaik hücrenin çalışma ilkesi	25
Şekil 3.5: p-n Eklemlili Güneş Pili'nin Şematik Gösterimi	26
Şekil 3.6: Fotovoltaik yapının sadeleştirilmiş eşdeğer devre modeli.....	27
Şekil 3.7: Fotovoltaik yapının gerçek tek diyotlu elektriksel eşdeğer devresi.....	28
Şekil 3.8: Çift diyotlu PV hücre elektriksel eşdeğer devre modeli	31
Şekil 3.9: PV hücre çeşitleri.....	32
Şekil 3.10: Tek kristal silisyum panelleri.....	34
Şekil 3.11: Çok kristalli silisyum panelleri	35
Şekil 3.12: İnce film güneş panelleri.....	36
Şekil 3.13: Amorf güneş pillerinin yapısal görünümü	37
Şekil 3.14: CdTe ince film güneş paneli	38
Şekil 3.15: CIGS tabanlı güneş pillerinin şematik yapısı	39
Şekil 3.16: Şebekeden bağımsız (off grid) FV santral bileşenleri genel yapısı	43
Şekil 3.17: Şebekeye bağımlı (on grid) FV santral bileşenleri genel yapısı	44
Şekil 3.18: Hibrit FV santrale ait bileşenlerin genel yapısı	45
Şekil 4.1: Fotovoltaik sistemlerde oluşan kayıplar	48
Şekil 4.2: Fotovoltaik sistemlerin farklı ortam sıcaklıklarında değişimi	50
Şekil 4.3: Değişen sıcaklık değerlerine bağlı olarak panel I-V grafiği	51
Şekil 4.4: Nemin panel yüzeylerinde oluşturduğu zamana bağlı aşınmaların değişimi	52
Şekil 5.1: ELM'nin yapısı	56
Şekil 6.1: Tasarlanan sistem modülü	61
Şekil 6.2 (a): DHT11 sensörü	62
Şekil 6.2 (b): ACS721 Akım Sensörü.....	62
Şekil 6.3: PCB kartı muhafaza etmek için kullanılan kutu	63
Şekil 6.4: Sistemin şematik gösterimi	63
Şekil 6.5: Veri toplamak için tasarlanan PCB kart	64
Şekil 6.6: Güneşli ve bulutlu günlere ait fotovoltaik panelin akım gerilim değişim grafiği	65
Şekil 6.7: Günün belirli saatlerinde fotovoltaik panelin ürettiği gücün değişimi	66
Şekil 6.8: Farklı sıcaklık değerlerine bağlı olarak fotovoltaik panel çıkış gücü.....	67
Şekil 6.9: Nisan ayı eğitim verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli	69

Şekil 6.10: Mayıs ayı eğitim verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli	69
Şekil 6.11: Haziran ayı eğitim verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli	70
Şekil 6.12: Temmuz ayı eğitim verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli	70
Şekil 6.13: Ağustos ayı test verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli	71
Şekil 6.14: Eylül ayı test verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli	71
Şekil 6.15: Ekim ayı test verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli	72
Şekil 6.16: Modül-1 için Ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması	72
Şekil 6.17: Nisan ayı eğitim verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli	74
Şekil 6.18: Mayıs ayı eğitim verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli	74
Şekil 6.19: Haziran ayı eğitim verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli	75
Şekil 6.20: Temmuz ayı eğitim verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli	75
Şekil 6.21: Ağustos ayı test verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli	76
Şekil 6.22: Eylül ayı test verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli	76
Şekil 6.23: Ekim ayı test verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli	77
Şekil 6.24: Modül-2 için Ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması	77
Şekil 6.25: Modül-3 için Test Verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması.....	79
Şekil 6.26: Modül-3 için eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması.....	80
Şekil 6.27: Modül-4 için Test Verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması.....	81
Şekil 6.28: Modül-4 için eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması.....	82
Şekil 6.29: Modül-5 için test verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması.....	83
Şekil 6.30: Modül-5 için eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması.....	84

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

R_s	: Seri direnç
R_p	: Paralel direnç
I_{sc}	: Foton akımı
I_d	: Diyot akımı
I_p	: Paralel kol akımı
I_o	: Diyot ters yönde doyum akımı
n	: Diyot kalite faktörü ($1 \leq n \leq 2$)
q	: Elektron yükü ($1,60217646 \times 10^{-19}$ C)
k	: Boltzmann sabiti ($1,3806503 \times 10^{-23}$ J/K)
GT_c	: Ölçülen güneş ışınım şiddeti (W/m^2)
TC	: Ölçülen sıcaklık (K)
α	: Akım sıcaklık katsayısı
η	: Fotovoltaik panel verimi
V_{oc}	: Açık devre gerilimi
I_s	: Kısa devre akımı
FF	: Fill Faktörü
A_o	: Diyot idealite faktörü
J_o	: Diyot ters doyum akım yoğunluğu
E_g	: Yasak enerji aralığı eV Elektro volt
nm	: Nanometre
mm	: Milimetre
dm	: Desimetre

cm	:Santimetre
PV	: Fotovoltaik
EMK	: Elektromotor Kuvveti
GWh	: Giga Watt Saat
PV	: Fotovoltaik
MW	MegaWatt
ELM	: Aşırı Öğrenme Makineleri
m-Si	: Monokristal Silisyum
p-Si	: Polikristal Silisyum
CdTe	: Kadmiyum Tellürid
a-Si	: Amorf Silisyum
CuInSe2	: Bakır İndiyum Diseleneid

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK SANTRALLERİN UZAKTAN İZLENMESİ VE AŞIRI ÖĞRENME MAKİNALARI İLE İLERİYE YÖNELİK ÜRETİM TAHMİNİ

KÜBRA NUR GÜL

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

94+XI sayfa

2021

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMIŞ

Geçmişten günümüze fosil yakıt türlerinin aşırı kullanılmasından dolayı ortaya çıkan rezerv azalması ve çevresel sorunlar elektrik enerjisi üretiminde yenilebilir enerji kaynaklarının gün geçtikçe önem kazanmasına neden olmuştur. Tükenmeyen enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisini direkt elektrik enerjisine dönüştürebilen fotovoltaik paneller, güvenilir ve temiz bir üretim aracı olarak bilinmektedirler. Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı santral sayısının gün geçtikçe artmasıyla birlikte santrallerin izlenmesi ve bir güneş santralinin panel ölçeği bakımından güneş ışınımı, rüzgâr, sıcaklık, nem vb. gibi verilerinden faydalanılarak geleceğe yönelik belirli bir dönem için üretim performans tahmini büyük önem kazanmıştır.

Bu çalışmada panel verimini etkileyen faktörlerin göz önüne alınması ve değerlendirilmesi aynı zamanda bu faktörlerden yola çıkarak aşırı öğrenme makinaları (Extreme Learning Machines-ELM) ile ileriye yönelik enerji üretim tahmininin yapılması amaçlanmaktadır. Bunun amaç için bir adet FV panel ile şebekeye bağlantısız bir sistem kurulmuştur. Sistemin bulunduğu panelden elde edilen akım, gerilim ve aynı zamanda panellere etki eden güneş ışınımı, rüzgâr, sıcaklık ve nem gibi meteorolojik değerler uygun sensörler ile periyodik olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu veriler panellerin bulunduğu ortama yerleştirilen ESP8266 tabanlı Arduino kartı ile kaydedilmiştir. Bu verilerden yola çıkarak panellerin performansı değerlendirilmiştir. Son olarak sistemin üretim performansı takibinin anlık olarak değerlendirilmesi olanağı sağlanmıştır. Bunun için Extreme Learning Machine (ELM) kullanılmıştır. Meteorolojik değerler güneş ışınımı, nem ve sıcaklık ELM'ye girdi olarak girilmiş ve sistemin belirli bir dönem için üretim performansı tahmini yapılmıştır.

ABSTRACT

Master Thesis

REMOTE MONITORING OF PHOTOVOLTAIC PANELS AND GENERATION FORECAST IN PHOTOVOLTAIC PANELS USING EXTREME LEARNING MACHINES

KÜBRA NUR GÜL

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Electrical Electronic Engineer

94+XI sayfa

2021

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMIŞ

With the increasing energy consumption, the importance of energy resources increases in this direction. The importance of renewable energy sources in the production of electrical energy due to the depletion of reserves overuse of fossil fuels and environmental problems have increased. Photovoltaic panels (PV), which is one of the renewable energy sources, are used as an alternative production tool since they can convert solar energy directly to electrical energy. With the increase in the number of power plants based on photovoltaic solar energy, the monitoring of the power plants has become important.

In this study, Extreme Learning Machines (ELM) is used to predict future energy production of solar power stations by taking into consideration meteorological factors affecting panel efficiency. Current, voltage obtained from the panel where the system is located, as well as meteorological data such as solar radiation, wind, temperature and humidity affecting the panels were measured periodically with appropriate sensors. These measured data were recorded with the ESP8266 based Arduino board placed in the structure where the panels are located. Based on these data, the performance of the panels were evaluated. By this way, it is possible to instantly evaluate the production performance of the system. Extreme Learning Machine (ELM) is used for this. Meteorological values, solar radiation, humidity, temperature and solar radiation is taken to be as inputs to the ELM and the production performance of the system for a certain period is estimated

1. GİRİŞ

Enerji bugün sahip olduğumuz medeniyetin en önemli yapıtaşlarından biri olup ekonomi ve sosyal kalkınma açısından büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda kalkınmanın ve gelişmişliğin bir göstergesi durumundadır. Sanayi inkılabının sonrasında insanoğlunun enerjiye olan ihtiyacı artmıştır. Doğada az miktarda yer alan enerjinin; üretim ve tüketim bakımından ele alındığında hızla büyüdüğü görülmektedir [1].

Dünyada temel bir gereksinim olan enerjinin büyük çoğunluğunu, belirli bir alanda milyonlarca sene toprağın altında birikmiş bitki ve hayvan kalıntılarının termo-kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan fosil yakıtlardan karşılamaktadır. Bu yakıt türleri belirli bir yaşam alanında ve sınırlı bir miktarda bulunmaktadır. Günümüzde dünyadaki yakıt rezervlerinin yüzde 70'i kömürden, yüzde 14'ü petrolden, yine yüzde 14'ü doğal gazdan ve yüzde 2'si de diğer fosil yakıt türlerinden karşılanmaktadır. Fosil yakıtların hem düşük fiyatlı olması hem de üretim teknolojisindeki gelişmeler sebebiyle kullanım alanı açılmıştır. Fakat, 1973 Petrol Krizi'nin yaşanmasının ardından bahsedilen enerji rezervlerinde güven problemi oluşmuştur. Bunun yanı sıra kullanılan bu kaynakların fazlasıyla tüketilmesi, karbondioksit gazının artmasına, havada zararlı gazların oluşmasına ve evrenin ısınmasına neden olmaktadır [1-2].

Fosil yakıt kullanımı toprak, su ve hava kirliliğine neden olarak insan, hayvan ve bitkiler için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Ayrıca yerküremizin ısınmasına, buzulların erimesine, afetlerin oluşmasına sebebiyet göstermektedir. Tüm bu olumsuzluklar karşısında tüm dünya ülkeleri çevresel problemler oluşturmayan, bitkiler ve hayvanların doğal alanlarını tehlikeye sürüklemeyen, saf, emniyetli ve tükenmeyen özelliklere sahip alternatif enerji arayışlarına başlamışlardır. Bu alternatif enerjilerin başında insanlığın geleceği için devasa önem taşıyan yenilenebilir enerji kaynakları gelmektedir. Sürdürülebilir özelliğe sahip bu kaynaklar, temel enerjilerin tedarik edilmesi sürecinde ülkelerin birbirleri ile bağımlılıklarının sonlanmasında büyük önem taşımaktadır [3].

Tükenmeyen enerji kaynakları doğanın kendi döngüsü ile oluşarak ertesi bir günde aynen var olabilen enerji kaynağını belirtmektedir [4]. Yenilenebilir enerji kaynakları, çevre

dostu nitelikte, bakım-onarım maliyetlerinin düşük olması ayrıca milli özellikleri ve emniyetli enerji edinme seçicilikleri sayesinde tüm dünya ülkeleri adına oldukça stratejik bir konumda bulunmaktadır. Sürdürülebilir enerji kaynaklarını ve özellikleri aşağıda belirtildiği gibidir.

Güneş Enerjisi: Yeryüzünden kilometrelerce (km) yükseklikte yer alan güneş, tükenmeyen ve sürdürülebilir enerji olarak tanımlanmaktadır. İyapısında devamlı olarak hidrojen gazının helyuma dönüşmesi sonucu gerçekleşen füzyon tepkimeleri oluşmaktadır. Böylece meydana gelen kütle farkı ısı enerjisine çevrilerek atmosfer boşluğuna yayılmaktadır [4]. Güneşten gelen enerji elektromanyetik radyasyon ya da güneşlenme olarak isimlendirilir [5].

Rüzgâr Enerjisi: Tüm dünyada önemli bir konumda olan ve hızla büyüyen yenilebilir enerji kaynaklarından biridir. Rüzgâr enerjisi atmosferde kendiliğinden oluşması, kolay kurulumu, teknolojik gelişimlere uyumlu aynı zamanda kullanışlılığı sayesinde yenilenebilir enerji kaynakları bünyesinde en ileri ve en hızlı gelişenidir. Rüzgâr enerjisi karbondan bağımsız olarak elektrik enerjisi üretmesiyle “temiz enerji” olarak da nitelendirilmektedir [6]. Rüzgâr enerjisinden yararlanarak elektrik enerjisi üretmek için enerji dönüşümünü sağlayan türbinler kullanılmaktadır. Bu bağlamda en etkili ve doğru hesaplamalar ölçütünde sonuçlara almak için bilimsel yöntemlere ve yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır [5].

Hidrolik Enerjisi: Sanayi ve yüzey suyu bakımından zengin ülkelerde, kalkınmak için büyük ölçekli barajlarda türbinler yardımıyla hidroelektrik enerjisi üretimi ilgi çekici bir hale gelmiştir. Bir diğer ifadeyle coğrafi yapısı bakımından uygun olan ve makul miktarda akarsu içeren ülkeler için önemli bir enerji kaynağı olmuştur [7].

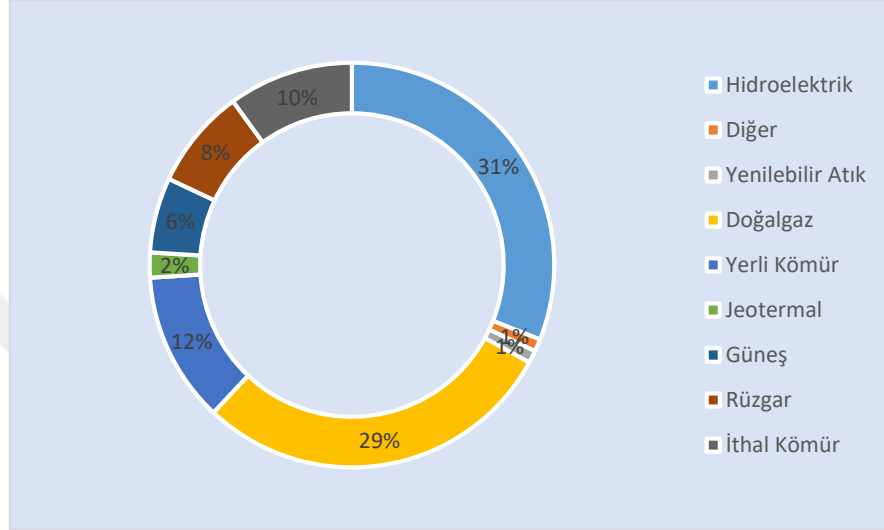
Biyokütle Enerji: Ulusal enerji arzının bileşeni olan ve ayrıca gelişme seviyesindeki ülkeler adına stratejik öneme sahip ticaret ürünüdür. Bu enerji türü canlı kalıntılarından elde edilen enerji türüdür. Bitki kalıntıları, doğal olarak yok olana kadar temiz bir enerji kaynağı olması ve aynı zamanda içeriğinde toksit maddelerin olmayışı ile potansiyel bir enerji kaynağıdır [5].

Bu enerji kaynaklarının yanında diğer yenilebilir enerji kaynakları,

- ✓ Jeotermal enerji
- ✓ Biyogaz enerjisi

- ✓ Hidrotermal enerji
- ✓ Gel-git enerjisi
- ✓ Okyanus enerjisi
- ✓ Yerküre enerjisi şeklinde sıralamak mümkündür [4].

Şekil 1.1’de kaynaklara göre kurulu güç dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Kaynaklara göre kurulu güç dağılımı (Eylül 2019) [8]

Türkiye 36- 42° kuzey paralelleri ve 26- 45° doğu meridyenleri aralığında Kuzey Yarımküre’de yer almaktadır. Ülkemizin muhteşem bir coğrafi konumuyla oluşan güneş enerjisi gücü, nice ülkeye nispeten oldukça fazla kârlı pozisyonda bulunmasını sağlar. Ülkemiz, güneş kuşağının içerisinde bulunmasına karşın, güneş enerjisinin verimi ve tüketimi varsayılandan oldukça az olmasından dolayı ilerleyen zamanlarda enerji ihtiyaçlarının sağlanmasında, güneş enerjisinin de stratejik uygulama seçeneği olarak verimli ve yenilenebilir biçimde hayatımıza taşınması sağlanmalıdır [3].

Dünyada enerji kaynağı açısından büyük önem arz eden güneş, yaydığı ışınım gücü ile yeryüzü ve atmosfer yapılarındaki maddesel oluşumlarda temel güç sistemi olarak yer almaktadır. Dünyamızdaki madde ile enerji akışı sırasındaki düzen, güneş enerjisiyle sağlanabilmektedir. Güneş enerjinin evrimsel olarak değişime uğramış birçok biçimi bulunmaktadır. Bunların başında okyanusta meydana gelen ısı dalgalanmaları, rüzgâr, denizde oluşan dalgalar ve biyokütle enerjileri yer almaktadır [9].

Güneş enerjisi zengin, daimi ve aynı zamanda masrafsız bir güç kaynağı olmasının yanında klasik yakıt türlerinin tüketiminden oluşan çoğu problemlerin güneş enerjisinin üretimi esnasında bulunmayışından dolayı bu güç kaynağını saf ve doğa dostu bir enerji konumuna getirmektedir. Fosil yakıt kullanımının sonucunda açığa çıkan karbondioksit (CO₂) gazı ve atmosferde bulunan karbondioksit düzeyi, son yüzyılın içerisinde neredeyse 1,3 kat artış göstermiştir. Gelecekteki 50 sene içerisinde şayet bu değerin, günümüze nispeten 1,4 kat fazla artış ihtimali bulunmaktadır. Atmosferde bulunan karbondioksit gazının sebebiyet gösterdiği küresel ısınma; kutuplarda bulunan buzların çözünmesine, deniz seviyelerinin yükselerek taşmasına, göllerin kurumasına ve zirai kuraklık durumuna yol açacaktır. Dolayısıyla bahsedilen durumlar karşısında ülkeler, enerjinin tüketimini ertelenemeyeceğinden ötürü, güneş gibi temiz ve alternatif çözüm oluşturabilecek sistemlere yönelmesi gerekmektedir [9].

Güneş enerjisi sayesinde elektrik enerjisinin elde edilmesi için hem doğrudan hem de dolaylı olacak şekilde iki ayrı metotla yapılmaktadır. Doğrudan süreç; fotovoltaik panel, ısı ve iyonik bileşenler içeren dönüştürücüler ile gerçekleşmektedir. Dolaylı metotta bu durum, güneş enerjisi sayesinde elde edilen hidrojenle sağlanan ısı elektrik üreticisi ve yakıt pillerinden sağlanılmaktadır [10]. Dolayısıyla güneş enerjisi sayesinde elektrik enerjisi üretim aşamalarında yarıiletken madde olarak adlandırılan fotovoltaik piller kullanılmaktadır. Güneş pilleri yani fotovoltaik hücreler, kendilerine ulaşan ışık enerjisi sayesinde dengeli miktarda pozitif ve negatif yüklerin oluşumunu sağlayarak güneş enerjisinin direkt faydalanılabilir elektrik enerjisine çevirirler [11].

Literatürde güneşin yaydığı enerji ve bu enerji baz alınarak yapılan uygulamalar üzerinde birçok çalışma bulunmaktadır. Saraiva vd. [12] güneşe dayalı ve termofotovoltaik panel olarak bilinen bir enerji dönüşüm sistemi için geliştirilmiş kablosuz bir izleme sistemi sunmuşlardır. Bu çalışmada kablosuz izleme sistemleri ile fotovoltaik panellerden elde edilen akım, gerilim ve panel sıcaklığının vb. takibi yapılmıştır. Böylece yenilenebilir enerji sistemlerinin uzaktan izlenmesini desteklemek ve önerilen işlem türünde tipik olarak daha pahalı ve sınırlı özel sistemlerin satın alınmasını ortadan kaldırmak için ucuz mikrodenetleyici platformlarının ve Web'de ücretsiz internet hizmetinin kullanılmasının uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Papageorgas vd. [13] kablolu ve kablosuz sensör ağı teknolojilerine dayalı güneş paneli izleme sistemi için takip sistemi sunmuşlardır. Sunulan sistem, bir güneş parkı kurulumunun her bir güneş paneli için yerinde performans verilerini elde ederek web

tabanlı bir uygulama aracılığıyla elektrik enerjisi üretiminin optimizasyonuna izin vermektedir.

Şenkal [14] yaptığı çalışma ile yapay sinir ağları (YSA) ile coğrafi ve uydu tahmini veriler kullanılarak Türkiye'ye yansiyacak güneş ışınımını değerlerinin tahmini sonuçlarını elde etmiştir. Günlük ve aylık ortalama güneş radyasyonu verileri ile YSA'nın ortalama kara kök hatası ve korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Hata oranlarının düşük çıkmasıyla kullanılan tekniğin güneş radyasyonu tahminin de uygun bir yöntem olduğunun sonucuna varmıştır.

Touati vd. [15] Doha' da zorlu bir ortam için fotovoltaik (PV) sistemlerinin izlenmesi ve performanslarının tahmin edilmesi için bölgeye uygun maliyetli bir çözüm sunmuşlardır. Bunun için ortamın iklim koşulları ile PV panel verimini etkileyen toz gibi parametrelerin takibi için kablosuz Radyo ve LabVIEW tabanlı izleme ve kayıt istasyonu tasarlamışlardır. Kaydedilen verilere dayanarak, herhangi bir ortam altındaki belirli bir PV teknolojisinin güç çıkışı analizi yapılmıştır. Sonuç olarak beş aylık bir toz birikintisi Poli-kristal panelin maksimum güç çıkışını %30 civarında azalttığını gözlemlemişlerdir.

Yılmaz vd. [16] gelecek yüzyılda, yenilenebilir enerji kaynaklarında özellikle güneş enerjisi ve türevleri açısından bir atılıma tanıklık etmiştir. Bu yenilenebilir ve muazzam enerji kaynağı, tüm dünyadaki enerji sorununa bir çözüm sunmaktadır. Bu çalışma, Kahramanmaraş ili için farklı üç tip PV panellerin analiz edilmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca bu çalışma optimal PV gücünü belirlemek için tüm yönleri dikkate alan araştırma projesidir. Bu amaçla ince film, mono-kristalin ve poli-kristalin silikon panellerden oluşan üç farklı PV sistem kurulmuştur. Bu 3 farklı sistemin kapladığı montaj alanı ve kurulum maliyeti ele alınmış ayrıca her bir sistemden elde edilecek enerji miktarı, yıllık gelirler değerlendirilmiştir. Değerlendirme süresinin sonunda enerji üretimi takibinde poli-kristal silikon panellerin bölge için en uygun panel olduğu sonucuna varılmıştır.

Rashidi vd. [17] yaptıkları çalışmalarında kablosuz bir Zigbee mikro denetleyici kullanılarak bir güneş fotovoltaik (PV) panel performans izleme sistemi kurmuşlardır. Önerdikleri sistem sayesinde PV panelinin performansının kritik konularından biri olan ideal olmayan çalışma koşullarının takibini mümkün kılmışlardır. Etkin, düşük maliyetli ve küçük form faktörlü bir elektronik donanımın geliştirilmesini sunmuşlardır. Sistem, bir dizi PV modülü için voltaj, akım ve gücün uzaktan izlenmesini sağlayabilen iki gömülü program oluşturmuşlardır. Bir dizi PV modül üzerine kurulu iki gömülü kontrolörden

oluşan uygulamanın sonuçları analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlar, önerilen sistemin küçük ve büyük ölçekli PV enerji santralleri için düşük maliyetli ve güvenilir bir performans izleme sistemi sağlayabileceğini göstermektedir.

Çevre dostu yenilenebilir enerji kaynakları olarak bilinen fotovoltaik panellerin (PV) üretimleri her geçen gün artmaktadır. Bununla birlikte, güneş enerjisinin enerji üretimi bazı durumlarda belirsizliklere yol açmakta ve kesintiye neden olmaktadır. Bu bağlamda güç sistemi operatörlerinde önemli zorluklar yaşanmaktadır. Bir başka çalışmada bu olumsuzlukların önüne geçilmesi için aşırı öğrenme makinesi (ELM) kullanılarak yeni bir hava tabanlı fotovoltaik güç tahmin yaklaşımı önerilmektedir. Li vd. çalışmalarında hava koşullarını güneşli, bulutlu ve yağmurlu gün olmak üzere üç gruba ayırarak her bir hava tipine göre PV güç çıkış tahmin modellerini ayrı ayrı ele almışlardır. [18].

İçel [10] tez çalışmasında çevresel faktörler açısından Adıyaman, Malatya ve Şanlıurfa olmak üzere farklı üç bölgede oluşturulan veri toplama noktaları ve çevresel etkenler (güneşin yaydığı radyasyon değeri, ortam sıcaklığı, rüzgârın ve nemin etkisi, fotovoltaik hücre ısısı) ile PV hücrelerin oluşturduğu enerji değerlerinin bir senelik süre bazında ölçülmesini sağlayarak kaydetmiştir. Kurulan sistem üzerinden elde edilen veriler Yapay Sinir Ağları (YSA) algoritmalarının modellenmesiyle elde edilecek gücün tahminini sağlamıştır. Adıyaman ilinin eğitim verileri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü dataları baz alınmış ve bu sayede YSA modelleri eğitilmiştir. Aynı zamanda Şanlıurfa ve Malatya illerine ait veriler de test dataları olarak kullanılmış olup %99.93 oranında doğrulukla tahminleme gerçekleştirilmiştir. Ayrıca meteorolojik verilerin her birinin etkisi ile veri toplama sıklığının YSA sonuçları üzerindeki etkisini incelemiştir.

Bagnasco vd. makalelerinde fotovoltaik modüller tarafından üretilen akımın izlenmesi için Kablosuz Sensör Ağları (WSN) cihazlarına dayanan bir yaklaşım sunmuşlardır. Yaptıkları çalışmada önerdikleri yaklaşım sayesinde kurulum maliyetini ve süresini önemli ölçüde azaltmak için düşük güçlü ve düşük maliyetli cihazlardan oluşan kendi kendini yapılandıran bir kablosuz ağ uygulaması sunmuşlardır. Kablosuz veri toplama modülü, fotovoltaik enerji santrallerinin izlenmesi için eksiksiz bir mimari çözümün temelidir ve yeni bir şirketin kurulması için iş fikri olmuştur [19].

Aydın vd. bir diğer çalışmalarında, fotovoltaik sistemlerin ideal çalışma şartları bünyesinde performanslarını değerlendirmek amacıyla kendilerine has Veri İzleme ve Kayıt Kartı (DAQ) dizayn etmişlerdir. Akım, gerilim ve ortam sıcaklığı ile panelin yüzeysel sıcaklık

değerlerinin ölçülmesini sağlamışlardır. 0-64 saniyelik süre periyotlarında tasarladıkları kart sayesinde ölçümler yapılmış ve sistemin veriminin daha duyarlı bir şekilde takibini sağlamışlardır [20].

Mellit vd. çalışmalarında Si-polikristal fotovoltaik modülün üretilen gücünün profilini tahmin etmek amacıyla bir metodoloji açıklamışlardır. Bunun için sırasıyla bulutlu ve güneşli günlerde kullanılmak üzere iki yapay sinir ağı geliştirilmiştir. İstanbul'da bir yıldan fazla ölçülen veriler (güneş ışınımı, hava sıcaklığı, PV modülü voltajı ve akımı) kaydedilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen YSA modellerinin üretilen gücü makul bir doğrulukta tahmin etme yeteneğini doğrulamaktadır. Sonuç olarak YSA modellerinin polinom regresyonu, çoklu doğrusal regresyon, analitik ve tek diyotlu modellerden daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir [21].

Lurwan vd. modifiye Hottel'in radyasyon modelini kullanarak saatlik güneş radyasyonunu tahmin etmek için MATLAB/SIMULINK tabanlı simülasyon modeli sunmuşlardır. Önerilen Hottel'in modeli sayesinde gün tipi ve coğrafi konuma bağlı olarak mevcut güneş radyasyonu saatlik olarak tahmin edilmiştir. Sonuçlar %97'lik bir korelasyon katsayısına sahip olan saha verileriyle kıyaslandıktan sonra Hottel ve Ashrae tahminleme modelleriyle saatlik güneş radyasyonu ve güç tahminini minimum hata ile tahmin etmenin mümkün olduğu anlaşılmıştır. [22].

Parikh vd. güneş panelinin uzak alanda istikrarlı güç dağıtımını sağlamak, güç performansını sürekli izlemek ayrıca sistemsel hataları tespit etmek amacıyla donanım ve yazılım üzerine çalışma yapmışlardır. Uygulamada gerilim, akım, ışık, sıcaklık ve toz sensörleri ile XBeeS2 ve WSN elemanları kullanılmıştır. Veriler HUB adı verilen merkez istasyonda sürekli olarak depolanmış ve bu veriler Ethernet üzerinden sunucuya gönderilmiştir [23].

Şenkal çalışmasında Türkiye'deki coğrafi ve uydu tahmini verilerini kullanarak YSA ile güneş ışınım tahmini değerleri elde etmiştir. YSA değerleri ile günlük ve aylık ortalama tahmini ve ölçülen değerler arasındaki Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) ve korelasyon katsayısı (R^2) %0.1630 MJ/m² ve %95.34 (eğitim istasyonları), 0.3200 MJ/m² ve %93.41 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar sayesinde geliştirilen genelleştirilmiş regresyon sinir ağı (GRNN) aracının Türkiye'deki güneş radyasyonunu tahmin etmek için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [14].

Suwarno vd. yaptıkları çalışmada Tayvan'daki yüksek güvenilirli PV enerji santralının geliştirme planı için YSA ile santral güç çıkış değerlerine ait tahmin modeli geliştirmişlerdir. Elde edilen verilerin geri yayılım sinir ağları (BPNN) ve aşırı öğrenme makinesi (ELM) ile eğitilmesini sağlamışlardır. Sonuç olarak aşırı öğrenme makinesinin, doğruluk ve geri yayılım sinir ağlarına göre hesaplama süresi açısından avantajlarının olduğunu gözlemlemişlerdir. [24].

Liu vd. çalışmalarında güneş paneli konumunu tespit etmek için aşırı öğrenme makinesi (ELM) ve hareketli en az kare regresyon tabanlı bir yaklaşım sunmuşlardır. İlk olarak, görüntü ön işleme için histogram tepe dağılımı (HPD) ve kesirli analiz uygulanmış olup daha sonra ELM tabanlı kusurlu lehim bağlantılarının tanımlanmasını ayrıntılı olarak ele almışlardır. Son olarak, güneş paneli konum tespiti için hareketli en küçük kare regresyon (MLSR) algoritması kullanılıp sonuç olarak önerilen ELM ve MLSR tabanlı kontrol yönteminin sadece algılama doğruluğunda değil aynı zamanda işlem hızında da etkili olduğunu göstermişlerdir [25].

Lin vd. kablosuz bir cihaz ile güneş panelinin uzaktan performans takibinin yapılmasını sağlamışlardır. Kablosuz cihaz ile hem izleme hem de performans takibi yapılarak verimli bir sistem sunulmuştur. Bu cihazın güneş paneline yerleştirilmesi hususunda düzenlemeler yapmışlardır [26].

PV güç tahmini, eksik veri tahmini, güç akışı kontrolü ve hata tespiti gibi güneş sistemi uygulamalarında temel bir aşamadır. Genellikle, doğrusal olmayan problemlerle daha uyumlu oldukları için PV gücünü tahmin etmek amacıyla akıllı yöntemler tercih edilir. Alçin ve Karabiber çalışmalarında PV güç tahmini için bu akıllı yöntemlerden Aşırı Öğrenme Makinesi (ELM) ile Destek Vektör Makinesinin (SVM) karşılaştırılmasını sağlamışlardır. Şanlıurfa'daki bir PV tesisinden elde edilen sıcaklık ve güç verilerini test etmek kullanmışlardır. Sonuçlar yaz aylarında güneşli, orta bulutlu ve bulutlu günler için analiz edilmiştir. Analizler sonucunda PV güç tahmininin doğruluğu açısından ELM'nin SVM'den daha iyi bir performansa sahip olduğunu göstermişlerdir [27].

Yang vd. fotovoltaik sistemlerin güç üretimi ve performans tahmini için bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir. İlk olarak, PV cihazlar için benzetim modelleri içerisinde iyi bilinen beş parametrelili model seçilmiş ve standart test koşullarında (STC) bu parametrelerin gerçek çalışma koşulları altında analitik olarak belirlenmesi sağlanmıştır. Ek olarak, modelin simülasyon performansı diğer modellerle karşılaştırılmış ve önerilen

modelin, özellikle karakteristik noktalarda PV modülünün tüm deneysel saha testlerinin eğri setine tam olarak uyduğunu gösteren dış testlerle daha da doğrulanmıştır. Validasyondan sonra bu model gerçek koşullar altında PV sistemin güç çıkışını tahmin etmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, tahminlerin PV tesis alanından toplanan verilerle uyumlu olduğunu göstermiştir. [28].

Viscondi vd. fotovoltaik elektrik üretim tahminleri için büyük veri modelleri hakkında en uygun ve ileri teknoloji tekniklerini değerlendirmeyi amaçlayan bir literatür incelemesi sunmuşlardır. Araştırma sorularının tanımlandığı ve arama dizelerine çevrildiği bir Sistemik Literatür Taraması (SLR) yöntemi kullanılmıştır. Araştırmada ele alınan makalelerde yola çıkarak güneş enerjisi üretimini tahmin etmek için kullanılan modeller arasında makine öğrenimi yaygın olarak kullanıldığı sinir ağları metodunun en doğru algoritma olarak kabul edildiği görülmüştür. Aşırı öğrenme makine öğrenimi sayesinde hızlı bir şekilde hassasiyetli sonuçlar alındığı belirlenmiştir. [29].

Şahin vd. çalışmalarında Türkiye'de güneş radyasyonu tahmini için aşırı öğrenme makinesine (ELM) dayalı basit ve hızlı bir yöntem sunmuşlardır. ELM modelini tasarlamak için Türkiye'ye yayılmış 20 noktadan çok yüksek çözünürlüklü radyometre ölçüm sistemi ile tahmin modellemesi yapmışlardır. Uydu bazlı kara yüzeyi sıcaklığı, rakım, enlem, boylam, ay ve şehir ELM'ye girdi olarak uygulanmış ve çıktı değişkeni olarak güneş radyasyonu değerleri elde edilmiştir. ELM modelinin uygulanabilirliğini göstermek için, tahmin kapasitesi ve öğrenme hızı açısından bir performans karşılaştırması geri beslemeli geleneksel yapay sinir ağı (YSA) modeli arasında karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma sonuçları ELM modelinin, genel test yerleri için YSA modelinden daha iyi tahmin verdiğini göstermiştir. Ayrıca, ELM modelinin YSA modelinden yaklaşık 23,5 kat daha hızlı sonucuna varılmıştır [30].

Teo vd. çalışmalarında yapay sinir ağı ile fotovoltaik sistemden elde edilen gücü tahmin etmeyi amaçlamışlardır. YSA eğitim algoritması olarak aşırı öğrenme makinelerini kullanmışlardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının doğru tahmini şebeke operatörleri için önemlidir. Bu nedenle geliştirilen YSA'yı eğitmeyi ve test etmeyi gerçek ve doğru veriler doğrultusunda sağlamışlardır. MATLAB uygulaması ile sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Geliştirilen model üzerinde simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Simülasyon sonuçları ile önerilen sinir ağı modelinin fotovoltaik gücü yüksek doğrulukla tahmin ettiği gözlenmiştir. [31].

Balli vd. yatay bir yüzeyde ortalama günlük küresel güneş ışınımını tahmin etmek için deneysel modeller geliştirmişlerdir. Modelde ele alınan yedi büyük şehir. (Ege Denizi'nde İzmir, Karadeniz'de Samsun, İç Anadolu'da Ankara, Doğu Anadolu'da Van, Marmara'da İstanbul, Akdeniz'de Antalya ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Urfa), Türkiye nüfusunun % 33,4'üne sahip olan illerdir Geliştirilen modeller, ortalama yüzde hatası (MPE), ortalama çekim yüzdesi hatası (MAPE), göreceli hatanın karelerinin toplamı (SSRE), göreceli standart hata (RSE) gibi yedi istatistiksel analiz yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Mevcut modellerin, incelenen şehirler için ve muhtemelen benzer iklim koşullarına sahip başka illerde yatay bir yüzey için değerlerini tahmin ettiği sonucuna varılmıştır [32].

Ghritlahre ve Prasad çalışmalarının amacı, güneş enerjisi toplayıcısının performansını tahmin etmek ve gelecekteki çalışmalar için YSA uygulamalarını gözden geçirerek araştırma boşluğunu oluşturmaktır. Makalelerinde sunulan yayımlanmış araştırma çalışmaları, YSA tekniğinin güneş kollektör sistemlerinin performansını tahmin etmek için çok uygun bir araç olduğunu göstermişlerdir [33].

Xiaoli ve Huan fotovoltaik sistemlerin güvenli ve düzgün çalışmasını sağlamak ve arızaları anlık tespit edilmesini sağlamak için güç istasyonu izleme sistemi oluşturmuşlardır. Veri toplama, ön işleme ve kablosuz iletim olmak üzere çalışmaları 3 aşamadan oluşmaktadır. Çevre bilgilerini ve fotovoltaik gücün durum verilerini rahatlıkla toplayabilmek için kablosuz ağ sensörlerinden ZigBee kullanılmıştır [34].

Lopez vd. çalışmalarında mikrogrid uygulamaları için fotovoltaik bir jeneratörün (PV-DG) kablosuz uzaktan izleme ve kontrol sisteminin uygulanmasını açıklamışlardır. Bu amaçla, bir inverter aracılığıyla tek fazlı bir şebekeye bağlanan 1.28 kWp'lik PV polikristalin modüllerinin montajı kullanılarak küçük ölçekli bir PV-DG sistem tasarlanmıştır. Ardından, kablosuz ağ sensörü (WSN) mimarisine dayanan esnek, sağlam ve güvenilir bir ölçüm ve kontrol sistemi kurulmuştur [35].

Bu tez çalışması ile panelleri etkileyen faktörler (güneş ışınımı, rüzgâr, sıcaklık, nem ve güneş radyasyonu) ile ileriye yönelik belirli bir dönem için üretim tahmini yapılması hedeflenmektedir. Bunun için 1 adet FV panel ile şebekeye bağlantısız bir sistem kurulacaktır. Sistemin bulunduğu panelden elde edilen akım, gerilim ve aynı zamanda panellere etki eden güneş ışınımı, rüzgâr, sıcaklık ve nem gibi meteorolojik değerler uygun sensörler ile periyodik olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu veriler panellerin bulunduğu ortama

yerleştirilen ESP8266 tabanlı Arduino kartı ile kaydedilmiştir. Bu verilerden yola çıkararak panellerin performansı değerlendirilmiştir. Son olarak sistemin üretim performansı takibinin anlık olarak değerlendirilmesi olanağı sağlanmıştır. Bunun için Extreme Learning Machine (ELM) kullanılmıştır. Meteorolojik değerler güneş işınımı, nem, sıcaklık ve güneş işınımı ELM'ye girdi olarak girilecek ve literatürden farklı olarak sistemin belirli bir dönem için üretim performansı tahmini yapılmıştır.



2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, kaynağı Güneş olan sonsuz bir enerji kaynağıdır. Yeryüzü ile arasında binlerce km yükseklik bulunan güneş, en bilinen anlamıyla bütün enerji kaynaklarının kökenini oluşturmaktadır. Güneş'in çekirdeğinde yer alan hidrojenin helyuma dönüşümü sonucunda oluşan füzyon olayı ile açığa çıkan ışıma enerjisidir. Bu enerji değişen kütle farkından dolayı ısı enerjisine dönüşerek boşluğa yayılmakta olup az bir kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır [36]. Yer yüzeyindeki güneş radyasyonunun yoğunluğunun miktarı neredeyse $6.33 \times 10^7 \text{ W/m}^2$ 'dir. Atmosferin haricinde güneşin yaydığı ışımanın miktarı, yaklaşık olarak 1370 W/m^2 (Watt/metrekare) olduğu bilinmektedir. Fakat bu değer yeryüzünde $0-1100 \text{ W/m}^2$ aralığında değişmektedir [37]. Elde edilen bu enerjinin Dünya'ya yansıyan çok az miktarı bile insanoğlunun hâlihazırdaki enerjiyi kullanımından çok daha fazla olduğu bilinmektedir.

Güneşin yaydığı enerjiden faydalanma alanındaki uygulamalar 1970'li yılların ardından artmış ve gün geçtikçe güneş enerjisinin sistemsel yapıları teknolojinin ilerlemesiyle gelişim göstermiştir. Güneş enerjisi ile elektrik enerjisi üretimde; güneş kolektörleri, güneş santralleri ve PV panel olarak üç alanda yararlanmak mümkündür [38]. Yarı iletken özelliğe sahip olan fotovoltaik hücreler güneş ışığını direkt elektriğe çevirebilmektedir. Bu sayede güneş sisteminden elde edilen ısının hem elektrik enerjisi üretimi alanında hem de direkt olarak kullanılabilmesi mümkündür. [39].

2.1 Dünya'da Güneş Enerjisi

Dünya ülkelerinin ekonomik bakımdan ilerleme ve gelişim gösterme endişeleri, artan popülasyon oranları ve ilerleyen teknolojik olayların sonucunda enerji tüketimi artmıştır. Yenilemez enerji kaynakları kısıtlı kaynaklar olup fiyatları da günden güne artış göstermektedir. Dolayısıyla bu durumda dünya ülkeleri ekonomiksel, siyasal aynı zamanda bölgesel bakımdan yakın gelecekte etkilenecektir. Böylece yenilebilir enerji kaynakları alternatif bir çözüm olarak görülmekte olup bahsedilen sorunları en aza indirmek için önemli bir güç konumundadır.[40].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının güvenilirlik, süreklilik, çevre dostu ve yapısal olarak tek bir kaynağa bağımlı olmayan özellikleri genel olarak kabul gören politikaları olmuştur. Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının başında rüzgâr, güneş, hidrolik, hidrojen, biokütle, jeotermal, dalga gelmektedir. Bu kaynakların içerisinde güneş, en özgül olan ve teknolojisi en hızlı gelişim gösteren enerji kaynağıdır.

Yeryüzünde 45° kuzey ve 45° güney enlemleri aralığında bulunan bölgeler ekonomik açıdan güneş enerjisinden faydalanma olanağına sahiptirler. Çizelge 2.1’de 2018 yılına ait güneş enerjisi kurulumları ve toplam kurulu güç kapasitesi bakımından Dünya genelindeki ilk 10 ülkenin güç kapasitesi gösterilmiştir [39].

Çizelge 2.1: 2018 Yılı İçin Dünya Genelindeki İlk 10 Ülkenin Güç Kapasitesi [39].

Yıllık Kurulu Güç Kapasitesi (GW)		Toplam Kapasite (GW)	
Çin	45.0	Çin	176.1
Hindistan	10.8	ABD	62.2
ABD	10.6	Japonya	56.0
Japonya	6.5	Almanya	45.4
Avustralya	3.8	Hindistan	32.9
Almanya	3.0	İtalya	20.1
Meksika	2.7	İngiltere	13.0
Kore	2.0	Avustralya	11.3
Türkiye	1.6	Fransa	9.0
Hollanda	1.3	Kore	7.9

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önem kazanması ile son yıllarda dünya genelinde fotovoltaik (PV) güç sistemlerinin kullanımı da artmıştır. Çizelge 2.2’de 2015 ve 2017 yıllarına ait fotovoltaik ve güneş enerjisinin uygulamaları bakımından ülkelere göre kurulu güç performansları ile genel olarak elektrik enerjisi üretim miktarlarının birbirleri ile karşılaştırması yapılmıştır. [36]. Öncelikle İspanya, Almanya ve Çin uzun yıllar bu konuda ilk sıralarda olmaktadır İtalya, Fransa ve ABD gibi ülkeler de kendilerini takip etmişlerdir. Son güncellenme tarihlerine göre dünyada güneş enerjisi santrali kurulu gücü

verileri liste şeklinde Çizelge 2.3’de verilmiştir. Fotovoltaik paneller ile güneş enerjisi üretiminin yılları baz alarak değişimi oldukça dikkat çekicidir [40].

Çizelge 2.2: 2015-2017 Yılı Aralığında Dünya Ülkeleri Güneş Enerji Sistemleri Üretim Güç Miktarlarının Analizi. [36]

Ülke	Fotovoltaik Sis. Kurulu Güç (2015) (MW)	Fotovoltaik Sis. Kurulu Güç (2017) (MW)	Toplam Elektrik Üretimi (2015) (GWh)	Toplam Elektrik Üretimi (2017) (GWh)
Çin	43.050	131.000	25.007	108.200
ABD	25.540	51.000	24.603	77.965
Almanya	39.634	42.394	36.056	39.996
Japonya	33.300	49.000	26.534	62.343
İtalya	18.910	18.910	22.319	25.215
Fransa	6.549	6.549	5.909	9.245
Türkiye	249	3.400	17	2.720

Çizelge 2.3: Ülkelerin Dünyada Güneş Enerji Santrali Kurulu Gücü [41]

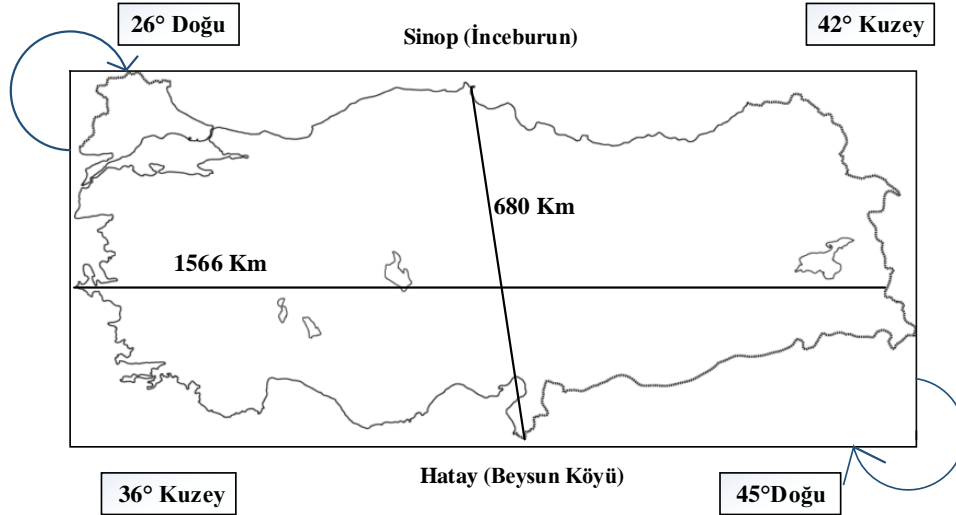
Ülke	Güncellenme Tarihi	Kurulu Güç (MW)
Çin	Aralık 2019	204.700
ABD	Aralık 2019	75.900
Japonya	Aralık 2017	49.000
Almanya	Kasım 2018	45.500
İtalya	Aralık 2017	19.700
Fransa	Aralık 2017	8.000
Türkiye	Ağustos 2020	6.181

2.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi

Türkiye’de giderek artan ekonomik büyüme, hızlı nüfus artışı ve yaşam standartının yükselmesi ile enerjiye duyulan ihtiyaçta önemli ölçüde artışları beraberinde getirmiştir. Enerji ihtiyacını büyük oranda fosil enerji kaynaklarından karşılayan Türkiye, birincil enerji kaynakları açısından diğer ülkelere önemli miktarda bağlı olup her sene büyük masraflar sarf ederek enerji alımı sağlamıştır. Fosil kaynaklı yakıtların yüksek oranda kullanımı çevresel sorunları beraberinde getirmiştir. Bu sebeple tükenmeyen enerji kaynaklarının içerisinde büyük bir önem arz eden kapasitesi ile üretim alanındaki mevcut teknolojileri itibariyle ayrı ve stratejik bir konumda yer alan güneş enerji sistemlerine yönelim gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenebilir kaynaklar içerisinde yüksek bir potansiyele sahip olan bu güneş enerjisi santrallerinin (GES), Türkiye’nin artan elektrik ihtiyacını karşılamada büyük bir olanak haline gelmiştir [42].

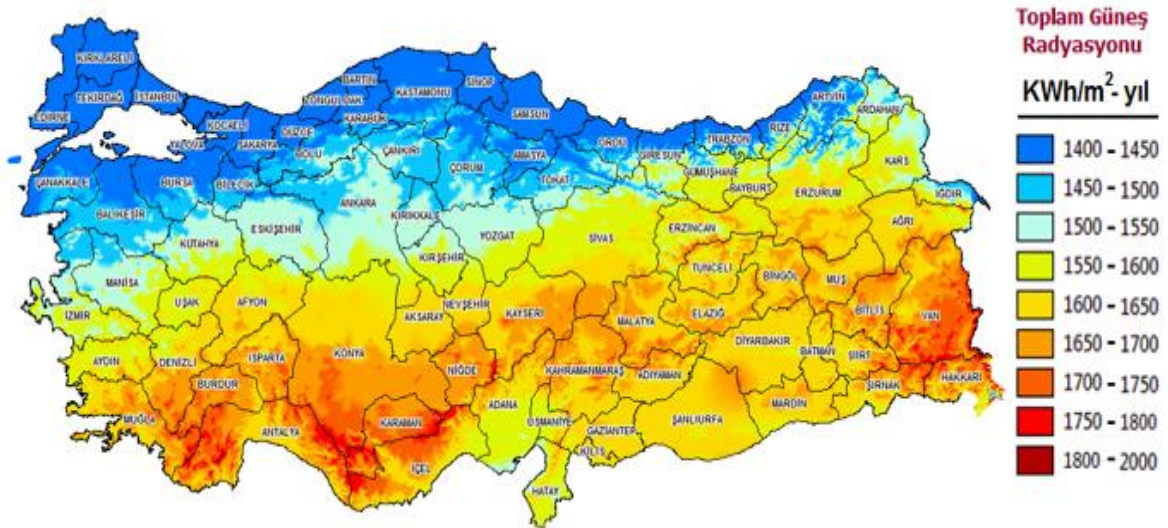
Güneş ışınım enerjisi sayesinde elektrik enerjisinin üretimi yarı iletken özelliğe sahip olan fotovoltaik pillerle gerçekleştirilmektedir. PV hücreler, yüzeylerine yansıyan ışın enerjisi ile eşit miktarda negatif ve pozitif iyonların oluşturulmasını sağlayarak güneşten gelen enerjiyi direkt olarak faydalanılabilir ölçüde elektrik enerjisine çevirirler [43]. Güneşin yaydığı ışınımının, panele gelmesi sonucunda fotovoltaik pillerde bulunan yarıiletken madde yardımıyla oluşumu sağlanan elektron döngüsü elektrik akımı üretimi sağlayabilmektedir. Fotovoltaik piller, yapısal özelliklerine göre güneşten sağlanan enerjisinin %5 ila %20 arasında bir kazançla elektrik enerjisine çevrilebilirler [10].

Ülkemiz coğrafi bakımdan Kuzey Yarım Küre içerisinde bulunmakta olup 36-42° kuzey enlemleri ile 26- 45° doğu boylamları arasında bulunur. Şekil 2.1’de Türkiye’nin coğrafi konumu gösterilmiştir. Ülkemizin bulunduğu bu konum sayesinde bünyesinde mevcut olan güneş enerjisi kapasitesi bakımından çoğu dünya ülkelerine kıyasla şanslı bir konumdadır. Ancak güneş enerjisi üretimi ve tüketimi varsayılan oranla az miktardadır. Bu bağlamda ilerleyen dönemlerde ihtiyaç duyulan enerjinin karşılanması bakımından, yenilenebilir enerji içerisinde bulunan aynı zamanda stratejik bir alanda yer alan güneş enerjisinin verimli ve daimi bir konumda yaşama aktarılması öngörülmektedir [3].



Şekil 2.1: Türkiye'nin coğrafi konumu [44].

Türkiye'nin güneşlenme süreleri yıl boyunca farklılıklar göstermekte olup bakanlığımızca gerçekleştirilen, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasındaki verilerine (GEPA) bakıldığında, senelik mevcut güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat) ve yine senelik mevcut yansıyan güneş enerjisi miktarı 1.527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m².gün) olarak belirlenmiştir [45]. Ülkemizin brüt güneş enerjisi potansiyeli ise 87,5 milyon ton petrol miktarına denk durumdadır. Bu değerın 26,5'i ısı kullanımına, 8,75'i ise elektrik üretmeye uygun olmaktadır. Türkiye'de yer alan neredeyse 18 milyon konutun 4 milyon kadarı, farklı sistemlerle güneş enerjisinden faydalanmaktadır [42]. Şekil 2.2'de Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası görülmektedir [45].



Şekil 2.2: Türkiye'ye ait güneş enerjisi potansiyeli atlası [45]

Ülkemizin yıl bazında mevcut güneş enerjisi kapasitesinin bölgeler bakımından dağılım durumu incelendiği zaman en çok güneş enerjisine sahip bölgenin Güneydoğu Anadolu bölgesi olup yıllık 3000 saat, bu bölgeyi Akdeniz bölgesi 2.956 saat, Doğu Anadolu bölgesi 2.664 saat, İç Anadolu bölgesi 2.628 saat, Ege bölgesi 2.738 saat, Marmara 2.409 saat, Karadeniz 1.971 saat ile takip etmektedir [46]. Bu değerlerin akabinde en düşük metrekare ile toplam güneş enerjisi Karadeniz bölgemize ait olup 1120 kWh/m²-yıl değerinde ve en yüksek Güneydoğu Anadolu bölgemizde yıllık 1460 kWh/m² enerji potansiyelinin olduğu görülmektedir.

Belirtilen güneş ışınımının şiddetleriyle Türkiye'nin, Akdeniz ile Güneydoğu bölgelerinin içerisinde yer alan ve yüz ölçümünün %17'sini içeren alanda, güneş ile sağlanan su ısıtıcılarının yıl boyunca tam dolu güçte çalıştıkları belirlenmiştir. Türkiye'nin yüz ölçümünün %63'lük bir bölümünü içeren kısmında güneşli su ısıtıcılarının bir senelik faaliyet değeri %90 olup ülkemizin %94'lük bölümünde ise hizmet değerinin %80 olduğu görülmüştür [3]. Aşağıdaki gibi verilen, Çizelge 2.4'te ülkemizin güneş enerjisinin potansiyel değerlerinin bölgeler bazında ait dağılım oranları gösterilmiştir [47].

Çizelge 2.4: Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgeler Bazında Dağılımı

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -Yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2993
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

2.2.1 Malatya ilinin güneş enerjisi potansiyeli

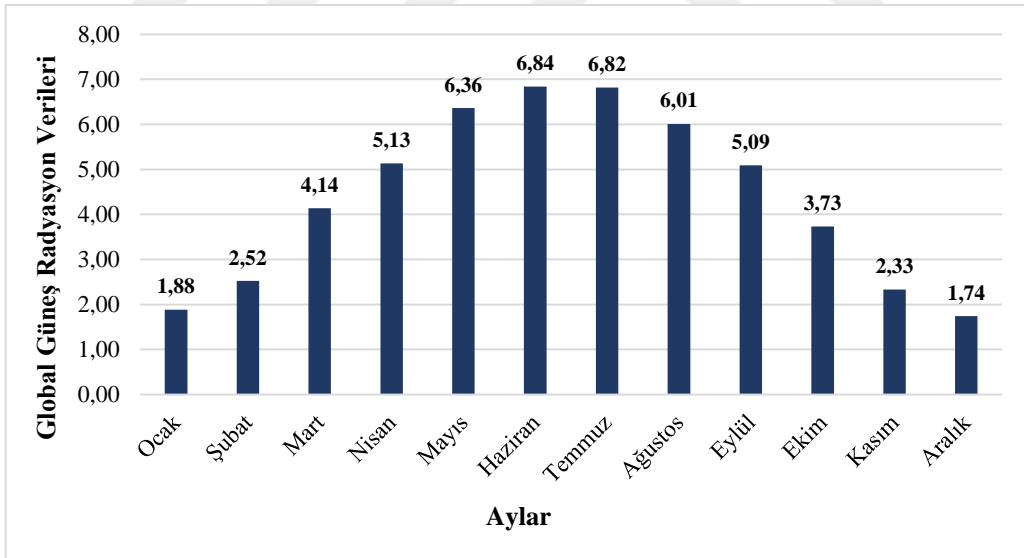
Türkiye'de Doğu Anadolu Bölgesi içerisinde bulunan Malatya ili; 37°-39° kuzey enlemleri ile 37°-39° Doğu boylamlarında yer alarak büyük miktarda güneşten elde edilen ışınım enerjisi kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir [10]. Malatya iline dair güneş enerjinin

potansiyel atlası ile küresel ışınım oranları ve ile ait güneşlenme süreleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir. [48].

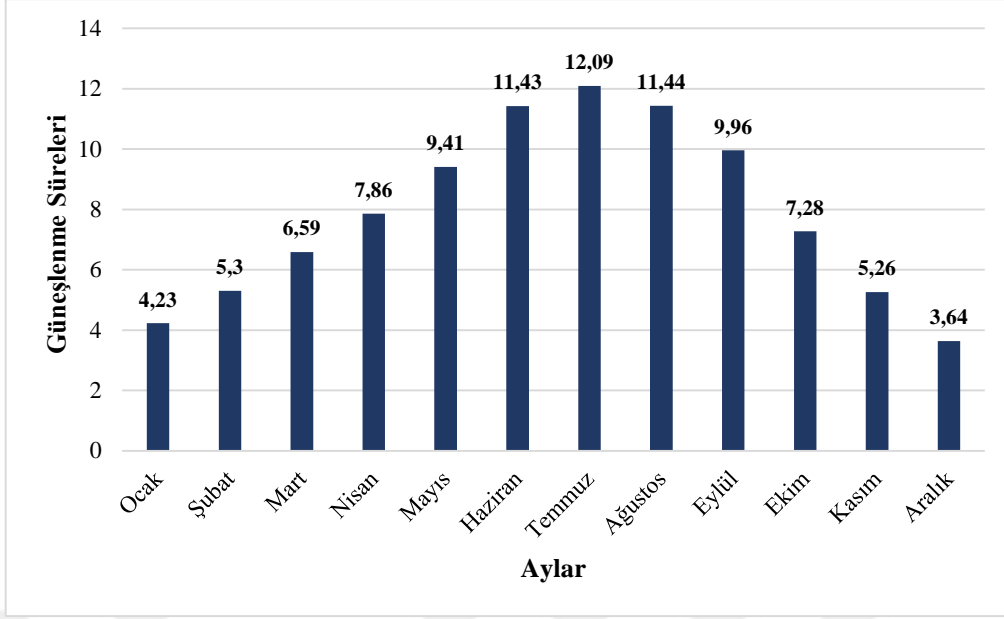


Şekil 2.3: Malatya ili güneş enerjisi potansiyel atlası

Malatya iline ait aylara göre global güneş radyasyonu değerleri ve il bazında güneşlenme süreleri Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te belirtilmiştir [42].



Şekil 2.4: Malatya ili global radyasyon değerleri (KWh/m²-gün)



Şekil 2.5: Malatya ili güneşlenme süresi (saat)

Aylar baz alınarak güneşlenme oranları değerlendirildiğinde, Haziran ile Temmuz aylarının maksimum bir güneş ışmasına sahip olduğu ve Ocak ile Aralık aylarına ait veriler dikkate alındığında ise bu oranların daha düşük seviyelerde yer aldığı anlaşılmaktadır. En az güneş alan ay 3,64 saat ile Aralık ayı olurken, en çok güneş alan ay ise 12,09 saat ile Temmuz ayı olmaktadır. Malatya iline ait bir sene boyunca güneşlenme zamanı yaklaşık olarak günlük 7,9 saattir [42].

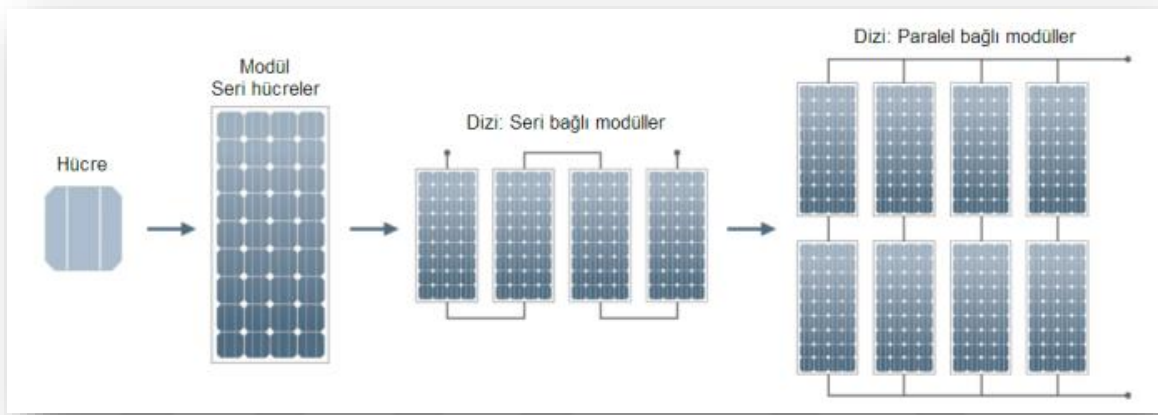
3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Enerjinin kaliteli, zamanında, hesaplı, emniyetli aynı zamanda doğal olacak şekilde karşılamak günümüz ülkelerinde ilerleme düzeylerini büyük ölçüde etkilemektedir. Gün geçtikçe gelişim seviyelerinin artmasıyla insanoğlunun eylemleri çoğu alanda artmaya başlamaktadır. Buradan da yansıdığı üzere bir ülkenin gelişmişlik düzeyi; enerji ve yapı kavramlarının birbirleriyle direkt olarak bir bağ oluşturmasıyla ilişkilendirilebilir. Yapıların tasarımı, yapımı ve kullanımı uzun bir süreçten oluşur [49].

Ekolojik düzenin sağlanması bakımından önemli bir konumda bulunan sistemlerin; popülasyon oranlarının daimi bir yaşam formu sağlaması itibariyle, tükenmeyen ve sürekli enerji kaynaklarından yararlanılması gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bu açıdan yenilenebilir ve daimi özelliklere sahip enerjilerin başında güneşten sağlanan enerji bulunmaktadır. Doğa gereği sonsuz bir güç konumunda yer alan güneş, sağladığı enerji ile birçok yönden faydalanılabilmektedir. Merkezi, güneşin ışınma enerjisi olan sistemler üzerinden pasif metodlarla faydalandığı gibi aynı zamanda bu yapılara ilave edilecek sistemler vasıtasıyla aktif olacak bir şekilde faydalanılabilir. Güneşin ışınma enerjisinden aktif olarak faydalanılabilmek için oluşturulan önemli yapılardan biri fotovoltaik (PV) panellerdir [49].

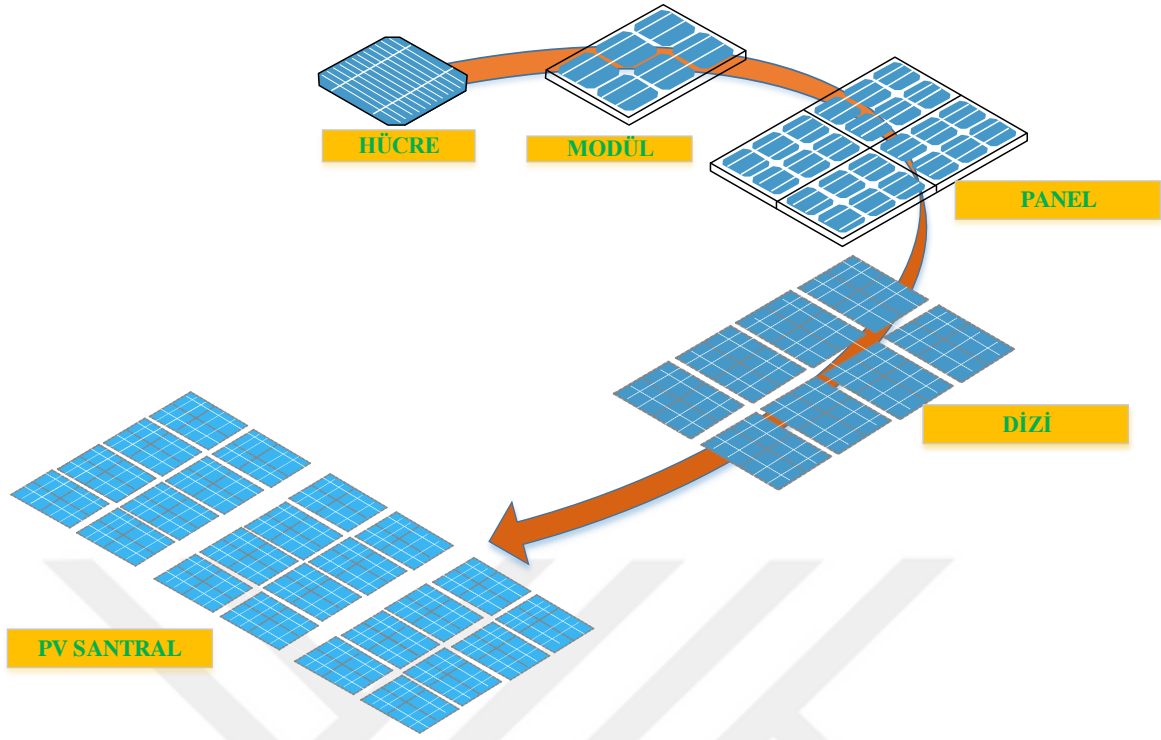
Fotovoltaik (PV) hücreler veya güneş pilleri, güneş ışınlarını direkt olarak elektrik enerjisine çevirebilen, bakımları kolay ve ömürleri uzun olan yarı iletken maddelerden oluşan elektronik sistemlerdir. PV modüller, yüzeylerine güneş ışığı yansıdığı anda yarı iletken yapıları sayesinde elektrik akımının oluşturulma ilkesine dayanan fotovoltaik ilkeye bağlı olarak çalışırlar. PV hücreler; yarı iletken bir eleman olan diyot gibi çalışarak, güneşten sağlanan ışınım enerjisini iç fotoelektrik tepkimeler sayesinde direkt olarak elektrik enerjisine dönüşümünü sağlarlar. Fotovoltaik paneller güneşten gelen bu enerjiyi günümüzde % 15 - % 20 aralığında bir kazanç ile elektrik enerjisine çevirebilirler. Fotovoltaik panellerin yüzey yapıları genel olarak karesel, dikdörtgen ve dairesel biçimde olmaktadır. Bu fotovoltaik panellerin alanları ortalama 100 cm² olup genel olarak 60 ile 160 cm² arasında değişmektedir. Kalınlıkları da 0,2–0,4 mm aralığındadır. [50-51].

Klasik yapıya sahip bir fotovoltaik panel ortalama 0.5 Volt (V) gerilim üretebiliyorken, sistemden sağlanılacak gücün değeri 1 desimetre (dm) çapa sahip yapı için neredeyse 1 Watt'tır. Bu yüzden güneş pilleri uygulama alanında laboratuvar çalışmaları dışında tek başlarına kullanılmazlar. Bu hücrelerden sağlanılacak akım veya gerilim değerlerini artırmak için bu yapıları seri ya da paralel olarak iki şekilde bağlamak mümkündür. Elde edilecek gerilimi artırmak için bu hücrelerin seri ve akımı artırmak için ise paralel bağlanması gerekmektedir. Böylece paralel veya seri fotovoltaik modüllerin oluşumu sağlanmış olur. Bu sayede talep edilen güç artırılarak Watt seviyesinden MegaWatt (MW) seviyesine çıkarmış olur [10]. Şekil 3.1'de PV modül gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Fotovoltaik hücre, modül ve dizi tasarımları [49]

PV hücrelerin birleşimiyle modüller, modüllerin bir araya gelmesiyle fotovoltaik paneller oluşmaktadır. Bu paneller dizileri ve diziler de PV santralleri oluşturmaktadır. (Şekil 3.1). 250 Watt (W) güce sahip paneller PV santral için en çok tercih edilenler arasındadır. Fotovoltaik paneller genelde 60 hücre ve 6 modülden oluşarak her modülde 10 hücre bulunmaktadır [52].



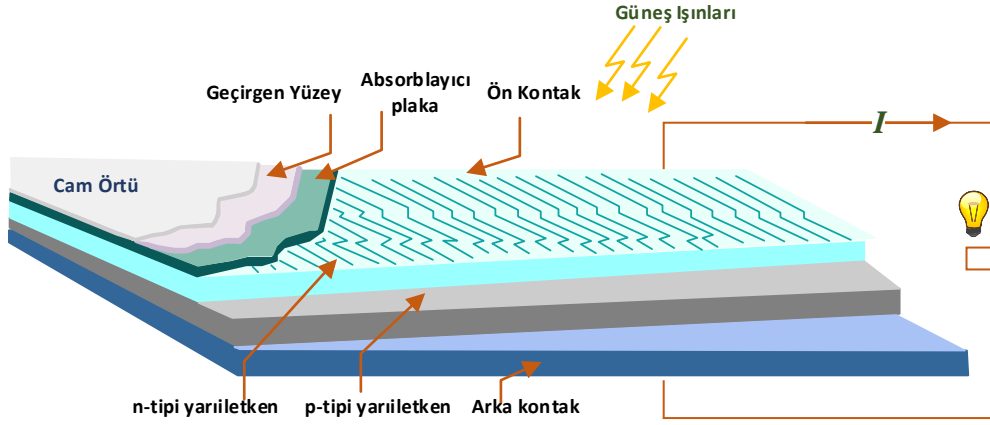
Şekil 3.2: Fotovoltaik grup oluşumu [10]

3.1 PV sistemlerin yapısı ve çalışma ilkesi

Günümüzde hızlıca gelişmekte olan ve toplumun dikkatini çekmeye başlayan güneş pili teknolojileri, küçük aynı zamanda yerleşim bölgelerine uzak alanlarda emniyetli ve düşük masraflı özelliğe sahip elektriksel güç olarak kullanmak mümkündür [53].

Güneş pilleri; üzerine düşen güneş ışığının ışınım enerjisini, doğrudan elektriğe çeviren düzenekler olup fotovoltaik ilkeye bağlı olarak çalışırlar. Yani PV yapı sayesinde güneşten elde edilen ışınım enerjisinin elektriksel enerjiye dönüşmesini sağlarlar [54].

Güneşin sağladığı ışınım enerjisi bir fotonun silikon atom sayesinde soğurulduğu zaman elektron çifti boşluğunun oluşumu sağlanır. Bu elektron, oluşan delikleri izlemesiyle malzemenin içerisinde hareket etme eğilimini gerçekleştirir. Böylelikle enerji, elektron döngüsüne olanak vererek yükün beslenmesi esnasında elektrik akımının oluşumunu sağlayacaktır [55]. Bahsedilen ilke üzerinden şekillendirilen fotovoltaik sistemin yapısı Şekil 3.3'te gösterilmiştir [53].



Şekil 3.3: Fotovoltaik hücrenin yapısı

Şekil 3.3'ten de görülebildiği üzere, hücrenin üstündeki katmanda, pil sayesinde elde edilen akımın toplanmasını sağlayan ve bakırdan yapılmış olan ön kontaktlar bulunmaktadır. Bu kontaktlar negatif yüklüdür. Bu kontaktların alt kısmında 150 milimetre (mm) kalınlığa sahip, yansıtıcı niteliği olmayan opak bir kaplama zarı bulunmaktadır. Bu katmanın olmamış durumunda silisyum yüzeyine yansıyan ışınım miktarı neredeyse toplam ışınımın üçte birlik bölümünü iletilebilirdi. Böylece kaplama katmanı sayesinde pilin yüzeyine yansıma önlenmiş olur. Pil, yansıyan ışığın bir kısmını daha iyi tutabilmek için ön bölümü, piramit ve konik şekillerinde yapılmıştır. Opak katmanın alt kısmında ise pile ait olan elektrik akımının oluştuğu kısım yer alır. Böylesi bir yapıda n ve p katmanları olmak üzere birbirlerine benzemeyen iki farklı tabaka olup birbirleriyle bağlantılı haldedir. Fosfor atomlarının eklenmesiyle oluşan silisyum maddesinden açığa çıkan N-katmanı, pilin negatif bölümünü oluşturarak serbest elektronlar üretebilir. Silisyuma bor atomlarının eklenmesiyle ortaya çıkan P-katmanı da, pilin pozitif tarafını oluşturur. P-ve N katmanları arasında pozitif ve negatif iyonların bir araya geldiği jonksiyon bölgesi bulunmaktadır. Pilin arka bölümünde ise elektron akışının olduğu pozitif bağlantı sağlayan arka kontakt bulunmaktadır. [53].

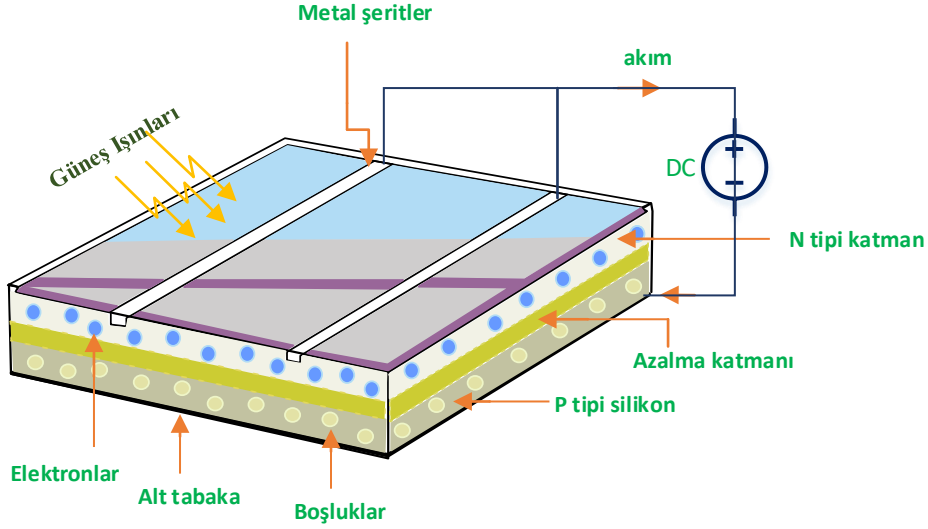
Herhangi bir yarıiletken maddede P ve N tipi bölgelerin oluşumunun sağlanmasıyla PV hücre tasarımı gerçekleştirilmiş olur. Oluşumu sağlanan bu 2 tip bölgenin transfer alanlarındaki PN bağlantı bölgesinde elektrik alanının oluşturulmasıyla fonksiyonel bir elektrik alanın elde edilmesi sağlanır. Yarıiletken bölgenin güneş pili şeklinde fonksiyon gösterebilmesi adına eklem bulunduğu alanda PV dönüşüm olayının gerçekleşmesi gereklidir. Bahsedilen değişim iki evrede gerçekleşmektedir. Birinci kademedeki eklem bölgesi yüzeyine yansıyan güneş ışığı ile elektron-boşluk çiftlerinin oluşması sağlanır.

İkinci kademedede ise oluşan çiftlerin, elektrik alanın şiddetiyle birbirlerinden ayrılma olayı gerçekleştirilir [56].

Fotovoltaik paneller, yarı iletken malzemeler olarak bilinen diyak, triyak, transistör, tristör gibi elektroik elemanlardan ayrı olarak önemli bir P-N jonksiyon ara bölümüne sahiptir [10]. Yarı iletken malzemeler istenildiğinde iletken olabilmekte istenildiğinde yalıtkan hale getirilebilmektedir [57].

Fotovoltaik sistemlerden elektrik gücü oluşturabilmek için, güneşin yansıttığı ışınların fotovoltaik madde sayesinde absorbe edilerek ışık akımının ve geriliminin elde edilmesi sağlanır. Güneşin yaydığı radyasyon, fotonların birleşiminden oluşmaktadır. Yarı iletken madde olarak bilinen silikon yüzeyine çarpan ve çeşitli dalga boylarına sahip farklı oranlarda enerji içeren fotonlar, atomların arasından elektronların ayrılmasını sağlarlar. Işınlar, PV panel yüzeyine etki ettiği zaman; belli bir miktarı hücre ile soğurulurken belli bir miktarı yansıtılır kalan bölümü de hücre içinden aktarılır. PV panel sayesinde soğurulması sağlanılan ışınlar, elektriksel gücün üretilmesini sağlarlar [50,55].

Foton tarafından oluşan enerji, yarı iletken maddenin atomunda bulunan elektrona gönderilir. Elektron edindiği bu enerjiyle bir elektriksel devredeki akımın bir bölümüne sahip olabilmesi amacıyla, yarı iletken malzeme içerisinde bulunan tek bir atomun doğal konumundan ayrılabilme özelliği kazanmış olur. Fotovoltaik esasa göre çalışmanın sağlanabilmesi için, güneşin yaydığı ışınımı emecek yapının; yasak enerji aralığının güneş spektrumuna uygun olmalı ve elektriksel yüklerin birbirlerinden ayrılabilmesi olayını gerçekleştirecek yapıda bir yarıiletken (Si, GaAs, CdTe gibi) olması gerekir. En temeliyle fotovoltaik modül, serbest yarıiletkende n ve p-tipi bölgelerin oluşturulmasıyla tasarlanır. Oluşturulması sağlanılan bu iki tip bölgenin geçiş noktalarında p-n eklem jonksiyonu kesiminde, normal bir elektriksel alan kurulumu sağlanır. Yarıiletken maddenin fotovoltaik sistem olarak çalışabilmesi amacıyla eklem bölgelerinde PV yöntemin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Şekil 3.4'te PV çalışma ilkesi gösterilmiştir [50].

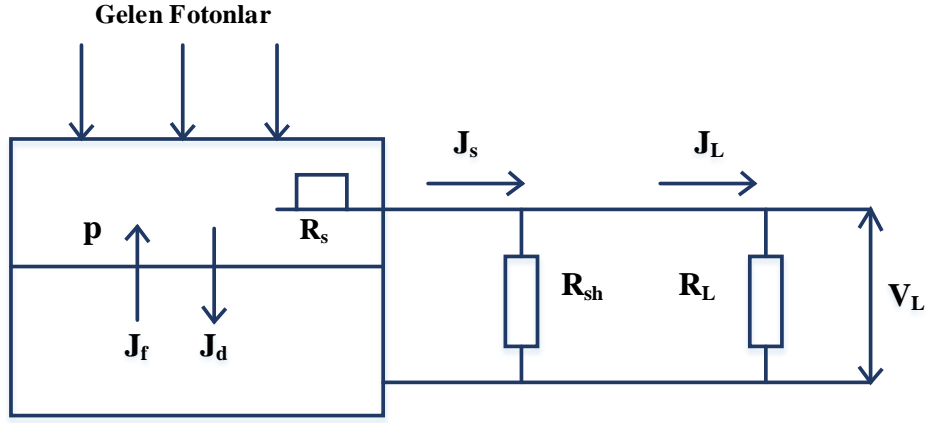


Şekil 3.4: Fotovoltaik hücrenin çalışma ilkesi

3.2 PV Sistemlerin Elektriksel Yapısı

Farklı çevresel koşullar altında bulunan bir PV hücrenin davranışını tanımlamak için, MPPT sistemlerin yükten nasıl etkilendiğini gözlemlemek gerekir. Yani sistemin gereksinim duyduğu akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) özyapısal modelleri belirlenmelidir ve bu açıdan güneşin sahip olduğu yapının incelenmesi gerekmektedir. Günümüzde gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde, fotovoltaik yapıların matematiksel modellenmesine dair en temel olarak, sistemlerin yarı iletken maddelerden üretilmesi durumunda P-N jonksiyon bölgelerini kapsayan bir diyodun ışınım ile sağlanılan bir akım kaynağına paralel bağlanması kanısına varılmıştır [10].

PV güneş pilleri; içerisinde hapsolmuş ışınların oluşturmuş olduğu akımların geçişini sağlayarak akışta bir diyota paralel bağlanan sabit bir akım kaynağı olarak davranır. Bu güneş pilleri, pozitif yönde eklenmiş bir p-n eklem diyotu gibi çalışarak foton absorblanması durumunda eklem her bir yanında, taşıyıcı yük olarak bilinen elektron-boşluk çift fazlalıkları oluşur. Eklem her bir yanında fazla olan bu yük taşıyıcıları difüzyon olayıyla, azınlık yük taşıyıcılarının ise eklem bölgesinde elektrik alanının sürüklenmesiyle eklem bölgesinden geçişlerinin sağlanmasıyla fotoakım yoğunluğunu oluştururlar. Bu durum Şekil 3.5'te gösterilmiştir [58].



Şekil 3.5: p-n Eklemlı Güneş Pilinin Şematik Gösterimi

Şekil 3.5'te J_f ile gösterilen bu fotoakım yoğunluğu (J_f), p-n eklemının ileri yönde kutuplaşmasını sağlar. Ancak PV güneş pili sisteminin çıkış kısmında bağılı bir yük yoksa yani $R_L = 0$ olma durumunda J_f ; p-tipi bölgenin pozitif, n-tipi bölgenin de negatif olarak yüklenmesini sağlar. Böylece p-n bağlantının potansiyel engelinin azaltılması sağlanmış olur ve bu durumda çoğunluk yük taşıyıcılarının az buldukları alanlara doğru difüzyon yolu ile harekete geçerler. Çoğunluk yük taşıyıcıları tarafından oluşan bu birleşim sonucunda akım yoğunluğu olarak adlandırılan J_r ; p-tipi bölgenin negatif, n-tipi bölgenin ise pozitif yüklenmesini sağlar. Bu biçimdeki yüklenme durumundan dolayı J_f fotoakım yoğunluğu tarafından, p-n eklemi ters yönde beslenmeye başlar. Böylece potansiyel engelin yüksekliği tekrardan artarak çoğunluk yük taşıyıcılarının eklem bölgelerini geçmeleri de engellenir. Bu esnada yine yeni bir foton absorbe edilerek potansiyel engelin yüksekliğinin tekrardan azalması sağlanılır. Potansiyel engelin bir azalıp bir artması durumu, güneş pili hücresinin güneşin yaydığı ışınların etkisinde kaldığı müddetçe devam ettiği bilinmektedir [58].

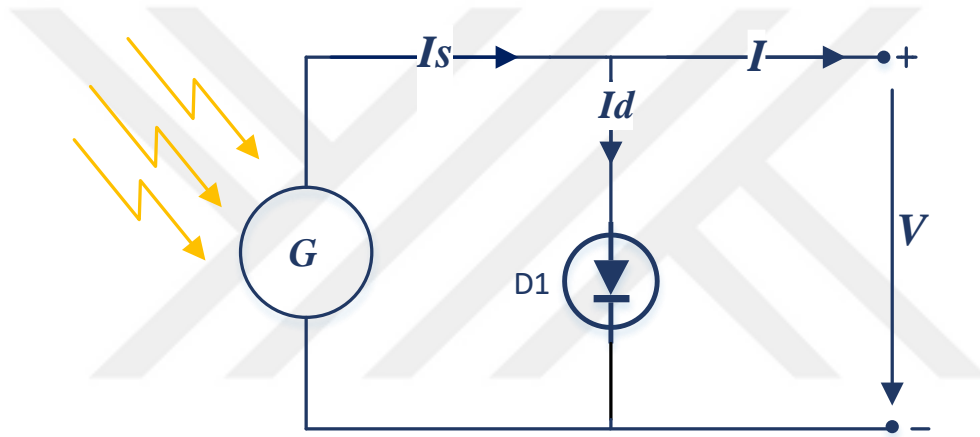
Bu alanda, yapılan çalışmalardan elde edilen model sunulmuş olup bahsedilen yapılar arasında en yaygın alanda kullanılan I-V ve P-V karakteristik eğrilerinin sağlanmasında en az hata veren ve gerçek bir fotovoltajik sistemin farklı şartlar altında karakteristiğinin çok iyi anlaşılmasını sağlayan yapılar, tek ve çift diyotlu devrelerdir [10].

3.2.1 Bir güneş pilinin eşdeğer devresi

Fotovoltajik güneş pili; ışınlar sayesinde oluşturulmuş akımın geçirilmesini sağlayacak konumda olan tek diyot üzerine paralel olarak bağlanmış, sabit bir akım kaynağı olarak

davranır. Diyot elemanının anot ve katot uçları arasında, potansiyel seviyenin azaldığı değere karşılık eşit bir potansiyel fark meydana gelmektedir. Oluşan potansiyel farkına, fotovoltajik elektromotor kuvveti (EMK) denilir. Fotovoltajik EMK; silisyumdan bazı güneş pili hücreleri için ortalama 0.5V ile germanyumdan yapılmış hücreler için ise ortalama 1 volt değerine sahiptir [56].

Şekil 3.6’da PV hücresinin basitleştirilmiş eşdeğer modeli gösterilmiştir. İdeal bir diyotla paralel olarak ideal bir akım kaynağından oluşan aşağıdaki devre, fotovoltajik hücresinin ideal eşdeğer devresi olarak bilinmektedir. Şekilde belirtilen akım kaynağı güneş ışınları sayesinde elde edilen akımı temsil eder ve çıkış gerilimi belirli bir sıcaklık ve ışık radyasyonu altında sabittir [59].



Şekil 3.6: Fotovoltajik yapının sadeleştirilmiş eşdeğer devre modeli

Basitleştirilmiş elektriksel eşdeğer devreye ait akım gerilim (I-V) denklemi, Kirchhoff’un akım yasasından faydalanılarak elde edilebilir.

$$I = I_s - I_d = I_s - I_o \left(\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right) \quad (2.1)$$

25 °C’ye ait denklem

$$I = I_s - I_o (e^{38,9V} - 1) \quad (2.2)$$

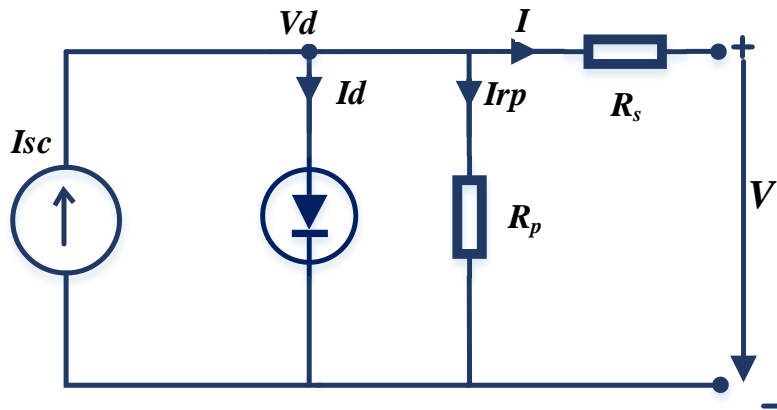
olarak belirtilir.

Burada;

- I : Sistem akımı (A)
- I_{sc} : Foton akımı (A)

- I_D : Diyot akımı (A)
- I_o : Diyot ters yönde doyum akımı (A)
- V : Fotovoltaik hücrenin çıkış gerilimi (V)
- n : Diyot kalite faktörü ($1 \leq n \leq 2$)
- q : Elektron yükü ($1,60217646 * 10^{-19} C$)
- k : Boltzmann sabiti ($1,3806503 * 10^{-23} J / K$)
- T : p-n birleşim noktasındaki sıcaklık (K)

Fotovoltaik bir sistemin sadeleştirilmiş eşdeğer devresi, bu hücreye ait elektriksel anlamda en temel modelini göstermektedir. Aynı zamanda sistemin çıkış kontakları üzerinde de gerilim düşümü olduğu görülmektedir. Oluşan gerilim düşümü, devreye seri olarak bağlanılacak R_s direnci ile belirtilmektedir. Paralel bir direnç bağlanarak da sızıntı akımı gözlenmektedir. Devreye paralel bağlanan bu direnç R_p olarak adlandırılmaktadır (genelde $R_p \gg R_s$ olacak şekilde seçilmektedir.). Sonuçta devre bu kayıplar altında dikkate alındığında Şekil 3.6'daki gibi elektriksel eşdeğer devre elde edilmektedir [10].



Şekil 3.7: Fotovoltaik yapının gerçek tek diyotlu elektriksel eşdeğer devresi [60].

Bu eşdeğer devre parametrelerinden:

- **Foton Akımı (I_{sc}):** Fotovoltaik yapı yüzeyine yansıyan güneşin yaydığı ışınım değeri ile orantılı olacak şekilde değişmekte olan akım değeridir.
- **Diyot akımı (I_d):** Sızıntı akımı ve gerilime bağlı olarak değişmek gösteren akımdır ve

$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV_d}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2.3)$$

olarak ifade edilir.

- **Paralel kol akımı (I_{rp}):** Eklem geriliminin paralel direnç üzerindeki reaksiyon sonucu ile doğan akım değeri olup paralel kol direnci adı verilen R_p , n ve p eklemleri boyunca işlev gösteren elektronlar bazında oluşan kaybın belirlenmesini sağlar [61].

$$I_{rp} = \frac{V_D}{R_p} = \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (2.4)$$

Bu denklemlerden yola çıkarak hücreden akan çıkış akımı;

$$I = I_{SC} - I_D - I_P \quad (2.5)$$

$$I = I_{SC} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qV_d}{nkT}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (2.6)$$

olarak ifade edilir [61].

Burada;

- R_p : Paralel direnç (Ω)
- R_s : Seri direnç (Ω)

olarak belirtilmektedir.

PV hücreler tarafından üretilen ışık akımı I_{SC} akımı;

$$I_{SC} = \frac{I_{SCref}}{G_{TCref}} G_{TC} - a(T_C - T_{Cref}) \quad (2.7)$$

olarak ifade edilir ve bu formülden I_{SC} akımının güneşin sağladığı ışınım miktarı ile sıcaklık değeri arasında doğru orantılı bir bağlantı olduğu anlaşılmaktadır [62].

Yukarıdaki denklem parametreleri aşağıda belirtildiği gibidir:

- G_{Tc} : Gözlenen güneş ışınım şiddeti (W/m^2)
- G_{Tcref} : Referans güneş ışınım şiddeti ($1000 W/m^2$ ve $25^\circ C$)
- I_{scref} : Referans koşulunda kısa devre akımı (A)
- T_c : Ölçülen sıcaklık

- **T_{cref}** : Referans sıcaklığı (25 °C)
- **α** : Referans güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık değerindeki akım sıcaklık katsayısıdır.

$$a = \frac{T_{Cref} + 273}{T_C + 273} a_{ref} \quad (2.8)$$

olarak ifade edilir [10].

Diyot saturasyon (doyum) akımı hesaplanırken hücre sıcaklığının etkisiyle oluşan reaksiyonların sonuçları göz önüne alınarak aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$I_o = \frac{(R_P + R_S) I_{SC} - V_{OC}}{R_P e^{\left(\frac{V_{OC}}{aV_T}\right)}} \quad (2.9)$$

V_T sıcaklığa bağlı olarak değişen açık devre voltajı olup;

$$V_T = \frac{n_s k T}{q} \quad (2.10)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen formüllerde;

- **q** : Elektron yükü ($1.60217646 * 10^{-19} C$)
- **n_s** : Paneldeki seri hücre sayısı
- **k** : Boltzmann sabiti ($1.3806503 * 10^{-23} J / K$)
- **T** : Sıcaklık (K)

olarak ifade edilir [10].

Güneş pilinin eşdeğer devre yapısında bulunan seri ve paralel dirençler hesaplanırken ise 2.10 ve 2.11 denklemleri kullanılır [59]:

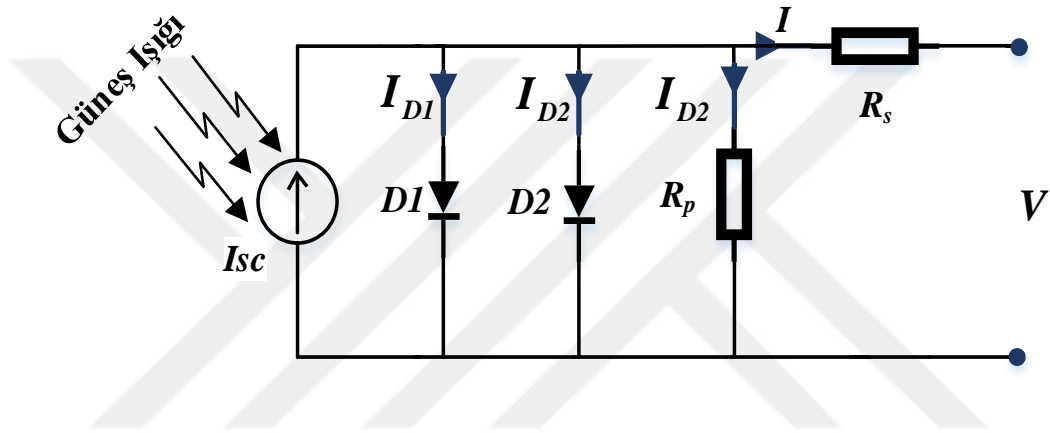
$$R_S = a_{ref} \ln \left(1 - \frac{I_{mpref}}{I_{SCref}} \right) + V_{OCref} - V_{mpref} \quad (2.11)$$

$$R_P = \frac{(V_m - I_m R_S) [V_m - R_S (I_{SC} - I_m) - aV_T]}{(V_m - I_m R_S) (I_{SC} - I_m) - aV_T I_m} \quad (2.12)$$

Paralel direnç R_p değerinin çok yüksek olması, seri direnç değerinin ise çok düşük olmasından dolayı her iki direnç değeri uygulamada ihmal edilebilir [10].

3.2.2 Çift diyotlu PV hücre elektriksel eşdeğer devre modeli

Çift diyotlu olarak elde edilen elektriksel eşdeğer devre modelini diğer ideal tek ve gerçek tek diyotlu eşdeğer devre modellerinden ayıran en temel özellik devrede ikinci bir diyot kullanılmasıdır. Yerleştirilen bu ikinci diyot sayesinde diyot faktörü olarak adlandırılan n 'nin sahip olabileceği değer aralığı genişletilmektedir [55]. Şekil 3.8'de çift diyotlu fotovoltaik sisteme ait elektriksel eşdeğer devre yapısı gösterilmiştir [10].



Şekil 3.8: Çift diyotlu PV hücre elektriksel eşdeğer devre modeli

Çift diyota sahip fotovoltaik yapının elektriksel eşdeğer devre modeline Kirchhoff'un akımlar kanununun uygulanmasıyla;

$$I = I_{SC} - I_{D1} - I_{D2} - I_P \quad (2.13)$$

denklemini elde edilerek I_{D1} , I_{D2} diyot akımları ve I_P akım denklemleri (2.13) denkleminde yerine yazılırsa aşağıdaki eşitlik elde edilmiş olur [10].

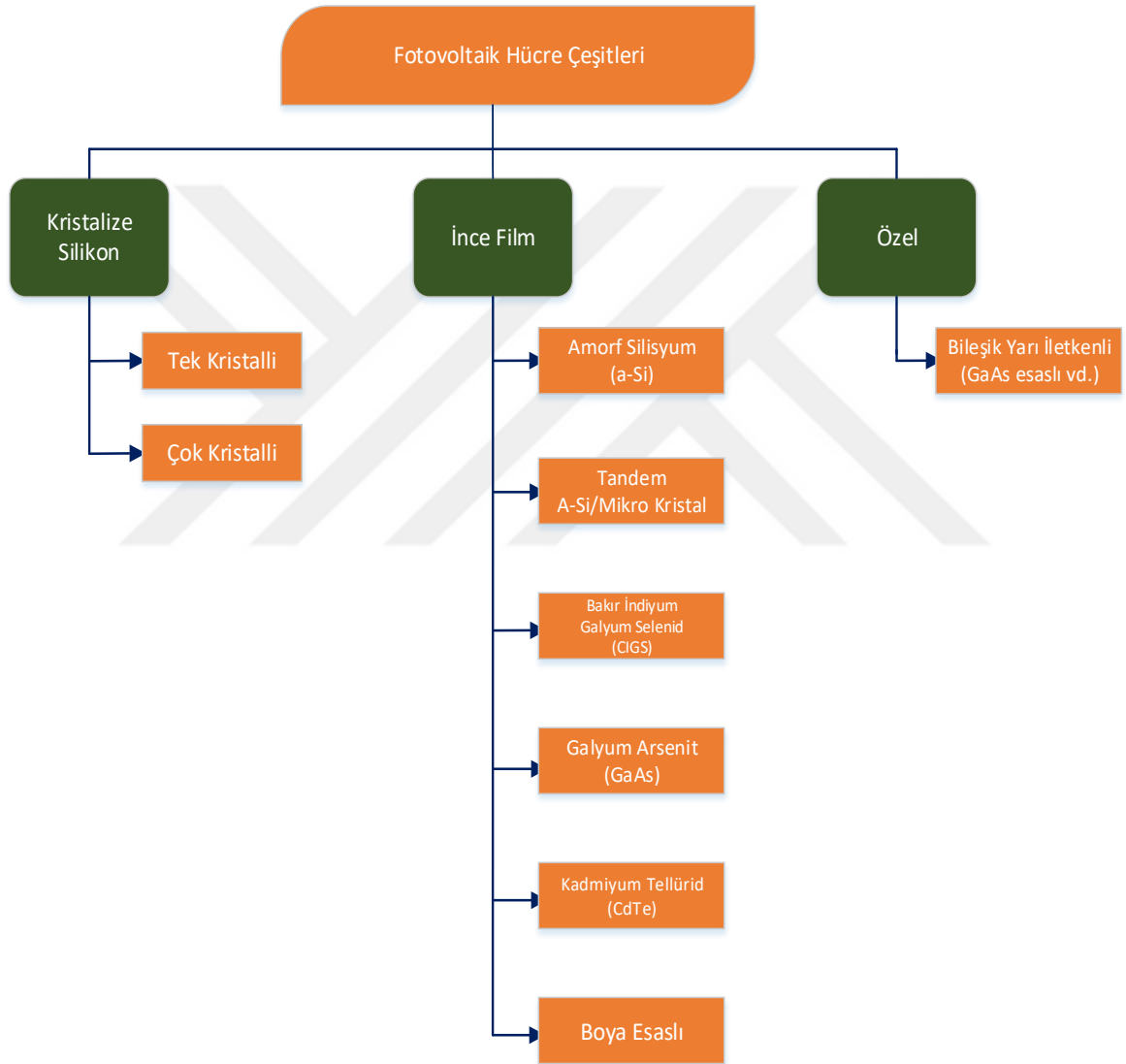
$$I = I_{SC} - I_{O1} \left(\exp \left(\frac{q(V + IR_S)}{n_1 kT} \right) - 1 \right) - I_{O2} \left(\exp \left(\frac{q(V + IR_S)}{n_2 kT} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_S}{R_p} \quad (2.14)$$

3.3 Fotovoltaik Hücre Çeşitleri

Fotovoltaik hücreler olarak adlandırılan güneş pilleri, kullanılan maddeler ve yapım türleri bakımından oldukça çeşitlidir. Bu pillerin yapımı için günümüzde kullanılmakta olan yüzlerce malzemenin üzerinde araştırmalar yapılmaktadır [63]. Güneş pilleri; esas olarak kristal yapılı silikon piller, ince film piller, amorf yapıya sahip silikon piller olmak üzere 3

gruba ayrılır. Kristalize silikon piller kendi aralarında 2, ince film piller 6 gruba ayrılmaktadırlar [64].

Günümüzde yaygın olarak kullanılan elektronik elemanlardan olan diyot, transistör ve doğrultucular kadar güneş pilleri de, yarı-iletken yapılardan oluşmaktadır. Yarı-iletken özelliğe sahip çok sayıda yapı arasından güneş pili yapmak için en uygun olan maddeler; kristal silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellürdür. [51]. Şekil 3.9'da fotovoltaik hücre çeşitlerinin gruplara ayrılmış hali gösterilmiştir.



Şekil 3.9: PV hücre çeşitleri

3.3.1 Kristalize silikon fotovoltaik hücreler

Kristal silikon yapıya sahip fotovoltaik hücrelerin en önemli hammaddesi oksijen elementinden sonra doğada en fazla yer alan silisyum elementidir. Doğada bulunan silisyum saf halde olmadığından dolayı saflaştırılarak güneş pillerinin yapısında

kullanılmaktadır [64]. 1960'lı yıllarda dünyada silisyumun hücre yapımında kullanılmasına yönelik bilimsel ve teknik altyapı oluşmaya başlamış olup 1963 yılında Japon bir firma tarafından 242 W gücündeki ilk ticarileştirilmiştir [46].

Doğada saf kimyasal madde halinde bulunmayan silisyumun hücre yapımı aşamasında hazır hale silikon dioksit bileşiğinden ayrılması gerekmektedir. Bu durum yüksek sıcaklık gerektiren işlemler sonucunda elde edilir. Üretim sürecinde oluşan farklılıklar nedeniyle kristal silikon yapıları fotovoltaik sistemler; mono kristal, polikristal ve ribbon yapılarıdaki silikon hücreler ile üç çeşide ayrılmaktadır [46]. Fotovoltaik yapıları çok daha güçlü olan diğer maddeler de olmasına rağmen silisyum hem teknolojik alanlardaki üstünlüğü bakımından hem de ekonomik açıdan daha fazla kullanılmaktadır [63].

3.3.1.1 Monokristal silikon güneş pilleri

Piyasadaki ilk ticari güneş pilleri, 1971 yılında geliştirilen Czochralski kristal çekme yöntemi sayesinde monokristal yapıya sahip silisyumla oluşturulmuştur. Günümüzde fotovoltaik sanayisinde çokça uygulanan bu yöntemde ilk olarak ark fırınlarında silisyum oksitinin birçok kimyasal ve termal tepkimelerden geçirilmesiyle doğal silisyumun üretilmesi sağlanılır. Sonraki aşamada silisyum çözeltilisine, çekirdek olarak adlandırılan tek kristal yapıya sahip silisyum modülü batırılır. Batırılan yapı çözeltiden çıkarıldıktan sonra soğumuş olan silisyum çözeltisi çekirdeğin üzerine külçe halinde çökmüş olur. Oluşan külçe şeklindeki silisyum 2 aşamada dilimlere ayrılır. Külçe, önce dikdörtgenel yapıya sahip bölmeler şeklinde kesildikten sonra bu bölmeler, parçalara ayrılır. Tüm bu işlemlerden sonra oluşan yapıların pil şeklinde işlenmesi sağlanılır [63]. Kristal silikon PV teknolojisi çeşitlerinin ilki olan mono kristal silikon PV sistemlerde hücrenin tamamı tek bir (mono) kristal silikon yapıdan oluşmaktadır. Monokristal hücrelerin atomik yapısı homojen olup uzun süreli kullanımlardaki dayanıklılığı kanıtlanmıştır. Bu hücreler diğer ticarileşmiş PV sistem teknolojileri arasında en yüksek verimliliğe sahip ve laboratuvar koşullarında verimlilikleri en fazla yüzde 25 olmuştur [46]. Monokristalin silikon güneş pillerinin verimliliğinin az olmasının nedeni, taşıyıcı silisyum tabakalarının yüzeyinde taşıyıcıların re kombinasyon olmasıdır [65].

Monokristal yapıdaki fotovoltaik paneller, atmosferden direkt yansıyan belirli dalga boylarındaki güneş ışınlarının doğru akım (DC) elektrik enerjisine çevrilmesini sağlayan sistemlerdir. Bu sistemdeki güneş pillerinin standart boyutları 100*100 milimetre (mm), 125*125 mm veya 156*156 mm olan hücrelerden üretilmiştir. Üretiminde yararlanılan

voltaj ve güç değerine karşın 36–54–60 veya 72 seri hücre içermektedirler. Şekil 3.10’da monokristal silisyum panelleri gösterilmiştir [66].



Şekil 3.10: Tek kristal silisyum panelleri

3.3.1.2 Çok kristalli silikon güneş pilleri

Silikon üretiminde en çok kullanılan yöntem dökme işlemidir. Başlangıç aşamasında kullanılan malzeme tek kristalli silisyum yapıda kullanılan başlangıç malzemesi ile aynıdır. Aynı zamanda elde etmek istenilen saflık derecesi de benzerdir [54]. Çok kristal silisyum, erimiş bir halde bulunan silisyumun kalıba dökülerek soğumaya bırakılması aşamalarından sonra elde edilir. Oluşan kalıp halindeki yapı karesel ince levhalar halinde kesilir [67].

Çok kristalli malzemelerde bulunan damarların kristal yapılarının birbirlerine doğru yönelmeleri farklılık gösterse bile her iki türün elektrik, optik ve yapısal alanlardaki seçimleri aynıdır. Damarların boyutları, sistemlerindeki kristalin kalitesi ile orantılı olarak değişim göstermektedir [67]. Damarların arasında oluşan süreksizlik durumu, elektrik yükü taşıyıcılarının iletilmesinde büyük ölçüde sınırlandıran bir faktördür. Polikristalli malzemelerin elektriksel özellikleri, daralan damarın boyutlarıyla orantısız olacak şekilde bozulur. Bu durumda çok kristalli yapıdan sağlanılacak kazancın mono kristalli yapıya göre az olmasına sebep olur. Fakat polikristalli silisyum güneş pillerinin üretim teknolojileri sırasında daha az güç harcaması aynı zamanda üretimlerinin daha kolay olması sayesinde güneş pili üretim masrafları önemli ölçüde azaltılmış olur [66].

Polikristalli güneş pilleri kalite verimlilik açısından mono kristalin güneş pillerine göre biraz daha düşük verimli hücreler olmalarına rağmen daha rahat ulaşılabilir ve buna bağlı olarak daha az maliyetli olmaları sayesinde kullanım alanları daha yaygındır. Böylelikle verimlilik/maliyet oranı daha yüksektir [68]. Şekil 3.11’de çok kristalli silikon güneş paneli gösterilmiştir.



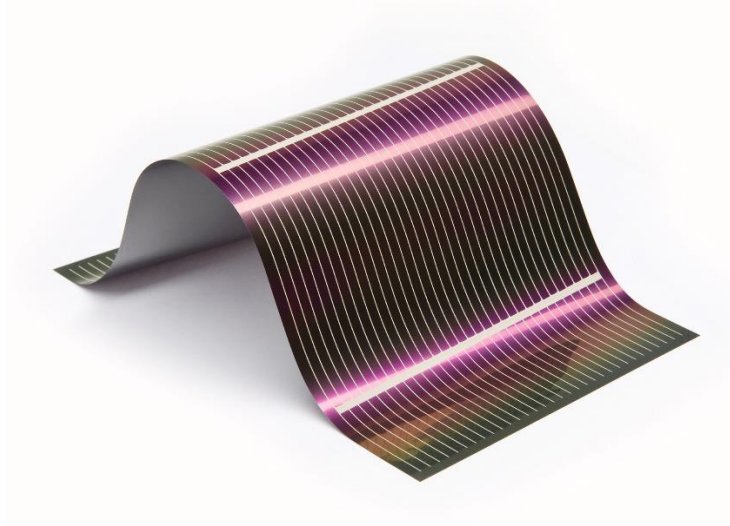
Şekil 3.11: Çok kristalli silisyum panelleri

3.3.2 İnce film fotovoltaik hücreler

İnce film fotovoltaik hücreler yüzeylerinde yüksek ışık yutma özelliklerine sahip olmalarına rağmen verimlilikleri oldukça düşüktür. Bu durumdan dolayı güneş panelleri pazar paylarının küçük bir bölümünü oluştururlar [68]. İnce film güneş pilleri, taşınabilir enerji kaynakları ve giyilebilir elektronik cihazlar için potansiyel uygulamalarla birlikte düşük malzeme tüketimi ve mekanik esneklik avantajlarını sunmaktadırlar [69]

Çok ince yapıya sahip olmaları dolayısıyla hem ışığın yansıtılmasını sağlayan kaplama maddesi hem de güç üreten yapı olarak kullanılırlar. Farklı dalga boyları ile yansıyan ışınım şiddetlerinden elektrik üretilmesini sağlayan katmanlar halinde üretilmektedirler [66]. İnce film fotovoltaik hücreler yıllık olarak kristal silikondan %10 ile %15 daha fazla enerji üretmektedirler.

Mevcut ince film modülleri, tek bir veya çoklu bağlantı konfigürasyonlarında üretilebilirler. Bu tip güneş panelleri CdTe veya CIS (kadmilyum tellürid veya disülfür) olarak kalkojenit bileşikleri üzerinde amorf silikon esaslıdır. İnce film teknolojilerinin son yıllardaki üretim hacmini, hızla büyüyen amorf silikon ve kadmiyum tellürür modülleri oluşturmaktadır [70]. Şekil 3.12’de ince film güneş paneli gösterilmiştir.



Şekil 3.12: İnce film güneş panelleri [10]

3.3.2.1 Amorf silisyum ince film güneş pilleri

Cam ve bazı plastik türlerin örnek olarak verildiği amorf yapı, maddenin katı halindeki atomlarını belirli bir ihtişamla bir araya getiren sistem olarak adlandırılır. Bu tip güneş pilleri, ince film PV panel teknolojilerinin en önde gelen yapısıdır. Ancak amorf katı maddelerin yapılarında bulunan atomlar, periyodik bir düzen içerisinde değildir. Amorf yapılara ait moleküller, tıpkı bazı sıvı yapılarda olduğu gibi gelişmiş güzel biçimde düzenlenmiş olmalarından dolayı mükemmel yapılar olarak da bilinmektedirler [66].

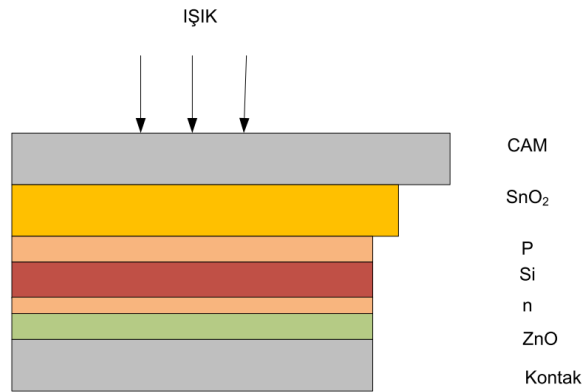
Amorf silisyum yüksek absorpsiyon katsayısına sahip olması sayesinde 300 nm kalınlığında gelen ışığı etkin bir şekilde absorbe edebilir [69]. Amorf silikon güneş pilleri üretim ve işletim aşamalarında; son derece bol hammaddelerden üretilir ve neredeyse yok denilecek kadar az ekolojik risk içerirler. Düşük sıcaklıklarda (200°C veya altı) yapılan işlemler sayesinde düz cam, metal veya plastik folyolar gibi çeşitli düşük maliyetli malzemelerin kullanımı kolaylaştırılmış olur. Amorf silisyumun hidrojen modüllerinin düşük malzeme maliyeti ile üretilebilme ve geri ödeme süresi özelliğinde olmaları karasal uygulamalar için kullanım durumlarını artırmaktadır [71].

Işık boşalım teknolojisi, amorf silisyum için kullanılan en yaygın teknolojidir. Bu yöntemde SiH_4 gazı yani silane gazı ile hidrojen karışımı çift elektrot yapısı arasından geçirilerek elektrotların işaretlerinin yüksek frekanslarda değiştirilmesi sağlanır. Böylece SiH_4 parçalanarak kararsız SiH_3 gazının kökünü oluşturur. Sonraki evrede kararsız halde olan SiH_3 elektrotlardan herhangi birine giderek tutunur ve kararlı duruma gelerek hidrojenin yüzeyden ayrılmasını sağlar ve böylece geride silisyumu bırakır. Sonuç olarak

silisyum gazı ile kaplanmış olan yüzeyde gazın içerisine fosfor veya boron aktarılmasıyla n ya da p tipi yapı oluşabilir [66].

Genel olarak hidrojen bazlı amorf silisyum (a-Si) güneş pilleri, katkılı ve iç katmanların biriktirme sırasına bağlı olarak bir p-i-n veya n-i-p diyot yapısına sahiptir. Her iki yapıda da ışık cihazda delik toplamayı verimli bir şekilde destekleyen p-katmanından girmektedir. Bunun nedeni elektronlara kıyasla deliklerin daha küçük hareket etmeleridir. Şeffaf bir iletken oksit (TCO) film, ön taraftan a-Si hidrojen diyotuna temas eder ve en basit durumda, bir metal film hem arka kontak hem de arka reflektör görevi görür. Katkılı katmanlar olarak adlandırılan n ve p katmanların kalınlıkları çok ince olup 10–30 nanometre (nm) aralığındadır. Katkısız iç katman (i) kalınlığı 200–500 nm arasında olup biraz daha kalındır [71].

A-Si bant boşluk enerjisi, yaklaşık olarak 1,7 eV değerinde olup bant boşluk enerjisi 1,1 eV olan kristal silikon yapıya sahip olandan daha yüksektir. Bir fotovoltaiik hücrenin ürettiği gerilim, onun bant boşluğunun büyüklüğü ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu nedenle, amorf silisyumdan yapılan fotovoltaiik güneş paneli hücrelerinin ürettiği gerilim, kristal silikondan yapılanlara göre daha yüksektir [54]. Şekil 3.13'te amorf silisyum güneş pilinin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Amorf güneş pillerinin yapısal görünümü

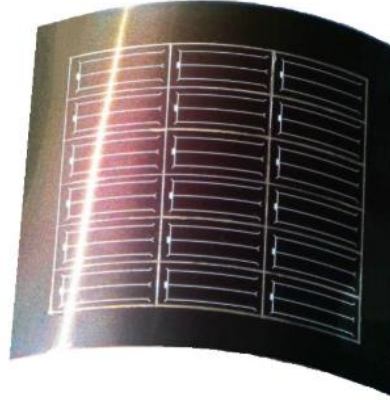
3.3.2.2 Kadmiyum tellürid (CdTe) ince film fotovoltaiik hücreler

Kadmiyum-tellür (CdTe) ince film yapısı iki valans elektron sayısına sahip kadmiyum (Cd) elementi ile valans elektron sayısı altı olan tellür (Te) elementinin bir araya gelmesiyle oluşan bileşiklerdir. Oluşan bu yapının enerji bant aralığı 1.42 eV'tur [72].

Kadmiyum-tellür (CdTe) malzeme içeren ince film PV hücreler, fotovoltaik uygulamalar için en önemli yapılardan biridir. Kadmiyum-tellür tabanlı güneş pilleri, önemli ölçüde yüksek ışık-akım dönüşüm verimliliğine sahiptirler [73].

Uygun maliyetli ve temiz güneş enerjisi üretimi için alternatif bir yol olan CdTe ince film güneş pilleri, fotovoltaik cihazlar ve çevre dostu enerji açısından çok önemli sistemlerdir. 1972'den beri araştırmacılar CdTe güneş pili cihazları üretmişler ve verimliliği üzerine çalışmalar yapmışlardır. Başlangıçta %6 gibi bir verime sahip olan CdTe ince film güneş pillerin zamanla verimleri % 16,5'e yükseltilmiştir [74]. Son 10 yılda yapılan çalışmalara göre CdTe yarı iletken bileşimini içeren ince film PV teknolojilerinin,

- Üretim maliyetlerinin düşük olması,
- Kristal silikon gibi diğer güneş pili malzemelerine kıyasla olağanüstü güvenilirlik sağlaması,
- Tüm yaşam döngüsü süreci boyunca azaltılmış çevresel etkiler sayesinde modülünün verimliliği %18'e ulaşmıştır [75]. Şekil 3.14'te kadmiyum-tellür bileşiği ile üretilmiş bir fotovoltaik güneş paneli gösterilmiştir [55].



Şekil 3.14: CdTe ince film güneş paneli

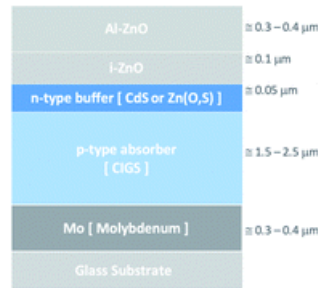
3.3.2.3 Bakır indiyum galyum selenid (CIGS) ince film fotovoltaik hücreler

İnce film güneş hücrelerinin diğer bir türü olan ve CISG olarak simgelenen fotovoltaik hücre bakır, indiyum, galyum ve selenyum ile yapılan yarı iletken malzemelerden tasarlanmıştır. Bu tip fotovoltaik hücreler, yarı iletken malzemenin esnek bir taban ya da yüzey üzerine yerleştirilmesiyle elde edilir [76]. Fotovoltaik teknolojiler arasında, bakır indiyum galyum selenid (CIGS) ince film güneş pilleri, düşük maliyet ve uzun vadede istikrarlı performansları ile yüksek güç dönüştürme verimliliğine sahiptirler. Bu tip güneş

panellerinin gelecekteki enerji sorunları için en umut verici fotovoltaik teknolojilerden biri olduğu öngörülmektedir. Bakır indiyum galyum selenid ince film fotovoltaik hücreler Ga ve In bileşim oranına bağlı olarak 1.04 ila 1.67 eV arasında değişkenlik gösteren bant aralığına sahiptirler. Böylelikle verimliliği artırmak için inanılmaz bir potansiyele sahiptir [77].

CIGS PV hücrelerin olağan yapısı, Şekil 3.15’de görüldüğü gibi aşağıdan yukarıya doğru 6 katmandan oluşmakta olup her katmanın tipik kalınlığı belirtilmiştir. Alt katmanda bulunan soda-kireç camı substratı, CIGS filmlerin sodyum takviyesine yardımcı olmaktadır. CIGS’nin p-tipi emici katmanı bir metalik molibden (Mo) ve CIGS'nin n-tipi tampon katmanı kadmiyum sülfür (CdS) veya çinko oksit sülfür (Zn (O, S)) yapılarından oluşur. Bu katmanları ince bir yüksek dirençli çinko oksit (i-ZnO) tabakası ile alüminyum katkı çinko oksitin şeffaf tabakaları (ZnO Al) takip eder [78].

CIGS ince film fotovoltaik hücreler %10 düzeyinde bir verimle diğer ince film fotovoltaik hücrelerden daha yüksek bir verime sahiptir. CIGS hücrelerinin tasarımında, düşük maliyetli depolama yöntemleri uygulanır ve CIGS hücreleri verim bakımından kadmiyum tellürden tasarımılanan güneş hücrelerini geçmesi beklenmektedir [76].



Şekil 3.15: CIGS tabanlı güneş pillerinin şematik yapısı [78]

3.3.2.4 Galyum arsenit (GaAs) ince film fotovoltaik hücreler

Galyum Arsenit ince film fotovoltaik sistemler, periyodik tablonun III. ve V. gruplarında yer alan elementlerin nanoyapıları, modifiye edilmiş yüksek yoğunluklu odaklama cihazında, yüksek sıcaklık ve son derece düzensiz argon plazması tarafından üretilen GaAs iyonlarının yardımıyla altın kaplı silikon substrat üzerinde üretilir [79]. 17 nm ila 21 nm aralığında ortalama boyuta sahip nanoyapıların, güneş pili uygulamalarında oldukça geniş bir optik aralığa sahip olduğu bilinmektedir. Elde edilen optik ve elektriksel taşıma

özellikleri, bu şekilde elde edilen GaAs nanoyapılarının, güneş pili uygulamaları için potansiyel aday olduğunu göstermektedir [80].

Galyum arsenit ince film güneş panellerin verimli ışık absorpsiyonu sayesinde yüksek performanslı PV panelin kristalliğini bozmadan birden çok kez yeniden kullanılmasını sağlar. Bu sayede üretim maliyetini önemli ölçüde düşürmektedir. Düşük maliyetli ince film fizibilitesi ile teknolojik araçlar dâhil olmak üzere mobil ve giyilebilir uygulamalarda ticarileşmeye yardımcı olmaktadır [81].

GaAs bileşiği sayesinde laboratuvar koşullarında %25 ile %28 kazanç sağlanmaktadır. Başka yarıiletken maddelerle oluşumu sağlanan çok eklemli uygulamalarda bu pillerden elde edilen verim %30'a ulaşılmıştır [82].

3.3.3 Fotovoltaik güneş pillerinde verimlilik

PV güneş pillerinin verimlilikleri, koruyucu camın geçirgenliğine, atmosferik ve meteorolojik olaylara, sistem eklemlerinin buldukları yerlerin düzgünlüğüne, bağlantı düzeneklerinin yapılarına, gün içerisindeki güneş radyasyonu verilerine ve yapılarında kullanılan donanımsal ekipmanların verimliliğine bağlıdır. Çizelge 3.1'de Fraunhofer Enstitüsü tarafından yapılan araştırmaya bağlı olarak güneş pillerinin en yüksek verimlilikleri ve Çizelge 3.2'de fotovoltaik panellerin yapımında kullanılan malzemelerin dünya rezervleri gösterilmiştir [64].

Çizelge 3.1: Fotovoltaik Hücrelerin Verimlilik Karşılaştırılması [64]

PV Panel Çeşiti	Alan (cm ²)	Verimlilik (%)	Üretilen Birim
Monokristal Silikon	4	24	UNSW, Sydney Avusturya
Çok Kristalli Silikon	21,2	17,4	ISE, Freiburg Almanya
Amorf Silikon	1	14,7	United Solar
(Cu/In, Ga) Se ₂	0,4	17,7	NREL, USA
CdTe/CdS		15,8	USA
GaAs Tek Kristal	1	23,9	K. Univ, Nijmegen Hollanda

Çizelge 3.2: PV Panel Yapımında Kullanılmış Olan Malzemelerin Dünya Rezervlerindeki Miktarları [64]

Element	Dünya Rezervleri	Dünya Yıllık Üretimi	500 MW güç için gereken miktar (Ton)
Cd	970.000	20.000	25
Te	39.000	404	28
In	5700	180	28
Se	130.000	2000	60
Ga	1.000.000	35	5

3.4 Güneş Enerjisi Santralleri

PV güneş enerjisi santralleri, güneş enerjisinden elektrik üreten dolaylı teknolojilerden biri olarak bilinmektedir [83]. Güneş enerjisi geri kazanım açısından birçok teknolojiler arasında parabolik güneş kolektörleri ve geleneksel alternatifler yerine ısı transfer akışkanları olarak nanoakışkanlar kullanılırsa geliştirilebilecek performansları sayesinde umut verici yöntemlerden biri olarak yer almaktadır [84].

Güneş panelleri uygulamalarda; invertörler, akümülatörler, akü şarj kontrol araçları ve birçok elektroniksel aygıtlar ile beraber kullanımı sağlanılarak fotovoltaiik bir hücre meydana getirirler. Oluşan bu yapılar yakın gelecekte yalnızca yerleşim mekanlarından uzak, elektrik şebekesi bulunmayan bölgelerde değil, aynı zamanda elektrik şebekesinin olduğu bölgelerde de şebekeye bağlı olacak şekilde evlerin çatılarında ve büyük güçte sahip santrallerde kullanımları artacaktır [10].

3.4.1 Şebekeden bağımsız (off grid) PV sistemler

Şebekeyle bağlantılı olmayan fotovoltaiik sistemler, elektrik şebekesinin ulaşmadığı ya da olmadığı yerlerde elektrik ihtiyacının giderilmesi için uygulanmakta olup enerjinin, aküler ya da büyük güçlü kapasitörler yardımıyla depolanarak ihtiyaç anında tüketilmesi sağlanmaktadır. Bu tür sistemler şebekeden bağımsız oldukları için frekans uyum sorunları oluşmamaktadır. Bağlantı yapıları oldukça basittir. Birincil yatırım maliyetlerinin arkasından olası bir bakım ve onarım masrafı bulunmayan bu tür yapılar genel olarak kırsal alanlarda kullanılmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemlerin dezavantajlarına bakıldığında enerji sistemlerinin voltaj uygunluk problemleri ile karşılaşmaktadır. Sistem içerisinde

bulunan elemanların çıkış gerilimlerinin daima eşit tutulması gerekmektedir. Şebekeden bağımsız sistemlerde en önemli eleman DC/AC dönüştürücü yapan inverter elemanıdır. Sonuçta sistemin temel amacı yüklerin temiz ve kesintisiz bir enerji ile beslenmesinin sağlanmasıdır. Sonuçta dönüştürücüde oluşabilecek herhangi bir arıza esnasında yükün enerji iletimi duracağından dolayı sistem devre dışı kalacaktır. Bu doğrultuda AC yükten önceki son eleman olan inverterin yani çeviricinin çok iyi seçilmesi gerekmektedir. Bu tür sistemlerin en önemli dezavantajı kurulumlarında çok fazla güç elektroniği elemanına ihtiyacın olmasından dolayı maliyet artmaktadır. Ayrıca akülerin ekonomik ömürleri çok uzun olmadığı gibi maliyetleri de fazla olmaktadır [48-84].

Şebekeden bağımsız (off grid) fotovoltaiik sistemler tarafından DC elektrik makineleri, LED aydınlatıcılar, haberleşme aygıtları vb. gibi DC yükler ve AC yükler olarak bilinen motorlar, pompalar, aydınlatmalar vb. beslenebilmektedir (Şekil 3.16) [10].

Şebekeden bağımsız PV sistemlerin kullanıldığı birkaç uygulama sahası aşağıda belirtilmiştir.

- Işıklandırma
- Demir yolu yaya geçidi ışığı
- Konut aydınlatması
- Güneşe maruz kalan küçük konutlar
- Köprüler, kuleler gibi metal tesislerin korozyondan korunması
- Deniz fenerleri
- Dağlık alanlardaki evler ya da yerleşim bölgelerinden uzakta bulunan meskenlerde televizyon, radyo, buzdolabı, çamaşır makinesi vb. elektrikle çalışan cihazların kullanılması
- Su ve elektrik şebekelerinin dağıtım yapılarında kullanılan telemetrik ölçümler, hava gözlem sahaları [9-85].



Şekil 3.16: Şebekeden bağımsız (off grid) FV santral bileşenleri genel yapısı [87]

3.4.2 Şebeke bağlantılı PV sistemler (grid-connected PV system)

Fotovoltaik santrallerin başka türü de elektrik enerjisinin dağıtım şebekesiyle bağlantılı olan sistemlerdir. Uygulamalarda birçok farklı detaylar olmasına rağmen enerjinin gerekli olduğu uygulamalarda kullanılmakta olup şehir şebekesine bağlanabilme ve gerekli durumlar içinde ağa elektriksel enerji iletimi sağlayabilme özelliğe sahiptirler [86].

Şebeke ile bağlantılı sistemler iki gruba ayrılmaktadır. İlk olarak, güneş panelleri ile oluşturan sistem sayesinde elektrik enerjisinin üretiminin sağlanarak şebeke üzerine takviye edilmesi veya elektriksel enerji ticareti yapmak amacıyla kurulmuş yapılardır. Böylesi sistemlerde üretimi sağlanan enerji, büyük yükleri beslemek için değil ancak direkt olarak şebeke üzerine aktarımı ve satışının sağlanması için birçok ölçüde oluşturulabilirler. Kurulan sistem sayesinde üretilen gücün uzak bölgelere taşınması sağlanmadan önce yakınlardaki dağıtım şebekelerine bağlanması ile iletim/dağıtım kayıplarını en az oranda tutarak veriminin yüksek olması sağlanmaktadır [88].

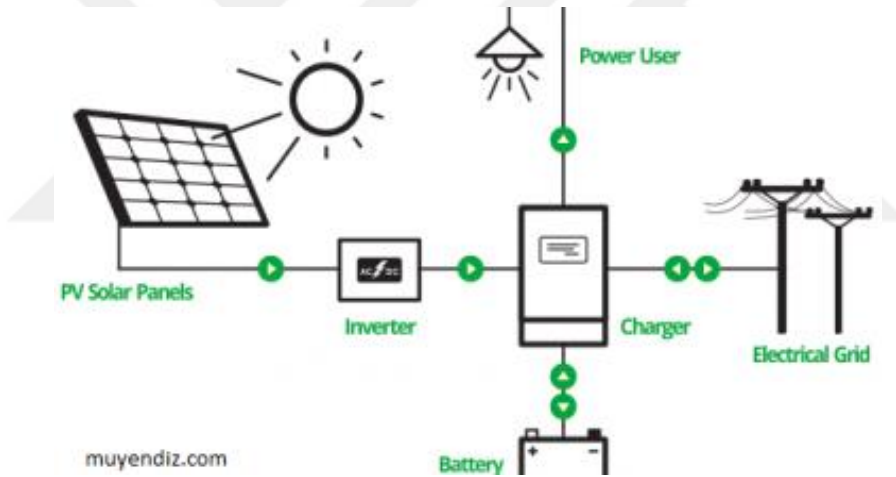
Şebekede meydana gelen gerilim/akım harmonikleri, reaktif güç kompanzasyonu, gerilim düşümü vb. gibi şebeke ve güç kalitesi sorunları şebekeye bağlı PV sistemleri için önemli durumlardır. Bu durumlardan ötürü sistemin gerçekleştirilmesi gereken iki önemli görevi vardır. Bunlardan ilki uygun maksimum güç noktası takibinin (MPPT) dönüştürücü yardımıyla güneş panellerinden gelen maksimum gücün izlenmesi; ikinci durum ise şebekedeki sinüzoidal voltaj seviyesinin aynı seviyelerde olmasının sağlanmasıdır [89].

Elektrik şebekesine kurulması istenilen bir yapının, sistemsel, elektriksel ve şebeke bakımlarından emniyetli olması ve aynı zamanda nitelikli bir yapının senkronizasyonu

oldukça önemli bir durumdur. Şebekeye bağlantılı yani enterkonnekte olacak şekilde bağlanan bu yapıda olması gereken özellikler aşağıda belirtilmiştir.

- Fotovoltaik sistemin çıkış geriliminin frekansı ile şebekenin frekansı senkronize edilmelidir.
- PV sistemin terminal çıkış geriliminin değeriyle şebeke geriliminin seviyesi eşit olması gerekir.
- 3 fazlı şebekenin faz sıralaması, PV yapı çıkışındaki faz sıraları ile aynı olmalıdır.
- Şebeke ve PV yapı arasında, faz açısı senkronize olmalıdır [88].

Ayrıca fotovoltaik sistemde oluşabilecek herhangi bir problemde (şebeke frekans dalgalanmaları, gerilim yükselmesi vd.), şebeke bağlantısının çeşitli kontrol sistemleriyle kesilmesi sağlanarak, elektrik şebekesinde oluşturacak olası zararların önüne geçilmelidir [88]. Şekil 3.17’de şebekeye bağlantılı fotovoltaik sistemin genel yapısı gösterilmiştir.



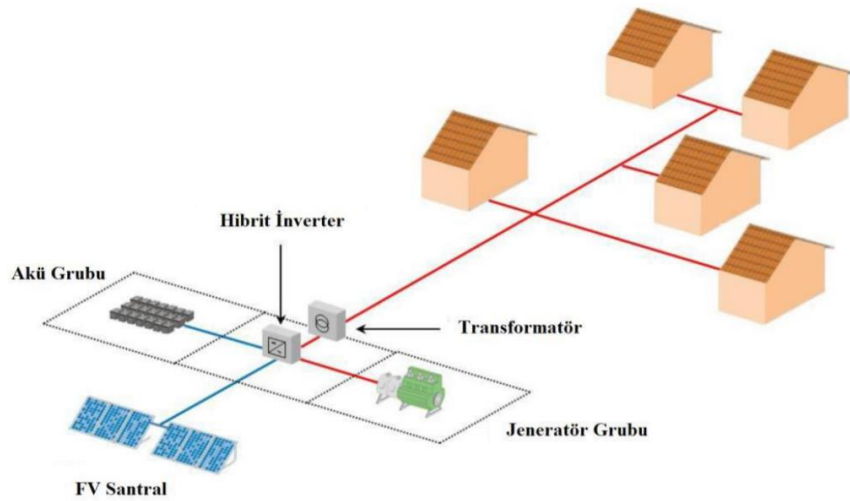
Şekil 3.17: Şebekeye bağımlı (on grid) FV santral bileşenleri genel yapısı [90]

3.4.3 Hibrit (hybrid) fotovoltaik sistemler

Bilim insanları son 30 yıl içerisinde fotovoltaik sistemlerden elde edilen verim oranını arttırmak için birçok çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalar doğrultusunda birçok farklı malzeme ve sistem hazırlanmıştır. Yüksek sıcaklıklarda panelin veriminin düştüğünü ve bunun için panelin soğutulması gerektiği kanısına varılmıştır. Bunun için fotovoltaik modülden termal enerji çekilerek panel modülünün sıcaklığının azaltılmasıyla verimlilik artırılabilir. Bu doğrultuda normal fotovoltaik sistemlere ek düzenek eklenerek, elde edilen yapıdan doğal veya zaruri olacak şekillerde hava ya da su geçirilmesinin sağlanmasıyla fotovoltaik/termal (PVT) hibrit sistemleri oluşturulur. Sonuç olarak hibrit sistemlerinin

amacı, fotovoltaik sistemlerden fazla ısıyı bir akışkan veya farklı bir tasarımla azaltarak panellerin uygun bir sıcaklığa ulaşmasını sağlayıp panelin daha verimli bir şekilde çalışmasını sağlamaktır [91].

Hibrit sistemler, şebekeye bağımlı fotovoltaik sistemlerin aküler yardımı ile enerji depolayabilen halidir. İlk olarak fotovoltaik sistemden elde edilen elektriğin ihtiyaçlar dâhilinde kullanılması amaçlanmaktadır. PV panellerden elde edilen elektriksel güç, güneşin yaydığı ışınların az miktarda olduğu anlarda kullanımının sağlanması için akülerde depolanır. Güneşlenme zamanı boyunca akülerin şarjı dolu ve ihtiyaç gücü üretim gücünden az ise üretilen fazla gücün şebekeye satılarak sistem sahibinin gelir elde etmesi amaçlanmaktadır [92]. Hibrit sistemin genel yapısı şekil 3.18’ de gösterilmiştir [10].



Şekil 3.18: Hibrit FV santrale ait bileşenlerin genel yapısı [10]

4. GÜNEŞ PANELLERDE VERİM

PV panellerinin verimleri 1000w/m^2 güneş ışınım değerinde, 25°C sıcaklık ve 1,5 kütle hava oranı olarak standart test koşulları baz altında belirlenmesi sağlanmaktadır. PV bir güneş pili tarafından üretilen gücün değeri hesaplanabilmektedir. Fotovoltaik bir güneş hücresinin verimi PV hücrenin ürettiği maksimum güç ile yine bu hücre üzerine düşen maksimum güç değerlerinin birbirlerine oranı olarak ifade edilir ve η sembolü ile gösterilmektedir. PV panelin maksimum gücünün çıkış değeri P_m ve atmosferin haricinde birim yüzey alanına etki eden güneş radyasyonu değerinin optik giriş gücünün değeri P_{in} olmak üzere verim,

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \quad (4.1)$$

ile hesaplanmaktadır [93].

PV panellerin kazancını belirlemek için üç temel parametre olan açık devre gerilimi (V_{oc}), kısa devre akımı (I_s) ve doluluk faktörü (fill factor) değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Uzun uygulamalarında ise bu parametrelerin yanına radyasyon kaybı katsayısı verisi de eklenmektedir [10].

Açık devre gerilimi (V_{oc}): PV güneş pilinin dış devresinde yer alan ve yük direnci olarak adlandırılan R_L direnç değerinin çok yüksek olduğu yani devreden geçen akımın 0 olması durumunda pilin uçları arasında görülen gerilim değeridir [93].

Kısa devre akımı (I_s): Bir PV güneş pilinin terminallerindeki gerilim değerinin sıfır olması halinde, güneş ışınımı altında bulunan PV hücreden akan akım değerine kısa devre akımı denilmektedir. Aynı zamanda devre direncinin, pilin dış devresinde bulunan R_L direncinden büyük olduğu anlarda oluşan bu akım değeri; seri dirençlerden dolayı ortaya çıkan kayıpların yok sayılması durumunda, ışınım ile oluşan akım değerine eşit olup, ışınım şiddetiyle doğru orantılı olarak değişim göstermektedir. [93].

Doluluk çarpanı (Fill Factor/FF): Bir ışınım altında bulunan fotovoltaik modülde akımların negatif, gerilimlerin artı olduğu alanlarda belirlenen maksimum $V_{mpp} \times I_{mpp}$

değerinin $V_{oc} \times I_{sc}$ 'ye orantısı olarak ifade edilmesidir. Bir diğer ifadeyle maksimum çıkış gücünün, boşa çalışma gerilimi ile kısa devre elektrik akımı çarpımına oranı doluluk oranını vermektedir. Doluluk çarpanı genel olarak bir fotovoltaik hücrenin elektrik üretim kalitesini göstermek için kullanılmakta olup FF ile gösterilmektedir. Grafıksel olarak belirtilecek olursa güneş cihazının I-V eğrisinin "köşeliğinin" ölçüsüdür ve I-V karakteristik eğrisine girecek en geniş dikdörtgenin alanı olarak ifade edilir [94].

$$FF(\%) = \frac{P_{\max}}{P_t} = \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (4.2)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır [94].

Fill faktörü değeri, PV hücrenin ideal olmasını belirleyen bir faktör olup ideal güneş hücresi için 1 değerine eşittir. Fill faktör parametresinin fazla çıkabilmesi adına, devreye seri olarak bağlanmış R_s direnç değerinin, A_o yani diyodun ideal olma faktörünün, ters saturasyon akım yoğunluğu değerinin (J_o) ve sıcaklık (T) değişkenin küçük; yasak enerji bandının (E_g) ve şönt direnç değerinin (R_{sh}) yüksek olmalıdır [93].

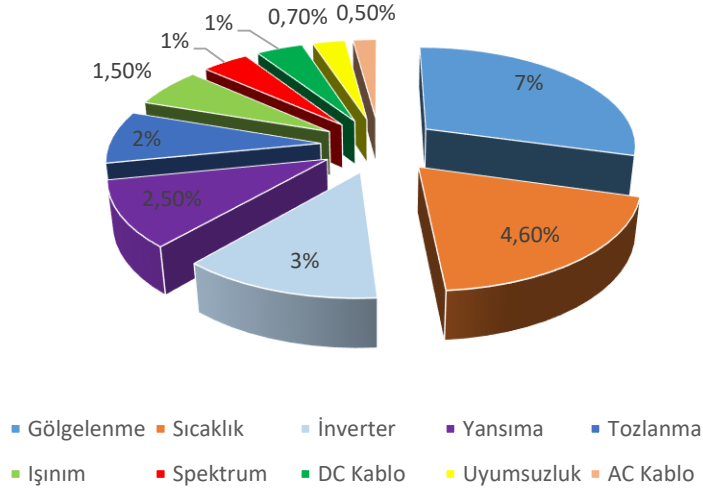
$$\eta = \frac{(V_{oc} \times I_{sc})^{FF}}{P_{in}} \times 100(\%) \quad (4.3)$$

formülü ile verim hesabı yapılmaktadır [93].

4.1 Fotovoltaik Güneş Pillerinin Verimine Etki Eden Parametreler

Güneş enerjisi santrallerinin ürettiği elektrik enerjisi pek çok etkene bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu etkenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Fotovoltaik sistemi meydana getiren bileşenlerin karakteristik değerleri
- Fotovoltaik sistemin yapısı
- PV sistemin coğrafik konumu
- Yanlış kurulum ve bir takım hesaplama hataları
- Çevresel faktörler
- Fotovoltaik panelin bulunduğu bölgenin iklim koşulları
- Üretim esnasında meydana gelebilecek bir takım arızalar bunlardan bazıları olarak sıralanabilir. Şekil 4.1'de bazı kayıpların güneş enerjisi sisteminin verimi için kayıp oranları verilmiştir [93].



Şekil 4.1: Fotovoltaik sistemlerde oluşan kayıplar

4.2 Çevresel Parametrelerin Fotovoltaik Panel Verimine Etkileri

Fotovoltaik güneş panelleri yapılarındaki yarı iletken malzeme baz alınarak güneşten elde edilen ışınım enerjisinin %6 ile %20 kazançla elektriksel enerjiye dönüştüren sistemlerdir. PV panel verimine etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Panel eğim açısı,
- Gölgeleme,
- Toz, çamur gibi çevresel durumlar,
- Güneş ışınım şiddeti,
- Rüzgâr hızı
- Sıcaklık, nem gibi meteorolojik faktörler ve diğer kayıplar.

Yukarda bahsedilen etmenler içerisinde “güneş radyasyon değeri” ile “sıcaklık” panel verimini etkileyen önemli parametrelerdir. Bir gün süresince değişkenlik gösteren güneş radyasyonu değeri ve sıcaklık vb. atmosfer koşullarında panelden elde edilecek kazancı devasa miktarda etki etmektedir. Böylece atmosfer şartlarının değişmesiyle güneş ışınım değeri ve sıcaklığın panel verimi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Ancak fotovoltaik sistem üreticileri kataloglarını, laboratuvar koşullarında 1000 W/m² güneş ışınım şiddeti ile 25°C hücre sıcaklığı ve hava kütle oranı (AirMass-A.M) 1.5 şartlarında gerçekleştirdikleri Standart Test Koşulları (STC) olarak adlandırılan testler

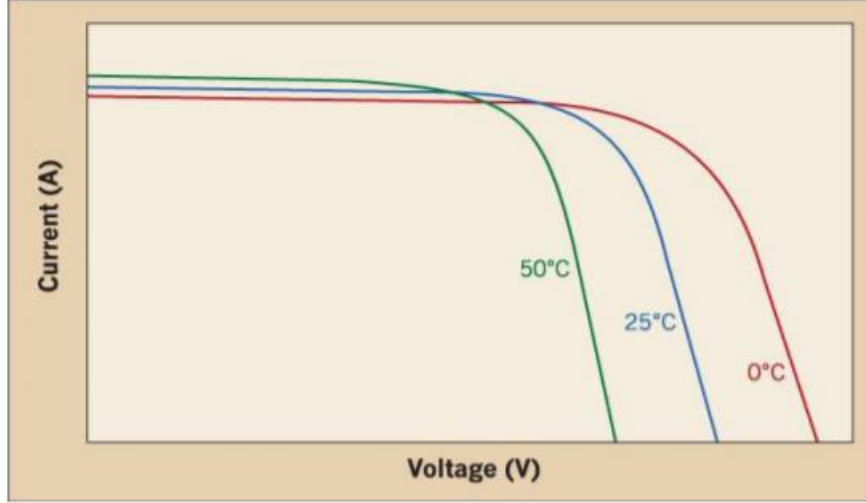
sonucunda, panelin elektriksel değerlerini belirtmişlerdir. Bu standart test koşulları haricindeki değişimlerde panelin elektriksel değerleri bilinmemektedir. Şebeke ile bağlantısı olmaya veya bağlantılı fotovoltaik panellerin yapımında değişkenlik gösteren atmosfer koşulları dikkate alınarak panel verim çıkarımlarının yapılması oldukça önemlidir [95].

4.2.1 Güneş ışıının şiddetinin panel verimine etkileri

Fotovoltaik güneş paneli sistemlerinde güneşin yaydığı ışıının miktarı panelden elde edilen güce önemli bir ölçüde etki etmektedir. Işıma ile elde edilen ve fotovoltaik kısa devre akımı olarak bilinen fotoakımın genliği, güneşin yaymış olduğu ışıının şiddetiyle doğru orantılı olacak şekilde değişkenlik göstermektedir. Fotovoltaik sistemin normal çalışma aralığına ait foto-çevirme kazancı güneş radyasyonu değişimlerinden çok etkilenmediği gibi gücün aynı kalacağı anlamına da gelmemektedir. Bir diğer ifadeyle verimin sabit olduğu durumlarda giriş gücü azalacağından dolayı çıkıştaki güç değeri de düşecektir. Bu bağlamda fotovoltaik panelden elde edilen akımın güneş ışıının şiddetiyle orantısal olarak artış gösterdiği bilinmektedir [10]. Ancak önemli ölçüde değişkenlik gösteren ışıının değeri ile akım değeri değişse bile gerilim neredeyse sabit kalır [96].

4.2.2 Ortam sıcaklığının ve fotovoltaik hücre sıcaklığının etkileri

Çevre sıcaklığındaki artış fotovoltaik hücre sıcaklığının da artmasına sebep olmaktadır. Bu bağlamda fotovoltaik panellerin verimli bir şekilde çalışmasında sıcaklığın etkisi oldukça önemlidir. PV panellerde, havanın açık olduğu soğuk bir günde, sıcak havaya göre performansın daha yüksek olduğu bilinmektedir. PV' lerin kısa devre akımı sıcaklığın orantısal artışıyla yükselme eğilimi göstermesine rağmen açık devre voltajı ve dolun faktörü logaritmik olarak azalma göstermektedir. Sonuç olarak üretilen güç daha düşük değerlerde olmaktadır. Diğer bir ifadeyle fotovoltaik hücre sıcaklığı arttıkça PV den elde edilen güç düşmektedir. Şekil 4.2'de fotovoltaik sistemlerin farklı çalışma sıcaklık değerlerinde oluşun I-V eğrileri gösterilmektedir [10].



Şekil 4.2: Fotovoltaik sistemlerin farklı ortam sıcaklıklarında değişimi

Fotovoltaik hücre sıcaklığı (T_C), hava sıcaklığı (T_a) ve ışınım değeri (G) değeri için nominal bölge sıcaklığı baz alınarak aşağıdaki biçimde hesaplanabilmektedir [97]:

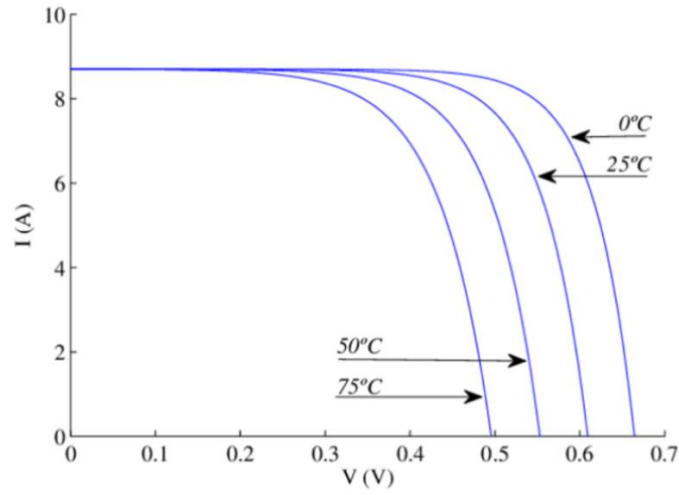
$$T_C = T_a + \frac{\text{Nominal sıcaklık} - 20}{0.8} G \left(\frac{kW}{m^2} \right) \quad (4.1)$$

Elde edilen sıcaklık değeri, PV panel gücünün sıcaklığa bağımlılık katsayısı (μ_p) ile panelden elde edilen güç hesaplanabilir [97]:

$$P_m(T_C) = P_{m,STC} [1 - \mu_p (T_C - 25)] \quad (4.2)$$

Denklem 4.2’de belirtilen (P_m), standart test koşullarında (STC) panel gücünü temsil etmektedir. T_C nominal işletme sıcaklığı 40-50°C aralığında değişim göstermektedir. 10°C sıcaklık farklılığı ise μ_p olarak belirtilen sıcaklığa bağımlılık katsayısı olarak ifade edilmektedir [97].

Fotovoltaik panellerin çalışma sıcaklığının değişmesi ile akım (I)- gerilim (V) eğrilerinde gözlenen değişim Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Hücre sıcaklığındaki her 10°C artışta birlikte üretilen gerilim yaklaşık 0,5V azalmaktadır [97].

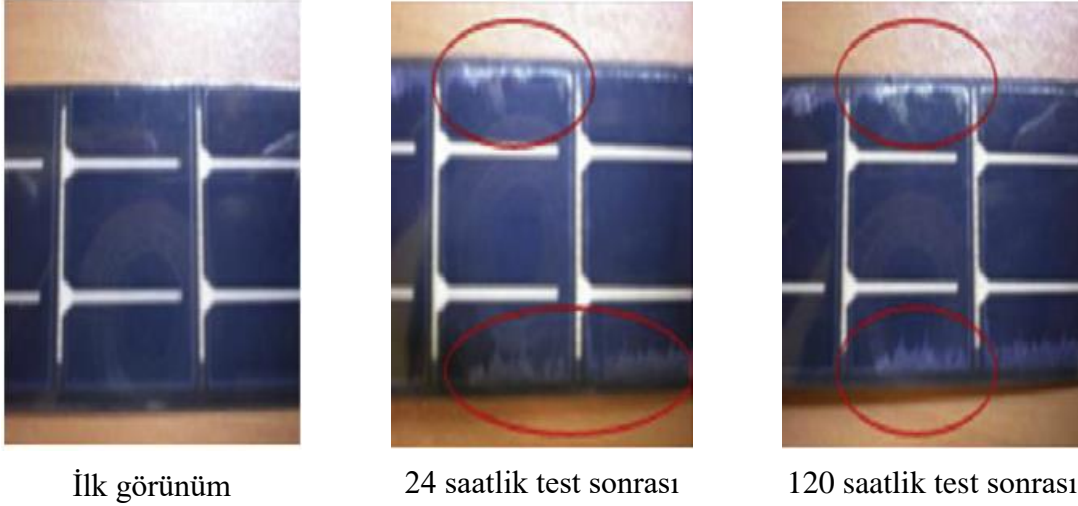


Şekil 4.3: Değişen sıcaklık değerlerine bağlı olarak panel I-V grafiği [97]

4.2.3 Nem ve rüzgâr hızının etkileri

Güneş panellerinin verim analizinde nemin etkisini analiz edilirken, önemli iki durumun dikkate alınması gerekmektedir. İlk senaryo, su buharı parçacıklarının güneş ışığının ışınım düzeyine etkisi iken ikinci senaryo, güneş pili hücresine nem girişidir. Işık su damlacıklarına çarptığında absorblanabilir, yansıtılabilir veya saçılmaya uğrayabilir. Bu 3 durumdan dolayı nem, güneş radyasyonunun doğrudan alım seviyesini düşürerek ışımayı lineer olmayan bir şekilde değiştirir. Işımanın kendisi, V_{OC} 'de lineer olmayan bir şekilde küçük değişikliklere ve I_{SC} 'de ise lineer olarak büyük değişikliklere sebep olmaktadır [98].

Atmosferdeki homojen olmayan dağılım ve geniş su buharının partikül boyutları aralığı, güneş ışınımının bağıl nem ile doğrusal olmayan sapmalarına neden olmaktadır. Bu durumda daha küçük su buharı parçacıkları, daha büyük saçılma açıları meydana getirmekte olup daha fazla kırınım da atmosferde daha fazla su buharı parçacığının oluşmasına neden olur. Mekhilef vd. nemin güneş panelleri üzerine etkilerini inceledikleri çalışmalarında PV hücreler uzun süre neme maruz kaldıklarında, Şekil 4.4'teki görünümü elde etmişlerdir. Panel yüzeyinde oluşan aşınmalardan ötürü panellerde performans düşüklüğü olduğu gözlenmiştir [98].



Şekil 4.4: Nemin panel yüzeylerinde oluşturduğu zamana bağlı aşınmaların değişimi [98]

Panel verimine etki eden bir diğer faktör ise rüzgâr hızıdır. Ancak burada detaylı olarak üzerinde durulması gereken konu rüzgârın yönüdür. Özellikle çatılara kurulan PV'lerin çatıya entegre olması veya açıkta olması durumlarında rüzgârın yönü önemli bir etmendir. Bu durumda panellerden elde edilen enerjiler karşılaştırıldığında; çatıya entegre edilmiş olan panellerin fazla sıcak olması durumu göz önüne alınarak meydana gelen enerjinin bölgeye dayalı olarak %3 ile %5 daha az olduğu ortaya konulmuştur. Rüzgârın hızının artmasıyla ısı taşınım katsayısının artarak rüzgâr yönünün rüzgâr açısı olarak adlandırılan yüzeyin normali ile yaptığı açının azaldığı ve bu durumda ısı taşınım katsayısının arttığı gözlenmektedir. Bu sayede rüzgârlı durumlarda panel veriminin önemli bir ölçüde daha yüksek olduğu bilinmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda rüzgarın üretilen gücü ortalama % 3-4 aralığında arttırdığı kanısına da varılmıştır [99].

4.2.4 Toz birikintisinin etkisi

Toz, çapı 500 mikrometreden daha küçük olan katı parçacıklar olarak tanımlanmaktadır. Toz birikintisi, çeşitli çevresel ve hava koşullarının bir sonucudur. Toz yerleşimi esas olarak toz özelliklerine (kimyasal özellikler, boyut, şekil, ağırlık vb.) ve çevre koşullarına (sahaya özgü faktörler, çevresel özellikler ve hava koşulları) bağlıdır. Tozun güneş pilleri üzerindeki etkisini araştırmak için farklı çalışmalar yapılmıştır [98]. Yüzey kirliliği, fotovoltaik panel performans kaybında önemli bir ölçüt durumundadır. Performans kaybı, tipik olarak tozlanmış, kirlili bir PV panelinin, aynı konuma ve ortama yerleştirilmiş temiz özdeş bir PV paneline kıyasla performans kaybının yani elektrik enerjisi çıkışı yüzdesini ifade etmektedir. Fotovoltaik panel performans kapsamında; sıcaklığa karşı duyarsızlığı ve ışınlamaya bağlı değişkenlik göstermesi nedeniyle kısa devre akımı kullanılabilir [100].

Yüzey kirlenmesinin neden olduğu performans kaybını; panel eğim açısı, güneş geliş açısı, tozun parçacık boyutu ve kimyasal bileşimi, fotovoltaik panel yüzey malzemesi ve hava durumu modelleri (rüzgâr, yağış, nem vb.) gibi birçok faktör etkilemektedir. Tozla kaplı eğimli paneller üzerinde analiz yapılırken doğrudan güneş radyasyonu değerleri dikkate alınarak hesaplamalar formüle edilmiştir. Daha geniş açılarla eğilen modüllerin yüzeylerinde daha az toz birikmesiyle daha az geçirgenlik düşüşünün sağlandığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca daha ince parçacıkların PV verimliliğini daha büyük parçacıklardan fazla etkilediği belirlenmiştir [98].

Rüzgâr hızı arttıkça zemine göre toz birikimi azalırken daha fazla toz birikimi meydana gelecektir. Aşırı toz birikimi, güneş pilinin kalitesinin ve dolun faktörünün bozulmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda PV modüllerinin performansı, daha fazla toz birikmesiyle kat ve kat düşüş gösterir. Yüksek nem durumunda ise güneş pili yüzeyinde çiy oluşumuna neden olur ve bu da daha kolay toz pıhtılaşmasına yol açmaktadır [98].

Panel verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için sık sık temizlik yapılması tavsiye edilmektedir. Ancak, bu yaklaşımın karmaşık sistemlerde veya belirli sitelerde bulunan panellerde uygulanması zor olabilir. Sistemin bakım etkinliğini optimize etmek için bazı parametrelerin izlenmesi gerekmektedir. Bunun için panelin elektriksel davranışının gözlemlemek ve bu değeri yalnızca iklim koşullarıyla (güneş radyasyonu ve sıcaklık) değil, aynı zamanda PV modülü üzerindeki tozun varlığıyla ilişkilendirmek gerekmektedir.

Gölgelenme etkisi

PV panellerin gölgede kalması panel verimliliğini etkileyen faktörlerden biridir. Gölgeye neden olan etmenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Çatıdaki antenler
- Bulut
- Ormanlık araziler
- Ağaç dalları
- Dağlar
- Yüksek binalar ve bacalar gibi çevresel etkenlerdir [10].

Fotovoltaik panel veya panellerin yüzeylerine bulut, bina veya ağaç gibi engellerin gelmesiyle güneş ışınım şiddetinin azalmasıyla oluşan gölgeleme, panel üzerinde bazı

engeller oluşmakta ve sistemin bütünüyle aynı miktarda güneş ışınımını daha az faydalanmasına sebebiyet göstermektedir. Gölge altında çok daha az miktarda ışınım etkisinde kalan panel hücreleri, enerji sağlamak yerine daha az akım ürettiklerinden dolayı sistem gücünü azaltmaktadır. Bunun sonucunda gölge altında olan ve olmayan gözelerde uyumsuzluklar meydana gelmektedir [101].



5. AŞIRI ÖĞRENME MAKİNELERİ (ELM)

Son yıllarda, klasik parametreleme yöntemlerinin problemleri çözmedeki zorluklarına karşı avantajlı durumda olan ileri beslemeli sinir ağları birçok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bir yandan, karmaşık doğrusal olmayan haritalamayı doğrudan girdi örneklerinden işleyebildikleri gibi diğer yandan, çok sayıda doğal ve kullanışlı modeller sağlayabilmektedirler [102].

1940'larda, matematikçi Pitts ve psikolog McCulloch, yapay sinir ağı araştırmalarının başlangıcını açan matematiksel mantık sistemiyle nöronların matematiksel modelini ortaya koymuşlardır. Paralel ve dağıtılmış bilgi işlem ağı yapısına sahip sinir ağı, uyarlanabilir, kendi kendine öğrenme, sağlamlık ve hata toleransı özelliklerine sahiptir. Geleneksel tek gizli katmanlı ileri beslemeli sinir ağını özelliğine sahip aşırı öğrenme makineleri (ELM), LM, Huang ve diğerleri tarafından önerildiğinden beri 2004 yılında birçok araştırmacı, üzerinde çalışmaya başlamış ve birçok gelişmiş algoritma ortaya koyulmuştur. Üç öğrenme makineleri, sınıflandırma ve regresyonda uygulanan tek gizli katmanlı ileri beslemeli sinir ağları için bir öğrenme algoritması olarak bilinmektedir. Tek gizli katman ileri beslemeli sinir ağı eğitimi için kullanılan ELM sayesinde, gizli katman düğüm sayısı ayarlanarak girdi ağırlıkları ile gizli katman verileri ile çıkış verileri elde edilebilir. Tüm bu öğrenme süreci matematiksel model tamamlanmaktadır [103].

Şekil 5.1'de ELM'ye ait model gösterilmiştir. Şekilde w girdi bağlantılarının ağırlıklarını, β çıktı ağırlıklarını ve g aktivasyon fonksiyonu olarak belirtilmiştir. Gizli katmandaki aktivasyon fonksiyonları denklem 5.1'deki gibi ifade edilebilir [104].

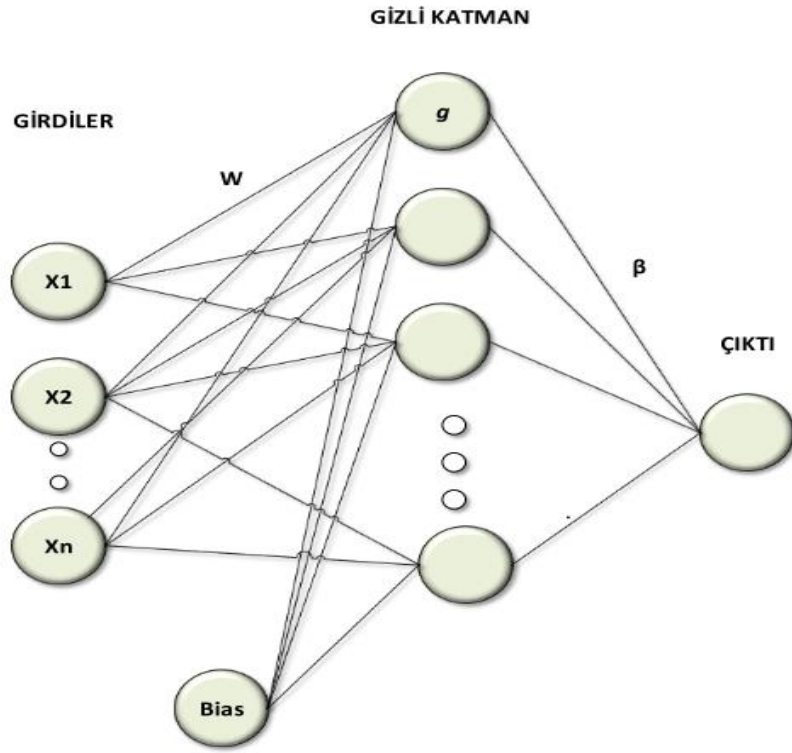
$$\sum_{j=1}^M \beta_j g(w_j x_j + b_j) \quad (5.1)$$

Aşırı öğrenme makinelerinde, yapay sinir ağı yaklaşımlarından ayrı olarak giriş katmanına işlenen ağırlıklar herhangi bir seçim yapılmadan gelişmiş güzel bir durumda sunulmaktadır. ELM'ye ait herhangi bir seçim yapılmadan aktarılan bu veriler daha sonra eğitim kademesinde güncellenmemekte olup gizli katman ile çıktı katmanı ortasındaki bağlantılara atanan ağırlık değerleri, lineer model sayesinde çözümsel bir biçimde

çıkarılabilir. Geleneksel sinir ağlarında katmanlar arasındaki ağırlıklar hatayı minimum yapan değerlere varılana kadar değişik değerlerin denenmesiyle hesaplanır. Ancak ELM’lerde bu ağırlıkların lineer bir şekilde çözümlenmesi modelin eğitiminde önemli ölçüde hız kazanmayı sağlar. ELM yapısına ait çıkış katmanı denklem 5.2’deki hale dönüştürülüp denklem 5.3 şeklinde gösterilebilir. Sonuç olarak 5.3’teki eşitlik lineer olarak çözülür [104].

$$H(w_{i,j}, x_i, b_i) = \begin{bmatrix} g(w_{1,1}, x_1, b_1) & g(w_{1,m}, x_m, b_m) \\ g(w_{n,1}, x_1, b_1) & g(w_{n,m}, x_m, b_m) \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

$$y = H\beta \quad (5.3)$$



Şekil 5.1: ELM’nin yapısı [104]

Pratik uygulamalarda, ELM ile tahmin yapılırken öncelikle toplanan veriler eğitim ve test verileri olarak ayrılır. Eğitim veri; veri kümeleri, gerçek sonuçları ve bununla ilgili faktörleri içerir. Eğitim sırasında, etki faktörleri ve ilgili sonuçlar, öğrenme sürecini tamamlamak için bir yinleme yoluyla ELM’nin eğitimi için kullanılacaktır. Eğitilmiş ELM ile tahmin etmek için, yalnızca giriş yapılması gerekir ve eğitim veri seti, ile çıkış verileri yani tahmin verileri elde edilir. ELM modeli hafızaya göre tahmin sonuçları elde edilebilir. ELM algoritmasının yalnızca gizli katman düğümlerinin sayısını belirlenmesi gerekir, algoritma uygulama esnasında ağ giriş ağırlıklarını ve gizli önyargıları ayarlamaya

gerek yoktur ve hızlı öğrenme hızı ve geliştirme performansı avantajlarıyla benzersiz bir optimal çözüm üretir [103].

5.1 ELM'nin Üstünlükleri

Aşırı Öğrenme Makinelerinin sağladığı avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [100-103]:

- ✓ Az sayıda parametrenin belirlenmesini sağlayarak eğitimi çok hızlı bir şekilde gerçekleştirirler
- ✓ Aşırı öğrenme makinelerinin algoritmasında gizli düğümlerin, girdi ağırlıkları ve önyargılar gibi öğrenme parametreleri bağımsız olarak rastgele dağıtılabilir ve böylece ağıın çıktı değerleri, basit geliştirilmiş ters işlemlerle analitik olarak belirlenebilir. ELM algoritması ile iyi bir genelleme performansı elde edebilir.
- ✓ Geleneksel ileri beslemeli bir yapay sinir ağında ağıın eğitilmesi hata oranının en aza indirilmesi için şart iken, bu süreç ELM' de çözümsel bir denkleme dönüştürülmüş olup büyük bir hızla öğrenme yeteneği edinilmiştir.
- ✓ ELM, bazı klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında gizli nöronların ağırlıklarının çok hızlı seçilmesine izin vermesi bakımından avantajlıdır. Bu bağlamda model yapısı seçimi ve gerçek model eğitimi için genellikle çok fazla genel hesaplama süresi kazandırabilir.
- ✓ Tek gizli katmanlı ileri beslemeli sinir ağı yapısıyla çok güçlü bir öğrenme yeteneğine sahiptir. Bu sayede karmaşık ve doğrusal olmayan fonksiyonlara yaklaşabilir ve geleneksel parametre öğrenme yöntemiyle çözülemeyen sorunları dahi çözebilir.

5.2 Aşırı Öğrenme Makinelerinin Aktivasyon Fonksiyonları

Geleneksel öğrenme yöntemlerinde lineer olmayan var olan dünya özelliklerini sunmak amacıyla aktivasyon fonksiyonuna gerek duyulmaktadır. Aktivasyon fonksiyonları bir nörona gelen girdiye uygulanarak oluşturulacak çıktının hesaplanmasını sağlayan fonksiyonlardır. Bu modellerde aktivasyon fonksiyonlarının lineer olmama modellerin de doğrusal olmamasına neden olmaktadır [105]. ELM, geleneksel sinir ağlarından daha az parametreyle tahmin yapılmasını sağlamasına rağmen ara katmanın nöron sayısı ve hesaplama yapılırken kullanılacak olan aktivasyon fonksiyonu seçimini kullanıcı tarafından belirlenmektedir En basit haliyle bir ELM'de x girdiler, w ağırlıklar olarak tanımlanarak ağıın çıkışına aktarılan değere $f(x)$ yani aktivasyon işlemi uygulanmaktadır. Çizelge 5.1'de aktivasyon fonksiyonları sınıflandırılmıştır [106].

Çizelge 5.1: ELM Aktivasyon Fonksiyonları ve Matematiksel Karşılıkları

Aktivasyon Fonksiyonu	Denklem	Aralık
Doğrusal Fonksiyon	$f(x) = x$	$(-\infty, \infty)$
Basamak Fonksiyonu	$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{için } x < 0 \\ 1 & \text{için } x \geq 0 \end{cases}$	$\{0,1\}$
Sigmoid Fonksiyonu	$f(x) = \sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	$(0,1)$
Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu	$f(x) = \tanh(x) = \frac{(e^x - e^{-x})}{(e^x + e^{-x})}$	$(-1,1)$
ReLU	$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{için } x < 0 \\ x & \text{için } x \geq 0 \end{cases}$	$[0, \infty)$
Leaky (sızıntı) Relu	$f(x) = \begin{cases} 0.01 & \text{için } x < 0 \\ x & \text{için } x \geq 0 \end{cases}$	$(-\infty, \infty)$
Swish Fonksiyonu	$f(x) = 2x\sigma(\beta x) = \begin{cases} \beta = 0 & \text{için } f(x) = x \\ \beta \rightarrow \infty & \text{için } f(x) = 2 \max(0, x) \end{cases}$	$(-\infty, \infty)$

5.3 ELM'nin Hata Fonksiyonları

Klasik yapay sinir ağlarında geri yayılım algoritması kullanılarak gerçekleştirilen öğrenme süreci, bilinen çıkış değerleriyle ağırlık tahmin etmiş olduğu çıkış değerleri arasındaki hatayı sürekli sifira yaklaştıracak şekilde her iki katmandaki ağırlık değerlerini iteratif olarak güncelleyerek gerçekleştirilmektedir. Ancak bu durum ELM'de giriş katmanındaki ağırlıklar rastgele atanır ve gizli katmanla çıkış katmanı arasındaki ağırlıklar analitik bir denklem sistemi ile çok daha hızlı ve etkin bir şekilde belirlenebilmektedir [107].

Aşırı öğrenme makinelerinde, uygulama esnasında elde edilen gerçek veriler ile tahmin edilen veriler arasında hata oranları hesaplamak için birçok hata fonksiyonu bulunmaktadır. Hata fonksiyonları çizelge 5.2'de gösterilmiştir [108]. Bu tez çalışması kapsamında Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) ve Ortalama Kare Hata (MSE)

fonksiyonları kullanılarak 7 aylık ölçüm sonuçlarından elde edilen veriler ile tahmin edilen veriler arasında hata oranları hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2: ELM Hata Fonksiyonları ve Matematiksel Karşılıkları

Hata Fonksiyonu	Açıklama	Denklem
Ortalama Hata (ME)	Bir makine öğrenmesi modelinin sunduğu tahmin değerleri ile gerçek değerlerin arasındaki ortalama hata oranıdır.	$ME = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_j$
Ortalama Yüzde Hata (MPE)	ELM'nin tahmin ettiği değerler ile gerçek değerler arasındaki farkın ortalama yüzdesidir.	$MPE = \frac{100}{n} \sum_j \frac{e_j}{A_j}$
Ortalama Mutlak Hata (MAE)	Ortalama mutlak hata iki sürekli değişken arasındaki farkın ölçümü sonucunda elde edilir. Herhangi bir gerçek değer sayesinde veriye en iyi şekilde uyum gösteren çizgi arasındaki ortalama dikey mesafedir.	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_j $
Ortalama Kare Hata (MSE)	Bir ELM modelinin, performansını ölçmektedir. MSE değeri 0'a yakın olan modellerin daha iyi bir performans gösterdiği söylenebilir.	$MSE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_j^2$
Kök Ortalama Kare Hata (RMSE)	ELM modelinin tahmin ettiği değerler ile gözlenen veriler arasındaki uzaklığın bulunmasında kullanılır.	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_j^2}$
Korelasyon Katsayısı (R²)	ELM modelinde girdi verileri ile tahmin edilen verilerin varyansını belirtir. Tahmin edilen ile gerçek değerlerin birbirinden ne kadar uzaklaştığını ifade eden bir ölçüttür. Korelasyon katsayısı 0 ile 1 arasında değişkenlik gösterir	$R^2 = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - P_m)^2}}$

6. UYGULAMA VE DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

6.1 Ölçüm Bölgesinin Özelliği

6.1.1 Malatya ilinin özellikleri

Bu tez çalışması Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Malatya İlinde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm istasyonu İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünün çatısına kurulmuştur. Ölçüm bölgesinin detaylı özellikleri 2.Bölümde 2.2.1 alt başlığı altında Malatya İlinin Güneş Enerjisi Potansiyeli detaylı olarak anlatılmıştır.

6.1.2 Sistem tasarımı

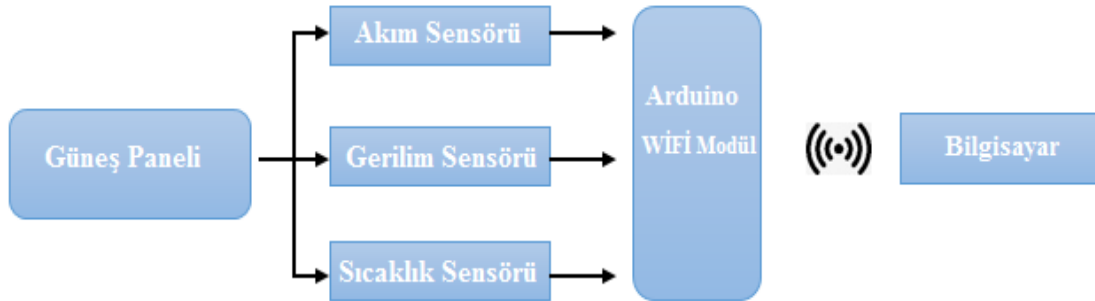
Bu bölüm kapsamında, yaptığımız tez çalışmasında tasarlanan sistemde yer alan ekipmanlara ait donanımsal tasarım detaylı olarak değerlendirilmiştir. Malatya ilinden ölçüm alarak terminal ölçüm sistemlerinin tasarımı yapılmıştır. Bölgenin sıcaklık, nem, güneş radyasyonu ve panelden elde edilen akım ve gerilim değerlerinin uygun sensörler yardımıyla ölçülmesi sağlanmıştır. Bunun için PCB kart tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan kart yardımıyla ölçülen veriler kablosuz ağ modülü ile internet ortamına aktarılmış ve kaydedilmiştir. Bölgesel tasarım için kullanılan elemanlar ve özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- **90 Watt (W) Monokristal Panel:** Tasarladığımız sistemde 90W gücünde bir adet monokristal güneş paneli kullanarak bu panelden elde edilen elektriksel verilerin periyodik olarak ölçülmesi sağlanmıştır. Çeşitli güneş enerjisi uygulamaları için verimli ve uygun maliyetli olan bu monokristal güneş paneli etrafındaki alüminyum çerçeve sayesinde kullanışlı ve dayanıklı bir yapıya sahiptir. Sistemimizde kullandığımız ve monokristal hücre dizilerinden oluşmuş olan bu panelimizin katalog değerleri Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1: Panelin Katalog Değerleri

Özellikler	Değerler
Maksimum Güç (P _{max})	90W
Maksimum Güç Voltajı (V _{mp})	17.6V
Maksimum Güç Akımı (I _{mp})	5.11A
Açık Devre Voltajı (V _{oc})	21.5V
Kısa Devre Akımı (I _{sc})	5.31A
Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı	47% ±3 °C
Maksimum Sistem Voltajı	1000V

- **WEMOS D1 Mini Kablosuz Ağ Modülü:** Şekil 6.2’de tasarladığımız sistemin modeli gösterilmiştir. Modülde görüldüğü gibi panele etki eden sıcaklık, nem ve güneş radyasyonu etkisi altında panelden elde edilen akım ve gerilim değerlerini ölçmek için ESP8266 tabanlı Arduino kartı sıcaklık ve akım sensörü ile birlikte kullanmıştır. Bu sensörler ile 7 aylık periyodik ölçümler yapılarak verilerin internet ortamına kaydedilmesi sağlanmıştır.



Şekil 6.1: Tasarlanan sistem modülü

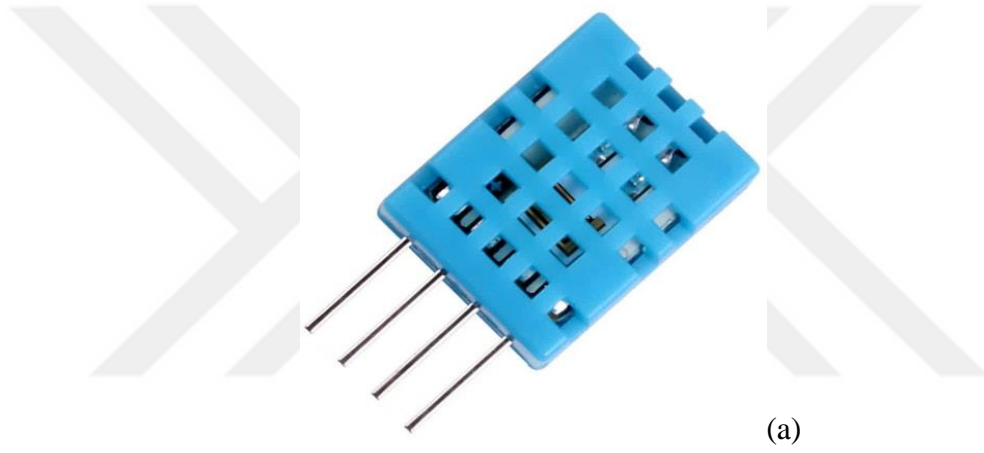
Fotovoltaik panelden elde edilen akım, gerilim ve panelin bulunduğu ortamdaki sıcaklık, nem değerlerini kaydetmek için tasarlanan WEMOS D1 Mini - ESP8266 Tabanlı Arduino alt yapı kontrol kartı WiFi modülü üzerinden haberleşme sağlamaktadır. Bu modül, ortamda bulunan kablosuz ağlara bağlanabilmek ve kablosuz erişim noktası kurmak mümkün kılmaktadır.

- **DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü:** Sıcaklık ve nem ölçmek için ise DHT11 sensörü kullanılmış olup bu sensör 0-50°C arasında bulunan sıcaklık - nem değerlerini ± 2 ° C

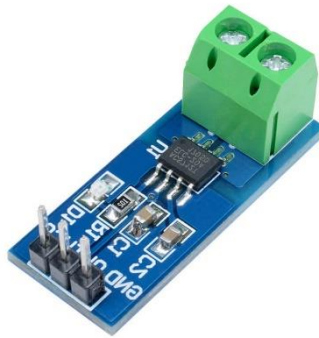
hassasiyetle sıcaklık ve % 5 doğrulukla % 20-80 arasında nem değeri ölçebilmektedir. Sensör Şekil 6.2(a)'da gösterilmiştir.

- **ACS712 Akım Sensörü:** Akım ölçmek için ACS712 Akım Sensörü kullanılmıştır. Şekil 6.2(b)'de sensör gösterilmiştir. Bu sensörün hata payı %5'in altında olmak üzere analog voltaj (185 mV/A) çıktısı almamızı sağlar. Böylece değişen her 1A'lık akım için sensör, bilgi dosyasında belirtilen miktarda gerilim üretir. Bu sensör boşa iken yani bağlı kablodan akım geçmezken sensör 2,5 V gerilim değeri gönderir ve her 1A için de 185 mV gerilim üretir. Böylece akım gerilim kalibrasyon hesabı ile kablodan ne kadarlık bir akım geçtiği belirlenebilmekte olup akım değeri denklem 6.1'de gösterilmiştir.

$$(2.5V + 185mV) * I \quad (6.2)$$



Şekil 6.2 (a): DHT11 sensörü



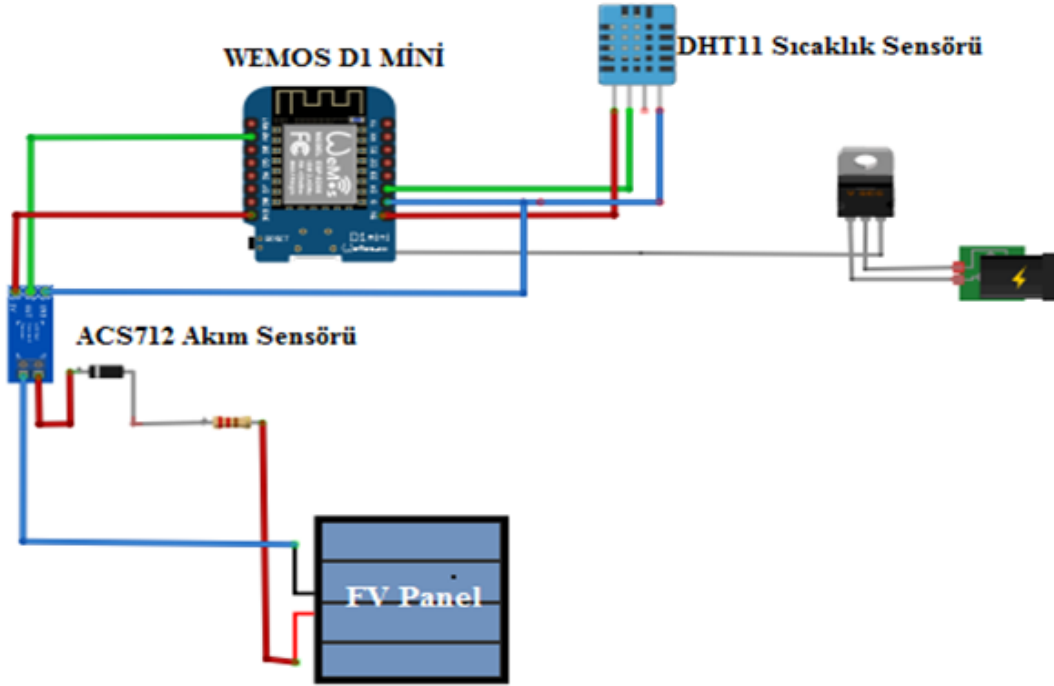
(b)

Şekil 6.2 (b): ACS721 Akım Sensörü

Ölçüm için tasarlanan kart ve malzemeler Şekil 6.3'de gösterilen küçük ve her türlü koşula dayanıklı bir kutuda muhafaza edilmiştir. Şekil 6.4'te tasarladığımız ölçüm ve izleme devresinin şematik diyagramı ile devrede kullandığımız elemanlar belirtilmiştir.

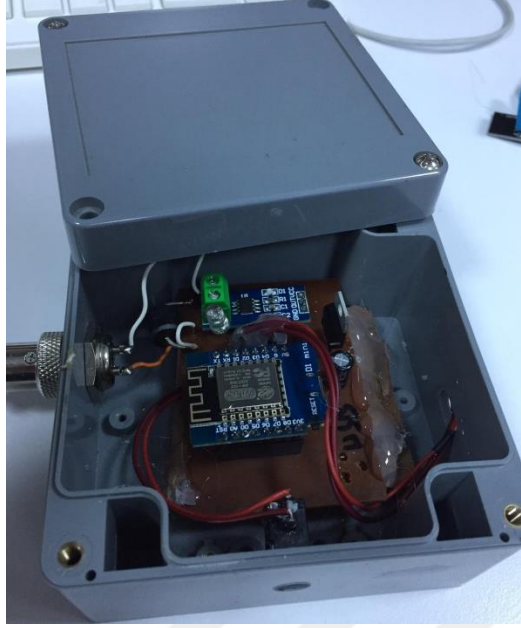


Şekil 6.3: PCB kartı muhafaza etmek için kullanılan kutu



Şekil 6.4: Sistemin şematik gösterimi

Şekil 6.5'te gösterilen tasarladığımız PCB kart ile her 5 dakikalık periyotlarla toplamda 7 aylık bir süreçte panelin bulunduğu ortama ait sıcaklık, nem ve panelden elde edilen akım, gerilim ölçümleri yapılmıştır. Uygun sensörler yardımıyla yapılan bu ölçümler WEMOS D1 Mini –kablosuz ağ modülü ile internet ortamında web sitesine kaydedilmiştir.

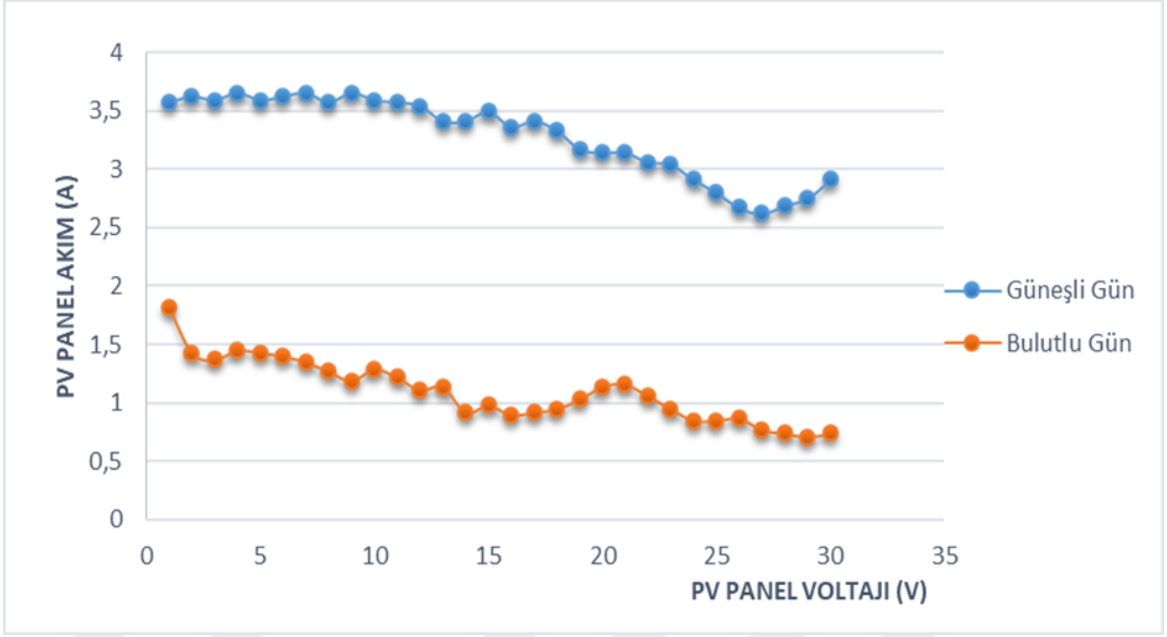


Şekil 6.5: Veri toplamak için tasarlanan PCB kart

6.2 Malatya İlinde Fotovoltaik Panel Verim Analizi

6.2.1 Güneş Işınım Değerinin Panel Verimine Etkisi

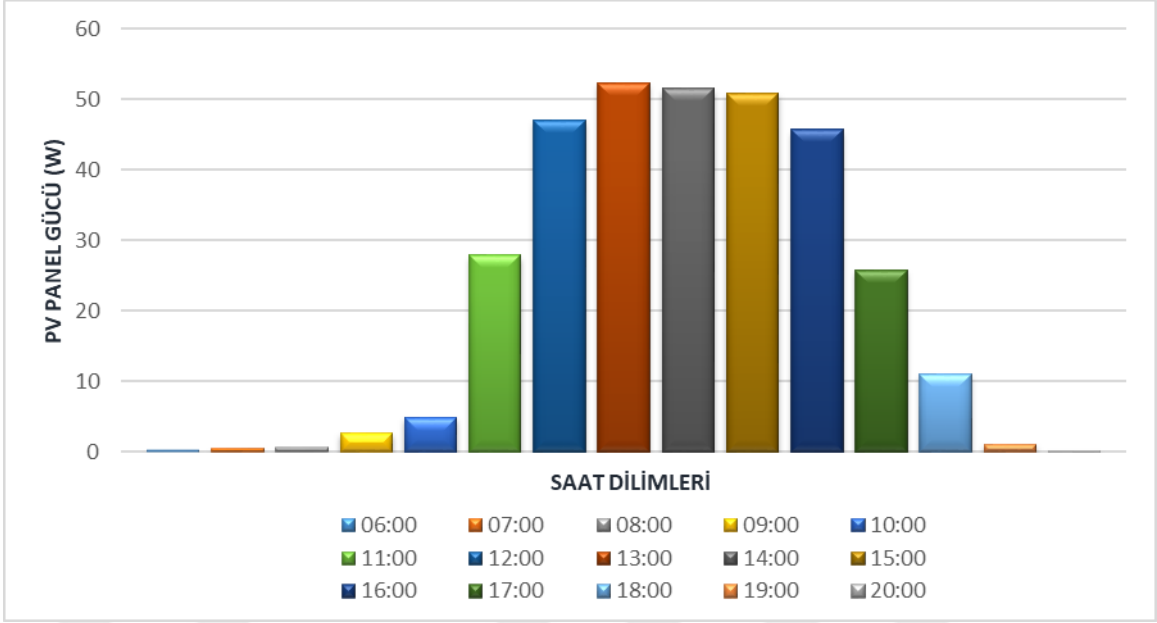
Malatya ili baz alınarak kurduğumuz güneş paneli sistemimizin performansının güneş ışınım şiddetine bağlı olarak değişiminin takibi yapılmıştır. Bu bağlamda güneş ışınım şiddetinin yoğun olduğu öğlen saatleri için güneşli ve bulutlu anlar ile bir günün farklı saatlerinde fotovoltaik panelimizin ürettiği akım, gerilim değerleri analiz edilmiştir. Sistemimizden elde edilen sonuçlar doğrultusunda güneş ışınım şiddetinin yoğun olduğu zamanlarda çıkış gücünün de yüksek oranda arttığı gözlenmiştir. Ölçüm sonucunda güneş ışınımının yoğun olduğu öğle saatleri için güneşli ve bulutlu anlara ait panelimizden elde ettiğimiz elektriksel verilere dayanarak karakteristik performans eğrileri Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6: Güneşli ve bulutlu günlere ait fotovoltaik panelin akım gerilim değişim grafiği

Maksimum akım değeri 5.11A olan monokristal panelimizden alınan ölçümler doğrultusunda güneş ışığının en yoğun ve dik açılarla geldiği öğlen saatlerinde, güneş ışınım miktarındaki değişimin etkisiyle PV panelin ürettiği akım değerleri farklılık göstermektedir. Yukardaki şekilden de anlaşıldığı üzere güneşli bir günde panelimizin ürettiği akım değerindeki değişim yaklaşık olarak 4 ile 2.5 A arasında iken bu değerler bulutlu gün için 2 ile 0.75 Amper'e kadar düştüğü sonucuna varılmıştır.

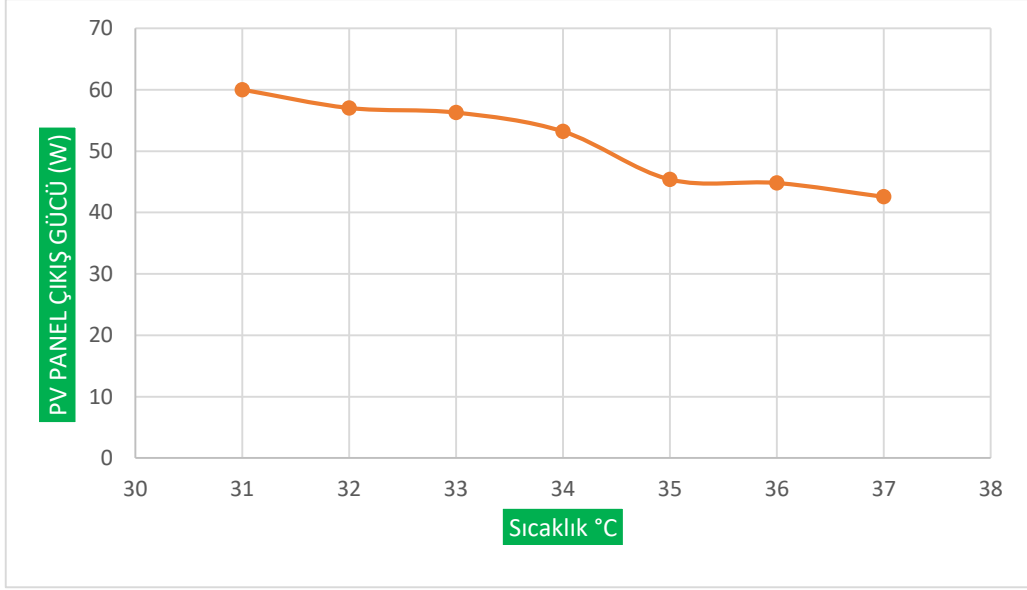
Güneş ışınımı değeri günün farklı saatlerinde de değişkenlik göstermekte ve panelin çıkış gücünün değişmesini de sağlamaktadır. Şekil 6.7'de Haziran ayının belli bir günü baz alınarak 90 Watt (W) güce sahip monokristal panelin ürettiği güç miktarının saatlik değişimi incelenmiştir. Bunun sonucunda güneş ışınım miktarının düşük olduğu sabah ve akşam saatlerinde panelin ürettiği güç miktarının minimum ancak güneş radyasyonu değerlerinin yoğun olduğu öğlen saatlerinde ise güç miktarının maksimum olduğu kanısına varılmıştır.



Şekil 6.7: Günün belirli saatlerinde fotovoltaik panelin ürettiği gücün değişimi

6.2.2 Ortam Sıcaklığının ve Fotovoltaik Hücre Sıcaklığının Etkileri

Çevre sıcaklığındaki artış fotovoltaik hücre sıcaklığının da artmasına sebep olmaktadır. Bu bağlamda fotovoltaik panellerin verimli bir şekilde çalışmasında sıcaklığın etkisi oldukça önemlidir. PV panellerin soğuk ama açık bir havaya sahip bir günde gösterdikleri performans, havanın sıcak olduğu zamanda gösterdikleri performanstan fazladır. Fotovoltaik panellerde kısa devre akımı sıcaklık ile orantılı olarak artış gösteriyorken açık devre voltajı ve fiil faktörü ise exponansiyel olarak azalma göstermektedir. Sonuç olarak elde edilen güç miktarı düşük değerlerde olacaktır. Diğer bir ifadeyle fotovoltaik hücre sıcaklığının artmasıyla panelin ürettiği enerji azalmaktadır. Çalışmamızın kapsamında Haziran ayında elde edilen sonuçlarda, aynı saatlerin farklı sıcaklık değerlerine sahip günlerinde panel güç ölçümü yapılmıştır. Böylece sıcaklıktan kaynaklanan kayıpların, direkt olarak hücre sıcaklığı ile doğru orantılı değiştiği kanısına varılmıştır. Aynı zamanda sıcaklığın artması ile PV modülün kısa devre akımının artarken açık devre geriliminin azaldığı anlaşılmıştır. Şekil 6.8’de periyodik olarak ölçtüğümüz verilerden yola çıkarak monokristal güneş panelimizden elde ettiğimiz güç miktarının sıcaklığa bağlı olarak değişim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.8: Farklı sıcaklık değerlerine bağlı olarak fotovoltaik panel çıkış gücü

Yukarıdaki grafikten anlaşıldığı üzere fotovoltaik panelimizin, açık ama serin havaya sahip bir günde, sıcak havaya göre performansının daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Her 1°C'lık sıcaklık artışı ile elde edilen gücün en az %0.75 oranında azaldığı gözlenmiştir. Bu bağlamda yüksek ortam sıcaklıklarına sahip olan bölgelerde PV panel hücrelerinden yüksek verim elde edebilmek için soğutma yapılmalıdır.

6.3 ELM Tahmin Sonuçları

Panelin bulunduğu bölgeden her 5 dakika aralıklarla ölçülen sıcaklık, nem ve panelden elde edilen akım ve gerilim değerleri terminal ölçüm istasyonunda yer alan PCB kart üzerine yerleştirilmiş kablosuz ağ modülü ile internet ortamına aktarılarak web sitesi üzerinde kaydedilmektedir. Bu veriler bilgisayar ortamında Excel dosyasına aktarılarak MATLAB programı ile analiz edilmektedir. Ölçümler Nisan 2020 ile Ekim 2020 arasında 7 aylık bir sürede gerçekleştirilmiştir. Günlük olarak alınan ölçümler 00:00 ile 23:59 arasında her 5 dakikalık aralıklarla kaydedilmiştir. ELM ile oluşturduğumuz modellerden daha iyi sonuç alabilmek için 24 saatlik ölçüm sonuçlarından sadece 08:00 ile 17:00 arasında kaydedilen sonuçlar ele alınmıştır.

6.3.1 Aylık tahmin sonuçları (Modül-1)

Malatya ilinden Nisan 2020 ile Ekim 2020 arasında 7 aylık bir sürede elde edilen veriler MATLAB ortamında ELM algoritmaları kullanılarak analiz edilmiştir. Toplam veri test ve eğitim verileri olarak ayrılmıştır. ELM'de analiz yapılırken %70'i eğitim ve %30'u ise test

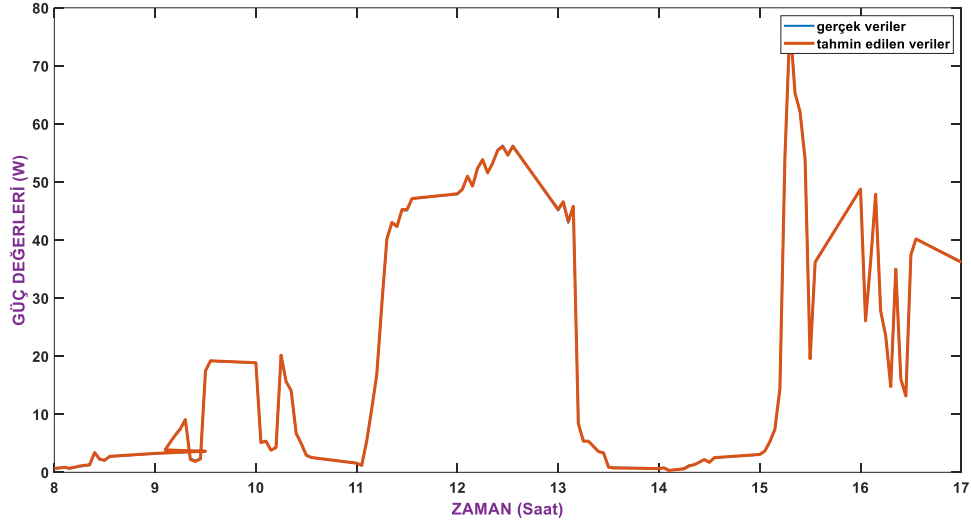
verileri olarak girilmiştir. Bu bağlamda Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz ayları verileri eğitim olarak girilmiş iken Ağustos, Eylül ve Ekim ayları ise test verileri olarak belirlenmiştir. Eğitim verileri olarak Algoritma kapsamında giriş verileri olarak akım, sıcaklık, nem ve güneş radyasyonu verileri kullanılmıştır. Güneş radyasyonu verileri için İçel'in doktora tez çalışmasında elde ettiği veriler referans olarak alınmıştır [10]. ELM ile yapılan tahmin sonucunda çıkış olarak güç verileri elde edilmiştir. Aylara bağlı olarak tahmin edilen güç değerleri ile ölçüm sonucunda elde edilen gerçek güç değerlerinin grafikleri çizdirilmiştir. (Şekil 6.9 – 6.15)

Ölçüm sonucuna bağlı olarak gerçek ve tahmin edilen verilerin RMSE, MSE ve R^2 hata oranları hesaplanmıştır. Modül-1 için elde edilen hata oranları Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2: Modül-1'e ait ELM hata oranlarının sonuçları

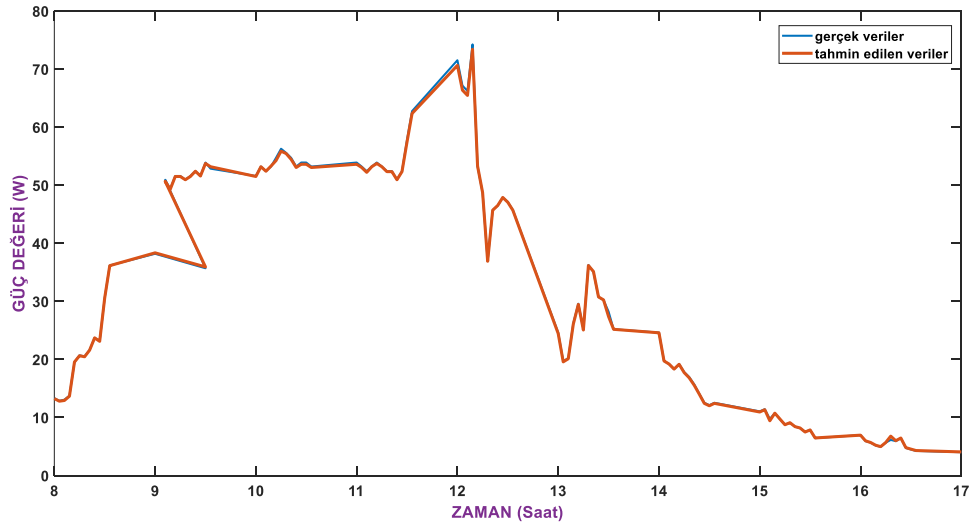
ELM Hata Katsayıları						
Modül-1	Eğitim Verileri			Test Verileri		
	MSE	RMSE	R^2	MSE	RMSE	R^2
	0.1266	0.3558	0.88	0.1476	0.3841	0.9

Çizelge 6.2'den de görüldüğü üzere test verileri için MSE hata oranı 0.1266, eğitim verileri için MSE hata oranı 0.1476 çıkmıştır. Aynı şekilde test verileri için RMSE performans göstergesi 0.3841 iken eğitim verileri için bu değer 0.3558 olarak hesaplanmıştır. RMSE ve MSE hata oranı ne kadar 0'a yakın olursa tahmin o kadar doğru olmaktadır. Korelasyon katsayısı test için 0.9 ve eğitim için ise 0.88 olarak hesaplanmıştır. Bu anlamda değerlerin birbirine bu kadar yakın olması modelin güvenilir olduğunu göstermektedir. Bu durumda panelden elde edilen çevresel faktörler (sıcaklık, güneş ışınım şiddeti ve nem) ve panelin ürettiği akım değerleri kullanılarak ELM algoritmaları ile eğitim ve test işlemlerinin gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen tahmini güç sonuçları ile gerçek ölçülen güç değerleri arasında hesaplanmış hata sonuçlarına bakıldığında modelin doğruluğunun çok yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6.9: Nisan ayı eğitim verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli

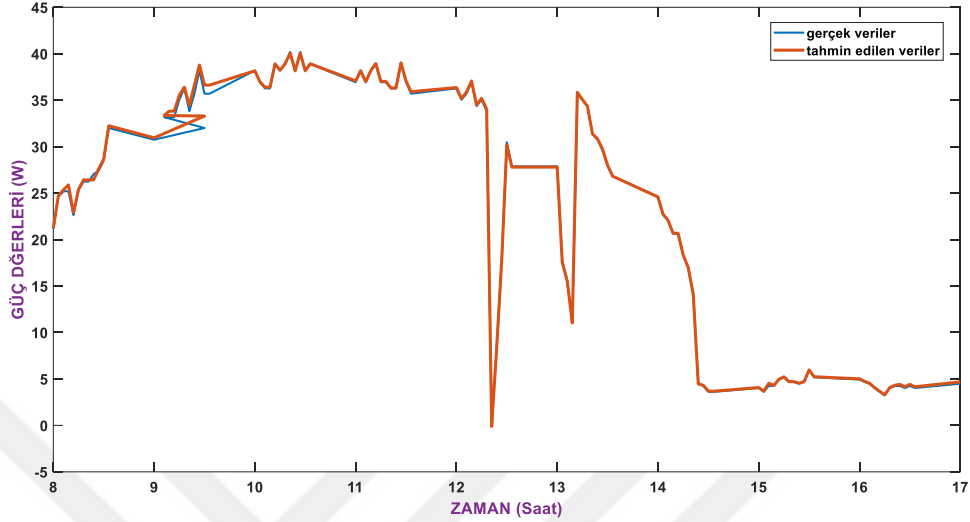
Şekil 6.9’da verilen Nisan ayının bir gününe ait tahmin edilen ve gözlenen güç değerlerinin zamana bağlı grafiğinden de görüldüğü gibi güç değerlerinde ani yükseliş ve düşüşler gözlemlenmiştir. Bu durumun temel sebebi panele düşen güneş ışınımı verilerinin ani olarak değişiklik göstermesidir. Güneş ışınımı yüksek olan zamanlarda güç değerleri artarken düşük olan dilimlerde ise azaldığı kanısına varılmıştır. Aynı zamanda tahmin edilen güç değerleri ile gerçek güç değerleri arasında fark olmadığı görülmektedir.



Şekil 6.10: Mayıs ayı eğitim verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli

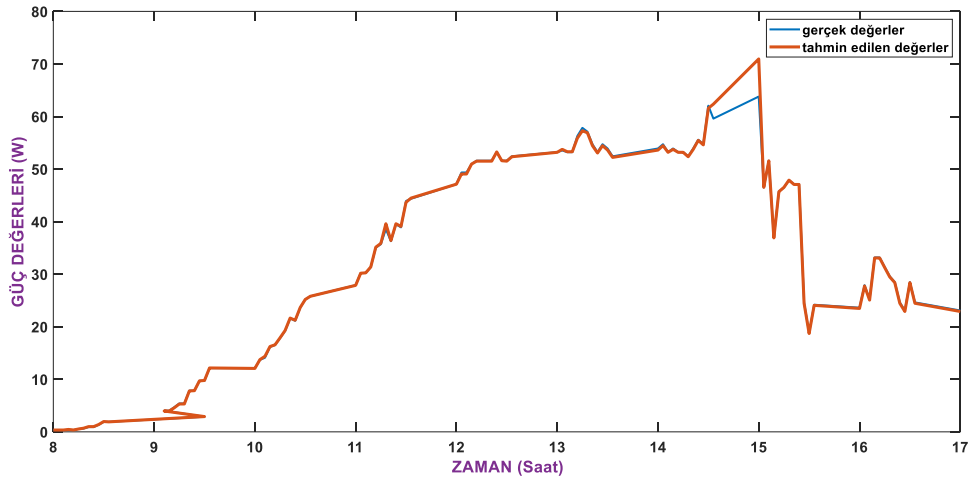
Yukarıda verilen Mayıs ayının bir gününe ait ELM algoritma tahmini örnek modelinde görüldüğü gibi tahmin edilen güç değerleri ile gerçek değerleri aynı çıkmıştır. Ancak 11:00 ve 12:00 dilimlerinde tahmin edilen güç değerleri ile gerçek güç değerleri arasında yok

sayılabilecek kadar fark olduğu görülmüş olup modelimizin çok iyi tahmin yaptığı kanısına varılmıştır. Saat 12:00 'dan sonra havanın kapalı olmasıyla güneş ışınım değerlerinin azalması sonucunda güç değerlerinin azaldığı gözlenmiştir.



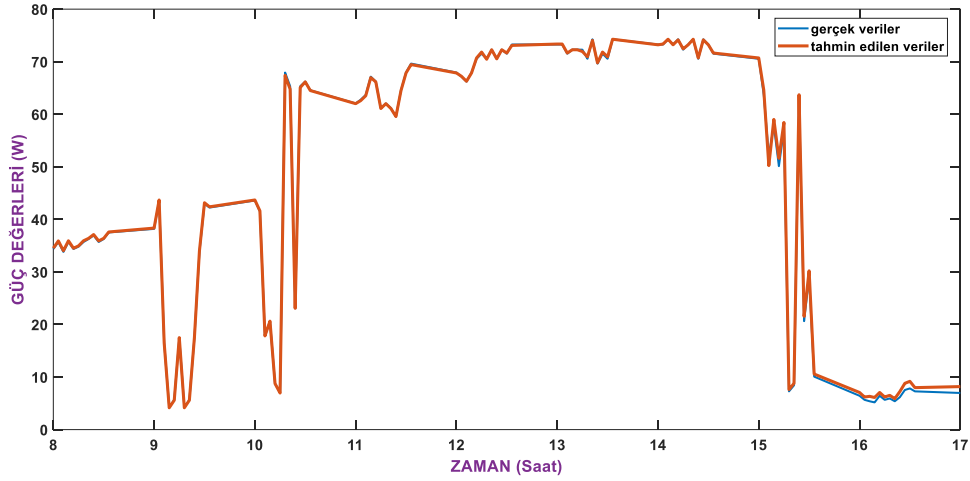
Şekil 6.11: Haziran ayı eğitim verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli

Şekil 6.11'de Haziran ayının bir gününe ait tahmin edilen ve ölçülen güç değerleri analizine bağlı olarak çizdirdiğimiz güç zaman grafiğinde, öğlen saatlerinde sıcaklığın azalması ve nem değerinin yükselmesiyle güç değeri ani düşüş göstermiştir.



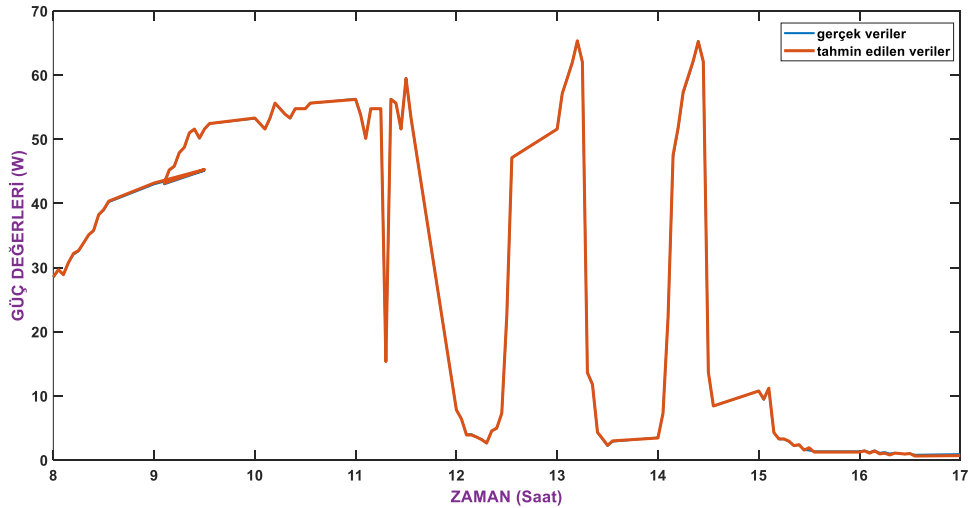
Şekil 6.12: Temmuz ayı eğitim verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli

Şekil 6.12'de görüldüğü üzere gerçek veriler ile tahmin edilen veriler hemen hemen aynı ancak 14:00 ile 15:00 zaman dilimleri arasında farklılık çıkmıştır. Tahmin edilen veriler, gözlenen verilere göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durumda modelimizin aşırı tahmin yaptığı kanısına varılabilir.



Şekil 6.13: Ağustos ayı test verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli

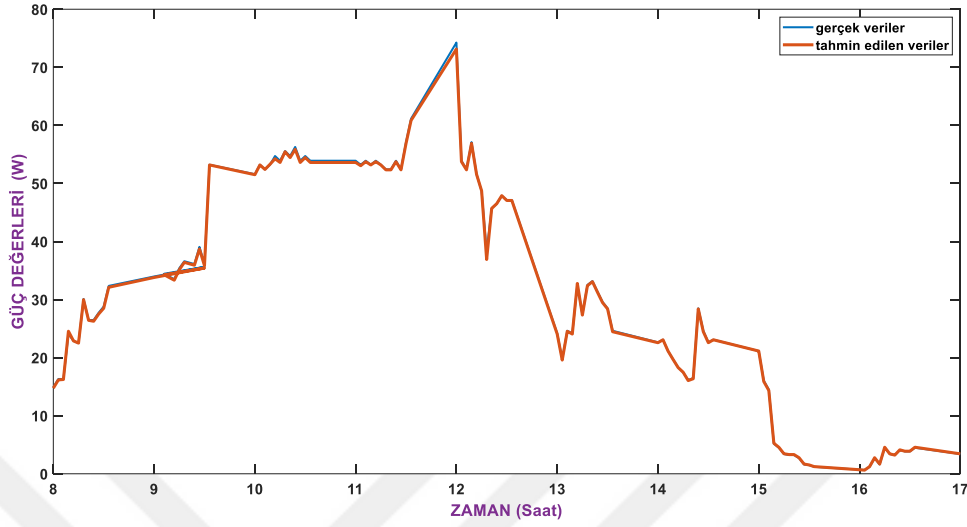
Şekil 6.13'te verilen ağustos ayının bir gününe ait örnek modelde sabah saatlerinde 09:00'dan sonra aniden güç değerlerindeki düşme, artan nem miktarına bağlı olarak güneş ışınım şiddetinin azalması durumundan kaynaklanmaktadır. Güneş ışınım şiddetinin yoğun olduğu öğlen saatlerinde güç değerlerinin de maksimum olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda tahmin edilen güç değerleri ile gerçek güç değerleri genel olarak aynı çıkmış ancak 16:00 ile 17:00 aralığında az bir fark görülmüş ve tahmin edilen güç değerleri, gerçek değerlere göre biraz yüksek çıkmıştır.



Şekil 6.14: Eylül ayı test verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli

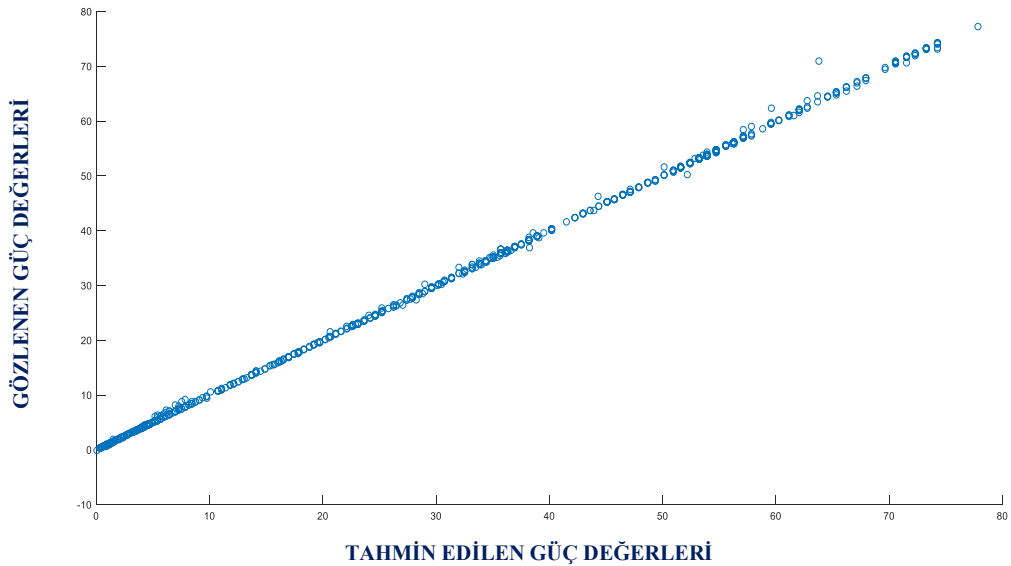
Şekil 6.14'te eylül ayına ait grafikte görüldüğü gibi gerçek veriler ile tahmin edilen güç değerleri aynı çıkmıştır. Bu sayede modelimizin performans analizinin güvenilir sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır. Grafikte güç değerlerinde ani yükseliş ve düşüşlerin sebebi havanın

bir anda kapanıp açılarak güneş ışınım şiddetindeki ani değişikliklerden kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.15: Ekim ayı test verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli

Şekil 6.16’te Modül-1’e ait tahmin ve gerçek güç verilerinin karşılaştırılmış grafiği çizdirilmiştir. Grafiği incelediğimizde gözlenen sonuçlar ile tahmin edilen sonuçlar genel olarak lineer olduğu ancak birkaç kısımda tahmin edilen sonuçların gerçek verilerden daha yukarıda olduğu görülmüştür. Bu durum modelimizin aşırı tahmin yaptığı kanısına varılmıştır.



Şekil 6.16: Modül-1 için Ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması

6.3.2 Aylık tahmin sonuçları (Modül-2)

Malatya ilinden Nisan 2020 ile Ekim 2020 arasında 7 aylık bir sürede elde edilen veriler MATLAB ortamında ELM algoritmaları kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz için verilerin %70'i eğitim (Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz ayları verileri) ve %30'u ise test (Ağustos, Eylül, Ekim aylarına ait veriler) verileri olarak girilmiştir. Algoritma kapsamında giriş verileri olarak gerilim, sıcaklık, nem ve güneş radyasyonu verileri kullanılmıştır. Güneş radyasyonu verileri için İçel'in doktora tez çalışmasında elde ettiği veriler referans olarak alınmıştır [10]. ELM ile yapılan tahmin sonucunda çıkış olarak güç verileri elde edilmiştir. Aylara bağlı olarak tahmin edilen güç değerleri ile ölçüm sonucunda elde edilen gerçek güç değerlerinin grafikleri çizdirilmiştir. (Şekil 6.17–6.23)

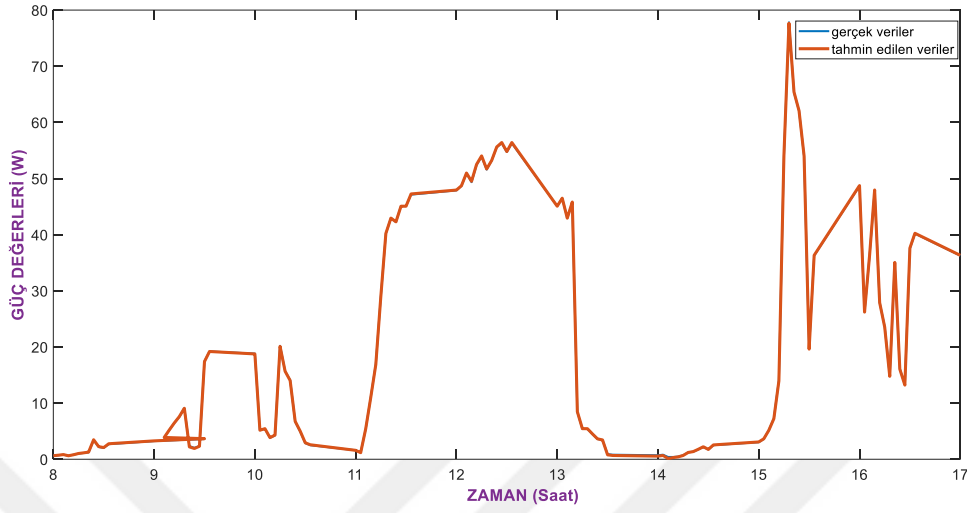
Modül-2'ye bağlı olarak gerçek ve tahmin edilen verilerin RMSE, MSE ve R^2 hata oranları hesaplanmış ve Çizelge 6.3'de verilmiştir

Çizelge 6.3: Modül-2'e ait ELM hata oranlarının sonuçları

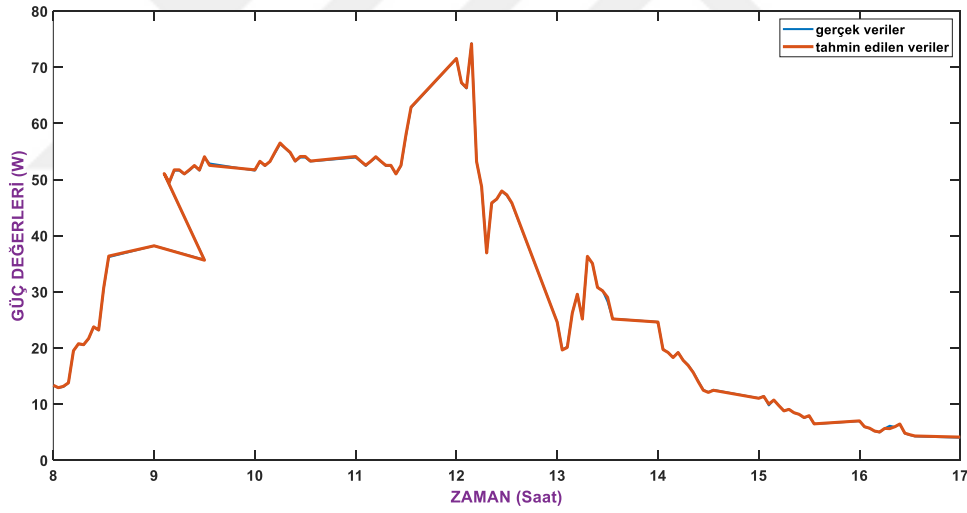
ELM Hata Katsayıları						
Modül-2	Eğitim Verileri			Test Verileri		
	MSE	RMSE	R^2	MSE	RMSE	R^2
	0.1162	0.3410	0.88	0.0926	0.3044	0.9

Çizelge 6.3'te görüldüğü gibi test verilerine ait MSE hata oranı 0.0926 çıkmışken RMSE hata katsayısının değeri 0.3044 olarak hesaplanmıştır. Eğitim verilerinden yola çıkarak hesaplanan MSE değeri 0.1162 ve RMSE değeri ise 0.3410 olarak hesaplanmıştır. RMSE ve MSE hata oranı ne kadar 0'a yakın olursa tahmin o kadar doğru olmaktadır. Ölçülen ve tahmin edilen verilerin hem test hem de eğitim için korelasyon katsayısı hesabı yapılmış ve sırasıyla 0.9 ve 0.88 olarak belirlenmiştir. Korelasyon katsayıları birbirine ne kadar yakın olursa model o kadar doğru sonuçlar veriyor demektir. Sonuçlar değerlendirildiğinde modelin doğruluğu kanıtlanmıştır. Bu durumda panelden elde edilen çevresel faktörler (sıcaklık, güneş ışınım şiddeti ve nem) ve panelin ürettiği gerilim değerleri kullanılarak ELM algoritmaları ile eğitim ve test işlemlerinin gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen

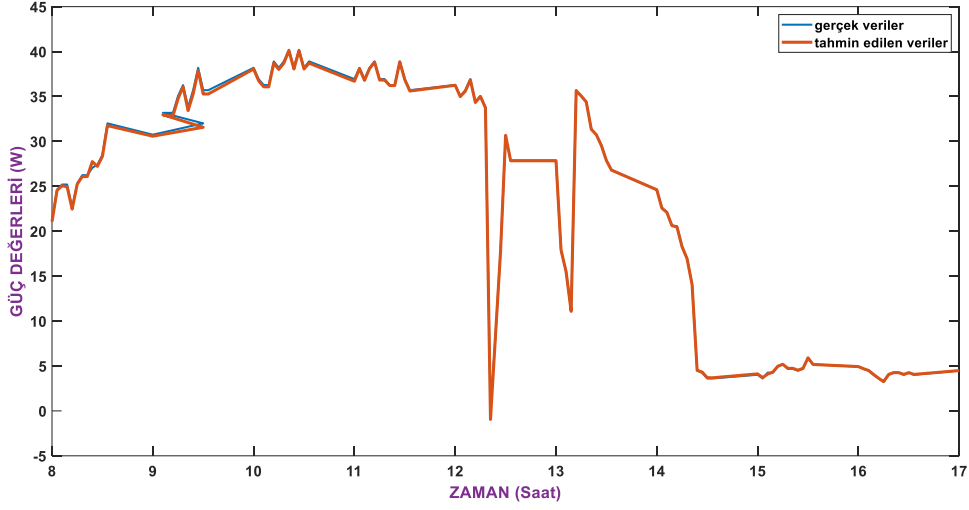
tahmini güç sonuçları ile gerçekte ölçülen güç değerleri arasında hesaplanmış hata sonuçlarına bakıldığında modelin doğruluğunun çok yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



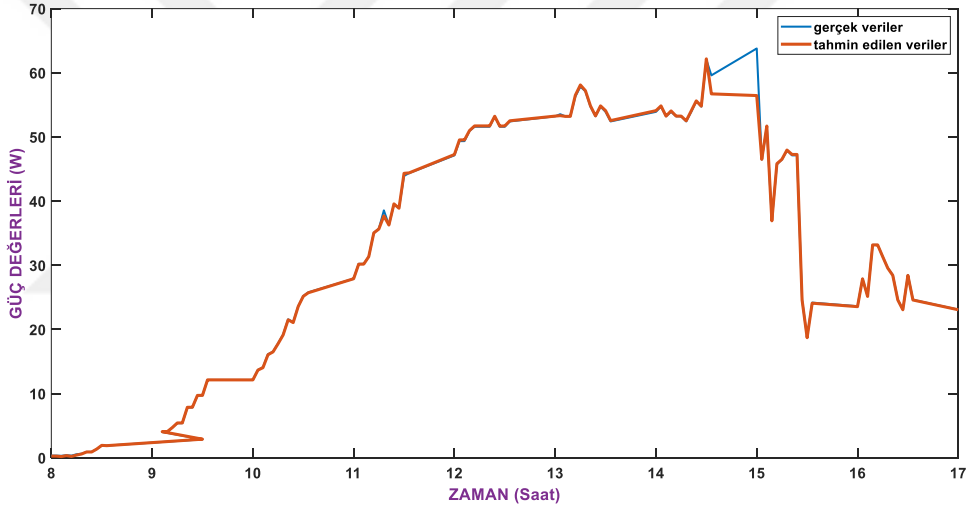
Şekil 6.17: Nisan ayı eğitim verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli



Şekil 6.18: Mayıs ayı eğitim verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli

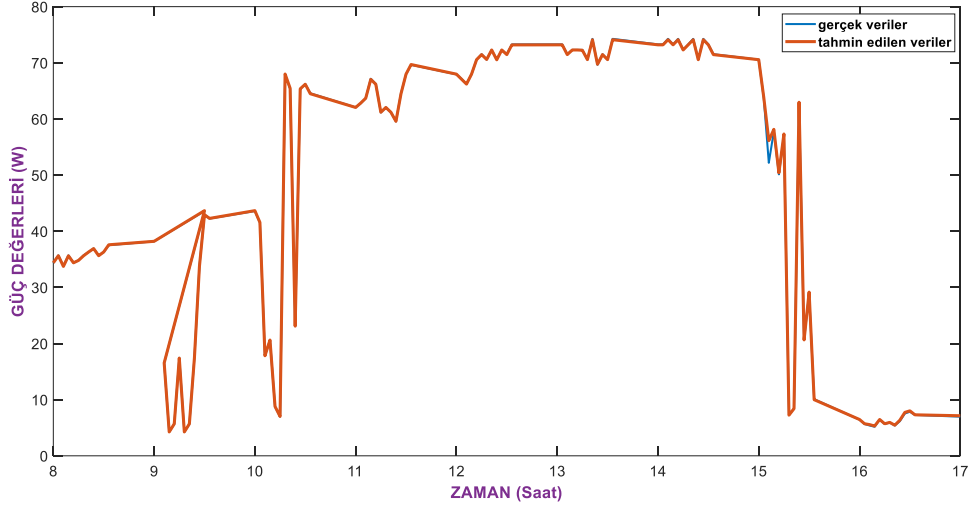


Şekil 6.19: Haziran ayı eğitim verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli



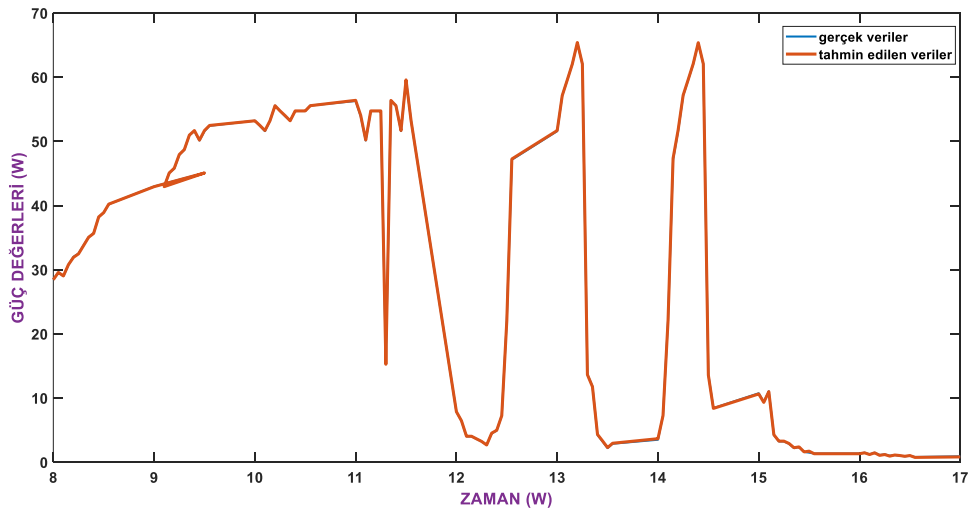
Şekil 6.20: Temmuz ayı eğitim verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli

Yukardaki Şekil 6.20’de tahmin edilen veriler ile gözlenen veriler saat 14:00 ile 15:00 aralığında farklılık göstermiştir. Bu farklılık ortam koşullarına bağlı olarak panel tarafından üretilen gerilim değerlerinde ani değişiklikler görülmesinden kaynaklanmaktadır.

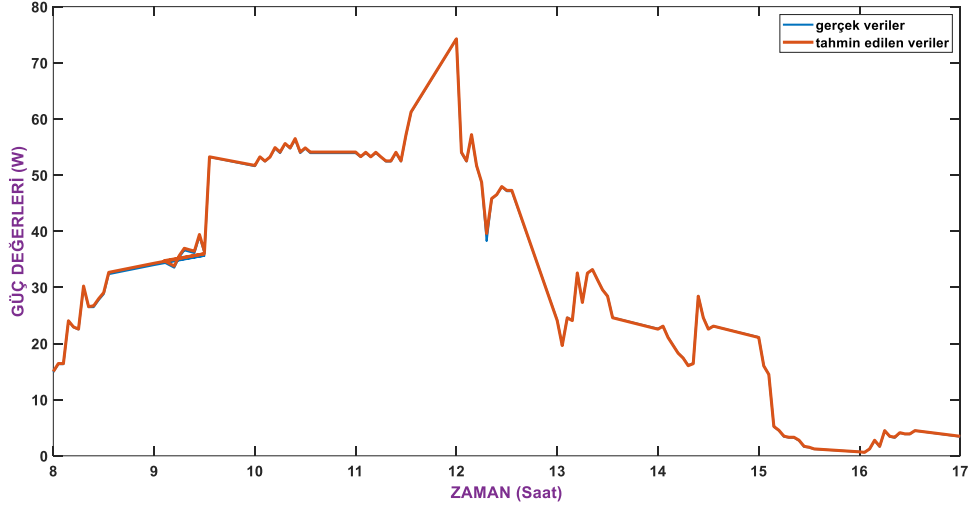


Şekil 6.21: Ağustos ayı test verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli

Yukarıda şekil 6.21’de verilen Ağustos ayına ait güç ve zaman grafiğinde görüldüğü gibi tahmin edilen ve gözlenen güç değerlerinde ani yükseliş ve ani düşüşler yaşanmıştır. Sabah saatlerinde 08:00 ile 11:00 aralığında güneş ışınımının doğrusal bir şekilde artmasıyla panelin ürettiği akım ve gerilim değeri de artış göstermiş ve akabinde güç değerinin de arttığı görülmüştür. Ancak 11:00’den sonra hava sıcaklığının ani olarak düşmesi ve gökyüzünün bulutlar ile kaplanması durumunda panele yansıyan güneş ışınım şiddetinin azalmasıyla üretilen güç değeri azalmıştır.

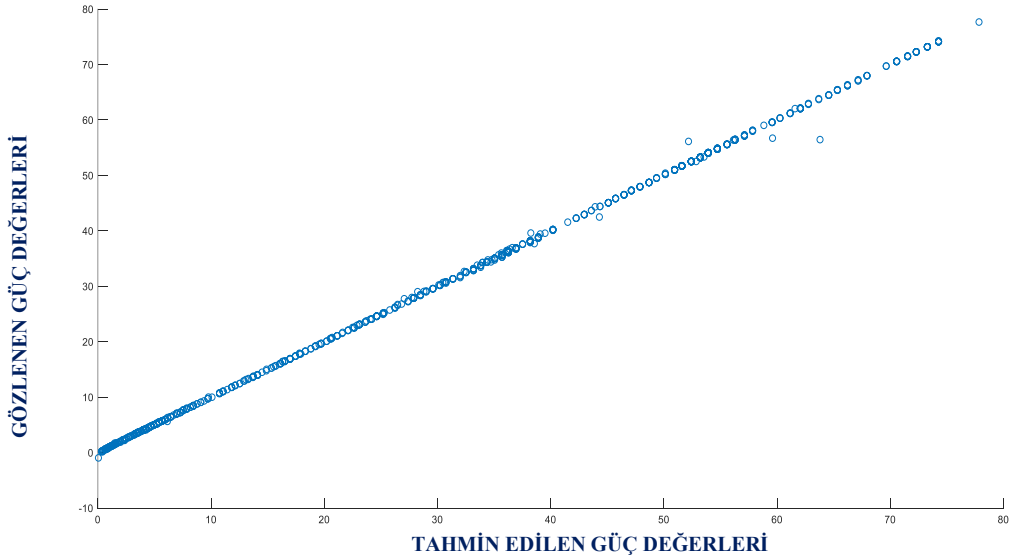


Şekil 6.22: Eylül ayı test verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli



Şekil 6.23: Ekim ayı test verilerinin bir günlük ELM algoritma tahmin örnek modeli

Modül-2'ye ait gerçek ve tahmin edilen güç değerlerine bağlı olarak elde ettiğimiz grafik şekil 6.24'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde gerçek güç değerleri ile tahmin edilen güç değerlerinin genel olarak doğrusal bir şekilde ilerlediği ancak belirli kısımlarda tahmin edilen güç değerlerinin daha aşağı seviyede kaldığı gözlenmiştir. Tahmin edilen güç değerlerinin gözlenen değerlerin altında kalması modelimizin belirli yerlerde az tahmin yaptığı kanısına varılmıştır.



Şekil 6.24: Modül-2 için Ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması

6.4 Çevresel Faktörlerin Güç Üretim Tahmini Modellemelerine Etkisi

Bu bölümde fotovoltaik sistem üzerinden 7 ay boyunca (Nisan-Ekim) ölçümü sağlanan ortam sıcaklığı, nem ve güneş radyasyonu değerleri ile panelin ürettiği akım, gerilim değerlerinden yola çıkarak güç tahmini yapılmıştır. Güç tahmini için farklı çevresel faktörler ile modeller oluşturulmuş ve her bir modele ait test ve eğitim verileri için ayrı ayrı RMSE, MSE ve R^2 hata katsayıları hesaplanmıştır. Modül- 3,4,5 'te çevresel faktörlerin yanında akımda girdi olarak girilmiş ve güç tahmini yapılmıştır. Aynı zamanda modellere ait ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması sağlanmıştır. Modellerin ezber yapıp yapmadığı tartışılmıştır. Bu karşılaştırmalar eğitim ve test verileri için ayrı ayrı yapılmıştır.

6.4.1 Güç üretim tahmini (Modül-3)

Bu model ile Malatya ilinde kurmuş olduğumuz fotovoltaik sistem üzerinden 7 ay boyunca (Nisan-Ekim) ölçümü sağlanan ortam sıcaklığı, nem ve güneş radyasyonu değerleri ile panelin ürettiği akım, gerilim değerlerinden yola çıkarak ileriye yönelik güç tahmini yapılmıştır. Modül-3 olarak adlandırdığımız modelde; girdi değişkenleri olarak akım, nem ve güneş radyasyonu değerleri girilirken çıktı değişkeni olarak güç değerleri girilmiştir. Model oluştururken periyodik olarak ölçümü sağlanan gerilim ve ortam sıcaklık değerinin etkisi ele alınmamıştır. Modele ait eğitim ve test verileri için MSE, RMSE ve R^2 hata katsayıları hesaplanmış ve Çizelge 6.4'te kaydedilmiştir.

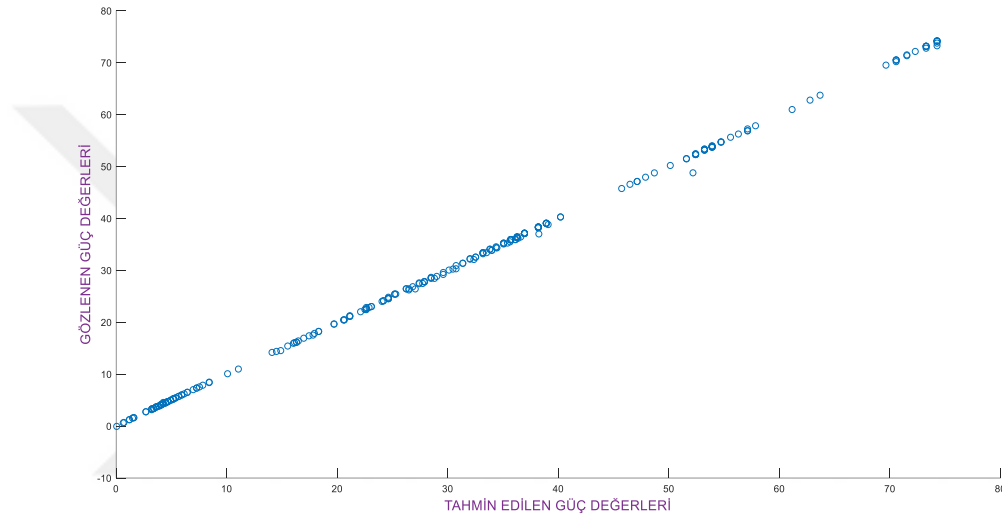
Çizelge 6.4: Modül-3'e ait ELM hata oranlarının sonuçları

ELM Hata Katsayıları						
Modül-3	Eğitim Verileri			Test Verileri		
	MSE	RMSE	R^2	MSE	RMSE	R^2
	0.1273	0.3564	0.9	0.0732	0.2705	0.9

Çizelge 6.4'te görüldüğü gibi eğitim verileri için MSE hata katsayısı 0.1273 ve test için ise 0.0732 olarak hesaplanmıştır. RMSE hata katsayısına bakıldığında eğitim için 0.3564 değeri elde edilmişken test için ise 0.2705 olarak hesaplanmıştır. RMSE ve MSE hata katsayılarının değerleri 0'a ne kadar yakın olursa o kadar iyi sonuçlar elde edilmiş

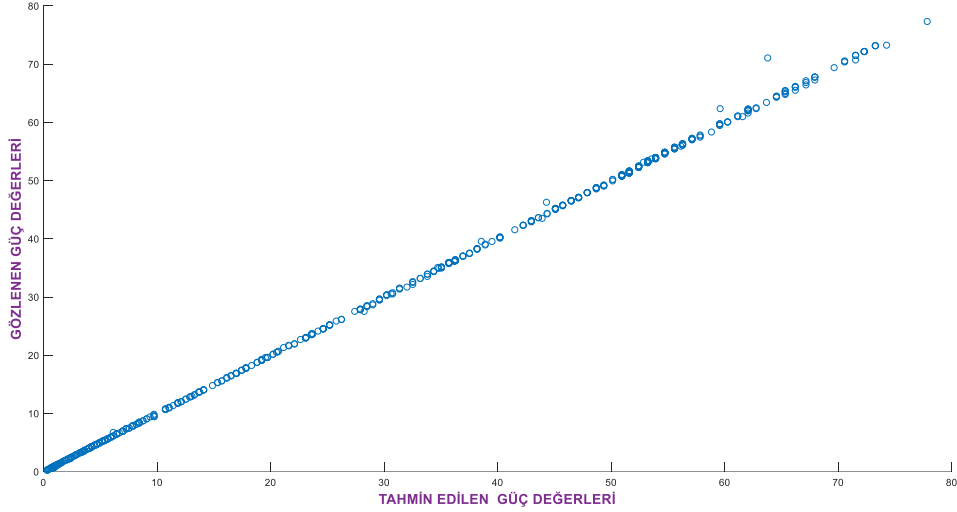
demektir. Bu durumda test verilerinden yola çıkarak hesaplanan MSE ve RMSE hata oranları 0'a daha yakın oldukları için modelimizin test verileriyle çok daha doğru sonuçları elde ettiği kanısına varılmıştır. 0 ile 1 aralığında değişkenlik gösteren korelasyon katsayısı (R^2) hem test hem de eğitim verileri için hesaplandığında 0.9 değeri elde edilmiştir. Korelasyon katsayısının aynı çıkması modelimizin doğru tahmin yaptığı anlamına gelmektedir.

Şekil 6.25 ve 6.26'da Modül-3'e ait eğitim ve test verilerinin hem gözlenen hem de tahmin edilen sonuçlarından yola çıkarak grafiksel analizleri elde edilmiştir.



Şekil 6.25: Modül-3 için Test Verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.25'de sadece birkaç noktada tahmin edilen veriler, gözlenen verilerin altında çıktığı görülmektedir. Ama genel olarak modelimizin tahmin edilen test verileri ile gözlenen test verileri aynı çıktığı yani sonuçlar lineer bir çizgi üzerinde olduğu için modelimizin doğru şekilde sonuçlar verdiğinin kanısına varılabilir.



Şekil 6.26: Modül-3 için eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.26’da birkaç noktada tahmin edilen verilerin, gözlenen verilerin üstünde çıktığı görülmektedir. Bu durumda modelimizin aşırı tahmin yaptığı anlaşılmaktadır.

6.4.2 Güç üretim tahmini (Modül-4)

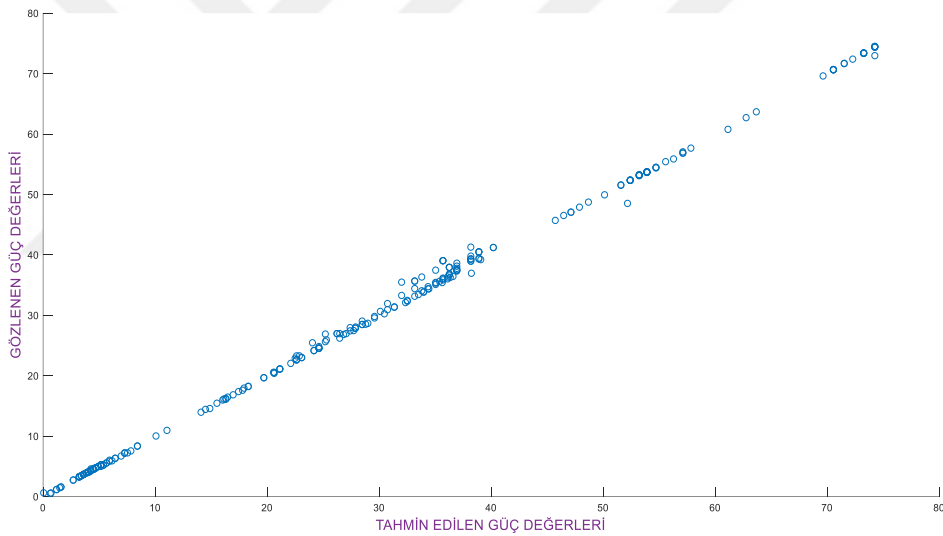
Bu model ile Malatya ilinde kurmuş olduğumuz fotovoltaik sistem üzerinden 7 ay boyunca (Nisan-Ekim) ölçümü sağlanan ortam sıcaklığı, nem ve güneş radyasyonu değerleri ile panelin ürettiği akım, gerilim değerlerinden yola çıkarak ileriye yönelik güç tahmini yapılmıştır. Modül-4 olarak adlandırdığımız modelde; girdi değişkenleri olarak akım, sıcaklık ve güneş radyasyonu değerleri girilirken çıktı değişkeni olarak güç değerleri girilmiştir. Panelin verimini etkileyen nem miktarının etkisini ve panelden elde edilen gerilim değerlerini göz önüne almadan model oluşturulmuştur. Modele ait eğitim ve test verileri için MSE, RMSE ve R^2 hata katsayıları hesaplanmış ve Çizelge 6.5’te kaydedilmiştir.

Çizelge 6.5: Modül-4’e ait ELM hata oranlarının sonuçları

ELM Hata Katsayıları						
Modül-4	Eğitim Verileri			Test Verileri		
	MSE	RMSE	R^2	MSE	RMSE	R^2
	0.1201	0.3466	0.9	0.560	0.7483	0.9

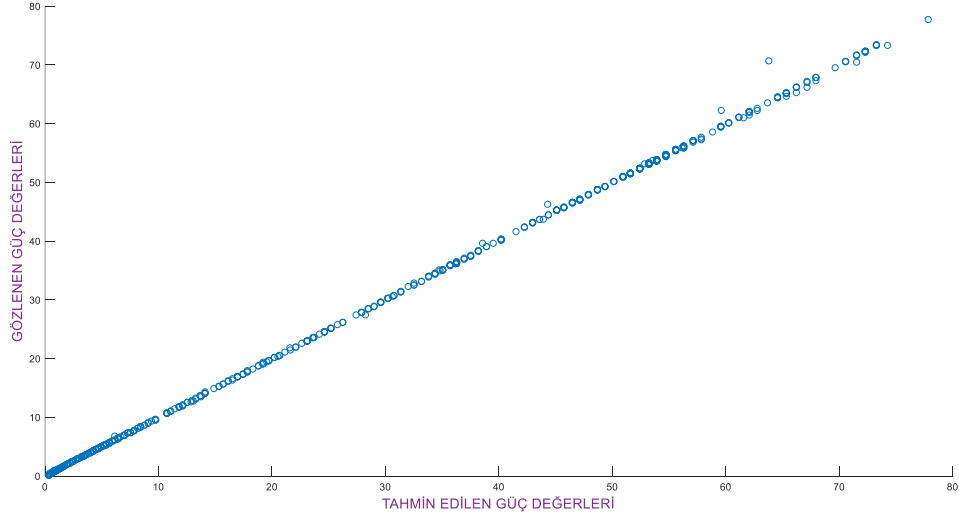
Çizelge 6.5’te görüldüğü gibi eğitim verileri için MSE hata katsayısı 0.1201 ve test için ise 0.560 olarak hesaplanmıştır. RMSE hata katsayısına bakıldığında eğitim için 0.3466 değeri elde edilmişken test için ise 0.7483 olarak hesaplanmıştır. RMSE ve MSE hata katsayılarının değerleri 0’a ne kadar yakın olursa o kadar iyi sonuçlar elde edilmiş demektir. Bu durumda eğitim verilerinden yola çıkarak hesaplanan MSE ve RMSE hata oranları 0’a daha yakın oldukları için modelimizin eğitim verileriyle çok daha doğru sonuçları elde ettiği kanısına varılmıştır. 0 ile 1 aralığında değişkenlik gösteren korelasyon katsayısı (R2) hem test hem de eğitim verileri için hesaplandığında 0.9 değeri elde edilmiştir. Korelasyon katsayısının aynı çıkması modelimizin doğru tahmin yaptığı anlamına gelmektedir.

Şekil 6.27 ve 6.28’de Modül-4’e ait eğitim ve test verilerinin hem gözlenen hem de tahmin edilen sonuçlarından yola çıkarak grafiksel analizleri elde edilmiştir.



Şekil 6.27: Modül-4 için Test Verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.27’de tahmin edilen verilerin, gözlenen verilerin üstünde ve altında çıktığı birçok nokta görülmektedir. Ama genel olarak tahmin edilen veriler, çoğu noktada gözlenen verilerin üstünde çıktığı için modelimizin aşırı tahmin yaptığı kanısına varılabilir.



Şekil 6.28: Modül-4 için eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.28’de sadece birkaç noktada tahmin edilen veriler, gözlenen verilerin üstünde çıktığı görülmektedir. Bu durumda genel olarak lineer bir sonuç veren modelin bazı noktalarında tahmin edilen veriler gözlenen verilerin üstünde çıktığı için modelimizin aşırı ezber yapmış demektir. Modül 4 olarak adlandırdığımız modellemede hem test hem de eğitim verilerinde tahmin edilen veriler, gözlenen veriler üzerinde çıktığı için modelimiz genel olarak aşırı tahmin yapmıştır.

6.4.3. Güç üretim tahmini (Modül-5)

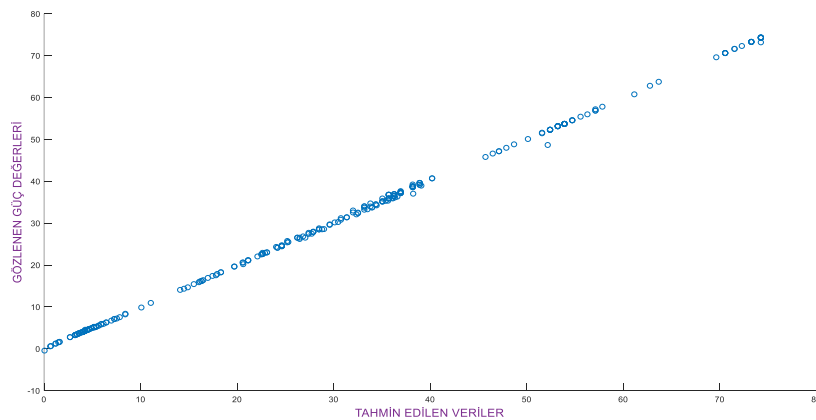
Bu model ile Malatya ilinde kurmuş olduğumuz fotovoltaik sistem üzerinden 7 ay boyunca (Nisan-Ekim) ölçümü sağlanan ortam sıcaklığı, nem ve güneş radyasyonu değerleri ile panelin ürettiği akım, gerilim değerlerinden yola çıkarak ileriye yönelik güç tahmini yapılmıştır. Modül-5 olarak adlandırdığımız modelde; girdi değişkenleri olarak akım, sıcaklık ve nem değerleri girilirken çıktı değişkeni olarak güç değerleri girilmiştir. Bu modelde ise güneş radyasyonu ve gerilim değerleri ele alınmamıştır. Panelin verimini etkileyen nem miktarının etkisini göz önüne almadan model oluşturulmuştur. Modele ait eğitim ve test verileri için MSE, RMSE ve R^2 hata katsayıları hesaplanmış ve Çizelge 6.6’te kaydedilmiştir.

Çizelge 6.6: Modül-5'e ait ELM hata oranlarının sonuçları

ELM Hata Katsayıları						
Modül-5	Eğitim Verileri			Test Verileri		
	MSE	RMSE	R ²	MSE	RMSE	R ²
	0.1268	0.3563	0.9	0.1378	0.3713	0.9

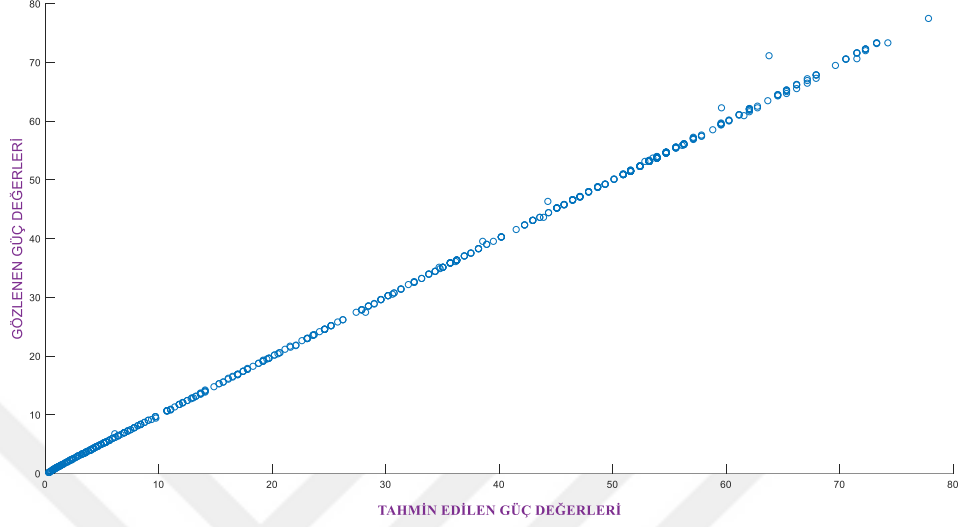
Çizelge 6.6'da görüldüğü gibi eğitim verileri için MSE hata katsayısı 0.1268 ve test için ise 0.1378 olarak hesaplanmıştır. RMSE hata katsayısına bakıldığında eğitim için 0.3563 değeri elde edilmişken test için ise 0.3713 olarak hesaplanmıştır. RMSE ve MSE hata katsayılarının değerleri 0'a ne kadar yakın olursa o kadar iyi sonuçlar elde edilmiş demektir. Bu durumda eğitim verilerinden yola çıkarak hesaplanan MSE ve RMSE hata oranları 0'a daha yakın oldukları için modelimizin eğitim verileriyle çok daha doğru sonuçları elde ettiği kanısına varılmıştır. Ancak genel olarak bu modelimizin hem test hem de eğitim verileri ile hesaplanan hata katsayıları birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu da modelin doğruluğunun kanıtıdır. 0 ile 1 aralığında değişkenlik gösteren korelasyon katsayısı (R²) hem test hem de eğitim verileri için hesaplandığında 0.9 değeri elde edilmiştir. Korelasyon katsayısının aynı çıkması modelimizin doğru tahmin yaptığı anlamına gelmektedir.

Şekil 6.29 ve 6.30'da Modül-5'e ait eğitim ve test verilerinin hem gözlenen hem de tahmin edilen sonuçlarından yola çıkarak grafiksel analizleri elde edilmiştir.



Şekil 6.29: Modül-5 için test verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.29’da sadece birkaç noktada tahmin edilen veriler, gözlenen verilerin altında çıktığı görülmektedir. Genel anlamda sonuçların lineer bir çizgi üzerinde olduğu için modelimiz genel olarak doğru ancak birkaç noktada yok sayılabilecek kadar az tahmin yapmıştır.



Şekil 6.30: Modül-5 için eğitim verilerine ait ölçülen ve tahmin edilen güç değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.30’da sadece birkaç noktada tahmin edilen veriler, gözlenen verilerin üstünde çıktığı görülmektedir. Bu durumda az da olsa modelimizin aşırı tahmin yaptığı görülmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

PV panellerin uygulama alanlarında karşılaşılan en önemli problemlerden biri kurulum aşamasında gösterdikleri maliyetlerdir. Fotovoltaik santrallerden oluşan tesislerde bölgeye ait güneş enerjisi potansiyelinin önceden analiz edilmesi santralden elde edilecek verim açısından oldukça önemlidir. Bunun için öncelikle PV panellerin ürettiği elektrik enerjisi miktarını etkileyen faktörler belirlenmelidir. İlk olarak panele yansıyan güneş ışınımı şiddeti devamında ortam sıcaklığı, nem oranı, rüzgâr hızı vb. meteorolojik parametrelerin takipleri yapılmalıdır. Fotovoltaik panel üreticilerinin ürünlerine ait sundukları karakteristikler standart test koşulları kapsamında olmasına rağmen birçok bölgede standart olmayan koşullar altında fotovoltaik panel işletmeleri kurulmaktadır. Bu durumda çevresel faktörlere bağlı olarak panellerin çıkış güçlerinin önceden analiz edilmesi ile daha doğru bir yatırım yapılması sağlanılır.

Tez çalışmamızda çevresel faktörler açısından Malatya iline kurulan fotovoltaik panel ölçüm istasyonu kurulmuştur. Panelin bulunduğu bölgeye ait sıcaklık, nem ve güneş radyasyonu gibi çevresel faktörlere bağlı olarak ürettiği akım, gerilim ve güç değerlerinin tasarladığımız PCB kart ile uzaktan takibi yapılmıştır. Sistemden elde edilen verilerin güvenilir, ucuz ve yüksek veri yoğunluğuna sahip bir veri kaydedici ile toplanması ve bilgisayar ortamına aktarılması sağlanmıştır. Elde edilen veriler 7 aylık süre ile ölçülüp kaydedilmiştir. Oluşturulan veri seti üzerinde aşırı öğrenme makineleri algoritmaları kullanılarak üretilen güç tahmini için modelleme yapılmıştır. Güç tahmin modelinde 5 modül gerçekleştirilmiştir. Bu modüllerin performanslarının değerlendirilmesi için hata oranları hesaplanmıştır. Modül-1 ve 2 kendi aralığında, Modül-3,4 ve 5 de bir grup olarak değerlendirilmiştir. Güç tahmini sonuçlarının genel olarak güvenilir çıktığı gözlenmiştir ancak yine de Modül-2'den daha iyi performans elde edildiği gözlenmiştir.

Modül-3,4 ve 5'e bakıldığında Modül 3 ve 5'in sonuçlarının Modül-4'e göre daha iyi olduğu gözlenmiştir. Eğitilen ve test edilen ELM modellerinde ölçülen güç verileri ile tahmin edilen güç değerlerinin grafiksel sonuçları da ortaya konulmuş ve modellerin aşırı mı yoksa az mı tahmin yaptığı analiz edilmiştir.

ELM algoritmasının öğrenme süresinde, yalnızca gizli katman düğümlerinin sayısının ayarlanması gerekir algoritma uygulama sürecinde ağ giriş ağırlıklarını ve gizli önyargıları ayarlamaya gerek yoktur. Hızlı öğrenme ve genelleştirme performansları avantajlarıyla benzersiz bir optimal çözüm sağlamaktadırlar. Aşırı öğrenme makineleri, geleneksel tek gizli katmanlı ileri beslemeli sinir ağı özelliği ile tahminlerin daha hızlı ve güvenilir bir şekilde elde edilmesi için kullanılmıştır. Bu sayede ağ yapısı da büyük ölçüde geliştirildi. Ancak, ELM algoritmasının hala bazı eksiklikleri bulunmaktadır. ELM'nin daha fazla iyileştirilmesinin sağlanması için:

1. Mevcut. ELM gizli katmanındaki nöron sayısının çok olması uygulama çok uygun olmayarak sonuçların doğruluğunu da etkileyecektir. Bu nedenle, ELM model yapısının ve algoritmanın genelleme performansının daha da geliştirilmesi gereklidir.
2. İleride yapılacak çalışmalarda çevrimiçi öğrenmenin daha kapsamlı bir şekilde yapılmasının sağlanması için diğer türdeki algoritmaların ELM ile birleştirilmesi sağlanmalıdır.
3. ELM uygulamaları alanları genişletilmelidir. Herhangi bir regresyon ve çoklu sınıflandırma problemini ele almak ve çözmek için ELM'nin daha iyi nasıl kullanılacağı, bilinmelidir.
4. Aşırı öğrenme makineleri gibi derin öğrenme modellerinin sürekli olarak geliştirilmesi ve optimize edilmesi önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Y. Mutlu, “Türkiye’nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi,” *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Derg.*, vol. 4, no. 2, pp. 33–54, 2012, doi: 10.1501/csaum_0000000064.
- [2] E. Soyu and E. Ürün, “a Review of the Renewable Energy Resources in the Energy Production of Turkey,” *Soc. Sci. J.*, vol. ICEBSS Spe, pp. 31–45, 2016.
- [3] F. Ç. Kılıç, “Güneş enerjisi, Türkiye’deki son durumu ve üretim teknolojileri,” *Mühendis ve Makina*, vol. 56, no. 671, pp. 28–40, 2015.
- [4] Ö. C. Külekçi, “Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi,” *Çevre Bilim. Derg.*, pp. 83–91, 2009, doi: 10.1501/csaum_0000000017.
- [5] Z. Şen, *Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques*. London: Springer London, 2008.
- [6] G. Özkaya, H. İbrahim Variyenli, and U. Serkan, “Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi ve Kayseri İli İçin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi,” *C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilim. Derg.*, vol. 29, no. 1, pp. 1–20, 2008.
- [7] F. Dinçer, İ. Atık, Ş. Yılmaz, and A. Çıngı, “Hidrolik enerjisinden yararlanmada ülkemiz ve gelişmiş ülkelerin mevcut durumlarının analizi,” *Dicle Üniversitesi Mühendislik Derg.*, vol. 66, no. 0348, pp. 555–561, 2017.
- [8] Bektaş, B., Hakyemez, C., Yanık, E., Kavak, K., *Sektörel Görünüm :Enerji*. 2019.
- [9] K. B. Varınca ve M. T. Gönüllü, “Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma,” *I. Ulus. Güneş ve Hidrojen Enerji. Kongresi*, pp. 270–75, 2006, doi: 10.17341/gummfd.57526.
- [10] Y. İçel, “Güneş Enerji Sistemlerinin Performans Tahmini için Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi ve Verimliliğin İncelenmesi,” *Fen Bilimleri Enstitüsü, İnönü Üniversitesi, Doktora Tezi*, 2019.
- [11] F. Dinçer, “Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli - Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme,” *Kahramanmaraş Sutcu Imam Univ. J. Eng. Sci.*, vol. 14, no. 1, pp. 8–17, 2011.
- [12] L. Saraiva, A. Alcaso, P. Vieira, C. F. Ramos, and A. M. Cardoso, “Development of a cloud-based system for remote monitoring of a PVT panel,” *Open Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 291–297, 2016, doi: 10.1515/eng-2016-0041.
- [13] P. Papageorgas, D. Piromalis, K. Antonakoglou, G. Vokas, D. Tseles, and K. G. Arvanitis, “Smart solar panels: In-situ monitoring of photovoltaic panels based on wired and wireless sensor networks,” *Energy Procedia*, vol. 36, pp. 535–545, 2013, doi: 10.1016/j.egypro.2013.07.062.
- [14] O. Şenkal, “Modeling of solar radiation using remote sensing and artificial neural network in Turkey,” *Energy*, vol. 35, no. 12, pp. 4795–4801, 2010, doi: 10.1016/j.energy.2010.09.009.
- [15] F. Touati, M. A. Al-Hitmi, N. A. Chowdhury, J. A. Hamad, and A. J. R. San Pedro Gonzales, “Investigation of solar PV performance under Doha weather using a

- customized measurement and monitoring system,” *Renew. Energy*, vol. 89, pp. 564–577, 2016, doi: 10.1016/j.renene.2015.12.046.
- [16] S. Yilmaz, H. R. Ozcalik, S. Kesler, F. Dincer, and B. Yelmen, “The analysis of different PV power systems for the determination of optimal PV panels and system installation - A case study in Kahramanmaraş, Turkey,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 52, pp. 1015–1024, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.07.146.
- [17] Y. Rashidi, M. Moallem, and S. Vojdani, “Wireless Zigbee system for performance monitoring of photovoltaic panels,” in *2011 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2011, pp. 3205–3207.
- [18] Z. Li, C. Zang, P. Zeng, H. Yu, and H. Li, “Day-ahead hourly photovoltaic generation forecasting using extreme learning machine,” *2015 IEEE Int. Conf. Cyber Technol. Autom. Control Intell. Syst. IEEE-CYBER 2015*, pp. 779–783, 2015, doi: 10.1109/CYBER.2015.7288041.
- [19] A. Bagnasco, G. Allasia, M. Giannettoni, P. Pinceti, and G. Parodi, “Innovative solutions for photovoltaic plants remote monitoring,” in *2012 9th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, 2012, pp. 1–5.
- [20] Metin A., Suzer M., Yesilata B., “Fotovoltaik Sistemlerde Anlık Çalışma Koşullarının Ölçümü İçin Özgün Bir Veri (DAQ) Kartı Tasarımı,” *3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, 2005.
- [21] A. Mellit, S. Sağlam, and S. A. Kalogirou, “Artificial Neural Network-Based Model for Estimating The Produced Power of a Photovoltaic Module,” *Renew. Energy*, vol. 60, pp. 71–78, 2013, doi: 10.1016/j.renene.2013.04.011.
- [22] S. M. Lurwan, N. Mariun, H. Hizam, M. A. Mohd Radzi, and A. Zakaria, “Predicting Power Output of Photovoltaic Systems With Solar Radiation Model,” in *Conference Proceeding - IEEE International Conference on Power and Energy*, 2014, pp. 304–38, doi: 10.1109/PECON.2014.7062461.
- [23] A. Parikh, F. Pathan, B. Rathod, and S. Shah, “Solar Panel Condition Monitoring System Based on Wireless Sensor Network,” *Int. J. Sci. Eng. and Technol. Res.*, vol. 4, no. 12, pp. 4320–4324, 2015.
- [24] R. A. Hanafi, C. W. Liu, and Suwarno, “One-Hour-Ahead Solar Power Forecasting Using Artificial Neural Networks in Taiwan,” in *Proceedings of the 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems: Towards Sustainable and Reliable Power Delivery, ICHVEPS*, 2019, pp. 169–174, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011128.
- [25] H. Liu, C. Zhang, and D. Huang, “Extreme Learning Machine and Moving Least Square Regression Based Solar Panel Vision Inspection,” *J. Electr. Comput. Eng.*, 2017, doi: 10.1155/2017/7406568.
- [26] C.-M. Lin and Y.-C. Chen, “Solar Panel Tracking and Performance Monitoring Through Wireless Communication,” Sep. 15, 2011.
- [27] A. Karabiber and Ö. F. Alçın, “Short Term PV Power Estimation by means of Extreme Learning Machine and Support Vector Machine,” *7th Int. Istanbul Smart Grids Cities Congr. Fair, ICSG 2019 - Proc.*, pp. 41–44, 2019, doi: 10.1109/SGCF.2019.8782324.

- [28] T. Ma, H. Yang, and L. Lu, "Solar Photovoltaic System Modeling and Performance Prediction," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.04.057.
- [29] G. de Freitas Viscondi and S. N. Alves-Souza, "A Systematic Literature Review on Big Data for Solar Photovoltaic Electricity Generation Forecasting," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 31, pp. 54–63, 2019, doi: 10.1016/j.seta.2018.11.008.
- [30] M. Şahin, Y. Kaya, M. Uyar, and S. Yildirim, "Application of Extreme Learning Machine for Estimating Solar Radiation from Satellite Data," *Int. J. Energy Res.*, vol. 38, no. 2, pp. 205–212, 2014, doi: 10.1002/er.3030.
- [31] T. T. Teo, T. Logenthiran, and W. L. Woo, "Forecasting of Photovoltaic Power Using Extreme Learning Machine," 2016, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2015.7387113.
- [32] O. Balli, H. Aras, N. Aras, and A. Hepbasli, "Estimating and Statistically Analyzing the Global Solar Radiation Potential Over Big Cities in Turkey," *Energy Explor. Exploit.*, vol. 25, no. 4, pp. 301–311, 2007, doi: 10.1260/014459807783129895.
- [33] H. K. Ghritlahre and R. K. Prasad, "Application of ANN Technique to Predict the Performance of Solar Collector Systems - A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 84, pp. 75–88, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.01.001.
- [34] X. Xu and H. Wang, "The Wireless Sensor Network Construction of the Photovoltaic Power System - ZigBee," in *Procedia Engineering*, 2011, pp. 2511–2515, doi: 10.1016/j.proeng.2011.08.472.
- [35] M. E. Andreoni López, F. J. Galdeano Mantiñan, and M. G. Molina, "Implementation of Wireless Remote Monitoring and Control of Solar Photovoltaic (PV) System," 2012, doi: 10.1109/TDC-LA.2012.6319050.
- [36] A Koç., H Yağlı., Y Koç., İ Uğurlu., "Dünyada ve Türkiye ' de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi," *Mühendis ve Makina Derg.*, vol. 59, no. 692, pp. 84–112, 2018.
- [37] "Solar Power." <https://www.electricaldeck.com/2020/01/solar-power.html>. 26.05.2020
- [38] E. Koç and M. C. Şenel, "Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu," *Muhendis ve Makina*, vol. 54, no. 639, pp. 32–44, 2013.
- [39] M. ARAS, "Polikristal ve Monokristal Tip Fotovoltaik Güneş Panellerinin Verimlerinin Erzurum Kış Ayları Koşullarında Karşılaştırılması," Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2019.
- [40] E. KAPLUHAN, "Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Güneş Enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu," *COĞRAFYA DERGİSİ*, no. 29, pp. 70–98, 2014, doi: 10.14781/MCD.2014308146.
- [41] "Enerji Atlası." <https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html> 17.03.2021
- [42] K N Gül., M S Mamiş., "Malatya İlinin Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyeli ve Enerji Üretim Maliyetlerinin İncelenmesi," in *IRDC Conference*, 2019, pp. 480–493.
- [43] İsmail H. ALTAŞ, "Fotovoltaik Güneş Pilleri Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri," *Enerj. Elektr. Elektromekanik-3e*, no. 47, pp. 66–71, 1998.

- [44] Furkan Kozak, "Türkiye'nin Coğrafi Konumu." <http://furkankozak.blogspot.com> (accessed May 26, 2020).
- [45] N. Enerji, "Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası," 2021. http://www.normenerji.com.tr/menu_detay.asp?id=10136 (accessed May 26, 2021).
- [46] S. Cebeci., "Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi," T.C. Kalkınma Bakanlığı, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara, 2017.
- [47] Oda Raporu, "Türkiye'nin Enerji Görünümü," TMMOB Makina Mühendisleri Odası., Ankara, 2014.
- [48] GEPA, "Malatya İlinin Güneş Enerjisi Potansiyeli." <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/44.aspx>.
- [49] S. Sayın., İ. Koç., "Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (PV) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri," *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknol. Derg.*, vol. 26, no. 3, pp. 89–106, 2011.
- [50] H.Hüseyin ÖZTÜRK, "Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşü Verimi ve Etkili Etmenler," *Elektr. Mühendisleri Odası*, 2004.
- [51] Baymak, "Fotovoltaik Sistemler," *Güneş Enerj. Sist.*, 2016.
- [52] S. Abamor, "Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Enerji Santrallerinin Elektrik Güç Kalite Parametrelerinin İzlenmesi ve Analizi," Fen Bilimleri Üniversitesi, Harran Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- [53] İ. Kılınçdemir., C. Acar., "Güneş Takip Sistemi," Elektrik Mühendisliği Odası.
- [54] A. Erkul., "Monokristal, Polikristal ve Amorf-Silisyum Güneş Panellerinin Verimliliğinin İncelenmesi ve Aydınlatma Sistemi Uygulaması," Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, 2010.
- [55] İ. Kayrı., "Güneş Panelleri ile Üretilen Enerjinin Ortam Bilgileri Kullanılarak Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmini," Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Doktora Tezi, 2017.
- [56] A. Ö. Küpeli., "Güneş Pilleri ve Verimleri," Fen Bilimleri Üniversitesi, Osmangazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [57] A.Ü. GAMA MYO. Elektrik ve Enerji Bölümü, "Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi."
- [58] O. H. Boz., "Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı: Fotovoltaik Güneş Pilleri," Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [59] J. Bikaneria, S. Prakash Joshi, A. Joshi, A. Service Manager, and K. Trucking, "Modeling and Simulation of PV Cell Using One-Diode Model," *Int. J. Sci. Res. Publ.*, vol. 3, no. 10, 2013.
- [60] O. Kırıcıoğlu and A. B. Yıldız, "Fotovoltaik Panelin Tek Diyotlu Eşdeğer Devresine Ait Büyük Sinyal Analizi," *VI.ENERJİ VERİMLİLİĞİ, KALİTESİ SEMPOZYUMU VE SERGİSİ BİLDİRİLERİ*, 2015.
- [61] R. Jalilisaatlou, "Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Kalite Karakteristiklerinin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi," Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2015.

- [62] W. B. Q Kou., S Klein., “A Method for Estimating the Long-Term Performance of Direct Coupled Photovoltaic Systems,” *Sol. Energy*, vol. 64, no. (1-3), pp. 33–40, 1998, doi: 10.1016/S0038-092X(98)00049-8.
- [63] M. Karamanav, “Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri,” Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [64] Y. Oğuz, A. Karakan, and B. Uslu, “Afyonkarahisar’da Kurulu Olan Monokristal, Polikristal ve İnce Film Güneş Panellerinin Verimliliğinin İncelenmesi,” *Tesisat Mühendisliği Derg.*, vol. 23, no. 149, pp. 47–58, 2015.
- [65] K. Kakikawa, Y. Yamagishi, K. Tanahashi, H. Takato, and Y. Cho, “Local Evaluation of Al₂O₃ Passivation Layers for Monocrystalline Silicon Solar Cells by Super-Higher-Order Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy,” *IEEE 7th World Conf. Photovolt. Energy Conversion, WCPEC 2018 - A Jt. Conf. 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC 34th EU PVSEC*, no. 1, pp. 3118–3120, 2018, doi: 10.1109/PVSC.2018.8547292.
- [66] Y. Ardağ, “Güneş Pili Karakteristiklerinin İncelenmesi,” Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [67] A.Ü. GAMA MYO. Elektrik ve Enerji Bölümü, “Güneş Enerjisi İle Elektrik Üretimi,” 3. Hafta Ders Notları, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- [68] H. C. Baş., “Fotovoltaik Sistemlerin Performans Değerlendirmesi,” Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Bitirme Tezi, 2016.
- [69] S. Cao *et al.*, “Light Propagation in Flexible Thin-Film Amorphous Silicon Solar Cells with Nanotextured Metal Back Reflectors,” *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 12, no. 23, pp. 26184–26192, 2020, doi: 10.1021/acsami.0c05330.
- [70] M. A. Green, “Thin-Film Solar Cells: Review of Materials, Technologies and Commercial Status,” *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 18, no. SUPPL. 1, pp. 15–19, 2007, doi: 10.1007/s10854-007-9177-9.
- [71] B. Rech and H. Wagner, “Potential of Amorphous Silicon for Solar Cells,” *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.*, vol. 69, no. 2, pp. 155–167, 1999, doi: 10.1007/s003390050986.
- [72] X. Wu, “High-Efficiency Polycrystalline CdTe Thin-Film Solar Cells,” *Sol. Energy*, vol. 77, no. 6, pp. 803–814, 2004, doi: 10.1016/j.solener.2004.06.006.
- [73] M. F. Al-Kuhaili, “Photoelectric Properties of Highly Conductive Samarium-Doped Cadmium Telluride Thin Films for Photovoltaic Applications,” *Sol. Energy*, vol. 213, pp. 163–171, 2021, doi: 10.1016/j.solener.2020.11.028.
- [74] A. Supekar *et al.*, “Cadmium Telluride/Cadmium Sulfide Thin Films Solar Cells: A Review,” *ES Energy Environ.*, vol. 10, pp. 3–12, 2020, doi: 10.30919/eseec8c706.
- [75] A. P. Nicholson, “Density Functional Theory and Greens Function Approach Investigate Cadmium Telluride Based Thin Film Photovoltaics,” Colorado State University, Doktora Tezi, 2020.
- [76] A.Ü. GAMA MYO. Elektrik ve Enerji Bölümü, “Güneş Enerjisi İle Elektrik Üretimi,” 4 Hafta Ders Notları, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- [77] M. Abrar, “Optimizing Layer Thickness and Percentage Composition of Copper Indium Gallium Selenide Thin Film Solar Cell,” no. March, 2021.

- [78] I. C. B., R. Lameirinhas, C. A. F. Fernandes, and J. P. N. Torres, “Comparative Study of Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) Solar Cell With Other Solar Technologies,” *Sustain. Energy Fuels*, 2021, doi: 10.1039/d0se01717e.
- [79] H. Victor Du John, D. Jackuline Moni, and D. Gracia, “A Detailed Review on Si, GaAs, and CIGS/CdTe Based Solar Cells and Efficiency Comparison,” *Prz. Elektrotechniczny*, vol. 96, no. 12, pp. 9–18, 2020, doi: 10.15199/48.2020.12.02.
- [80] O. Mangla and S. Roy, “Synthesis of Gallium Arsenide Nanostructures for Solar Cell Applications,” *Mater. Lett.*, vol. 274, p. 128036, 2020, doi: 10.1016/j.matlet.2020.128036.
- [81] Z. Li *et al.*, “Wide-Bandgap Perovskite/Gallium Arsenide Tandem Solar Cells,” *Adv. Energy Mater.*, vol. 10, no. 6, pp. 1–16, 2020, doi: 10.1002/aenm.201903085.
- [82] M. Büyükkılıç, “Güneş Enerjili Sistemlerin Yol Aydınlatması Amaçlı Kullanımı,” Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [83] S. Abdelhady, “Performance and Cost Evaluation of Solar Dish Power Plant: Sensitivity Analysis of Levelized Cost of Electricity (LCOE) and Net Present Value (NPV),” *Renew. Energy*, vol. 168, pp. 332–342, 2021, doi: 10.1016/j.renene.2020.12.074.
- [84] A. O. López-Bautista, A. Flores-Tlacuahuac, and M. A. Gutiérrez-Limón, “Robust model predictive control for a nanofluid based solar thermal power plant,” *J. Process Control*, vol. 94, pp. 97–109, 2020, doi: 10.1016/j.jprocont.2020.09.001.
- [85] E. Dursun, “Şebekeden Bağımsız Rüzgâr, Güneş ve Hidrojen Kaynaklı Hibrit Enerji Sisteminin Analizi,” Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, Doktora Tezi, 2013.
- [86] F. Kantaroğlu, “Fotovoltaik Sistemler,” *J. Chem. Inf. Model.*, pp. 28–34, 2010, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [87] Bağımsız Enerji, “Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistem.” <https://www.bagimsizenerji.com/şebekedenbagimsiz.html>.
- [88] N. Arici and A. İskender, “Fotovoltaik Güneş Santrallerinde Şebeke Bağlantı Sorunları ve Çözümleri,” *Politek. Derg.*, vol. 23, no. 1, pp. 215–222, 2020, doi: 10.2339/politeknik.644820.
- [89] A. Kumar, N. Gupta, and V. Gupta, “A Comprehensive Review on Grid-Tied Solar Photovoltaic System,” *J. Green Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 213–254, 2017, doi: 10.13052/jge1904-4720.71210.
- [90] Müyendis, “Şebekeye bağlı (on grid) FV santral bileşenleri genel yapısı.” <https://muyendis.com/on-grid-solar-sebeke-baglantili-sistem/>.
- [91] C. Fidan, “Batman Şartlarında Fotovoltaik Panellerde Verim Artırma Yöntemleri,” Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman Üniversitesi, Doktora Tezi, 2021.
- [92] O. Çetintaş, E. ve Karabulut, “Güneş Enerjisi Sistemi ’ nin Verimlilik Analizi ve Verimliliği Arttırmaya Yönelik PLC ve Scada Sisteminin Tasarımı,” Fen Bilimleri Üniversitesi, Akdeniz Üniversitesi, Bitirme Tezi, 2020.
- [93] A. Erat, “Fotovoltaik Panel Yüzey Temizliği İçin Akıllı Sistem Tasarımı,” Fen Bilimleri Enstitüsü, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [94] A. Schmid, G. Dülger, and M. Cubukcu, “Fotovoltaik Modüllerin Güç Ölçümü

- Belirsizliklerinin Analizi,” *V.ElektrikTesisat Ulus. Kongre ve Sergisi*, pp. 1–13, 2017.
- [95] . E, Bilgili., M, Dağtekin, “Fotovoltaik Piller İle Elektrik Üretiminde Uygun Eğitim Açısının ve Yıllık Oluşan,” *GAZİOSMANPAŞA BİLİMSEL ARAŞTIRMA DERGİSİ (GBAD)*, vol. 6, pp. 156–167, 2017.
- [96] . K N Gül., M S Mamiş, “Monitoring of Photovoltaic Panels With Wireless Network and Evaluation of Production Performance,” *2. Int. Eur. Conf. Interdiscip. Sci. Res.*, pp. 478–486, 2020.
- [97] A Kerem, M Atik, A Bayram, “Fotovoltaik (PV) Panel Sisteminde Yüzey Soğutma İşleminin Elektrik Üretimine Etkisinin Deneysel İncelenmesi,” *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Derg.*, vol. 12, no. 2, pp. 565–578, 2020.
- [98] S. Mekhilef, R. Saidur, and M. Kamalisarvestani, “Effect of Dust, Humidity and Air Velocity on Efficiency of Photovoltaic Cells,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 5, pp. 2920–2925, 2012, doi: 10.1016/j.rser.2012.02.012.
- [99] N. Arslanoğlu, A. Yiğit, and B. S. Eker, “Fotovoltaik Sistemlerin Projelendirme, Kurulum ve İşletilmesinde Önemli Faktörler,” *Uludağ Univ. J. Fac. Eng.*, vol. 24, no. 3, pp. 483–490, 2019, doi: 10.17482/uumfd.562016.
- [100] B. Guo, W. Javed, B. W. Figgis, and T. Mirza, “Effect of Dust and Weather Conditions on Photovoltaic Performance in Doha, Qatar,” *2015 1st Work. Smart Grid Renew. Energy, SGRE 2015*, 2015, doi: 10.1109/SGRE.2015.7208718.
- [101] G. Genc, “Fotovoltaik Panellerde Gölge ve Toz Etkisinin Analizi,” Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [102] B. Sayın, “Aşırı Öğrenme Makineleri İle Beta Talasemi ve Demir Eksikliği Anemisinin Ayırt Edilmesi,” Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2021.
- [103] S. Ding, H. Zhao, Y. Zhang, X. Xu, and R. Nie, “Extreme learning machine: algorithm, theory and applications,” *Artif. Intell. Rev.*, pp. 103–115, 2015, doi: 10.1007/s10462-013-9405-z.
- [104] A. Seydi, A. Kaya, Ç. Çağatay, B. Tekinerdoğ, H. Üniversitesi, and B. Mühendisliği, “Aşırı Öğrenme Makinesi Algoritmasını Kullanarak Yazılım Zafiyet Kestirimi,” 2019.
- [105] M. ÖZÇALICI, “Aşırı Öğrenme Makineleri İle Hisse Senedi Fiyat Tahmini,” *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg.*, vol. 35, no. 1, pp. 69–88, 2017, doi: 10.17065/huniibf.303305.
- [106] Ayyüce Kızrak, “Derin Öğrenme İçin Aktivasyon Fonksiyonlarının Karşılaştırılması,” 2019. <https://ayyucekizrak.medium.com/derin-öğrenme-için-aktivasyon-fonksiyonlarının-karşılaştırılması-cee17fd1d9cd>.
- [107] O. KAYNAR, H. ARSLAN, Y. GÖRMEZ, and Y. E. IŞIK, “Makine Öğrenmesi ve Öznitelik Seçim Yöntemleriyle Saldırı Tespiti,” *Bilişim Teknol. Derg.*, pp. 175–185, 2018, doi: 10.17671/gazibtd.368583.
- [108] “MAKİNE ÖĞRENMESİ,” *Veri Bilimcisi*, 2017. <https://veribilimcisi.com/2017/07/14/mse-rmse-mae-mape-metrikleri-nedir/>.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad: Kübra Nur GÜL

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** 26.05.2017, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** 2018-Devam ediyor, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- **Araştırma Görevlisi:** 2021 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalında göreve başladım.

YÜKSEK LİSANS VEYA DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR (Makaleler, Bildiriler, Patentler v.b.)

- **Gül, K. N., Mamiş, M. S., (2019).** Malatya İlinin Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyeli ve Enerji Üretim Maliyetlerinin İncelenmesi 2019. 5. International Regional Development Conference, pp:465-478, Malatya. (Bildiri)
- **Gül, K. N., Mamiş, M. S., (2020).** Fotovoltaik Panellerin Kablosuz Ağ İle Takibi ve Üretim Verimliliğinin Değerlendirilmesi 2020. 2. International European Conference On Interdisciplinary Scientific Researches pp: 478-486, Ankara. (Bildiri)