



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK PANEL YÜZEYİNDE
GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ
KULLANARAK KİRLİLİK TESPİTİ

Muhammed ÜNLÜTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammed ÜNLÜTÜRK tarafından hazırlanan “FOTOVOLTAİK PANEL YÜZEYİNDE GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ KULLANARAK KİRLİLİK TESPİTİ” adlı tez çalışması 05/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/~~oy~~ ~~çokluğu~~ ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

Danışman

Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

Üye

Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

İmza







Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.


İmza

Muhammed ÜNLÜTÜRK

Tarih: 05.09.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK PANEL YÜZEYİNDE GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ KULLANARAK KİRLİLİK TESPİTİ

Muhammed ÜNLÜTÜRK

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

2019, 68 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ
Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA**

Güneş Enerji Santrallerinde (GES) üretilen enerjinin verimine etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Güneş ışınımı, rüzgâr hızı ve yönü, Fotovoltaik (PV) hücre tipi, PV panelin konumlandırılması, kurulum çeşidi, kurulduğu yerin sıcaklığı ve nemi, üzerinde toz birikmesi ve karlanması verimini etkileyen en önemli faktörlerdir. Bu çalışmada, PV panellerin yüzeyinde biriken tozun panelin verimine olan etkisi incelenmiştir. İlk olarak PV panel Az Kirli (AK_Doğal), Normal Kirli (NK_3gr/0.388m²) ve Çok Kirli (ÇK_9gr/0.388m²) olmak üzere 3 farklı kirlilik seviyesinde tozlandırılmıştır. Daha sonra, kirletilmiş PV panellere ait akımlar, gerilimler, Yapay Güneş Kaynağı (YGK) ışınım değerleri ve PV panel hücre sıcaklıkları gibi sistem verileri elde edilmiştir. PV panel sistemine ait elde verilerin toplanabilmesi için halojen lambalara sahip YGK kullanılmıştır. Ayrıca, PV panelin kirlilik derecesine bağlı olarak panelin anlık güç çıkışının gerçek zamanlı olarak izlenebilmesi için elektronik donanım kartı ve yazılım sistemi de geliştirilmiştir. Böylece, kirlilik faktörünün PV panelin verimine etkisi nümerik değerlerle hesaplanmış ve kirlilik derecelerine göre anlık güç çıkışları karşılaştırılmıştır. Ayrıca kirlilik derecesinin tespiti için Internet Protokollü (IP) bir kamera ile PV panelden belirli aralıklarla görüntüler elde edilmiştir. Elde edilen PV panel kirlilik görüntülerinden Gri Seviye Eş-Dönüşüm Matrisi (GLCM)'ne dayalı 19 tane farklı Özellik Sayısı (ÖS) elde edilmiştir. Elde edilen bu yeni özellikli veriler Yapay Zekâ (YZ) tekniği ile sınıflandırılarak PV panellerin kirlilik derecesi tahmini gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, gerçekleştirilen PV panel kirlilik derecesinin tahmini, PV panel kullanarak enerji elde eden Güneş Enerjisi Santrali (GES) işletmecilerine veya kişisel kullanıcılara, PV panel temizliğinin ne zaman ve ne sıklıkla yapılacağı ile ilgili bir fikir verecektir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Enerji, Toz Birikimi, Enerji Verimliliğinin, Görüntü İşleme, Gri Seviye Eş-Oluşum Matrisi.

ABSTRACT

MS THESIS

DETECTION OF POLLUTION USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES IN PHOTOVOLTAIC PANEL SURFACE

Muhammed ÜNLÜTÜRK

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

2019, 68 Pages

Jury

**Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Assoc. Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ
Assoc. Prof. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA**

There are lots of factors which affect the efficiency of energy produced in solar power plants. Solar radiation, speed and direction of the wind, photovoltaic cell type, positioning of PV panels, installation type, temperature and humidity of the installed region, dust and snow on the panels are the most important factors affecting the Efficiency. In this study, the efficiency effect of the dust accumulated on the panels was studied. Firstly, the panel was dusted in three different dirt levels, which were Little Dirty (LD_Naturel), Normal Dirty (ND_3gr/0.388m²) and Very Dirty (VD_9gr/0.388m²). Then, some system data such as PV panel current, voltage, irradiation value and PV panel cell temprature were obtained from dusty panels. Artificial solar source with halogen lamps were used so as to get data about PV panel system. In addition, electronic hardware and software system were developed in order to observe realtime intantenous power output depending on dirt level. Hence, the effect of the dust factor on PV panel efficiency was interpreted by configuring with numeric values and instantenous power outputs depending on dirt level were compared. Besides, some images were obtained via a camera with Internet Protocol (IP) from PV panels periodically for the detection of dirt level. By these PV panel dirt images, 19 Feature Numbers (FN) were obtained based on Grey Level Co-Occurance Matrice. PV panel's dirt level was classified by using these new featured data based on Artificial Intelligence (AI). Consequently, the detection of PV panel dirt level will give an idea about the time and frequency of PV panel cleaning to the personel users and Solar Power Plant (SPP) operators using PV panels.

Keywords: Photovoltaic Energy, Dust Accumulation, Energy Efficiency, Image Processing, Gray Level Co-Occurance Matrix.

ÖNSÖZ

Günümüzde, teknoloji hızlı bir şekilde gelişmekte ve ülkelerin nüfusu da bu gelişmeye paralel olarak hızla artmaktadır. Bu durum dünya genelinde enerjiye olan arzı gün geçtikçe artırmaktadır. Enerji arzının çoğu fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların rezerv kaynakları ise hızlı bir şekilde tükenmektedir. Ayrıca, fosil yakıtlardan enerji elde edilirken çevreye yaydıkları yoğun karbondioksitten dolayı da sera gazı salınımını artırmaktadır. Bunun sonucu olarak da küresel ısınma gibi büyük bir çevresel problem ortaya çıkmıştır. Bundan dolayı gelişmiş veya gelişmekte olan birçok ülke çevreye olan zararı oldukça kısıtlı olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir.

Rüzgâr, güneş, biyokütle, jeotermal, hidrojen gibi çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları mevcuttur. Son yıllarda, güneşten gelen ışınım yardımıyla PV sistemlerden enerji elde edilmesi yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü güneş tükenmez ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Fotovoltaik sistemlerden enerji elde edilirken PV panele doğrudan gelen güneş ışınım değeri, PV panelin hücre sıcaklık değeri, PV panelin yönelim açısı, PV panelin üzerine düşen gölge etkisi ve PV panel üzerinde toz birikimi gibi birçok parametre panelin verimini etkilemektedir.

Gerçekleştirilen tez çalışmasında, PV panel üzerindeki toz birikiminin PV panelden elde edilen enerji verimliliğini önemli ölçüde etkilediği gerçek zamanlı test sonuçlarıyla gösterilmiştir. Aynı zamanda PV panel üzerinde biriken tozlanmanın derecesi yapay zekâ tabanlı sınıflandırıcı sistemi ile de belirlenmiştir. Yapılan tez çalışması, son zamanlarda sayıları hızla artan Güneş Enerjisi Santral (GES)'lerden daha verimli enerji elde edilebilmesi için birçok firmaya veya bireysel PV panel kullanıcılarına önemli bir katkı sağlayacaktır. Çünkü gerçekleştirilen sistemle GES işletmecilerinin ve kişisel kullanıcıların PV panel temizliğinin kesin zamanı ile ilgili bir öngörüle bulunabileceklerdir.

Tez çalışmalarım süresince beni yönlendiren ve destek olan tez danışmanım Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ'a, Araş. Gör. Ufuk GÜNER'e, Araş. Gör. Mücahit BARSTUGAN'a ve Dr. Öğr. Üyesi Ali ÜNLÜTÜRK'e de teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak yoğun çalışmalarım süresince bana sabırla destek veren sevgili anneme, değerli babama ve kardeşlerime de ayrı ayrı teşekkürü bir borç bilirim.

Muhammed ÜNLÜTÜRK
KONYA, Eylül-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM	14
3.1. Fotovoltaik Güç Sistemleri	14
3.2. Güneş Işınımının Özellikleri	17
3.3. Fotovoltaik Hücrenin Elektriksel Karakteristiği	18
3.4. PV Panel Enerji Verimliliğine Etki Eden Faktörler	22
3.5. Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi ve Özellik Çıkarma	26
3.6. Yapay Zekâ ve Yapay Öğrenme	29
4. PV PANEL KİRLİLİK TESPİT SİSTEMİ	32
4.1. PV Panel Kirlilik Tespit Sisteminin Donanım Yapısı.....	33
4.2. Yapay Zekâ Yöntemleriyle PV Panel Kirlilik Derecesi Tespiti	37
4.3. Simülasyon ve Deneysel Sonuçlar	38
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	44
5.1. Sonuçlar.....	44
5.2. Öneriler	45
KAYNAKLAR	46
EKLER:	55
EK I. PV Sistemden Veri Okunmasına Ait C++ Programı	55
ÖZGEÇMİŞ	68

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	Ampermetre
A_k	Diyotun kalite (ideallik) faktörü
b	Biyas
CO_2	Karbondioksit
I	Elektrik akımı
I_d	Diyot akımı-ışısız
I_{mpp}	Maksimum güç noktasındaki akım
I_{ph}	Fotovoltaik akım
I_{pv}	Fotovoltaik hücrenin çıkış akımı
I_{sc}	Kısa devre akımı
I_{sh}	Paralel direnç üzerinden geçen akım
I_0	Diyotun ters yöndeki doyma akımı
k	Boltzman sabiti
K	Kelvin
kV	Kilo Volt
kWh	Kilo Watt saat
MW	Mega Watt
mV	Mili Volt
$m\Omega$	Mili Ohm
n_s	Fotovoltaik paneldeki hücre sayısı
P	Elektriksel Güç Çıkışı
P_{mpp}	Maksimum güç noktasındaki güç
Q	Serbest elektron yükü
R_s	Seri direnç
R_{sh}	Paralel direnç
s	Saniye
Se	Selenyum
T_c	Santigrat cinsinden sıcaklık değeri
T_k	Kelvin cinsinden sıcaklık değeri
V	Voltmetre
V_{cc}	Besleme gerilimi
V_d	Diyotun gerilimi
V_{mpp}	Maksimum güç noktasındaki gerilim
V_t	Termal gerilim (p-n jonksiyonunda)
V_{oc}	Kısa devre gerilimi
W	Wattmetre
η	Verim
η_d	Doluluk faktörü

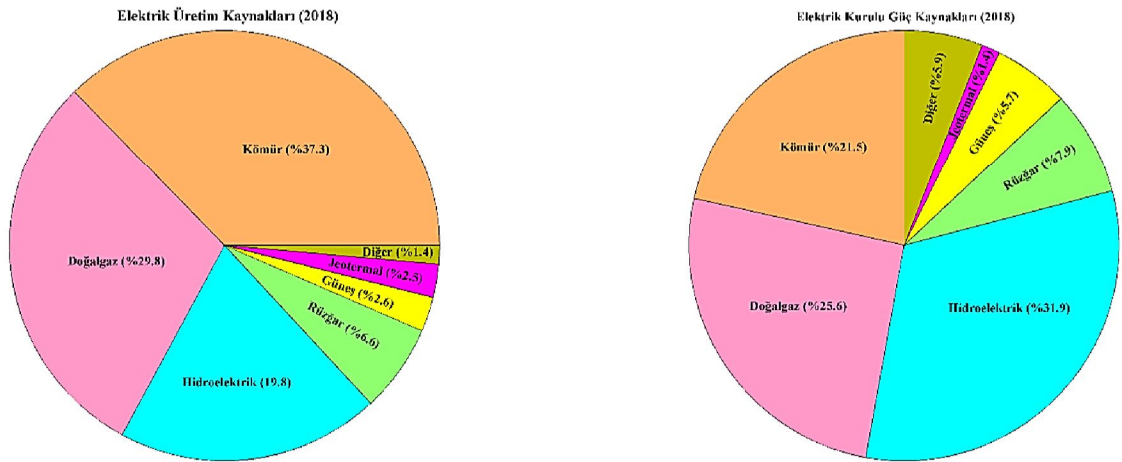
Kısaltmalar

ADC	: Analog Dijital Dönüştürücü
AF	: Aktivasyon Fonksiyonu
AKNS	: Ara Katman Nöron Sayısı
AM0	: Atmosfer Üzerindeki Güneş Işınım Seviyesi
AM1	: Deniz Seviyesindeki Güneş Işınım Seviyesi
AM1.5	: Standart Test Koşullarındaki Güneş Işınım Seviyesi
BM	: Birleşmiş Milletler
CAN	: Kontrol Alan Ağı
FF	: Doluluk Faktörü
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GES	: Güneş Enerjisi Santrali
GLCM	: Gri Seviye Dönüşüm Matrisi
GLRM	: Genelleştirilmiş Düşük Aşamalı Model
GPIO	: Genel Amaçlı Giriş Çıkış
IC	: Tümeşik Devre
I2C	: Tümeşikler Arası Devre (Inter-integrated Circuit)
İB	: İletim Bandı
KNN	: En Yakın k Komşu
LBP	: Bölgesel İkili Desen
LDA	: Lineer Diskriminant Analiz
MPP	: Maksimum Güç Noktası
MS	: Momentum Sabiti
OAPEC	: Petrol İhraç Eden Arap Ülkeleri Birliği
ÖO	: Öğrenme Oranı
ÖS	: Özellik Sayısı
PV	: Fotovoltaik
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
RMS	: Kare Ortalamalarının Karekökü
SPI	: Seri Çevresel Arayüz
STC	: Standart Test Koşulları
SVM	: Destek Vektör Makinesi
USB	: Evrensel Seri Veri Yolu
VB	: Valans Bandı
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YK	: Yapay Zekâ
YSA	: Yapay Sinir Ağı

1. GİRİŞ

İklim değişikliği, kirlilik ve enerji güvenliği günümüzün en büyük sorunları arasındadır (Jacobson ve Delucchi, 2011). Ayrıca, fosil kökenli enerji kaynaklarının tükenmekte olması ve küresel ısınma konusundaki endişeler, son yıllarda güneş, rüzgâr ve su gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmaktadır (Kulaksız, 2007). Çünkü yenilenebilir enerjilerin çevresel etkileri geleneksel yakıtlarınkinden çok daha düşüktür (Salari ve Hakkaki-Fard, 2019). Bundan dolayı birçok gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeler iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak, sera gazı salınımlarını önemli ölçüde sınırlandırmak ve güvenli bir şekilde enerji arzına olan ihtiyaçlarını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir.

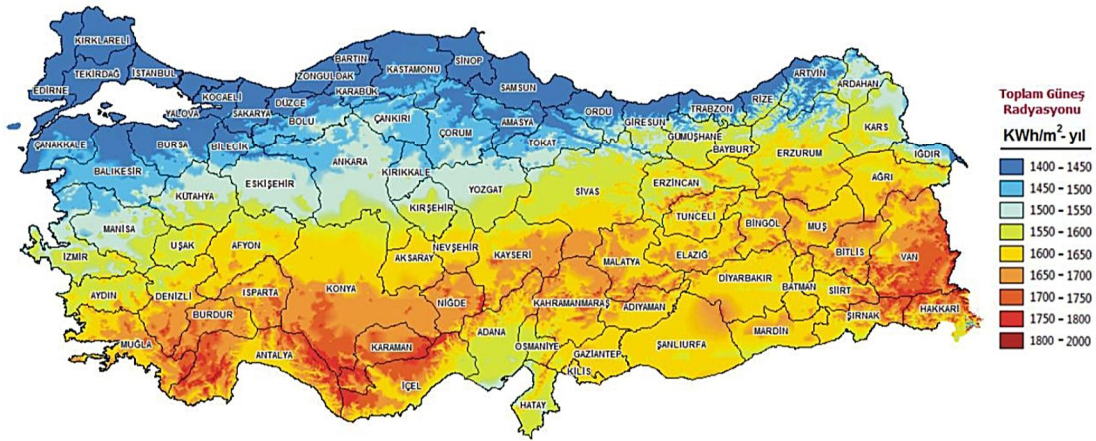
Türkiye’de elektrik enerjisi tüketimi 2018 yılında bir önceki yıla göre %2.2 artarak 303.3 milyar kWh, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %2.2 oranında artarak 303.9 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2018 yılındaki elektrik üretimimizin, %37.3’ü kömürden, %29.8’i doğal gazdan, %19.8’i hidroelektrik enerjiden, %6.6’sı rüzgârdan, %2.6’sı güneşten, %2.5’i jeotermal enerjiden ve %1.4’ü diğer kaynaklardan elde edilmiştir (Anonim, 2019c). Ayrıca, 2018 yılı sonu itibarıyla ülkemiz kurulu gücü 88.551 MW’a ulaşmıştır. Bu kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı; %31.9’u hidroelektrik enerji, %25.6’sı doğalgaz, %21.5’i kömür, %7.9’u rüzgâr, %5.7’si güneş, %1.4’ü jeotermal ve %5.9’u ise diğer kaynaklar şeklindedir (Anonim, 2019c). Yukarıda bahsedilen elektrik üretimi ve kurulu gücün kaynaklar bazında dağılımı ile ilgili bilgiler Şekil 1.1’de özetlenmiştir.



Şekil 1.1. Türkiye’deki a-) elektrik üretim kaynakları b-) elektrik kurulu güç kaynakları (Anonim, 2019d).

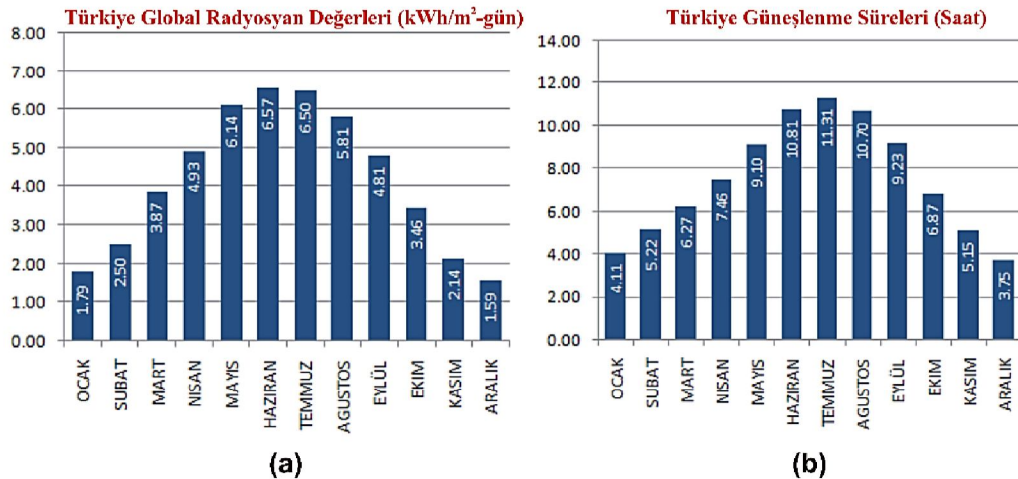
Ülkemiz Akdeniz kuşağı (Güneş Kuşağı)'nda yer aldığı için güneş enerjisi bakımından zengin bir bölgede yer almaktadır. Buna rağmen, Şekil 1.1'den de görüldüğü gibi Türkiye'de elektrik üretim kaynakları ve elektrik kurulu güç kaynakları içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı oldukça düşüktür.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca hazırlanan, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7.5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4.18 kWh/m².gün) olduğu tespit edilmiştir (Anonim, 2019d). GEPA Şekil 1.2'de sunulmuştur. GEPA'dan da görüldüğü gibi Türkiye güneş potansiyeli açısından oldukça zengin bir ülkedir.



Şekil 1.2 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) (Anonim, 2019d).

Türkiye'nin aylara göre günlük ortalama güneş ışınımı değerleri ve aylara göre ortalama güneşlenme süreleri ayrıntılı olarak Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3. Türkiye'nin aylara göre günlük ortalama (a) güneş ışınımı (b) güneşlenme süresi

Son yıllarda ülkemizde çok sayıda Güneş Enerjisi Santralinin (GES) kurulumu ile güneş enerjisinin elektrik üretimine katkısı artırılmaya çalışılmaktadır. Kurulan büyük ölçekli güneş enerjisi santralleri genellikle İç Anadolu ve Ege Bölgesinde yer almaktadır. Kayseri’de 50 MW Kurulu gücünde, Balıkesir’de 40 MW kurulu gücünde, Konya’da 18 MW kurulu gücünde GES’ler mevcuttur. Ayrıca birçok ilimizde farklı güç büyüklüklerine sahip birçok GES bulunmaktadır (Anonim, 2019e).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi ile çalışan santraller yüksek başlangıç maliyeti ve düşük çıkış gücü verimine sahiptir. Buna rağmen, yenilenebilir enerji kaynakları ile kurulan santraller uzun ömürlüdür, işletme maliyetleri oldukça düşüktür ve minimum işletme kontrolü gerektirir (Saidan ve ark., 2016). Ayrıca, güneş enerjisi bedava, tüketilemez ve temiz bir enerji kaynağıdır (Mekhilef ve ark., 2012). Bu avantajlarından dolayı da bütün dünyada güneş enerjisinden daha fazla enerji üretebilmek için daha verimli ve çevre dostu Fotovoltaik (PV) paneller üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır (Menoufi ve ark., 2017).

Fotovoltaik paneller yapısında bulunan yarıiletken diyotlar vasıtasıyla güneş ışığını kullanılabilir enerjiye dönüştürürler. Tipik bir PV modülü, güneş ışınlarının sadece %4-17’sini elektriğe dönüştürürler (Chow, 2010; Chandrasekar ve ark., 2013). Fotovoltaik paneller aracılığı ile gerçekleşen bu enerji dönüşümünün verimliliği aşağıda verilen parametrelerle doğrudan ilişkilidir

- Güneş ışınımı
- Rüzgâr hızı ve yönü
- PV hücre tipi
- PV panelin yerleşimi (yönelim ve eğim açısı)
- PV panelin kurulum türü (güneş takip eden panel veya sabit panel)
- PV panelin kurulum yeri (coğrafi konum olarak dünyanın neresinde olduğu)
- Ortam sıcaklığı ve nemi
- Gölgeleme
- PV panelin atmosferik toz etkisinden dolayı kirlenmesi ve PV panel üzerinde toz birikimi (Adinoyi ve Said, 2013; Kazem ve ark., 2014; Klugmann-Radziemska, 2015; Ramli ve ark., 2016; Aidara ve ark., 2018).

PV panel verimliliğini doğrudan etkileyen PV panel kirliliği ve üzerinde oluşabilecek toz birikimi gibi parametreler yaygın olarak karşılaşılan en önemli problemlerden bir tanesidir. Ayrıca, PV panellerdeki toz birikiminin davranışı ve biriktirme oranları farklı

bölgelere göre çarpıcı bir şekilde değişkenlik göstermektedir. PV panellerdeki toz birikimi davranışı ve biriktirme oranları bir bölgenin coğrafyası, iklimi ve kentleşmesine bağlıdır (Sarver ve ark., 2013). Özellikle PV modül üzerinde toz birikimi yeterli güneş ışınımına sahip olan fakat sık sık toz fırtınalarının yaşandığı çöl bölgelerinde endişe verici bir konudur (Adinoyi ve Said, 2013; Liu ve ark., 2019). Özellikle Kuzey Afrika, Orta Doğu, Hindistan'ın yanı sıra Çin, Avustralya ve ABD'nin çöl bölgesi gibi güneş zengini bölgelerdeki PV panellerde toz birikimi sorunu oldukça yaygın bir problemdir (Costa ve ark., 2016). PV modül üzerinde toz parçacıklarının birikmesi panelin yüzeyine gelen güneş ışınımının saçılmasına neden olduğu için panelin güç çıkışını azaltmakta ve böylece panel verimi azalmaktadır (Saidan ve ark., 2016; Aidara ve ark., 2018). PV panellerdeki kirliliğin panelden elde edilen çıkış gücüne etkisi ile ilgili çalışmalar dünyanın birçok farklı bölgesindeki araştırmacılar tarafından yapılmıştır (Mekhilef ve ark., 2012). Örneğin, Hottel ve Woertz Amerika Birleşik Devletlerinde yaptıkları çalışma sonucunda toz birikmesi sonucu %4.7 oranında kollektörlerin enerji verimliliğinde bir düşüş olduğunu rapor etmişlerdir (Hottel ve Woertz, 1942). Diğer bir çalışmada ise atmosferik toz etkisine maruz kalacak şekilde dış mekânda bulunan bir PV panel altı gün boyunca izlenmiştir. Sonuç olarak PV panelin enerji verimliliğinin %17 azaldığı görülmüştür (Wakim, 1981). Suudi Arabistan'da yapılan 6 aylık bir dönem boyunca yapılan bir çalışmada ise %40'lara varan enerji verimliliğindeki kayıplarla karşılaşmıştır (Said, 1990). Tayland'da yapılan bir aylık bir çalışmada toz etkisinden dolayı güneş paneli geçirgenliğinde %11'lik bir azalma olduğu bildirilmiştir (Mastekbayeva ve Kumar, 2000). Asl-Soleimani ve ark., Tahran'da dış mekanda bulunan PV paneller üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Gerçekleştirdikleri çalışmalar sonucunda hava kirliliğinin etkisiyle PV panel enerji üretiminin %60'lara kadar azaldığını rapor etmişlerdir (Asl-Soleimani ve ark., 2001). Mısırda Hassan ve ark.'nın yaptıkları bir diğer çalışmada ise 6 aylık kirliliğe maruz kalan bir PV panelden elde edilen gücün %33.5 – %65.8'lik bir kayıpla elde edildiğini rapor etmişlerdir (Hassan ve ark., 2005). Zorrilla-Casonova ve ark., Fotovoltaik modüllerin yüzeyinde toz birikmesinden kaynaklanan kayıpları ölçmek için bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda PV modülün yüzeyinde biriken tozun neden olduğu bir yıllık enerji kaybı ortalamasının yaklaşık olarak %4.4 olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Ayrıca yağmursuz uzun dönemlerde, günlük enerji kayıplarının %20'den fazla olduğunu bildirmişlerdir (Zorrilla-Casonova ve ark., 2011). Bir diğer çalışmada ise, Suudi Arabistan'da sekiz aylık bir

çalışma dönemi için %32'lik bir enerji kaybıyla karşılaşılmıştır (Green, 2012). Touati ve ark. monokristal PV panellerde toz birikiminin verime olan etkisini 100 gün boyunca uygulamalı olarak Katar'da gözlemlemiştir. Sonuç olarak panellerde biriken tozun verimi %10 azalttığını tespit etmişlerdir (Touati ve ark., 2013). Chaichan ve ark. PV modül performansında hava kirliliği ve tozun etkisini değerlendirmek için pratik bir çalışma yürütmüşlerdir. Yaptıkları iki aylık kısa bir çalışmanın sonucunda kirlilik etkisinden dolayı panellerden üretilen gücün yaklaşık olarak %12 azaldığını belirtmişlerdir (Chaichan ve ark., 2015). Saidan ve ark. ise Irak'ta bulunan Bağdat şehrinde PV güneş modüllerinin verimine etki eden toz etkisini araştırmışlardır. İlk olarak, üç tane özdeş PV panelden oluşan ve doğrudan hava koşullarına maruz kalabilecek şekilde bir deney düzeneği kurmuşlardır. Daha sonra, PV panel üzerindeki toz birikimi ölçümlerini günlük, haftalık ve aylık olarak tespit etmişlerdir. Gerçekleştirilen testler neticesinde, toza maruz bırakılan PV modüllerin ortalama olarak verimleri sırasıyla %6.24, %11.8 ve %18.74 (1 günlük, haftalık ve aylık) oranlarında azalmıştır (Saidan ve ark., 2016). Ramli ve ark. ise, Endonezya'nın Surabaya kentindeki PV panellerde toz birikiminden ve hava şartlarından kaynaklanan güç çıkışındaki azalmayı deneysel olarak incelemiştir. Yapılan çalışmada, PV panel 1 ila 4 hafta arasında dış ortam şartlarına maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak, iki haftalık toz birikiminin %52.24'lük ortalama bağıl nemde PV panel güç çıkışını %10.8 azalttığı gösterilmiştir (Ramli ve ark., 2016). Gerçekleştirilen çalışmalardan da görüldüğü gibi PV panellerin kirlilik faktörü enerji verimliliğini önemli ölçüde azaltmaktadır.

Bu tez çalışmasında, PV panellerin elektrik üretiminde etkili olan parametrelerden kirlilik faktörünün PV panelin verimine etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda 60 watt gücünde polikristal bir PV panel 3 farklı kirlilik seviyesinde yapay olarak kirletilmiştir. Daha sonra her bir kirlilik seviyesinde PV panelden elde edilen gerilimler, akımlar, PV panel sıcaklıkları ve yapay güneş ışınım değerleri gerçek zamanlı olarak izlenmiştir. Böylece kirlilik faktörünün PV panelin verimliliğine etkisinin miktarı gerçek zamanlı olarak değerlendirilmiştir. Bunlara ilave olarak IP tabanlı bir kamera vasıtasıyla PV panelden belirli aralıklarla görüntüler de alınmıştır. Elde edilen bu görüntüler yapay zekâ teknikleri ile sınıflandırılarak PV panellerin kirlilik derecesi de belirlenmiştir. Sonuç olarak, panelin kirlilik derecesi tahmin edilmiş ve PV panelin verimine etkisi elde edilen verilerle kıyaslanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Mekhilef ve ark. (2012) çalışmalarında, güneş enerjisinin fotovoltaik hücreler yoluyla elektriğe dönüştürmenin çevresel ve ekonomik avantajlarından bahsetmişlerdir. Çalışmada, son yıllarda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında fotovoltaik sistemlerin verimliliğini artırmak için daha fazla bütçe ayırmaya yönelik artan bir ilginin olduğunu belirtmişlerdir. Malzeme ve tasarım parametrelerinin yanında her yerde mevcut olan toz, nem ve rüzgâr hızı gibi PV hücrenin performansını etkileyebilecek çok sayıda faktörün var olduğunu belirtmişlerdir. Bahsedilen bu parametre etkilerinin fotovoltaik hücrelerin verimliliği ve performansı üzerindeki etkisi hakkında bir takım çalışmalar yapmışlardır. Ancak bu üç parametrenin hiçbiri aynı anda dikkate alınmamıştır. Bu çalışmada toz birikiminin, nem seviyesinin ve rüzgâr hızının etkisi ayrı ayrı ele alınmış ve diğerlerinin üzerindeki etkisi netleştirilmiştir. Bu üç faktörün her birinin diğer ikisini de etkilediğini göstermişler ve güneş hücresi tasarımında derin bir kavrayışa sahip olmak için bu faktörlerin etkisinin paralel olarak dikkate alınması gerektiği sonucuna varmışlardır (Mekhilef ve ark., 2012).

Al-Ammri ve ark. (2013) çalışmalarında, Bağdat/İrak caddelerinde bulunan PV panellerdeki toz etkisinin PV panellerin performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. İncelenen paneller yerden 26 metre yükseklikte bulunmaktadır. Panellerin üzerinde biriken toz örneklerini 100 kat büyütme etkisine sahip bir mikroskopla incelemişlerdir. Yapılan incelemelerde PV panellerde biriken tozların boyut, şekil ve dağılımlarının değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda toz parçacıklarının morfolojisinin düzensiz ve küresel olma eğiliminde olduğunu görmüşlerdir. Fakat hepsi tamamen opak değildir. Bu tozların birçoğu rafinerilerden (oda sıcaklığında kolayca buharlaşan karbon bazlı kimyasallar grubu) gelmektedir. Bundan dolayı da kurulu güneş panellerinde büyük bir yapışmaya neden olduğunu vurgulamışlardır (Al-Ammri ve ark., 2013).

Maghami ve ark. (2014) çalışmalarında, son on yıl içerisinde enerji ve çevresel konuların önemli iki mesele olduğunu söylemişlerdir. Güneş enerjisi üretimi gibi temiz enerjiyi kullanmanın dünya genelinde artacağından söz etmişlerdir. Fakat benzeri sistemlerin düşük verimlilikte olduğunu ayrıca gölgelenme, hava kirliliği ve kirlilik gibi çevresel faktörlerden güneş panellerinin etkilenebileceğini ifade etmişlerdir. Maghami ve ark. Malezya'daki Putra Üniversitesin'de toz etkisini araştırmak için iki adet sabit güneş paneli kullanmışlardır. Güneş panellerinden bir tanesi araştırma süresince düzenli olarak temizlenirken diğer güneş paneli temizlenmemiştir. Panellerden alınan veriler 1 Nisan-5

Aralık 2013 tarihleri arasında 30 dakika aralıklarla toplanmıştır. Her iki PV dizisi için çıkış gücü ve enerji verimliliği dikkate alınmıştır. Bu araştırmanın bulguları PV panellerin yüzeyinde biriken tozların güç ve enerji azalmasına neden olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın diğer araştırmacılara katkısı birçok yağışlı güne sahip zorlu bir tropikal iklimde enerji kaybını değerlendirmeleridir (Maghami ve ark., 2014).

Kawamoto ve Shibata (2014) çalışmalarında, güneş panellerinin yüzeyinden kumu uzaklaştırmak için elektrostatik kuvvet kullanan bir temizleme sistemi geliştirmişlerdir. Tek fazlı yüksek voltaj, bir güneş panelinin kapak cam plakasına gömülmüş paralel tel elektrotlara uygulanmıştır. Yapışan kumun % 90'dan fazlasının temizlenme işleminden sonra eğimli hafif panelin yüzeyinden itildiği görülmüştür. Sistemin performansı, panel üzerine kum birikimi son derece yüksek olduğunda bile, elektrot konfigürasyonunun iyileştirilmesi ve panelin yüzeyinde doğal rüzgâr getirilmesi ile daha da geliştirilmiştir. Bu sistemin güç tüketiminin ise neredeyse sıfır olduğu belirtilmiştir. Bu teknolojinin, düşük enlemlerde çöllerde inşa edilen büyük güneş enerjisi santrallerinin efektif verimliliğini artırması beklenmektedir (Kawamoto ve Shibata, 2015).

Guo ve ark. (2015) çalışmalarında, çöl ortamlarında bulunan Fotovoltaik (PV) güç santrallerinin performansının, panellerdeki toz birikiminden oldukça etkilendiğini vurgulamıştır. Bu çalışma, 1 Haziran- 31 Aralık 2014 tarihleri arasında Doha/Katar'da bulunan bir güneş enerjisi test tesisinde yapılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada tesisdeki PV panel performansları, çevresel tozlar ve iklim şartları sürekli olarak ölçülmüştür. Yedi ay boyunca ortalama olarak kirlenme nedeniyle oluşan PV panel performans kaybı, her altı ayda bir temizlenen modüller için günde 0.0042 ± 0.0080 ve her iki ayda bir temizlenen modüller için günde 0.0045 ± 0.0091 "temizleme indeksi" olarak belirlenmiştir. Temizlik indeksi ise PV modüllerin düzeltilmiş sıcaklık performans faktörüne dayanmaktadır. Bir PV modülün temizlik indeksindeki günlük değişim, rüzgâr hızı ile pozitif korelasyona ve bağıl nem ile negatif korelasyona sahiptir. Bunlara ilave olarak temizlik indeksindeki günlük değişim günlük ortalama toz konsantrasyonu ile ise negatif korelasyona sahiptir. Çok değişkenli regresyon modeli, PV modülü temizlik indeksindeki günlük değişimi toz konsantrasyonu, rüzgâr hızı ve bağıl nem ile niceliksel olarak ilişkilendirmek için geliştirilmiştir. Bu çalışmanın sonucuna göre Katar da bulunan PV enerjisi üretiminde toz birikiminin önemli bir kayba neden olduğu belirlenmiştir. Fotovoltaik güç üretimi performansını ve ortama ait çevresel değişkenleri artırmak için ek araştırmalara ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır (Guo ve ark., 2015).

Chamaria ve ark. (2014) çalışmalarında, Fotovoltaik (PV) modüllerdeki tozun, geçirgenliği azaltarak verimliliği düşürdüğü belirtilmiştir. Aynı zamanda PV panel yüzeyindeki tozun PV panele etki eden güneş ışığının azalmasına neden olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada, toz veya minik parçacıkların güneş kolektörünün eğim açısına maruz kalma süresi, bölgenin iklim koşullarına, rüzgâr hareketine ve tozun özelliklerine göre değiştiği gösterilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmaların çoğunda PV panelin geçirgenliğinin azalması optik kayıp açısı bakımından hesaplamışlardır. Bu çalışmada ise kWh cinsinden kirlilik faktörünün kayıp miktarı belirlenmiştir (Chamaria ve ark., 2014).

Alshehri ve ark. (2014) çalışmalarında, özellikle kurak bölgelerdeki güneş enerji santrallerindeki panel kirlilik faktörleri uygulamalarına odaklanmışlardır. Kurak bölgelerdeki toz birikiminin, güneş dizilerinin üretkenliği üzerinde zararlı bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarının ana amacı, ticari açıdan uygulanabilir bir temizlik çözeltisi ihtiyacını gidermek ve kurak ve bol güneşli yerlerde güneş panellerinin daha etkili bir şekilde kullanımını sağlamaktır. Ayrıca, çalışmada güneş paneli temizleme kategorilerine de değinilmiştir. Temizleme kategorilerini manuel temizleme, mekanik temizleme, hidrolik temizleme, sabit robotik temizleme ve yönlendirmeli robotik temizleme olarak tanımlamışlardır (Alshehri ve ark., 2014).

Klugmann-Radziemska (2015) çalışmasında, PV modül yüzeyinde toz birikiminin neden olduğu güç çıkışındaki azalmanın önemli bir sorun olduğunu vurgulamıştır. Bu çalışmada doğal ve simüle toz birikimi nedeniyle kristal fotovoltaik modüllerin performans düşüşü değerlendirilmiştir. Tozun, toz halindeki tanecik ve farklı yapı parçacıklarından oluştuğu ve kökeninin, toprak ve volkanik patlama gibi farklı kaynaklardan oluştuğu belirtilmiştir. Havadaki tozun, bir aerosol olup yüksek yoğunluk derecelerinde iklim değişikliğine neden olduğu vurgulanmıştır. Havadaki tozun fotovoltaik modüllere çökmesi, güneş pilleri camının geçirgenliğini azaltmakta ve önemli bir bozulmaya neden olduğu ifade edilmiştir. Fotovoltaik panel üzerindeki toz birikimi PV modülün eğim açısı, PV modülün toza maruz kalma süresi, bölgenin iklim koşulları, rüzgâr hareketi ve bölgeye ait toz özellikleri ile yakından ilişkilidir. Fotovoltaik modüller üzerinde toz birikiminin yol açtığı enerji verim kaybı Polonya'da yürütülen deneysel araştırmayla gösterilmiştir. Çalışmanın sonucunda, PV panellerin verimliliğinin azalmasında panellerdeki toz birikim yoğunluğu ile doğrusal bir ilişki olduğu belirtilmiştir (Klugmann-Radziemska, 2015).

Sulaiman ve ark. (2015) çalışmalarında, yenilenebilir enerjiden elektrik gücü üretmenin ümit verici metotlarından biri olduğunu vurgulamışlardır. PV sistemlerdeki enerji dönüşümünde PV panel üzerinde toz birikmesinden dolayı güneş panellerine gelen ışığın engellenmesi sistemin performansını ve verimini önemli ölçüde etkilediğini belirtmişlerdir. Bu konu ile ilgili yapılan çalışmaların birçoğunda gerçek olayı tam olarak yansıtmayan laboratuvar testlerinin kullanıldığından bahsedilmiştir. Çalışmalarının temel amacı, Malezya'daki PV panellerin performansında toz birikiminin etkisini araştırmaktır. Çalışma bir binanın çatısına kurulan PV paneller aracılığıyla gerçek zamanlı olarak yapılmıştır. Işınım, güç çıkışı ve toplanan toz kütlesi ölçümleri; saatlik, günlük, haftalık ve aylık olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda toz etkisinin sistemin performansını yılda yaklaşık olarak %6 oranında düşürebileceği bulunmuştur. Panellerin bakımı açısından ise, ekonomik bir işletmeyi sürdürmek için en az 100 Mega Watt (MW) gündüz üretim yapan endüstriyel ölçekli sistemler için panel temizleme sıklığı her iki ayda bir olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Panellerin temizleme sıklığı daha küçük sistemler (konut) için ayda bir olacak şekilde daha kısa olması gerektiği vurgulanmıştır (Sulaiman ve ark., 2015).

Saidan ve ark. (2016) çalışmalarında, toz parçalarının birikiminin güneş hücrelerinin performans değerini azaltacağı ifade edilmiş ve biriken toz parçalarının güneş panellerinin yüzeyindeki güneş ışınımının saçılma etkisi yüzünden güç üretiminde kayda değer düşüşe neden olabileceği belirtilmiştir. Bu çalışmada Irak'taki Bağdat şehrinde PV güneş modüllerinde toz birikiminin etkisi araştırılmıştır. Bu amaç için, üç tane özdeş PV güneş modülünün yüzeyinde toz birikiminin neden olduğu kayıpların miktarını belirlemek için bir deney gerçekleştirilmiştir. Modüller iyi kontrol edilen bir test düzeneğinde hava koşullarına doğrudan maruz bırakılarak kurulmuştur. Daha sonra, günlük, haftalık ve aylık bazda modüllerdeki toz birikiminin ölçümleri alınmıştır. Aerosol parçacıklarının ve telciklerin toz yoğunluğu buna ilaveten ebat dağılımı son derece hassas aerosol ölçüm sistemleri ile araştırılmış ve ölçülmüştür. Tozlu modül ve benzer bir diğer temiz modül daha sonra bir güneş simülatörünü ışık kaynağı olarak kullanarak sabit radyasyona ve sabit sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Tozun PV güneş modüllerinin yüzeyinde birikmesi, temiz modülün aynı parametrelerine kıyasla hem kısa devre akımı (I_{sc}) hem de çıkış gücünde bir azalma göstermiştir. Toza maruz kalan güneş modüllerinin verimlerinin ortalama azalma hızı bir gün, bir hafta ve bir aylık maruz kalma süreleri için sırasıyla 6.24%, 11.8%, 18,74% olarak hesaplanmıştır (Saidan ve ark., 2016)

Kazem ve ark. (2016) çalışmalarında, PV modüllerde toz birikiminin PV camın geçirgenliğini azaltarak veriminin düşmesine neden olduğunu belirtmişlerdir. Toz kaynağının zeminden rüzgârla üflenen kum ve toprak parçalardan oluştuğunu ifade etmişlerdir. Kaba toz partikülleri 2 µm'den daha büyük bir çapa sahip olduğunu vurgulamışlardır. Atmosferdeki gazlı kirleticilerinin fotokimyasal reaksiyonları ve deniz suyunu oluşturan tuz partiküllerinin kurutulmuş damlacıkları 2 µm'den küçük parçacıkların çoğunu oluşturduğunu ifade etmişlerdir. Tozun özgül ağırlığı, parçacık şekli, yüzey özellikleri, nem içerikleri, plastik ve sıvı sınırları veya belirli tane boyutu gibi fiziksel özelliklerinin bütün dünya boyunca bir yerden diğer yere göre farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir. Bu farklılıklar, her bölgenin topografik, jeolojik ve çevresel koşullarından kaynaklandığını vurgulamışlar ve toz parçacıklarının ağırlığı ve şekli çökme davranışlarının PV performansı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmalarında, Umman'daki PV modüllerindeki toz birikiminin neden olduğu enerji kaybımın etkisini araştırmışlardır. Kuzey Umman'daki altı bölgeden üç ay boyunca toplanan altı toz örneği fiziksel özelliklerini değerlendirmek için araştırılmıştır. Toz parçacıklarının çoğunun (64%) çaplarının büyüklüğü 2 µm ile 63 µm arasında değişmektedir. PV modüllerindeki toz birikiminin bir bölgeden diğer bir bölgeye göre değiştiği bulunmuştur. Sonuçlar PV modüllerdeki düşük yüzey kütle konsantrasyonlu tozdan ($< 1 \text{ g/m}^2$) kaynaklı önemli bir enerji-verim kaybı olmadığını göstermiştir. Maksimum verim kaybı ölçülmüş ve literatürden elde edilen kayıp ile karşılaştırılmıştır. Verimlilik kaybının komşu ülkelere kıyasla 0.05% olduğu ortaya konulmuştur. Bununla birlikte üç aydan daha uzun bir süre hava şartlarına maruz kaldıktan sonra PV modüllerin veriminde 35% – 40% arasında bir düşüş olduğunu göstermişlerdir. Tavsiye edilen temizleme süresi ise üç ayda bir olarak belirtilmiştir (Kazem ve Chaichan, 2016).

Gaglia ve ark. (2016) çalışmalarında, PV panellerin standart verimliliğinin, gerçek dış ortam şartlarında elde edilen değerlerden genellikle sapma gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarını, Atina'nın kuzeyinde bulunan açık hava deney tesisinde küçük, çok kristalli PV diziler kullanılarak kullanarak yapmışlardır. Gerçekleştirilen deneylerde PV panellerden veriler toplanmıştır. Yaz ve kış dönemlerindeki ölçümler PV panel performansını ve çalışma özelliklerini nicelleştirmek için kullanılmıştır. Birkaç korelasyon (Örnek olarak ortam havası sıcaklığı, rüzgar hızı) mevcut PV performansının tahmin edilmesini kolaylaştırmak için sağlanmıştır. Benzer çalışma koşulları altında, PV

verimliliği, laboratuvar standart test şartlarına göre %18 daha düşük bulunmuştur. Yıllık ortalama PV verimliliğinin ise %8.7 olduğunu belirtmişlerdir (Gaglia ve ark., 2017).

Guan ve ark. (2017) çalışmalarında, PV modüllerin gerçek zamanlı sıcaklığını, çıkış gücünü, güneş ışınımını, ve diğer çevresel parametreleri izlemek için bir dizi PV modül ve farklı ölçüm cihazlarından oluşan bir test platformu oluşturmuşlardır. Çalışmalarında, PV modüllerdeki toz birikiminin modül sıcaklığı, geçirgenliği ve PV modüllerin çıkış gücü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak, PV modüller üzerindeki toz birikiminin PV cam panelin geçirgenliğini düşürmekle kalmayıp aynı zamanda modül sıcaklığını da düşürdüğünü ve böylece PV modülün çıkış gücünü etkilediğini ifade etmişlerdir. Ayrıca yaptıkları deney sonucunda, bir PV modülün nispi geçirgenliğinin, doğal toz birikimine bağlı olarak 8 gün içinde %20 oranında azalacağını ortaya koymuşlardır (Guan ve ark., 2017).

Ramli ve ark. (2016) çalışmalarında, toz birikmesi ve hava koşullarındaki değişiklik gibi bazı çevresel koşullar fotovoltaiik (PV) panel yüzeyleri tarafından alınan güneş radyasyonu miktarını etkilediğini ve böylece panel verimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma, Endonezya'nın Surabaya kentinde yürütülmüştür ve bu faktörlerin PV modülünün yüzeyinden çıkan PV gücünün azalmasına etkisi üzerine deneysel bir araştırma yapılmıştır. Modül, dış hava koşullarına maruz bırakılmıştır ve farklı çevresel koşulları tanımlamak için kurala dayalı bir model kullanılarak geliştirilen bir ölçüm sistemine bağlanmıştır. PV çıkış gücünü belirlemek için, güneş enerjisi pozisyonu içeren açık gökyüzü güneş ışınlama modeli olan kurala dayalı model ve PV sıcaklık modeli kullanılmıştır. Testler, gerçek zamanlı PV çıkış gücünü ölçmek için voltaj, akım, sıcaklık ve nem sensörleriyle donatılmış bağımsız bir dijital kontrol cihazı olan ARM Cortex-M4 STM32F407 STM32F407 mikrodenetleyici kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde, tozlu, bulutlu ve yağmurlu koşulları belirlemek için nem oranı izlenmiştir. Doğrulanmış test sonuçları, modele dayalı PV güç çıkışının tahmin hatasının, temiz yüzey koşulları altında, alan ölçümleriyle karşılaştırıldığında % 3,6 olduğunu göstermiştir. Toz birikiminin ve hava koşullarının PV panel güç çıkışı üzerindeki etkileri, bir ila dört hafta bunlara maruz bırakıldıktan sonra analiz edilmiştir. Sonuçlar, iki haftalık toz birikiminin, % 52.24'lük bir ortalama bağıl nemde, PV güç çıktısının % 10,8 azalmasına neden olduğunu ortaya koymuştur. Yağmurlu koşullar altında yapılan deney sonuçları, % 76.32'lik ortalama bağıl nemde PV çıkış gücünde % 40'dan daha fazla bir düşüş olduğunu, bulutlu koşullar altında ise %

60.45'lik ortalama bağıl nemde, % 45'ten daha fazla bir düşüş olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, toz, yağmur ve parçalı bulut gibi yerel çevre koşullarının PV güç çıkışını önemli ölçüde azalttığını göstermiştir (Ramli ve ark., 2016)

Abderrezek ve Fathi (2017) çalışmalarında, tozun PV panellerin elektriksel ve ısı davranışına etkisi araştırmışlardır. Bu amaçla çeşitli toz türlerini ele almışlardır. Ele alınan tozlar PV panellerde farklı termal, optik ve elektriksel açıdan farklı panel davranışlarına neden olduğunu göstermişlerdir. Sonuç olarak, Işık iletiminin toz türüne göre değiştiği gösterilmiştir. Mikroskop, spektrofotometre, I-V Fotovoltaik modüler analizörü ve termokupullarla donatılmış veri kaydedici gibi çeşitli enstrümanlar kullanılarak laboratuvar testleri gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarla fiziksel parametre (tane boyu ve tipi), ışık iletim seviyesine ve cam sıcaklığındaki değişikliklerin PV panelin performansında değişikliklere neden olduğunu göstermişlerdir. Deneysel gözlemlerle elde ettikleri sonuçların cam ve PV modülüne uygulanan (Cam, EVA, Hücre, Çerçeve ve Tedlar) termal davranışın Energy2D bilgisayar simülasyon aracılığıyla elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğunu göstermiştir (Abderrezek ve Fathi, 2017)

Tanesab ve ark. (2017) çalışmalarında, iki farklı iklim alanında (Perth, Batı Avustralya, ılık bir iklim bölgesi ve Endonezya, tropik bir iklim bölgesi olan Nusa Tenggara Timur (NTT))'da konuşlandırılan PV modüllerinin bozulmasına etki eden tozun mevsimsel etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar PV performansının mevsime göre değiştiğini ortaya koymuştur. Perth'de yaz başında maksimum olan PV modüllerinin performansı sezon sonunda önemli ölçüde azalmıştır. Sonrasında artan performans, sonbaharın sonunda başlangıç konumuna yaklaşmış ve kışın sonunda zirveye ulaşmıştır. Yaz performansına benzer bir azalma baharın sonundaki modüller tarafından hesaplanmıştır. Bu arada, NTT'de, PV modüllerinin performansı, yağışlı sezonun başında azami, sezon sonunda hafif düşmüş ve kuru sezon sonunda belirgin şekilde azalmıştır. Her iki modülde bozulma bölgeleri tozla ilişkili olmayan faktörlere daha az bağlıdır. Ayrıca, toz ise bozulmada en önemli faktör olarak belirlenmiştir. Bozulma, her iki alanda da gelecekteki PV tasarımları için oldukça önemlidir. Özellikle NTT'de tozdan daha çok etkilendiği için PV panel tasarımlarında bu durum göz önüne alınmalıdır (Tanesab ve ark., 2017).

Gafoor Haddad ve Dhaouadi (2018) çalışmalarında, yerel güneş yoğunluğu, sıcaklık ve toz gibi atmosferik koşulların etkilerini incelemek için ayrıntılı bir PV panel modelini ele almışlardır. Fotovoltaik panel yüzeyindeki toz birikimini tahmin etmek için sayısal

bir model önermişlerdir. Önerilen modeli, zamana göre değişen toz kapsamını, mevcut konuma bağlı olarak sabit bir varış oranına sahip bir Poisson dağılımı olarak formüle ederek geliştirmişlerdir. Bu modelleme ile PV panellerin veriminin uzun bir süre boyunca incelenebileceği ve tahmin edilebileceği vurgulanmıştır (Haddad ve Dhaouadi).

Narimane ve ark. (2018) çalışmalarında, tozun kum fırtınası nedeniyle PV modülün yüzeyinde birikmesinin PV modülün performansını etkileyen en büyük problem olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmalarının temel amacı normal hava koşullarındaki toz birikiminin PV panellerin bazı elektriksel parametrelerini üzerindeki etkisi derecesini araştırmaktır. Gerçekleştirilen testlerde PV panelin birisi temiz ve diğeri ise tozlu olarak ele alınmıştır. Deneysel sonuçlardan PV panel yüzeyindeki toz birikiminin kısa devre akımı üzerinde çok olumsuz bir etki yarattığı ancak açık devre gerilimi üzerinde hafif bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır (Narimane ve ark., 2018).

Salari ve Hakkaki-Fard (2019) çalışmalarında, PV modüllerinin ve Fotovoltaik-thermal (PVT) sistemlerin üzerinde biriken toz yoğunluğunun enerji performansına etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Bu doğrultuda her iki sistem için monokristal silikon PV modülünün tüm katmanları simüle edilmiştir. Ayrıca, temiz ve tozlu PV modülü ile temiz ve tozlu PVT sistemi performansında etkili olan çeşitli sistem parametrelerini de ele almışlardır. Ele alınan parametreler güneş ışınım yoğunluğu, ortam sıcaklığı, soğutucu giriş sıcaklığı ve soğutucu giriş hızıdır. Fotovoltaik modülün yüzeyinde toz birikimi yoğunluğu 0 g/m^2 den 8 g/m^2 'ye çıkarılmasıyla elektriksel verimin %26.36 azaldığı gösterilmiştir. Buna ek olarak, PVT sistemin yüzeyindeki toz birikimi yoğunluğu 0 g/m^2 den 8 g/m^2 'ye çıkarılmasıyla elektriksel ve ısı veriminin sırasıyla %26.42 ve % 16.11 azaldığı gösterilmiştir (Salari ve Hakkaki-Fard, 2019)

Hammoud ve ark. (2019) çalışmalarında, Lübnan'ın kıyı bölgesinde yer alan Zahrani'deki 1 MW'lık bir Güneş Enerji Santrali (GES)'nin belirli bir bölümü üzerinde tozun PV panel performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. GES'deki PV panellerin temizlenebilmesi için robotik bir sistem geliştirmişlerdir. Paneller 15 Haziran – 30 Eylül 2018 tarihleri arasında periyodik olarak temizlenmiştir. Panellerden elde edilen güç günlük olarak toplanmıştır. Üretilen güç 15 Haziran – 30 Eylül 2017 tarihinde temizlenmemiş haldeki PV panellerden elde edilen güç değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak temizleme prosedürünün elektrik üretiminde ortalama olarak %32.77'lik bir artış sağladığını elde etmişlerdir (Hammoud ve ark., 2019).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Fotovoltaik Güç Sistemleri

Arap-İsrail savaşından dolayı 15 Ekim 1973 tarihinde Petrol İhraç Eden Arap Ülkeleri Birliği (OAPEC), İsrail ordusuna destek veren Batılı devletlere karşı bir petrol ambargosu başlatmışlardır (Öztürk ve Saygın, 2017). Bu durum dünya petrol fiyatlarında önemli bir artışa neden olmuş ve dünya genelinde ithal enerji kaynaklarına aşırı bağımlılık sorunları konusunda geniş çapta bir farkındalık oluşturmuştur (Laughton, 1990). Bu tarihte meydana gelen bu birincil petrol krizinin ardından enerjinin önemi tüm dünya ülkeleri arasında daha iyi anlaşılmaya başlamıştır. Bu tarihten sonra ülkeler enerji kaynaklarını çeşitlendirme ve alternatif enerji kaynakları kullanma noktasında önemli adımlar atmışlardır (Karagöl ve Kavaz, 2017). Örneğin, dönemin Amerikan başkanı olan Gerald Ford ABD'nin enerji bağımsızlığı için hükümet destekli bir program başlatmıştır. Daha sonra ise, bu enerji bağımsızlığı programı Amerikan başkanı Jim Carter'in döneminde, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir ve çevreyi kirletmeyen enerji kaynaklarına ağırlık verilerek sürdürülmüştür (Fraas, 2014).

Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesiyle beraber modern toplumlarda sanayileşme ve üretim için halen yüksek olan enerji talebi, temiz ve yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarını aramak ve geliştirmek için en büyük itici güç olmuştur (Yang ve ark., 2018). Ayrıca iklim değişikliği 21. yüzyılın en büyük problemlerinden biridir. Buzulların erimesi, okyanus seviyelerin yükselmesi ve ağır hava şartlarının artması iklim değişikliğinin en önemli etkileri arasındadır (Mertens, 2018). Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK), fosil yakıtların yanması ile oluşan sera gazı salınımları açığa çıkarmadığı için iklim değişikliğinin azaltılmasında önemli bir role sahiptir. Hem 1997'de Kyoto Protokolü'nün imzalanması hem de 2009'da Kopenhag'da düzenlenen Birleşmiş Milletler (BM) İklim Değişikliği Konferansı'nın düzenlenmesi, dünyadaki çoğu devletin yenilenebilir enerji kullanımını ulusal enerji stratejileri olarak gördüğünü göstermektedir (Wang, 2018). Yenilenebilir enerji kaynakları doğru bir şekilde uygulanırsa, sosyal ve ekonomik kalkınmaya, enerjiye erişime, güvenli ve sürdürülebilir bir enerji kaynağına ve enerji tedarikinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasına da katkıda bulunabilir (Edenhofer ve ark., 2011). Tablo 3.1'de PV enerji üretiminin avantaj ve dezavantajları listelenmiştir (Luque ve Hegedus, 2003).

Tablo 3.1. Fotovoltaik enerji üretiminin avantajları ve dezavantajları (Luque ve Hegedus, 2003).

Fotovoltaik Enerji Üretiminin Avantajları
• Yakıt kaynağı çok büyük ve erişilebilirdir.
• Emisyon, yanma veya radyoaktif atık yoktur (küresel iklim değişikliğine veya hava/su kirliliğindeki algılanabilir düzeyde bir paya sahip değildir).
• Düşük işletme maliyetine sahiptir (akaryakıt yok).
• Hareketli parçası yoktur (aşınma yok).
• Ortam sıcaklığında çalıştırılabilir (yüksek sıcaklık veya güvenlik sorunları yoktur).
• Güneş modüllerinin yüksek güvenilirliğe sahip olması (üreticilerin 30 yıldan fazla garantileri vardır).
• Tahmin edilebilir yıllık çıkış verimliliğine sahiptir
• Modülerdir (küçük veya büyük artımlıdır).
• Yeni veya mevcut bina yapılarına entegre edilebilir.
• Hemen hemen her kullanım noktasına çok hızlı bir şekilde monte edilebilir.
Fotovoltaik Enerji Üretiminin Dezavantajları
• Yakıt kaynağı dağınıktır (güneş ışığı nispeten düşük yoğunluklu bir enerjidir).
• İlk kurulum maliyeti yüksektir.
• Tahmin edilemeyen saatlik veya günlük çıkış verimliliğine sahiptir.
• Ekonomik ve verimli enerji depolama eksikliğine sahiptir.

Yenilenebilir enerji tükenmeyen, tekrar tekrar kullanılabilen ve sürekli yenilenebilen doğal işlemlerden elde edilir (Bhatia, 2014). Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) yönlendirilebilir (talep üzerine elektrik şebekesine sağlanan güç çıkışlarının ayarlanabildiği) ve yönlendirilemez (üretimin hava koşullarına bağlı olması nedeniyle talep üzerine elektrik şebekesine sağlanan güç çıkışlarının ayarlanamadığı veya değişken yenilenebilir enerji (non-dispatchable)) olarak iki kategoriye ayrılabilir. Hidro, jeotermal ve biyokütle gücü yönlendirilebilir YEK iken rüzgâr ve güneş gücü ise yönlendirilemez YEK'dir (Moreno-Munoz, 2017).

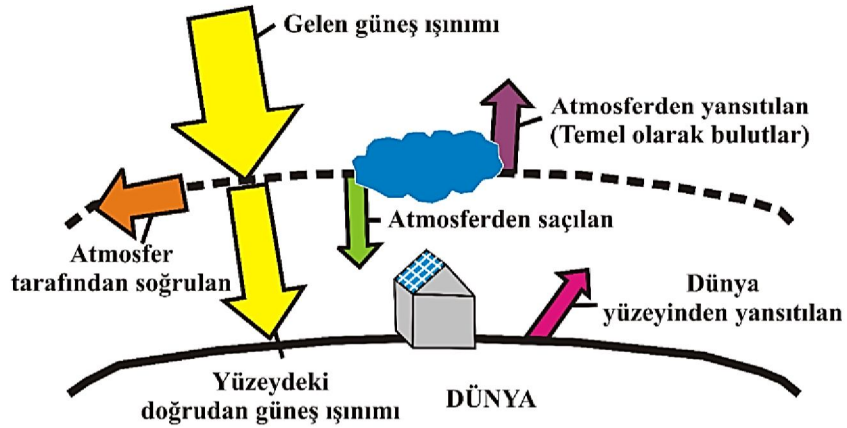
Özellikle YEK'lerden olan güneş enerjisi, ideal bir yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynağı olduğu için en büyük stratejik öneme sahiptir. Saniyede dünyayı saran güneş radyasyonu miktarı, 500 ton kömür yakılarak elde edilen enerjiye eşittir. Güneş içindeki termonükleer reaksiyonlar 6×10^{10} yıl sürebilir ve "tükenmez" bir enerji üretebilir. Yeryüzünde rüzgâr enerjisi, hidro enerji, okyanus termal enerjisi, gel git enerjisi ve biyokütle enerjisi gibi birçok enerji kaynağı enerjilerini güneşten elde

etmişlerdir. Günümüzde petrol, doğal gaz ve kömür gibi en yaygın kullanılan fosil yakıtlar bile aslında güneşten elde edilen enerjinin formlarıdır (Wang, 2018).

Fotovoltaik (PV) güneş ışınımını doğrudan elektriğe dönüştürme yöntemidir (Goetzberger ve Hoffmann, 2005). İlk olarak 1839'da Fransız fizikçi Alexander Edmond Becquerel yapmış olduğu bir deneyde, gümüş klorürü asitli bir çözeltiye yerleştirmiş ve bu çözelti platin elektrotlara bağlanırken aydınlanmıştır. Bu durumu Becquerel "Fotovoltaik Etki" olarak adlandırmıştır. Bu Fotovoltaik Etkiye bazen "Becquerel Etkisi" de denmektedir. Bu deney esnasında Becquerel, ışık elektrota çarptığında bir voltajın oluştuğunu da fark etmiştir (Anonim, 2019h). Daha sonra, 1873 yılında, W. Smith selenyum (Se) çubuklarında foto iletkenliği bildirmiştir (Smith, 1873). Aşağı yukarı 40 yıl sonra Adams ve Day, katılarda PV etkisini inceleyen ilk kişiler olmuşlardır. Selenyumdan yapılmış %1 – 2 verime sahip olan hücreler üretmişlerdir. Selenyum hücreleri hızla gelişmekte olan fotoğrafçılık endüstrisi tarafından fotometrik ışık sayaçları için benimsenmiştir. Bugün hala bu amaçla kullanılmaktadır (Masters, 2013). 1940'lar ve 1950'lerde Jan Czochralski tarafından icat edilmiş olan Czochralski işlemi, tek kristalli silikon fotovoltaikleri yapmak için kullanılmaya başlanmıştır. Czochralski işlemi, mikroelektronik, bilgi teknolojileri, fotovoltaik, güç elektroniği ve diğer birçok teknolojik uygulama sektörüne öncülük etmiştir (Masters, 2013; Nishinaga, 2014). İlk silikon plakalı güneş hücresi ise, 1954'te Chapin ve ark. tarafından Murray Hill, New Jersey'deki Bell Telefon Laboratuvarında geliştirilmiştir (Goetzberger ve Hoffmann, 2005). Dünyanın ilk güneş enerjisi uydusu olan Vanguard 1 ise 17 Mart 1958 tarihinde uzaya fırlatılmıştır (Anonim, 2019a). Sonraki yıllarda yapılan birçok bilimsel çalışmalar sonucunda güneş hücrelerinin verimliliği sürekli artmıştır. Bugün Laboratuvar ortamında %25 civarında verimliliğe sahip olan silikon güneş hücreleri mevcuttur. Bununla birlikte PV hücrelerin maliyetleri son yıllarda önemli ölçüde azalmıştır. Ancak geleneksel elektrik santrallerinin maliyetinden hala bir miktar daha yüksektir (Quaschnig, 2016). Sonuç itibarıyla günümüzde karasal PV enerji üretim santrallerinin sayıları ve kurulu güç miktarları gün geçtikçe artmaktadır. Küresel olarak güneş enerjisiyle enerji üretimi en hızlı büyüyen enerji kaynağıdır. Japonya, Avrupa, Çin, ABD ve Hindistan güneş enerjisinde en çok büyüyen yatırımcılardır (Bhatia, 2014).

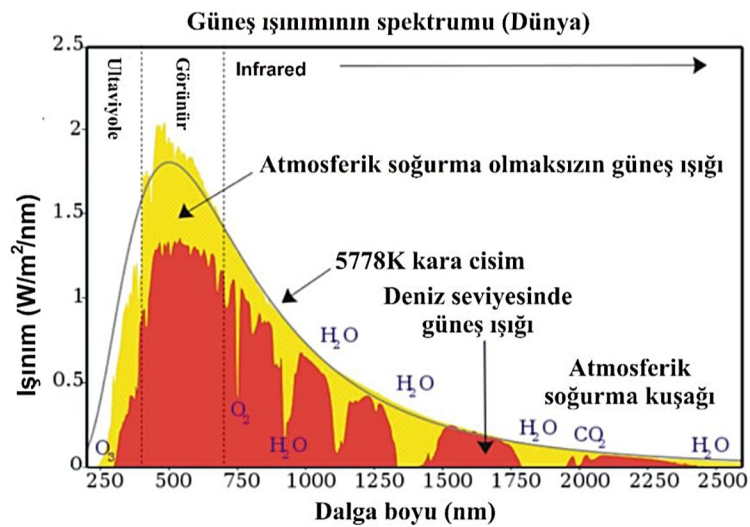
3.2. Güneş Işınmının Özellikleri

Güneş genellikle hidrojen yakıtı ile çalışan dev bir termonükleer reaktör olarak kabul edilir ve elektromanyetik radyasyon formundaki enerjiyi her yöne yayar (Masters, 2013; Piprek, 2017). Atmosferde ilerleyen ışık soğrulma, saçılma ve kırılma ile karşı karşıyadır. Bu durum Şekil 3.1’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Dünyanın atmosferinde hareket eden güneş ışınımının davranışı (Piprek, 2017)

Fotovoltaik hücrenin verimliliği, güneş ışığının spektrumuna, yoğunluğuna ve güneş hücresinin sıcaklığına bağlıdır. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ultraviyole, görünür ve kızıl ötesi radyasyon formunda güneşten gelen enerji güneş ışınımı olarak bilinir. Güneş ışığının ultraviyole bölgesi çoğunlukla atmosferin ozon tabakası tarafından soğrulurken CO₂ ve su buharı parçacıkları güneş ışınımının görünür ve kızılötesi bölgesinde etkilidir (Kudish ve Evseev, 2011).



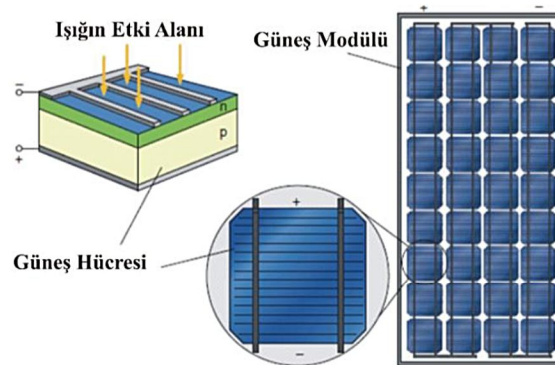
Şekil 3.2. Dünyanın atmosferinde hareket eden güneş ışınımının davranışı (Anonim, 2019f)

Atmosferden yayılan kızılötesi (infrared) ışınım karasal ışınım olarak bilinir. Bu şekilde, hem Dünya atmosferinin tepesinde (sarı alanla temsil edilen) hem de deniz seviyesinde (kırmızı alanla temsil edilir) doğrudan ışık için güneş ışınımı spektrumu gösterilmiştir. Güneş yaklaşık olarak 5778 K (Kelvin) sıcaklığa sahip kara cisim olarak ışık üretir. Güneş tarafından üretilen bu ışık atmosferden geçerken bir kısmı belirli soğurma kuşaklarına sahip gazlar tarafından emilir. Bunlara ilave olarak atmosferin mavi renginden sorumlu olan Raleigh saçılması ile yeniden dağıtılır (Anonim, 2019f). Hava kütlesi toprak yüzeyinde soğrulan enerjinin miktarından etkilenen kritik bir faktördür. Atmosferdeki partikül maddenin varlığı ve atmosfer vasıtasıyla yol alan güneş ışığının yol uzunluğunun bir sonucu olarak AM0 ışınım seviyesi (Atmosferin üzerindedir) ve AM1 ışınım seviyesi (Deniz seviyesidir) olarak tanımlanmıştır. Güneş hücresi tasarımında ise Standart Test Koşulu (STC) olan AM1.5 ışınım seviyesi kullanılır (Virtuani ve ark., 2006).

PV hücrelerde verimliliğin ölçüldüğü koşullar oldukça önemlidir. Karasal güneş pilleri için verimlilik AM1.5 şartlarında ve 25°C sıcaklıkta ölçülür. Uzaya yönelik olarak kullanılan güneş hücrelerinin verimliliği ise AM0 şartlarında ölçülür (Anonim, 2019b).

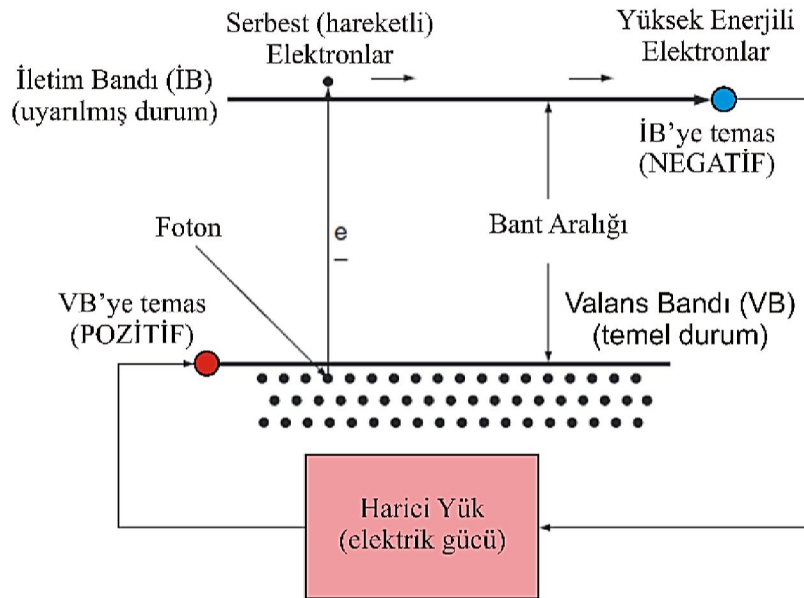
3.3. Fotovoltaik Hücrenin Elektriksel Karakteristiği

Hücreler bir PV sistemin en önemli bölümünü temsil eder. Hücre, aralarında bir temas bölgesi bulunan, genel olarak silikon olan yarıiletken bir malzemeden, p ve n olarak adlandırılan iki katmandan oluşur. Her iki katman, az miktarda bor (p-tipi yarıiletken) ve fosfor katkıdır. İlk katman serbest elektron açığı oluştururken (yani pozitif bir polariteye sahiptir) ikinci katman ise serbest elektron fazlasına (veya negatif polariteye) sahiptir (Mir-Artigues ve Del Río, 2016). Şekil 3.3’de PV hücrenin ve modülünün temel bileşenleri görülmektedir.



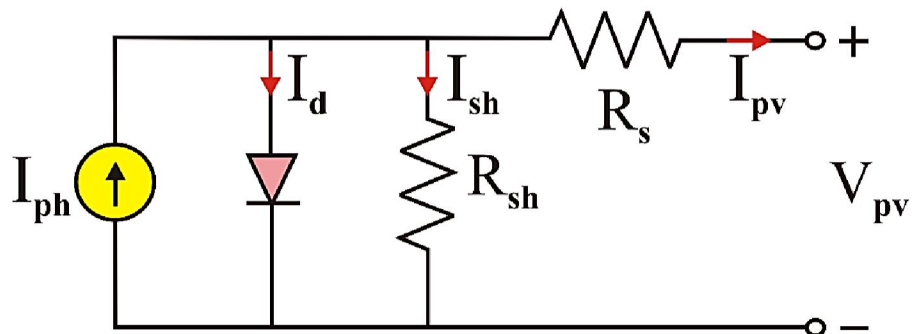
Şekil 3.3. Fotovoltaik güneş hücresi ve güneş modülünün temel bileşenleri (Mertens, 2018).

Fotovoltaik sistemlerin güç üretme mekanizmaları diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen güç üretme yöntemlerinden oldukça farklıdır. Yeterince kısa dalga boyuna ve yeterince yüksek enerjiye sahip bir foton, silikon gibi yarıiletken malzemelere çaptığı zaman değerlik elektronlarının bağlarını kırar ve bunları daha yüksek enerjiye sahip İletim Bandı'na (İB) pompalar. Özel olarak yapılmış seçici bir kontak, İB elektronlarını toplar ve harici bu serbest kalan elektronları harici devreye yönlendirir. Bu elektronlar su pompalamak, vantilatör döndürmek, bir dikiş makinası motoruna, bir ampule veya bir bilgisayara güç vermek gibi harici bir devreyi çalıştırarak enerjilerini kaybederler. Bu elektronların dış devrede ve kontaklardaki hareketi elektrik akımı olarak adlandırılır. Bu durum Şekil 3.4'de özetlenmiştir (Luque ve Hegedus, 2003).



Şekil 3.4. Fotovoltaik güneş hücresinin çalışma prensibi (Luque ve Hegedus, 2003).

Fotovoltaik bir hücre için tek diyotlu elektriksel eşdeğer devresi Şekil 3.5'te gösterildiği gibi ideal bir akım kaynağı, bir diyot ve iki dirençten oluşmaktadır.



Şekil 3.5. Fotovoltaik bir güneş hücresinin elektriksel eşdeğer devresi

Şekil 3.5'te,

- **I_{ph} (Fotovoltaik Akım):** İdeal Fotovoltaik Akım kaynağı PV hücrenin maruz kaldığı ışık şiddeti ile orantılı olarak akım sağlamaktadır.
- **I_d (Diyot Akımı-Işıksız):** Hücrenin karanlıktaki davranışını modeller. Ters doyma akımı I_0 ile karakterize edilir.
- **R_s (Seri Direnç):** Gerçek bir PV hücrede, harici kontaklar üzerindeki gerilim düşümünü ifade eder.
- **R_{sh} (Paralel Direnç):** p-n bağlantısı boyunca yüksek iletkenlik geçiş yollarındaki sızıntı akımını ifade eder.

Şekil 3.5'deki elektriksel eşdeğer devrede PV hücrenin çıkış akımı Kirchhoff'un akım kanunundan aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (3.1)$$

Eşdeğer devredeki diyotun ileri ön gerilim akımı I_d ise aşağıdaki denklem 3.2 ile ifade edilebilir.

$$I_d = I_0 * [e^{V_d/n_s * V_t} - 1] = I_0 * [e^{(V_{pv} + I_{pv} * R_s)/(n_s * V_t)} - 1] \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'de;

I_0 ; diyotun ters yöndeki doyma akımı, V_d ; diyotun gerilimi, n_s ; PV paneldeki hücre sayısı ve V_t ise; p-n jonksiyonunun termal gerilimidir ve denklem 3.3'te verilmiştir.

$$V_t = \frac{A * k * T_k}{q} \quad (3.3)$$

Denklem 3.3'te;

A: Diyotun kalite (ideallik) faktörüdür.

k: Boltzman sabitidir ve $k = 1.38 * 10^{-23}$ Joule/Kelvin'dir.

q: elektron yüküdür ve $q = 1.6 * 10^{-19}$ Coulomb'tur.

T_k : Mutlak sıcaklıktır. Birimi ise Kelvin'dir. Eğer sıcaklık derece cinsinden verilirse denklem 3.4 ile verilen dönüşüm yapılarak sıcaklık değerinin Kelvin olarak değeri bulunmalıdır.

$$T_k \text{ (Kelvin)} = T_c \text{ (Santigrad Derece)} + 273^\circ \quad (3.4)$$

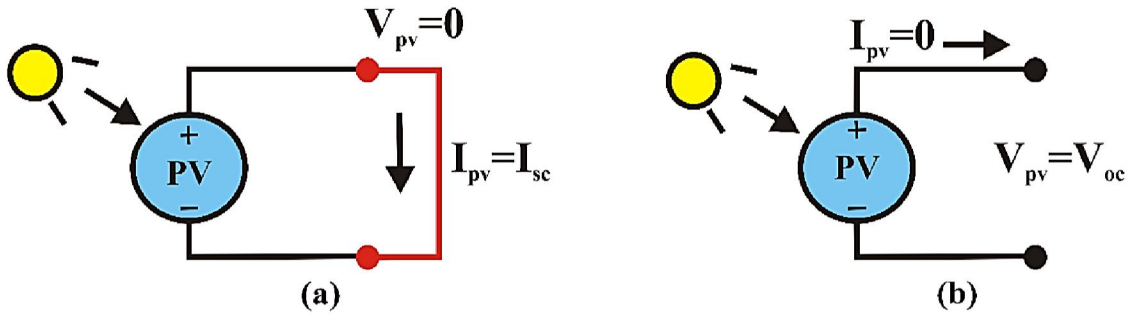
Paralel R_{sh} direncinden akan akım ise denklem 3.5 ile verilmiştir.

$$I_{sh} = \frac{V_{pv} + I_{pv} * R_s}{R_{sh}} \quad (3.5)$$

Şekil 3.3'de verilen PV hücrenin eşdeğer devresine göre elde edilen bütün denklemler dikkate alınarak denklem 3.1 yeniden düzenlenirse denklem 3.6 elde edilir.

$$I_{pv} = I_{ph} - \left[I_0 * \left[e^{(V_{pv} + I_{pv} * R_s) / (n_s * V_t)} - 1 \right] \right] - \frac{V_{pv} + I_{pv} * R_s}{R_{sh}} \quad (3.6)$$

Gerçek bir PV ve eşdeğer devresi için iki tane önemli parametre mevcuttur. Bu parametreler açık-devre gerilimi V_{oc} ve kısa-devre akımı I_{sc} 'dir. Açık-devre gerilimi, maksimum ışınım değeri PV hücrenin üzerine etki ettiğinde PV hücrenin çıkış uçlarından okunan gerilim değeridir. Kısa-devre akımı ise, maksimum ışınım değeri PV hücrenin üzerine etki ettiğinde PV hücrenin terminal uçları kısa devre edildiğinde okunan akım değeridir. Bu durumlar Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Fotovoltaik bir güneş hücresinin (a) kısa-devre akımı (b) açık-devre gerilimi

PV hücrenin açık devre, kısa devre ve maksimum güç devre denklemleri aşağıdaki denklemlerle ifade edilir.

Açık devre denklemi,

$$0 = I_{ph} - \left[I_0 * \left[e^{(V_{oc}) / (n_s * V_t)} - 1 \right] \right] - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \quad (3.7)$$

Kısa devre denklemi,

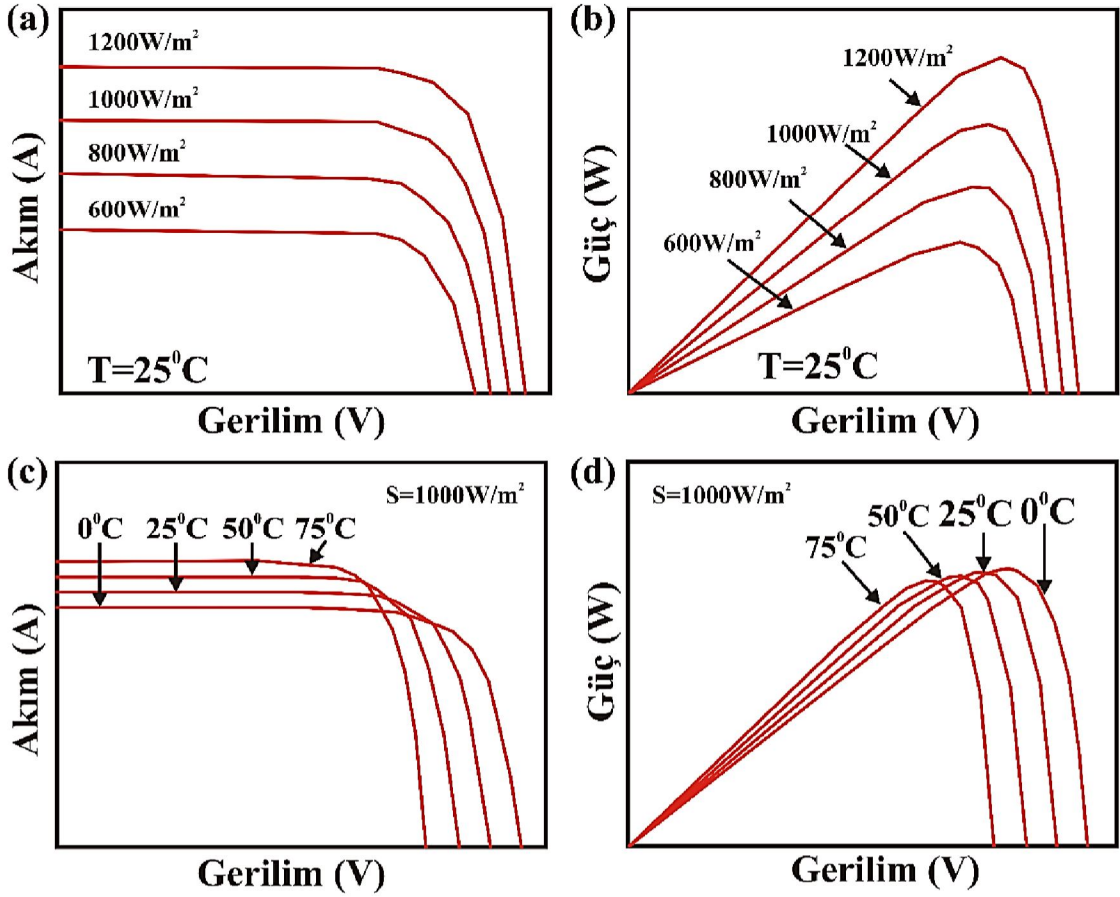
$$I_{sc} = I_{ph} - \left[I_0 * \left[e^{(I_{sc} * R_s) / (n_s * V_t)} - 1 \right] \right] - \frac{I_{sc} * R_s}{R_{sh}} \quad (3.8)$$

Maksimum güç noktası devre denklemi,

$$I_{mpp} = I_{ph} - \left[I_0 * \left[e^{(V_{mpp} + I_{mpp} * R_s) / (n_s * V_t)} - 1 \right] \right] - \frac{V_{mpp} + I_{mpp} * R_s}{R_{sh}} \quad (3.9)$$

Bir PV hücrenin elektriksel karakteristiği genellikle akım-gerilim (I-V) eğrisi ile gösterilir. PV hücreye ait I-V eğrisinde açık-devre voltajı V_{oc} ve kısa-devre akımı I_{sc} olmak üzere iki önemli parametre noktası mevcuttur. Ayrıca, bir PV hücreye bir yük bağlandığında akım ve gerilim bileşenleri ortaya çıkacaktır. Sonuç olarak da yükün üstünde akımın ve gerilimin çarpım değerine göre bir güç değeri oluşacaktır. Akım-gerilim eğrisi üzerinde bulunan V_{oc} ve I_{sc} noktalarındaki güç değerleri 0'dır. Bununla beraber I-V eğrisinin dirsek noktası yakınlarında ise akım ve gerilimin çarpımı maksimum olmaktadır. Bu dirsek noktasının yakınlarında PV hücreye bağlı olan yüke

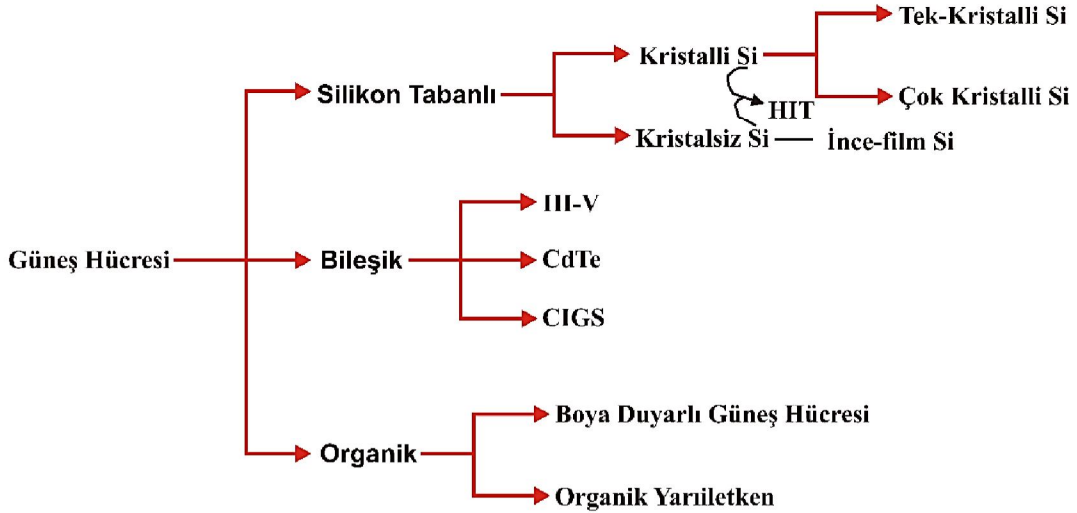
görülmektedir. Şekil 3.8 (c), (d)'de ise, I-V ve P-V karakteristiğinin $S = 1000\text{W}/\text{m}^2$ güneş ışınımı ve farklı sıcaklık değerlerindeki (0°C , 25°C , 50°C , 75°C) değişimi görülmektedir.



Şekil 3.8. PV modülün farklı ışınım ve sıcaklık altındaki I-V ve P-V eğrileri (Islam ve ark., 2016)

Şekil 3.8 (a) ve (b)'de görüldüğü gibi aynı hücre sıcaklık değerinde güneş ışınım değeri arttıkça PV modülden elde edilen elektriksel güç artmaktadır. Şekil 3.8 (c) ve (d)'de ise, aynı güneş ışınım değerinde hücre sıcaklık değeri arttıkça PV modülden elde edilen elektriksel güç azalmaktadır.

PV modüllerin ana bileşenleri güneş hücreleridir. Uygulamaya göre PV modülü oluşturmak için farklı çeşitlerde güneş hücreleri seçilir. Güneş hücreleri silikon bazlı, bileşik ve organik olmak üzere üç türe ayrılabilir. Şekil 3.9'da güneş hücrelerinin sınıflandırılması gösterilmiştir (Islam ve ark., 2016).



Şekil 3.9. Güneş hücrelerinin sınıflandırılması (Islam ve ark., 2016).

PV hücrelerin verimi elektriksel güç çıkışı ve hücreye düşen güneş gücü olmak üzere iki parametreye bağlıdır. PV hücrelerin verimi denklem 3.10 ile ifade edilebilir (Patel, 2005).

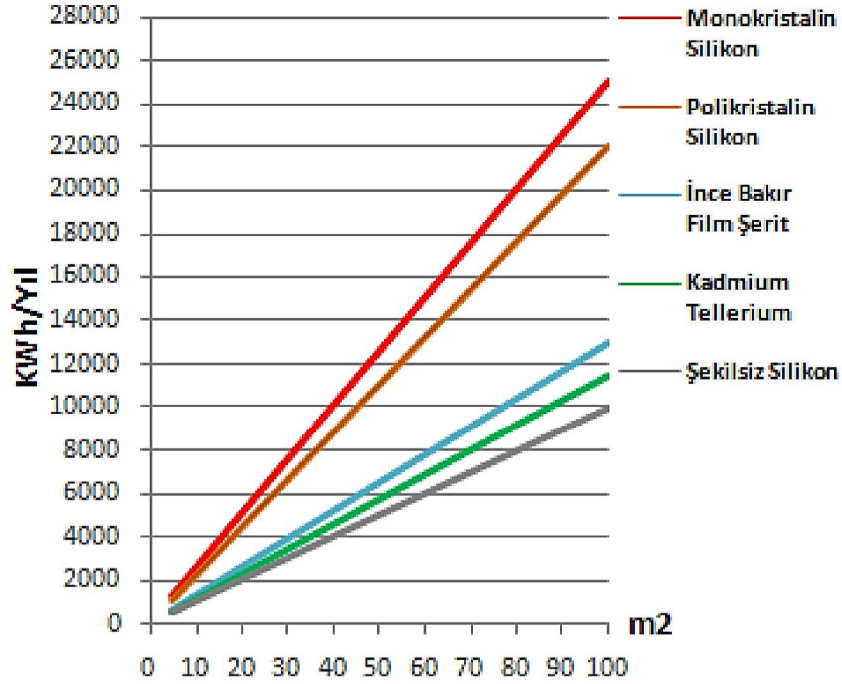
$$\eta = \frac{\text{Elektriksel güç çıkışı}}{\text{Hücreye düşen güneş gücü}} \quad (3.10)$$

Tablo 3.2’de farklı verimlere sahip PV hücre tipleri ayrıntılı olarak görülmektedir.

Tablo 3.2. Farklı PV hücrelerin verimleri (Quaschnig, 2010).

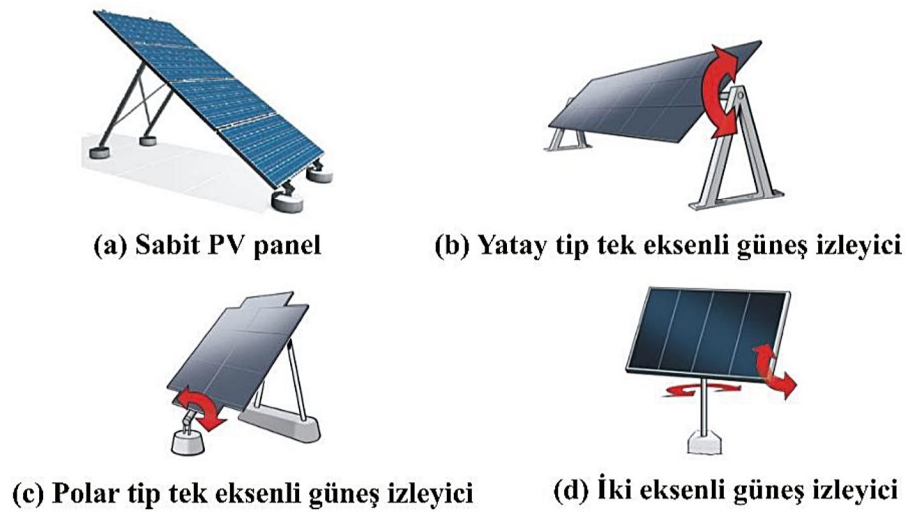
Hücre materyali	Mak. hücre verimi (lab.)	Mak. hücre verimi (seri üretim)	Normal modül verimi	1kW _p için yüzey gereksinimi
Tek Kristalli Si	%24.7	%22.0	%15	6.7 m ²
Çok Kristalli Si	%20.3	%17.4	%14	7.2 m ²
Amorf Si	%12.1	%6.8	%6	16.7 m ²
CIS/CIGS	%20.0	%11.6	%10	10.0 m ²
CdTe	%16.5	%12.0	%7	14.3 m ²
Yoğunlaştırıcı Hücreler	%41.1	%36.5	%28	3.6 m ²

Türkiye’de kullanılan PV tipleri ve alan bazında bazı panel türlerinden yıllık olarak üretilebilecek enerji miktarları Şekil 3.10’da ayrıntılı olarak görülmektedir.



Şekil 3.10. Güneş hücrelerinin sınıflandırılması

Güneş sabahtan akşama bir mevsimden diğerine pozisyonunu değiştirir (Khaligh ve Onar, 2009). Bundan dolayı PV panelin yönelimi, eğim açısı, PV panelin kurulum türü ve PV panelin yerleşimi elektriksel güç çıkışı açısından oldukça önemlidir. Sabit eğimli, tek ve iki eksenli hareket ederek güneşi izleyebilen PV sistemler bulunmaktadır. Buradaki amaç güneş ışınımından daha fazla yararlanmak ve PV panellerden daha fazla güç üretmektir. Şekil 3.11’de farklı konfigürasyonlardaki güneş panelleri görülmektedir.



Şekil 3.11. Farklı konfigürasyonlardaki PV paneller (Anonim, 2019l; 2019o).

PV modüller seri veya paralel bağlanarak dizileri oluştururlar. Güneş hattını engelleyen büyük bir yapı nedeniyle büyük bir dizi kısmen gölgelenebilir. Yoğun gölge altındaki güç kaybını en aza indirmek için bypass diyot kullanılır (Patel, 2005). Buna rağmen az da olsa PV sistemin güç çıkışında bir azalma olur.

PV modül yüzeyindeki toz birikimi, özellikle sık sık toz fırtınalarının yaşandığı çöl bölgelerinde oldukça endişe verici bir durumdur. PV modülün yüzeyinde toz birikmesi cam kapak geçirgenliğini azaltır ve bu nedenle hücrelere ulaşan güneş ışınlarının miktarını azaltır (Adinoyi ve Said, 2013). Bu durum ise PV sistemin veriminde düşüğe neden olur. Şekil 3.12’de toza maruz kalmış bir PV sistem görülmektedir.



Şekil 3.12. Toza maruz kalmış PV diziler (Anonim, 2019n).

3.5. Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi ve Özellik Çıkarma

Çoğu insan, insan gözünün olağanüstü bir araç ve Allah vergisi bir görme kabiliyetine sahip olduğunu bilir (Mirmehdi, 2008). İnsanların görme gücü, görsel uyartıları algılayan ve hareket eden karmaşık bir sistemdir (Nixon ve Aguado, 2013). Elde ettiğimiz bilgilerin çoğu dokunuş, koku, işitme ya da tat yerine gözlerimizden (ve beynimizle ilgili devrelerden) gelir (Russ ve Neal, 2017). Bir bilgisayar görme sistemi ise, insan beyninin gözlerden elde edilen görüntüleri işlediği gibi bir elektronik kameradan elde edilen görüntüleri işler (Nixon ve Aguado, 2013). Bu bağlamda, biyolojik ve makine görmesinin işlevsellikleri Tablo 3.3’de ayrıntılı olarak karşılaştırılmıştır.

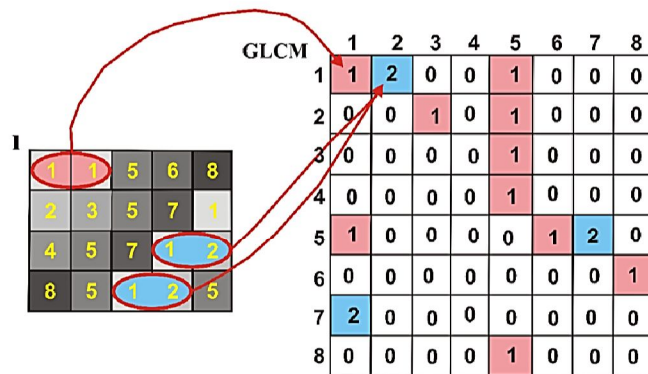
Tablo 3.3. İnsan ve makine görmesinin işlevsel özellikleri (Jahne, 2000).

Görev	İnsanın Görme Gücü	Bilgisayarın Görme Gücü
Görselleştirme	Pasiftir ve genel olarak donuk yüzeylerden ışığın yansımalarıdır.	Elektromanyetik, partikül ve akustik radyasyon kullanılarak pasif ve aktif (kontrollü ışıklandırma) olmaktadır.
Görüntü oluşumu	Kırılma özelliğine sahip optik sistemlerdir.	Çeşitli sistemlerdir.
Parlamanın kontrolü	Kas göz bebeğidir.	Motorlu diyafram açıklığı, filtre tekeri ve ayarlanabilir filtrelerdir.
Odaklanma	Odak uzaklığının değişimi kas kontrollüdür.	Çeşitli mesafe ölçüm prensiplerine dayalı otomatik odaklama sistemleridir.
Parlaklığı ayırma gücü	Logaritmik hassasiyettir.	Doğrusal hassasiyet, 8-16 bit arasında niceme ve logaritmik hassasiyettir.
Takip	Son derece hareketli göz küresidir.	Tarayıcı ve robot monteli kameralardır.
İşleme ve analiz	Hiyerarşik olarak çok büyük ölçekli olan paralel işleme düzenlenir.	Seri işlem hala baskındır ve genel kullanımda olmayan paralel işlemdir.

Doku, tipik olarak nesne yüzeylerinin pürüzlülüğünden kaynaklanan karakteristik yoğunluk (veya renk) değişimleridir (Mirmehdi, 2008). Tipik olarak, bir etkinin doku olarak adlandırılıp adlandırılmadığı, görüntülediği ölçeğe bağlıdır. Bir görüntünün çoğunu kaplayan bir yaprak bir nesnedir, ancak bir ağacın yaprakları bir dokudur. Doku birkaç farklı kaynaktan ortaya çıkar. İlk olarak, çok sayıda küçük nesnenin görünümü genellikle dokular olarak düşünülebilir. Örneğin; çimen, bitki yaprakları, fırça, çakıl taşları ve saç gibi örnekler verilebilir. İkinci olarak, birçok yüzey çok sayıda küçük nesneye benzeyen düzenli desenlerle işaretlenmiştir. Örneğin; leopar veya çita gibi hayvanların lekeleri, kaplan veya zebra gibi hayvanların çizgileri, ağaç kabuğu, ağaç ve cilt üzerindeki desenler örnek verilebilir (Forsyth ve Ponce, 2002). İyi tanımlanmış bir doku için, yoğunluk değişimleri normalde hem düzenlilik hem de rastgelelik sergileyecektir. Bundan dolayı, doku analizi istatistiksel ölçümlerin dikkatli bir şekilde tasarlanmasını gerektirir (Mirmehdi, 2008). Doku analizi, görüntü bölütlemesi, sınıflandırması ve örüntü tanıma gibi birçok amaç için kullanılan en önemli tekniklerden biridir (Mohamed ve Lu, 2015; Zhang ve ark., 2017). Görüntülerdeki doku analizi,

dokuların özelliklerini bulmayı ve daha fazla işlem yapılmasını sağlamak için onları farklı formlarda temsil etmeyi amaçlar (Mohamed ve Lu, 2015). Doku analizinde dokusal özellikleri çıkarmak için kullanılan yöntemler birbirinden farklıdır. Dokusal özelliklerin çıkarılması istatistiksel, yapısal, model tabanlı ve dönüşüm tabanlı metotlar olarak dört ana kategoriye ayrılabilir (Vijayarekha, 2019). İstatistiksel yöntemler birinci dereceden (yalnızca bir piksel), ikinci dereceden (birkaç piksel) veya daha üst dereceden (üç pikselden fazla) istatistikler olarak sınıflandırılabilir. Üç veya daha fazla pikselle uğraşırken ortaya çıkan karmaşık hesaplamalar ve zaman nedeniyle yüksek dereceli uygulama yaygın değildir (Mohamed ve Lu, 2015).

Gri Seviye Dönüşüm Matrisi (GLCM) yaygın olarak kullanılan bir doku filtresidir. GLCM, Haralick tarafından tanıtılmıştır (Haralick ve Shanmugam, 1973). Bu doku filtresi, piksellerin uzaysal ilişkisini dikkate alan ikinci dereceden istatistiksel parametrelerin kullanıldığı bir yöntemdir. GLCM işlevi, bir görüntüde belirli değerlere sahip farklı yönlerde ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$) ve mesafelerde (genellikle tercih edilen mesafe 1'dir.) bulunan iki piksel yoğunluğu (i, j) değerine dayanarak ve belirli bir uzamsal ilişkide piksel çiftlerinin ne kadar sıklıkla gerçekleştiğini hesaplayarak bir GLCM oluşturur. Şekil 3.13'de belirli bir bölgeye ait dokunun gri seviye değerleri ve bu değerlerin uzamsal ilişkisinden elde edilen GLCM'nin oluşumu ayrıntılı olarak görülmektedir. Şekil 3.13'de, GLCM'deki (1,1) değeri, 1 değerini alır. Çünkü 1 görüntüsünde yatay olarak yan yana 1 – 1 değerine sahip olduğu tek bir örnek vardır.



Şekil 3.13. Bir dokudaki gri seviye değerlerinden GLCM'nin oluşturulması

GLCM'deki (1,2) değeri ise, 2 değerini alır. Çünkü 1 görüntüsünde yatay olarak yan yana 1 – 2 değerine sahip olduğu iki tane örnek vardır. Sonuç olarak, GLCM'deki diğer bütün parametreler oluşturulur. Sonuç olarak, oluşturulan GLCM'den istatistiksel

ölçümler yapılarak görüntüden özellikler çıkarılır (Rao ve ark., 2013; Anonim, 2019m). Tablo 3.4'te GLCM'den çıkarılabilecek 19 adet özellik ve denklemleri verilmiştir.

Tablo 3.4. GLCM'den çıkarılabilecek doku özellikleri ve denklemleri
(Haralick ve Shanmugam, 1973; Soh ve Tsatsoulis, 1999; Clausi, 2002; Brynolfsson ve ark., 2017).

Özellik	Denklem	Özellik	Denklem
Otokorelasyon	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (i, j)p(i, j)$	Küme Belirginliği	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (i + j - 2\mu)^3 p(i, j)$
Kontrast	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (i - j)^2 p(i, j)$	Küme Renk Tonu	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (i + j - 2\mu)^4 p(i, j)$
Korelasyon	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{(i, j)p(i, j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y}$	Fark Entropisi	$-\sum_{k=0}^{N-1} P_{x-y}(k) \log_{P_{x-y}(k)}$
Benzersizlik	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N i - j \cdot P(i, j)$	Fark Varyansı	$\sum_{k=0}^{N-1} (k - \mu_{x-y})^2 P_{x-y}(k)$
Enerji	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P(i, j)^2$	Korelasyon1'in Ölçüm Bilgisi	$\frac{HXY - HXY1}{\max(HX - HY)}$
Entropi	$-\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P(i, j) \log P(i, j)$	Korelasyon2'nin Ölçüm Bilgisi	$\sqrt{1 - \exp[-2(HXY2 - HXY)]}$
Homojenlik	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{P(i, j)}{1 + (i - j)^2}$	Maksimum Olasılık	$\max P(i, j)$ i, j
Ters Fark	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{P(i, j)}{1 + i - j }$	Toplam Ortalama, μ_{x+y}	$\sum_{k=2}^{2N} k P_{x+y}(k)$
Toplam Varyans	$\sum_{k=2}^{2N} (k - \mu_{x+y})^2 P_{x+y}(k)$	Toplam Entropi	$-\sum_{k=2}^{2N} P_{x+y}(k) \log_{P_{x+y}(k)}$
Kareler Toplamı	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (i - \mu)^2 P(i, j)$		

3.6. Yapay Zekâ ve Yapay Öğrenme

İnsanları diğer yaşam formları arasında özel yapan en önemli şey akıldır. Yapay Zekâ (YZ)'yı anlamaya çalışırken “Zekâ nedir?”, “Zekâ nasıl ölçülür?” ve “Beyin nasıl çalışır?” gibi sorular ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, mühendisin, özellikle bilgisayar bilimcisinin temel sorusu bir insan gibi davranan akıllı makinelerin varlığının mümkün olup olmadığıdır (Ertel, 2018).

İnsanlık tarihinin gelişiminde, insanları hem bedensel hem de zihinsel işçilikten kurtarmak için gösterilen çaba hiç bitmemiştir. Sanayi devrimiyle beraber ağır işlerde insanların yerine makinelerin kullanılmasıyla beraber kayda değer bir ekonomik ve sosyal ilerlemeye yol açmıştır (Shi, 2011). Son zamanlarda makinelerin zihinsel işlerde de

kullanılabilmesi için insanlar gibi akıllı makineler inşa etmek ve bunları kullanmaya yönelik çok büyük çabalar gösterilmektedir.

Yapay Zekâ (YZ), bilim ve mühendislik alanındaki en yeni alanlardan biridir (Russell ve Norvig, 2016). İkinci Dünya Savaşı'nda Alman ordusunun haberleşmede kullandığı Enigma şifresini kırmayı başaran İngiliz Matematikçi Alan Turing YZ konusunun öncüsü sayılmaktadır (Tahça, 2009). Alan Turing'in "Computing Machinery and Intelligence" adlı makalesi ve ardından gelen Turing Testi YZ'nin temel amacını ve bakış açısını oluşturmuştur (Anonim, 2019i).

Makine zekâsı alanındaki ilk organize çaba psikoloji, matematik, bilgisayar bilimi ve bilgi teorisi konularına ilgi gösteren John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester ve Claude Shannon tarafından New Hampshire'daki Dartmouth College'da düzenlenen YZ konferansıdır. Bu konferansta LISP programlama dilinin geliştiricisi olan McCarthy, YZ terimini önermiştir (Negnevitsky, 2005; Shi, 2011; Krishnamoorthy ve Rajeev, 2018).

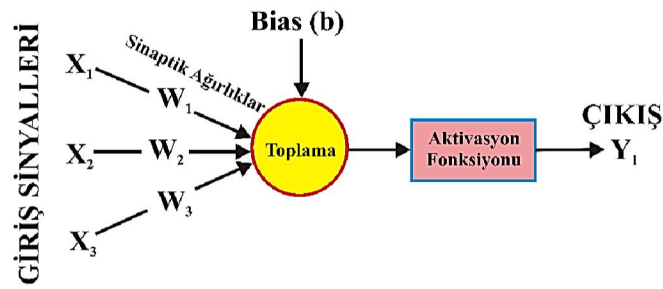
Yapay Zekâ'nın tanımı ile ilgili birçok fikir öne sürülmüştür. Nabyev'e göre "Yapay Zekâ", bir bilgisayarın ya da bilgisayar destekli bir makinenin, genellikle insana özgü nitelikler, çözüm yolu bulma, anlama, bir mana çıkartma, genelleme ve geçmişteki deneyimlerinden öğrenme gibi yüksek mantık süreçlere ilişkin görevleri yerine getirme yeteneğidir (Nabyev, 2012). Rich ve ark.'na göre YZ, bilgisayarların şu anda insanların daha iyi olduğu şeyleri yapmalarını sağlama çabasıdır (Rich ve ark., 2009). Bellman'a göre YZ, "insan düşüncesi ile ilişkilendirdiğimiz karar alma, problem çözme, öğrenme gibi otonom faaliyetlerdir." (Bellman, 1978). Charniak ve McDermott'a göre YZ, "Sayısal modellerin kullanılmasıyla zihin yetilerinin incelenmesidir." (Charniak ve McDermott, 1985). Kurzweill'e göre YZ, "İnsanlar tarafından gerçekleştirildiğinde akıl gerektiren işlevleri yapan makineler üretme sanatıdır" (Kurzweil, 1990).

Yıllarca süren araştırma ve geliştirme çalışmaları sayesinde YZ disiplinde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Günümüzde, YZ dayalı uzman sistemler konusunda birçok uygulama hayatımızda yer edinmiştir. Örneğin, doğal dil işleme, bilgisayarlı çeviri, örüntü tanıma, robotik ve görüntü işleme gibi sayısız birçok alanda aktif olarak kullanılmaktadır (Shi, 2011).

Bilgisayar kullanılarak insan beyninde gerçekleşen öğrenmeyi simüle etmek için birçok kişi tarafından çok kapsamlı araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu tür çalışmalar mühendisliğin farklı alanlarında çok çeşitli problemleri çözmek için bir

paradigma olarak Yapay Sinir Ağı (YSA)'nın ortaya çıkmasına neden olmuştur (Selfridge, 1958; Minsky ve Papert, 1969; Krishnamoorthy ve Rajeev, 2018).

Yapay Sinir Ağı yapıları bilinen biyolojik sinir sistemi ve insan beyni referans alınarak geliştirilmiştir (Hodgkin ve Huxley, 1952). Beyin çok sayıda nöronun bağlantısından oluştuğu gibi sinir ağı, beynin nöronlarına karşılık gelen elementler olan düğümlerin bağlantıları ile inşa edilirler. Sinir ağı, beynin en önemli mekanizması olan nöronların ilişkisini ağırlık değerlerini kullanarak taklit eder (Kim, 2017). Şekil 3.14'de basit bir nöron modeli ele alınmıştır



Şekil 3.14. Nöron'un basit bir modeli

Şekil 3.14'deki X_1, X_2, X_3 giriş sinyalleridir. W_1, W_2, W_3 giriş sinyallerinin sinaptik ağırlık değerleridir. Biyas (b) bilgilerin depolanması ile ilişkili bir faktördür. Aktivasyon fonksiyonu nöronun çıkış genliğini sınırlandırmak için kullanılır (Kröse ve ark., 1993). Aktivasyon fonksiyonları kısmen parçalı türevli fonksiyonlar ve tamamen türevlenebilen fonksiyonlar olarak ikiye ayrılabilir (Nunes Silva ve ark., 2017). Gerçekleştirilen bilimsel çalışmalarda lojistik fonksiyon, hiperbolik tanjant, gauss fonksiyonu ve lineer fonksiyonlar sıklıkla aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Son olarak Y_1 ise nöronun çıkış değeridir. Yapay bir ağ birbirine çok sayıda ağırlıklı bağlantı üzerinden sinyal göndererek iletişim kuran basit işlem birimleri havuzundan oluşmaktadır (Kröse ve ark., 1993).

Sonuç olarak, YZ temelli çalışmalar yapay uydulardan elde edilen görüntülerin analizi, konuşma ve yazma örüntülerinin sınıflandırılması, bilgisayar görmesi ile yüz tanıma, yüksek hızlı trenlerin kontrolü, tıbbi görüntülerde anomali tanımlaması, çamaşır makineleri, mikrodalga fırınlar, derin dondurucular, kahve makineleri, kızarma makineleri, video kameralar gibi elektronik cihazların kontrolü gibi sayısız alanda aktif olarak kullanılmaktadır (Nunes Silva ve ark., 2017). Tezde çalışmasında YSA yapısı PV panelin kirlilik derecesinin tahmininde kullanılmıştır.

4. PV PANEL KİRLİLİK TESPİT SİSTEMİ

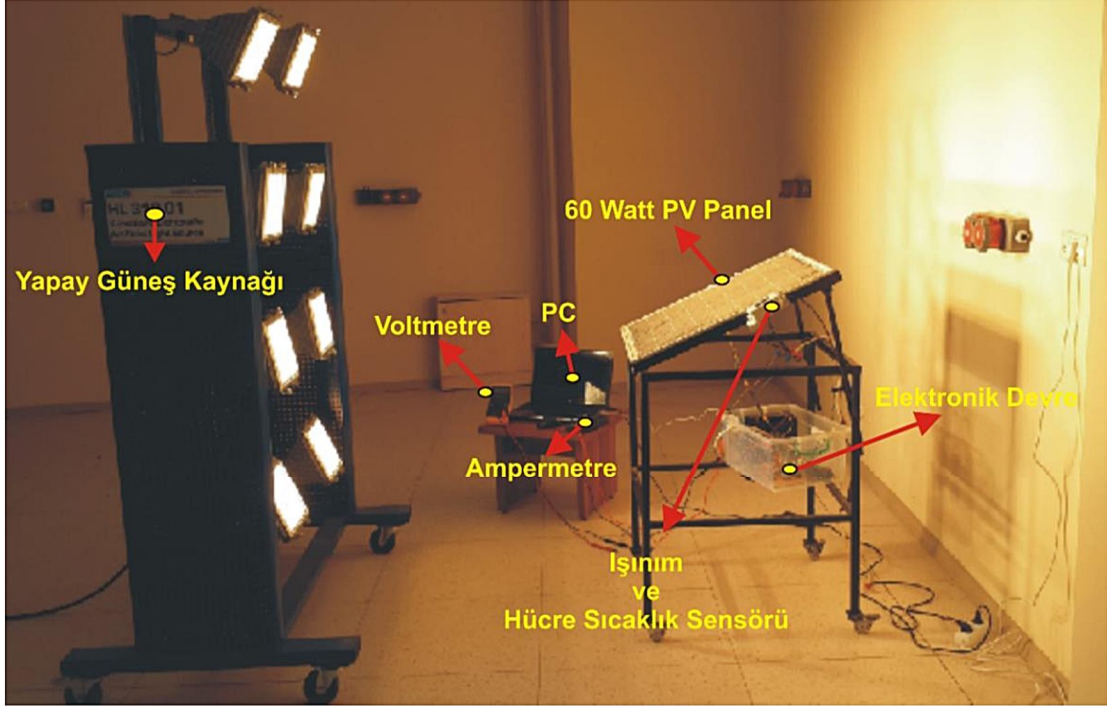
Güneş enerjisi bedava, tüketilemez ve temiz bir enerji kaynağıdır (Mekhilef ve ark., 2012). Bu avantajlarından dolayı da bütün dünyada güneş enerjisinden faydalanmak için verimli PV paneller üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Fotovoltaik paneller, yapısında bulunan yarıiletken diyotlar vasıtasıyla güneş ışığını kullanılabilir enerjiye dönüştürürler. Fotovoltaik paneller ile gerçekleşen bu enerji dönüşümünün verimliliği PV hücre tipi, PV panelin yönelim ve eğim açısı, PV panelin kurulum türü, PV panelin yerleşimi, PV hücre sıcaklığı, gölgelenme, PV panel üzerinde toz birikimi ve PV panelin kirliliği gibi birçok farklı parametrelerle doğrudan ilişkilidir (Klugmann-Radziemska, 2015; Kazem ve Chaichan, 2016). Bir PV modülün kapak camında toz bulunması güneş ışınımını emer ve saçılmasına neden olur (Tanesab ve ark., 2017). Kirlenme sadece toz birikimini değil aynı zamanda bitki ürünleri, kurum, tuz ve kuş pisliği gibi yüzey kirlenmesini de içermektedir (Sayyah ve ark., 2014).

Yıllık güneş ışığının en yüksek olduğu bölgeler başlıca çöl bölgeleridir. Bu bölgelerde verimdeki düşüşün çoğu panellerde kalan birikmiş tozun yağmurların da yetersiz olmasıyla temizlenememesidir (Al Shehri ve ark., 2016). Bu ise PV sistemin enerji performansını önemli ölçüde etkilemektedir (Dastoori ve ark., 2016). Suudi Arabistan'da yapılan sekiz aylık bir araştırma neticesinde toz birikimi nedeniyle PV dizilerdeki güç üretiminin %32 oranında azaldığı gösterilmiştir (Salim ve ark., 1988). Diğer bir çalışmada ise dış mekânda altı günlük bir PV panel izleme sonucunda PV enerji verimliliğinin %17 azaldığı görülmüştür (Wakim, 1981)

Bu çalışmada, PV panellerin elektrik üretiminde etkili olan parametrelerden kirlilik faktörünün sınıflandırılması ve PV panelin verimine etkisinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 60 Watt gücünde bir PV modül temizken çıkış gücü elde edilmiştir. Daha sonra aynı PV modül az (doğal kirli), normal ve çok kirli olacak şekilde yapay olarak kirletilmiştir. Daha sonra yapay bir güneş kaynağı kullanılarak her bir kirlilik derecesinde panelin güç değerleri elde edilmiştir. Böylece PV panelin verimliliğine etki eden kirlilik faktörünün etkisi gerçek zamanlı nümerik değerlere dayanarak yorumlanmıştır. Aynı zamanda üç farklı kirlilik derecesinde panelden görüntüler de elde edilmiştir. Panelden elde edilen üç farklı kirlilik dereceli görüntülerden GLCM'ye aracılığıyla 2. Derece istatistiğe dayalı 19 adet farklı özellik elde edilmiştir. Son olarak farklı kirlilik seviyelerine ait olan bu veriler Yapay Zekâ tabanlı bir Yapay Sinir Ağı (YSA) yapısı ile sınıflandırılmıştır.

4.1. PV Panel Kirlilik Tespit Sisteminin Donanım Yapısı

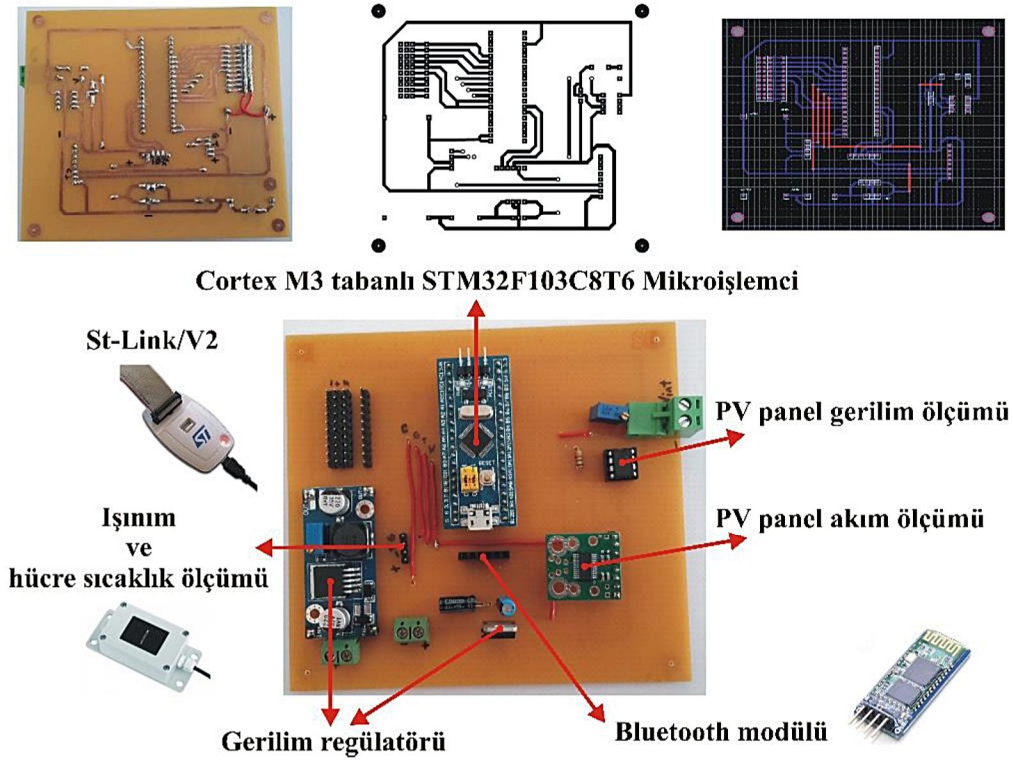
Fotovoltaik modül üzerinde kirliliğin verime olan etkisinin gerçek zamanlı olarak izlenebilmesi için Şekil 4.1’deki PV panel kirlilik tespiti için bir test sistemi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. PV panel kirlilik tespiti için gerçekleştirilen test sistemi

Gerçekleştirilen PV panel test sisteminde, sensörlerden verilerin alınabilmesi ve bu verilerin işlenebilmesi için düşük güç tüketimi ve yüksek performansa sahip STM32F103C8T6 geliştirme kartı kullanılmıştır. STM32F103C8T6 geliştirme kartı maksimum 72 MHz ve 32-bit yapıda Cortex M3 tabanlı bir mikroişlemciye sahiptir. Bu mikroişlemcinin üzerinde Genel Amaçlı Giriş Çıkış (GPIO) ve Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) pinleri mevcuttur. Bunlara ilave olarak gömülü sistem kartının üzerinde Tümlüşikler Arası Devre (I2C), Evrensel Senkron Asenkron Alıcı Verici (USART), Seri Çevresel Arayüz (SPI), Kontrol Alan Ağı (CAN) ve Evrensel Seri Veri Yolu (USB) gibi haberleşme arabirimleri de mevcuttur. Düşük güç tüketimi ve yüksek mikroişlemci hızından dolayı cep telefonları, Kişisel Veri Asistanı (PDA)’lar, yazıcılar, fotoğraf makineleri ve televizyonlar gibi pek çok elektronik cihazda tercih edilmektedir. Kullanılan mikroişlemcinin donanım yapısı Şekil 4.2’de ayrıntılı olarak görülmektedir.

PV panel gerilim değerlerinin izlenebilmesi için LM741 opamp devresi ile gerilim izleyicili bir elektronik devre tasarlanmıştır. Sistemin kontrolü için tasarlanan elektronik kartı ayrıntılı olarak Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. PV panel test sistemi için tasarlanan elektronik kart

Bunlara ilave olarak, sistemde kullanılan PV panel şarj kontrol sistemine bağlanmıştır. Şarj kontrol cihazı standart kurşun asitli akülerin yanı sıra jel, mühürlü ve sulu tip için de uygundur. Şarj kontrol cihazı kısa devre, aşırı yük ve aşırı şarj için dâhili koruma sistemine de sahiptir (Anonim, 2019g). Böylece 12V 18Ah’lik bir bataryanın verimli bir şekilde şarj edilmesi sağlanmıştır. PV panel test sisteminde kullanılan şarj kontrol cihazı ve akü Şekil 4.5 (a) ve (b)’de görülmektedir.



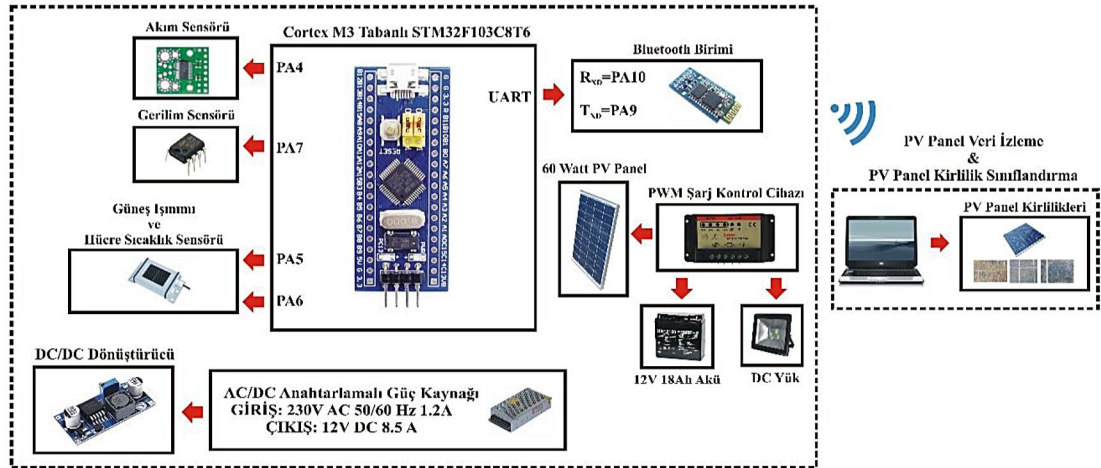
Şekil 4.5. PV panel sistemine ait (a) şarj kontrolü (b) akü (Anonim, 2019g)

PV panellerin anlık olarak üretmiş oldukları gerilim ve akım değerleri güneşten gelen ışığa ve PV panel hücre sıcaklığıyla doğrudan ilişkilidir. Işınım miktarı arttıkça PV panellerin verimi artarken PV hücre sıcaklığının artması ile panellerin verimi azalmaktadır. Tasarlanan PV panel test sisteminde ışınım ve panellerin hücre sıcaklık değerlerini ölçebilen IMT SOLAR firmasına ait SiS-01TC-T tipi ışınım ve PV panel hücre sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Tablo 4.1’de kullanılan sensörün karakteristik bilgilerine yer verilmiştir.

Tablo 4.1. SiS-01TC-T ışınım ve hücre sıcaklık sensörünün özellikleri

Sensörün tipi	Güç Kaynağı ve Akım Tüketimi	Işınım		Hücre Sıcaklığı
		Sıcaklık Kompanzasyonu	Çıkış Sinyali	Çıkış Sinyali
SiS-01TC-T	24 V _{DC} (5 – 28 V _{DC}) Tipik olarak < 1 mA	Var	0 – 1.4 V için 0 – 1400 W/m ²	0 – 2 V için (–123.5) – (+76.5°C)
	Parametre	Karakteristik Ölçüm Değişkenliği		
	G > 50 W/m ² için cevap zamanı (99 %)		0.15 s	
	Offset		2 W/m ²	
	Nonlineerlik		0.10 %	
	–35 ile + 80°C için Sıcaklığa Bağımlılık		0.50 %	

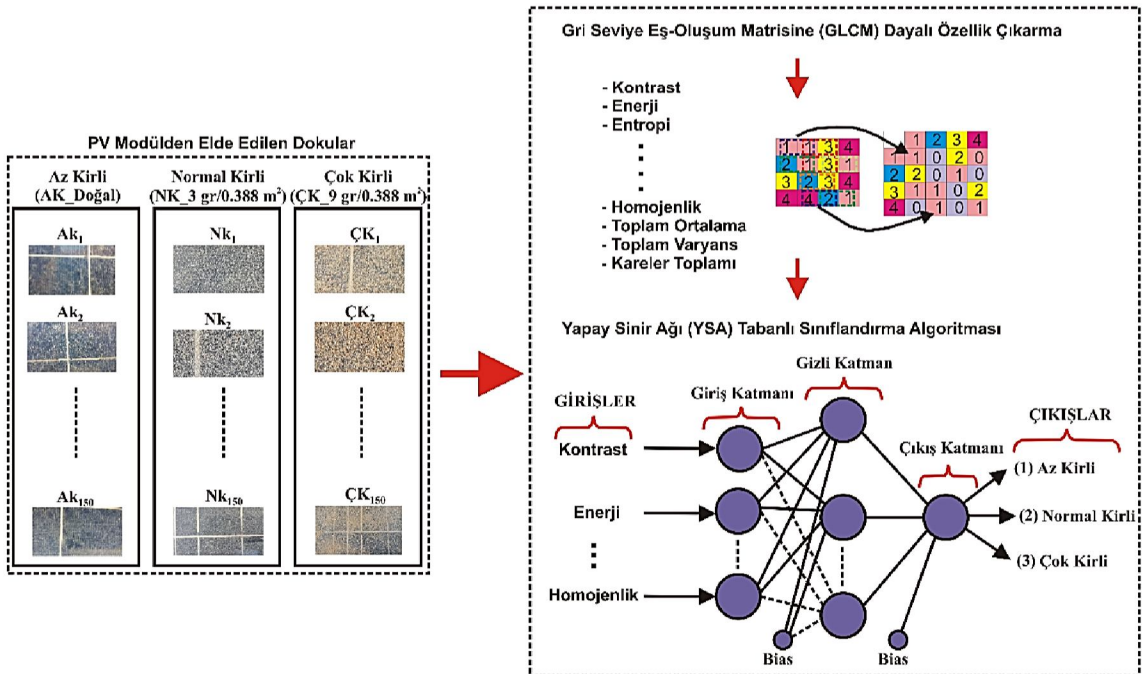
Tasarlanan PV panel kirlilik derecesi tespiti sistemi için İnternet Protokolü (IP) tabanlı bir kamera ile farklı kirlilik derecelerinde (Az Kirli, Normal Kirli ve Çok Kirli) görüntüler elde edilmiştir. Şekil 4.6’da gerçekleştirilen PV panel test sisteminin ayrıntılı olarak blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.6. PV panel sistemi blok diyagramı

4.2. Yapay Zekâ Yöntemleriyle PV Panel Kirlilik Derecesi Tespiti

İnsanlar görme sistemlerinin yardımı ile bulunduğu ortamı algılayarak birtakım çıkarımlarda bulunabilirler. Örneğin GES'deki bir PV panele bakarak onun kirli veya temiz olması hakkında bir çıkarımda bulunabilir. Fakat kirlilik düzeyinin enerji verimliliğine etkisinin ne oranda olabileceği ile ilgili çıkarımı tam isabetli bir şekilde yapamaz. Çünkü nümerik değişkenlere bağlı bir ifadeye ve uzun süreli izlemeye dayalı bu gibi durumlarda PV panellerle ilgili bir takım ölçülebilir büyüklüklerden faydalanılması gerekir. Bu tez kapsamında PV panel kirlilik derecesi herhangi bir insan yardımı olmaksızın yapay zekâ teknikleri kullanılarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmanın yapılabilmesi için PV panelden elde edilen dokular değerlendirilmiştir. Doku, bir görüntüdeki ilgili bölgelerin tanımlanmasında kullanılan önemli bir özelliktir. Gri Seviye Eş-Oluşum Matrisi (GLCM) doku sınıflandırılmasında kullanılan etkili yöntemlerden bir tanesidir. Bu yöntem doku görüntüsünün ikinci dereceden istatistik özelliklerini en iyi şekilde tanımlayabilen istatistiksel bir yaklaşımdır. Bu istatistiksel özellikler görüntüdeki piksellerin konumsal ilişkisi göz önünde bulundurularak oluşturulan GLCM matrisi aracılığıyla çıkartılır. Şekil 4.7'de PV panel sisteminde kullanılan GLCM tabanlı YSA sınıflandırıcı algoritmanın ayrıntılı şekli görülmektedir.



Şekil 4.7. GLCM tabanlı YSA sınıflandırıcı algoritma şeması

Bu çalışmada, PV panele ait doku görüntülerinin elde edilebilmesi için IP tabanlı bir kamera kullanılmıştır. Kamera vasıtasıyla her bir kirlilik derecesine ait 150 tane doku görüntüsü elde edilmiştir. Elde edilen her bir kirlilik derecesi görüntülerinden Gri Seviye Eş-Oluşum Matrisi'ne dayalı 19 farklı yeni özellik elde edilmiştir. Son olarak bu yeni özellikli veriler YSA ile sınıflandırılmıştır.

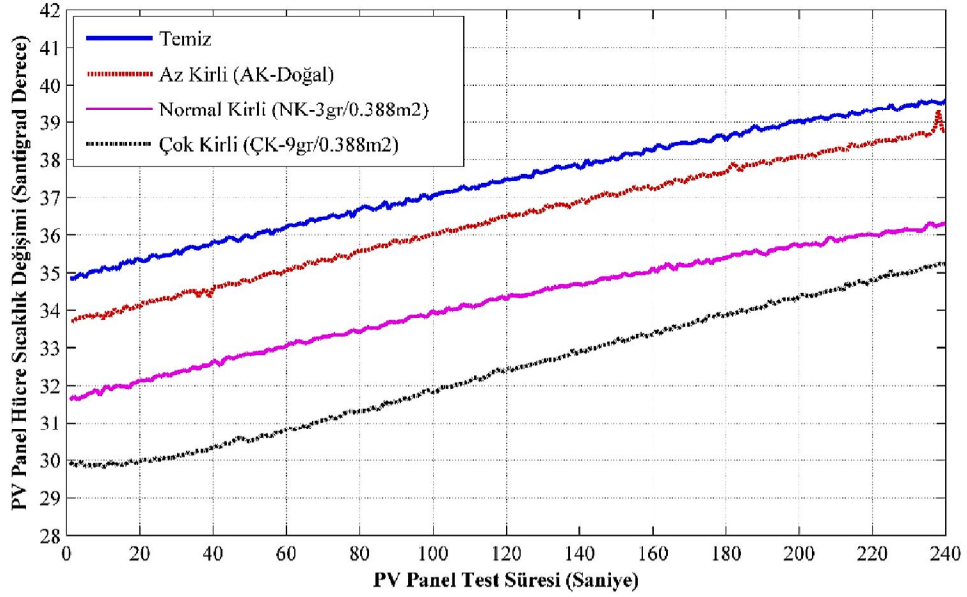
4.3. Simülasyon ve Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada, ilk olarak PV panel 3 farklı kirlilik seviyesinde (Az Kirli (Doğal halinde kirlenmiş), Normal Kirli ve Çok Kirli) yapay olarak kirletilmiştir. Normal kirli ve çok kirli olarak panelin kirletilebilmesi için kuru toz halindeki toprak ince bir elekten geçirilmiştir. Daha sonra elde edilen bu toz hassas bir terazide tartılmıştır. Şekil 4.8'de PV panel üzerindeki kirlilik seviyelerinin elde edilmesinde kullanılan elek ve terazi görülmektedir.



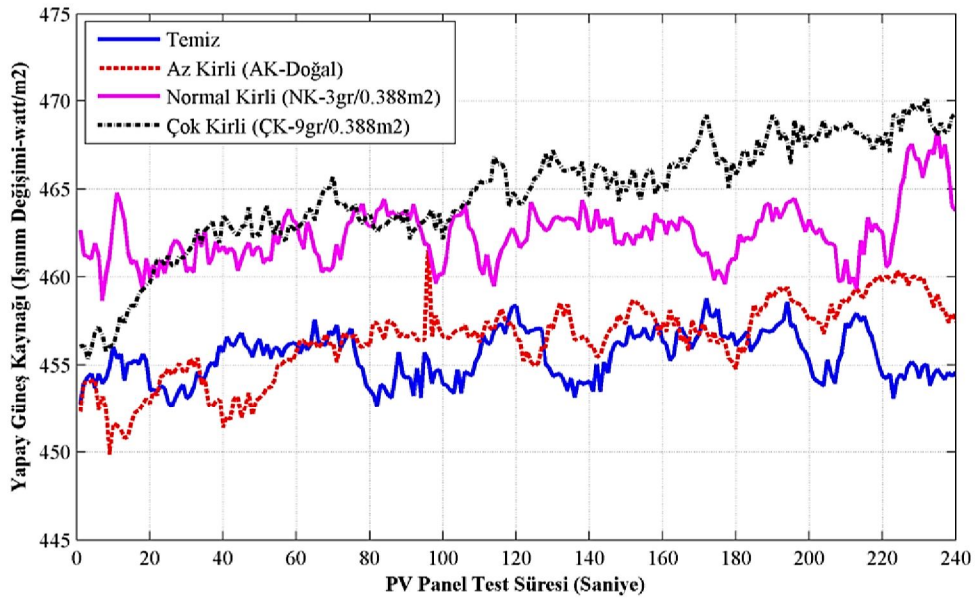
Şekil 4.8. PV panel üzerindeki kirlilik seviyelerinin oluşturulması

PV panel üzerinde kirlilik seviyelerinin oluşturulabilmesi için panelin bütün yüzeyini kaplayacak şekilde tozlar serpilmeye çalışılmıştır. Bunun için homojen ve ince deliklere sahip pet şişe ile uyumlu bir kapak kullanılmıştır. Daha sonra kirletilmiş panellerden yapay güneş kaynağı ve tasarlanan elektronik kart sistemi kullanılarak üç farklı kirlilik derecesinde PV panel akımı, gerilimi, yapay güneş kaynağının ışınım değeri ve PV panel hücre sıcaklığı gibi birtakım sistem verileri elde edilmiştir. PV panel kirletilmeden önce tamamen temizlenmiş halde iken PV panel akımı, gerilimi, yapay güneş kaynağının ışınım değeri ve hücre sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Son olarak, temiz ve 3 farklı kirlilik seviyelerinde panellere ait elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Şekil 4.9'da temiz ve üç farklı kirlilik derecesinde gerçekleştirilen test süresince PV panelin hücre sıcaklık değişimi görülmektedir.



Şekil 4.9. PV panel hücre sıcaklık değişimi

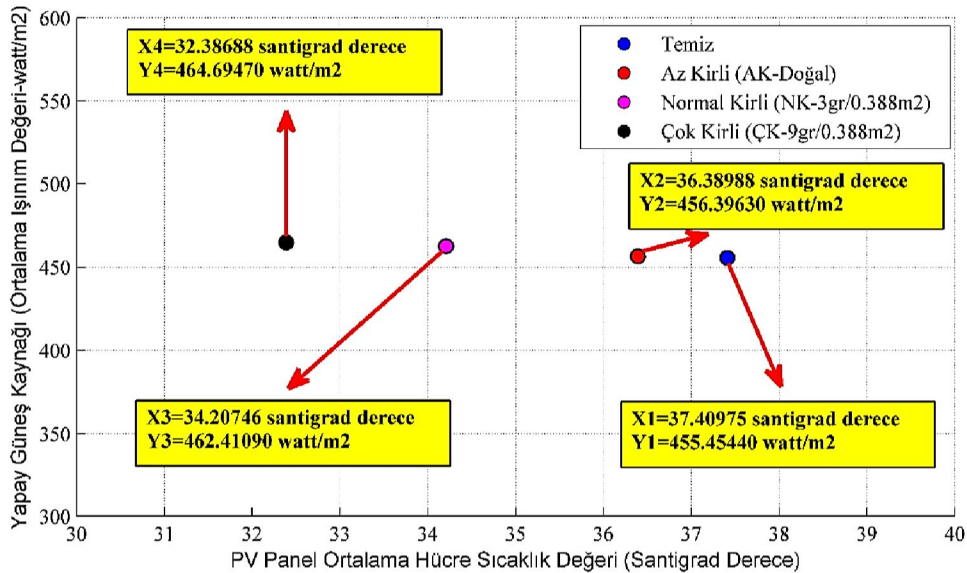
Tasarlanan PV sistem üzerinde kirlilik faktörünün verime etkisinin tam olarak değerlendirilebilmesi için yapay güneş kaynağının ışınlam değerlerinin birbirine oldukça yakın olması gerekmektedir. Şekil 4.10'da temiz ve 3 farklı kirlilik derecesinde gerçekleştirilen testlere ait yapay güneş ışınlam değerleri görülmektedir.



Şekil 4.10. PV panel yapay güneş kaynağının ışınlamı değişimi

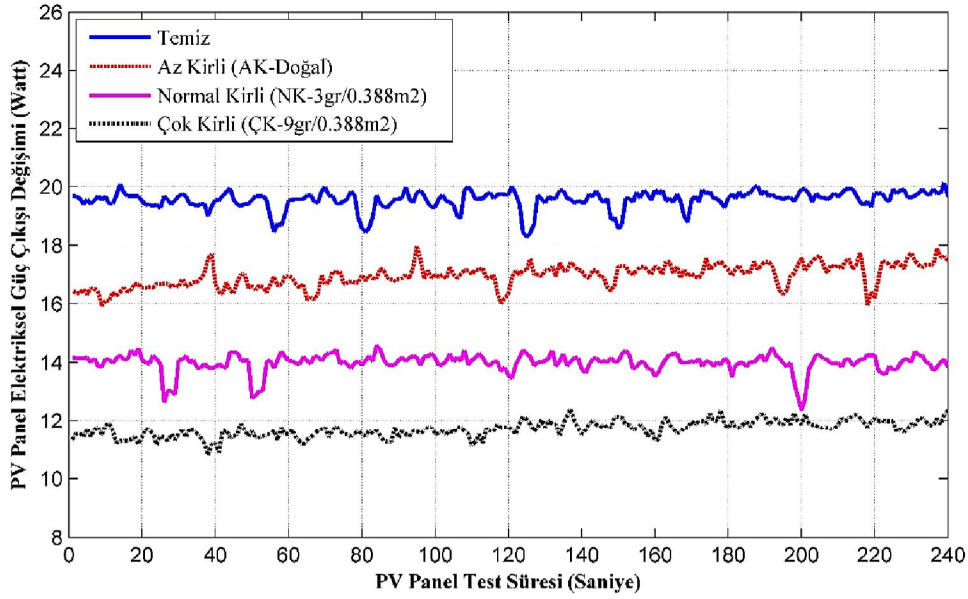
Tasarlanan PV sistemden 4 dakika boyunca 3 farklı kirlilik seviyesinde akım ve gerilim gibi değişken parametreler gerçek zamanlı olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu

veriler sayesinde panelin güç değerleri anlık olarak aynı yapay güneş ışınım değerlerinde elde edilmiştir. Gerçekleştirilen testlerden elde edilen sonuçların doğru bir şekilde yorumlanabilmesi için PV panelin hücre sıcaklık değerleri ve PV panelin üzerindeki yapay güneş ışınım değerlerinin yaklaşık olarak aynı değerde olması gerekmektedir. Tez çalışmasında farklı kirlilik derecelerindeki ortalama hücre sıcaklık değerleri ve ortalama ışınım değerleri Şekil 4.11’de ayrıntılı olarak görülmektedir. Şekil 4.11’deki grafik, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’daki grafiklerin ortalama değerleri bulunarak elde edilmiştir. Ortam şartları her deney için tam olarak aynı düzeyde tutulmadığı için, şekilde görüldüğü gibi farklı kirlilik derecelerindeki ortalama hücre sıcaklık ve ortalama ışınım değerlerinde az da olsa farklılıklar bulunmaktadır.



Şekil 4.11. Farklı kirlilik derecelerine ait ortalama hücre sıcaklık ve ortalama ışınım değerleri

Şekil 4.11’deki şartlar altında farklı kirlilik seviyelerinde PV panelden elektriksel güç değerleri gerçek zamanlı olarak elde edilmiştir. Şekil 4.12’de farklı kirlilik derecelerine sahip PV panelden elde edilen elektriksel güç çıkışları ayrıntılı olarak görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi PV panel temiz iken elektriksel güç çıkışı yaklaşık olarak ortalama 19,55917 watt, az kirlili iken 16,96179 watt, normal kirlili iken 13,99395 watt ve çok kirlili iken 11,71053 watt olmaktadır. Elde edilen sonuçlardan da görüldüğü gibi PV panel kirlilik derecesi arttıkça sistemin verimi önemli ölçüde azalmaktadır.



Şekil 4.12. PV panel elektriksel güç çıkışı değişimi

Gerçekleştirilen PV panel sisteminde 3 farklı seviyedeki kirlilik derecesinde doku görüntüleri de elde edilmiştir. Bir kamera vasıtasıyla elde edilen PV panel kirlilik görüntülerinden GLCM'ye dayalı yeni özellikler elde edilmiştir. Elde edilen bu yeni özellikli veriler yapay sinir ağı aracılığıyla sınıflandırılarak PV panellerin kirlilik derecesi belirlenmiştir. Gerçeklenen yapay sinir ağındaki değişken parametreler Ara Katman Nöron Sayısı (AKNS), Öğrenme Oranı (ÖO) ve Aktivasyon Fonksiyonu (AF)'dur. Sinir ağı sistemin bu değişkenlere ek olarak Momentum Sabiti (MS)'nin seçimi de oldukça önemlidir. Literatürde YSA'nın kullanıldığı çalışmalara bakıldığında genellikle MS, 0.8 ya da 0.9 alındığında en iyi doğruluk sonucuna ulaşılmıştır. Bundan dolayı da sinir ağı modelinde MS=0.9 olarak sabit tutulmuştur. Son olarak iterasyon sayısı 1000 olarak alınmıştır. Kullanılan YSA yapısı ise geri yayılım algoritmasıyla eğitilen ileri beslemeli ve çok katmanlı bir ağıdır. Kullanılan sinir ağı modeli giriş katmanı, ara katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Sistemin girişi 19 tane özellikten oluştuğu için giriş katmanında 19 tane düğüm mevcuttur. Çıkış katmanındaki nöron sayısı ise 1 olarak alınmıştır. Böylece çıkış değeri kullanılan aktivasyon fonksiyonuna göre 3 farklı çıkışa dönüştürülmüştür. Ara katman nöron sayısı için ise sinir ağının hassasiyetini daha fazla artırabilmek için 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 değerleri, öğrenme oranları için ise 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 değerleri denenmiştir. Ayrıca tüm foldlar için optimum sonucun elde edildiği değerler esas alınarak işlemler gerçekleştirilmiştir. Ara katmanlardaki nöronlarda ve çıkış katmanındaki nöronlarda farklı aktivasyon fonksiyonları (tansig ve purelin) kullanılmıştır. Böylece en uygun tahmin edici ağ yapısı ortaya çıkarılmıştır. Hedef durdurma kriteri için

ise 0.001 değeri kullanılarak eğitim-test işlemleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu için farklı ÖO ve AKNS'daki sınıflandırma sonuçlarının performansları Tablo 4.2'de özetlenmiştir. Gerçekleştirilen denemelerde performans indeksi olarak yüzde doğruluk, test süresi ve standart sapma değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Tablo 4.2'de görüldüğü gibi PV panel sisteminde kirlilik derecesinin tahmin edebilmesi için kullanılan sinir ağı modelinde en yüksek performans ÖO=0.8 ve AKNS=7 iken elde edilmiştir. Bu YSA yapısı kullanıldığında PV panel kirlilik derecesinin %**96.86** doğrulukta sınıflandırılabilir. Tablo 4.2'de görüldüğü gibi PV panel sisteminde kirlilik derecesinin tahmin edebilmesi için kullanılan sinir ağı modelinde en yüksek performans ÖO=0.8 ve AKNS=7 iken elde edilmiştir. Bu YSA yapısı kullanıldığında PV panel kirlilik derecesinin %**96.86** doğrulukta sınıflandırılabilir.

Tablo 4.2. PV panel verisine ait 19 adet özellik için elde edilen % tahmin sonuçları (tansig aktivasyon fonksiyonu ve MS=0.9)

AKNS	Performans	ÖS	ÖO=0.2	ÖO=0.4	ÖO=0.6	ÖO=0.8	ÖO=1	ÖO=1.2
			Test	Test	Test	Test	Test	Test
4	Yüzde Doğruluk	19	96.29	95.43	95.71	96.00	95.71	96.00
	Test Süresi (s)		25.43	34.10	28.63	30.89	33.86	33.70
	Standart Sapma		1.93	2.00	1.51	2.00	1.51	2.00
5	Yüzde Doğruluk	19	95.71	96.29	96.29	96.29	96.00	96.29
	Test Süresi (s)		32.89	31.73	51.19	26.75	25.74	32.12
	Standart Sapma		2.43	1.93	1.93	1.93	2.00	1.93
6	Yüzde Doğruluk	19	96.00	96.29	95.71	95.71	95.71	95.71
	Test Süresi (s)		33.29	29.94	29.18	26.87	37.50	27.35
	Standart Sapma		3.07	2.71	3.09	2.78	3.37	3.09
7	Yüzde Doğruluk	19	96.29	96.86	96.57	96.86	96.29	96.29
	Test Süresi (s)		33.45	32.42	34.64	31.36	30.12	44.32
	Standart Sapma		3.31	2.11	3.51	2.11	3.58	3.31
8	Yüzde Doğruluk	19	96.00	96.00	95.43	95.43	95.43	94.86
	Test Süresi (s)		37.04	31.32	31.85	31.20	32.04	29.44
	Standart Sapma		2.76	2.76	2.41	2.41	3.07	2.63
9	Yüzde Doğruluk	19	96.29	96.29	96.57	95.71	96.57	96.29
	Test Süresi (s)		27.86	31.09	26.09	31.57	30.40	30.56
	Standart Sapma		3.31	3.58	3.51	3.63	3.51	3.82
10	Yüzde Doğruluk	19	94.86	94.86	95.14	94.86	95.14	94.86
	Test Süresi (s)		35.86	35.73	33.91	37.49	31.60	32.54
	Standart Sapma		3.24	3.24	3.31	3.24	3.31	3.24

Son olarak PV sistemin kirlilik tahmini için purelin aktivasyon fonksiyonu için denemeler yapılmıştır. Gerçekleştirilen denemelerde performans indeksi olarak yüzde doğruluk, test süresi ve standart sapma değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Tablo 4.3'de gerçekleştirilen denemelere ait parametreler ayrıntılı olarak görülmektedir. Tablo 4.3'de görüldüğü gibi PV panel sisteminde kirlilik derecesinin tahmin edilebilmesi için kullanılan sinir ağı modelinde en yüksek performans ÖO=0.4 ve AKNS=7 iken elde edilmiştir. Bu YSA yapısı kullanıldığında PV panel kirlilik derecesini %**91.43** doğrulukta sınıflandırılabilir.

Tablo 4.3. PV Panel verisine ait 19 adet özellik için elde edilen % tahmin sonuçları (purelin aktivasyon fonksiyonu ve MS=0.9)

AKNS	Performans	ÖS	ÖO=0.2	ÖO=0.4	ÖO=0.6	ÖO=0.8	ÖO=1	ÖO=1.2
			Test	Test	Test	Test	Test	Test
4	Yüzde Doğruluk	19	91.14	90.86	90.86	90.86	91.43	90.86
	Test Süresi (s)		25.86	21.42	22.36	25.40	22.44	24.22
	Standart Sapma		5.12	5.35	4.82	4.82	4.86	4.82
5	Yüzde Doğruluk	19	88.57	89.14	89.14	88.57	88.00	89.14
	Test Süresi (s)		22.10	22.02	23.85	30.45	22.63	24.56
	Standart Sapma		6.73	7.23	7.23	7.74	7.47	7.23
6	Yüzde Doğruluk	19	88.57	89.14	89.14	89.14	89.14	88.57
	Test Süresi (s)		27.49	23.25	23.84	26.12	21.85	31.95
	Standart Sapma		5.39	5.68	5.68	5.68	5.68	5.04
7	Yüzde Doğruluk	19	91.14	91.43	90.86	90.86	90.86	90.86
	Test Süresi (s)		22.21	21.20	22.30	22.76	21.24	22.16
	Standart Sapma		4.35	4.26	4.22	4.43	4.43	4.22
8	Yüzde Doğruluk	19	90.29	90.00	90.00	90.00	89.71	90.57
	Test Süresi (s)		30.78	38.39	25.58	29.73	26.59	26.47
	Standart Sapma		4.51	4.31	4.31	4.31	4.30	4.87
9	Yüzde Doğruluk	19	87.71	88.00	88.00	88.00	88.86	87.43
	Test Süresi (s)		20.68	21.06	20.75	20.48	24.68	29.69
	Standart Sapma		6.03	5.18	5.68	5.68	5.29	5.59
10	Yüzde Doğruluk	19	88.86	88.86	89.14	89.43	89.43	88.86
	Test Süresi (s)		25.11	26.51	24.61	24.77	23.55	22.63
	Standart Sapma		5.63	5.63	6.00	5.72	6.18	5.63

Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'den elde edilen performans değerleri dikkate alındığında YSA modelinde PV panel kirlilik derecesinin sınıflandırılmasında en yüksek performans tansig aktivasyon fonksiyonunda ÖO=0.4 veya ÖO=0.8 iken ve AKNS=7 iken elde edilmiştir. Bundan dolayı yapay sinir ağının model yapısı bu parametreler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak PV panelin verimini önemli ölçüde etkileyen PV panel kirlilik durumu ile ilgili bir çıkarım elde edilmiştir. Gerçekleştirilen sistemle PV panel verimliliğini önemli ölçüde etkileyen kirlilik derecesi zamanında tespiti edilerek gerekli PV panel temizliğinin gerçekleştirilebilmesi sağlanacaktır. Sonuç olarak PV panelin daha verimli koşullarda çalışabilmesi sağlanmış olacaktır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada fotovoltaik panellerden daha yüksek verim elde edebilmek amacıyla, panellerdeki kirliliğin derecesini tespit edebilen YSA tabanlı bir algoritma geliştirilmiştir. İlk olarak, kirliliğin PV panel enerji verimliliği üzerindeki etkisini araştırabilmek için gerçek zamanlı bir test platformu tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen testler kapalı bir laboratuvar ortamında yapılmıştır. Çünkü PV panellerin verimini etkileyen çevresel faktörlerin etkisi de kontrol edilmelidir.

Tezde, 60 Watt maksimum çıkış gücüne sahip bir PV panel kullanılmıştır. Kullanılan PV panel az kirli (doğal kirli hali), normal kirli (3gr/0.388m²) ve çok kirli (9gr/0.388m²) olmak üzere 3 farklı kirlilik seviyesi oluşturacak şekilde kirletilmiştir. Daha sonra her bir kirlilik seviyesinde yapay güneş ışığı ve tasarlanan elektronik kart yardımıyla panelin yüzeyine etki eden güneş ışınımı değeri, hücre sıcaklık değeri ve panelin elektriksel olarak çıkış güç değerleri gerçek zamanlı olarak izlenmiştir. Fotovoltaik panel tamamen temiz iken ve 3 farklı kirlilik seviyesinde kirletilmiş iken üzerine düşen ışınım değerleri (450 watt/m² ile 470 watt/m² arasında değişmekte) ve hücre sıcaklık değerlerinin (30°C ile 40°C arasında değişmekte) birbirine çok yakın olması gerekmektedir. Bahsedilen bu şartlar yaklaşık olarak eşitlenmeye çalışılmış ve PV panelin temiz iken ve 3 farklı kirlilik seviyesinde iken elektriksel çıkış güç değerleri ölçülmüştür. Fotovoltaik panel tamamen temiz iken yaklaşık olarak ortalama 19,55917 watt, az kirli (doğal) iken yaklaşık olarak ortalama 16,96179 watt, normal kirli iken yaklaşık olarak ortalama 13,99395 watt ve çok kirli iken yaklaşık olarak ortalama 11,71053 watt elektriksel güç çıkışı elde edilmiştir. Temiz panelle çok kirli panel arasındaki elektriksel güç çıkışı farkı yaklaşık olarak 7.84864 watt civarındadır. Elde edilen elektriksel güç çıkışlarından da anlaşılacağı gibi PV panelin kirlilik derecesi arttıkça verimi önemli ölçüde azalmaktadır. Fotovoltaik paneller üzerindeki kirlilik birikimi özellikle az yağış alan ve kurak bir iklime sahip çöl bölgelerinde oldukça önemlidir. Çünkü bu bölgelerde güneş ışınımı yüksek iken toz birikiminden dolayı PV panel üzerinde güneş ışınımının saçılmasına neden olmaktadır. Bu ise güneş ışınımının elektriksel çıkış gücüne dönüşümündeki verimi azaltmaktadır.

Fotovoltaik panellerde toz birikiminden kaynaklanan enerji dönüşümündeki verimin azalmasını önlemek için PV panellerin düzenli olarak temizlenmesi gerekmektedir. Buradaki temel sorun PV panellerin ne sıklıkla temizleneceğidir.

Bilindiği gibi PV panelin kirliliğine etki eden en önemli şey hava şartlarının durumudur. Hava şartları yıl içerisinde oldukça değişkenlik gösteren bir doğa olayıdır. Sonuç olarak PV panellerin ne sıklıkla temizleneceği ile ilgili kesin bir standart yoktur. Bundan dolayı sürekli olarak hava şartlarının takip edilmesi ve buna göre sürekli değişen bir PV panel temizleme programı çıkarılmalıdır. Bu ise hem maliyetli hem de oldukça sıkıcı bir durumdur. Bu tezde bu sorunun önüne geçebilmek için kirlilik derecelerini insan etkisi olmadan tespit edebilen bir algoritma geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen PV panel sisteminde 3 farklı kirlilik seviyesinde doku görüntüleri IP tabanlı bir kamera vasıtasıyla elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen 3 farklı kirlilik seviyesine ait doku görüntülerinden Gri Seviye Eş-Oluşum Matrisi (GLCM)'ne dayalı 19 tane farklı özellik (2. derece istatistik temelli) çıkarılmıştır. Elde edilen 19 farklı özellik Yapay Sinir Ağı (YSA) ile sınıflandırılmıştır. Gerçekleştirilen YSA yapısında kirlilik derecesinin başarılı bir şekilde tespit edilebilmesi için ara katman nöron sayısı, öğrenme oranı ve aktivasyon fonksiyonu gibi parametreler değiştirilmiştir. Kullanılan sinir ağı modelinde en yüksek performans öğrenme oranı 8 ve ara katman nöron sayısı 7 iken elde edilmiştir. Bu yapıdaki sinir ağı modelinde kirlilik derecesi tespitindeki başarı oranı ise % 96.86 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak Güneş Enerji Santrallerindeki PV panellerin enerji dönüşümünü önemli ölçüde etkileyen toz birikimi gerçekleştirilen algoritma vasıtasıyla anlık olarak izlenebilecektir. Böylece PV panellerin temizlenme sıklığı değişken olarak belirlenebilecektir. Bu durum PV panellerdeki enerji dönüşümünü daha verimli hale getirecektir.

5.2. Öneriler

PV panellerde kirlilik tespiti için elde edilen PV panel doku görüntülerinden GLCM'ye dayalı özellik çıkarma yerine Bölgesel İkili Desenler (LBP), Genelleştirilmiş Düşük Aşamalı Model (GLRM) gibi farklı özellik çıkarma algoritmaları kullanılabilir. Ayrıca GLCM'den elde edilen özelliklerin YSA yerine Destek Vektör Makinaları (SVM), En Yakın k Komşu (KNN), Lineer Diskriminant Analiz (LDA), AdaBoost ve Derin Öğrenme gibi birçok sınıflandırma algoritması kullanılabilir. Böylece, kirlilik derecesinin tespit başarısı daha da artırılabilir.

KAYNAKLAR

- Abderrezek, M. ve Fathi, M., 2017, Experimental study of the dust effect on photovoltaic panels' energy yield, *Solar Energy*, 142, 308-320.
- Adinoyi, M. J. ve Said, S. A., 2013, Effect of dust accumulation on the power outputs of solar photovoltaic modules, *Renewable Energy*, 60, 633-636.
- Aidara, M. C., Ndiaye, M. L. ve Nkouna, W. M., 2018, Correlation between Dirt on The Photovoltaic Module Surface and Climatic Parameters in the Dakar Region, Senegal, *2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, 517-521.
- Al-Ammri, A. S., Ghazi, A. ve Mustafa, F., 2013, Dust effects on the performance of PV street light in Baghdad city, *2013 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, 18-22.
- Al Shehri, A., Parrott, B., Carrasco, P., Al Saiari, H. ve Taie, I., 2016, Impact of dust deposition and brush-based dry cleaning on glass transmittance for PV modules applications, *Solar Energy*, 135, 317-324.
- Alshehri, A., Parrott, B., Outa, A., Amer, A., Abdellatif, F., Trigui, H., Carrasco, P., Patel, S. ve Taie, I., 2014, Dust mitigation in the desert: Cleaning mechanisms for solar panels in arid regions, *2014 Saudi Arabia Smart Grid Conference (SASG)*, 1-6.
- Anonim, 2019a, Vanguard Satellite, 1958, <https://www.nasa.gov/content/vanguard-satellite-1958>: [09.06.2019].
- Anonim, 2019b, Solar Cell Efficiency, PV Education.Org, <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-efficiency>: [18.07.2019].
- Anonim, 2019c, Elektrik, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>: [12.05.2019].
- Anonim, 2019d, Güneş, Ankara, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>: [10.05.2019].
- Anonim, 2019e, Güneş Enerji Santralleri, Enerji Atlası, <https://www.enerjiatlası.com/gunes/>: [16.05.2019].
- Anonim, 2019f, Solar Radiation, <https://www.met.ie/science/valentia/solar-radiation>: [19.07.2019].

- Anonim, 2019g, Solar Charge Controller, https://www.futurlec.com/Solar_Charge_Controller.shtml: [07.08.2019].
- Anonim, 2019h, Early History of Solar http://solarcellcentral.com/history_page.html: [03.06.2019].
- Anonim, 2019i, How Does Artificial Intelligence Work?, <https://builtin.com/artificial-intelligence>: [04.08.2019].
- Anonim, 2019j, ACS709 Current Sensor Carrier -75A to +75A, <https://www.pololu.com/product/2199>: [07.08.2019].
- Anonim, 2019k, Using low cost STM32F103C8T6 boards with mbed, <https://os.mbed.com/forum/electronics/topic/26451/?page=1#comment-60986>: [07.08.2019].
- Anonim, 2019l, What types of solar trackers are there?, <https://www.solarchoice.net.au/blog/solar-trackers/>: [01.08.2019].
- Anonim, 2019m, Image Processing Toolbox User's Guide, <https://www.mathworks.com/help/images/texture-analysis-using-the-gray-level-co-occurrence-matrix-g lcm.html>: [22.07.2019].
- Anonim, 2019n, Paneles Fotovoltaicos con un mayor rendimiento, <http://econanosolutions.com/nanonews/blog/2018/03/22/rendimiento-paneles-fotovoltaicos/>: [02.08.2019].
- Anonim, 2019o, Types of Solar Panel Installations, <http://solarenergyforall.blogspot.com/2013/05/types-of-solar-panel-installations.html>: [01.08.2019].
- Asl-Soleimani, E., Farhangi, S. ve Zabihi, M. S., 2001, The effect of tilt angle, air pollution on performance of photovoltaic systems in Tehran, *Renewable Energy*, 24 (3-4), 459-468.
- Bellman, R., 1978, An introduction to artificial intelligence: Can computers think?, Thomson Course Technology.
- Bhatia, S. C., 2014, Advanced Renewable Energy Systems, Woodhead Publishing India Pvt. Ltd., p. 743.
- Brynnolfsson, P., Nilsson, D., Torheim, T., Asklund, T., Karlsson, C. T., Trygg, J., Nyholm, T. ve Garpebring, A., 2017, Haralick texture features from apparent diffusion coefficient (ADC) MRI images depend on imaging and pre-processing parameters, *Scientific Reports*, 7 (1), 4041.

- Chaichan, M. T., Mohammed, B. A. ve Kazem, H. A., 2015, Effect of pollution and cleaning on photovoltaic performance based on experimental study, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6 (4), 594-601.
- Chamaria, P., Dube, A. ve Mittal, A. P., 2014, Consequences of dust on solar photovoltaic module and its generation, *2014 IEEE 6th India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, 1-5.
- Chandrasekar, M., Suresh, S., Senthilkumar, T. ve Karthikeyan, M. G., 2013, Passive cooling of standalone flat PV module with cotton wick structures, *Energy Conversion and Management*, 71, 43-50.
- Charniak, E. ve McDermott, D., 1985, Introduction to Artificial Intelligence. , Addison-Wesley.
- Chow, T. T., 2010, A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology, *Applied energy*, 87 (2), 365-379.
- Clausi, D. A., 2002, An analysis of co-occurrence texture statistics as a function of grey level quantization, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 28 (1), 45-62.
- Costa, S. C. S., Diniz, A. S. A. C. ve Kazmerski, L. L., 2016, Dust and soiling issues and impacts relating to solar energy systems: Literature review update for 2012–2015, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 63, 33-61.
- Dastoori, K., Al-Shabaan, G., Kolhe, M., Thompson, D. ve Makin, B., 2016, Impact of accumulated dust particles' charge on the photovoltaic module performance, *Journal of Electrostatics*, 79, 20-24.
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S. ve von Stechow, C., 2011, Renewable energy sources and climate change mitigation: Special report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, p.
- Ertel, W., 2018, Introduction to artificial intelligence, Springer.
- Forsyth, D. A. ve Ponce, J., 2002, Computer vision: a modern approach, Prentice Hall Professional Technical Reference.
- Fraas, L. M., 2014, Low-Cost Solar Electric Power, Springer, p. 181.
- Gaglia, A. G., Lykoudis, S., Argiriou, A. A., Balaras, C. A. ve Dialynas, E., 2017, Energy efficiency of PV panels under real outdoor conditions—An experimental assessment in Athens, Greece, *Renewable Energy*, 101, 236-243.

- Goetzberger, A. ve Hoffmann, V. U., 2005, Photovoltaic solar energy generation, Springer Science & Business Media.
- Green, P., 2012, Solar panel performance-The good, the bad and the ugly!, *Intelec 2012*, 1-9.
- Guan, Y., Zhang, H., Xiao, B., Zhou, Z. ve Yan, X., 2017, In-situ investigation of the effect of dust deposition on the performance of polycrystalline silicon photovoltaic modules, *Renewable Energy*, 101, 1273-1284.
- Guo, B., Javed, W., Figgis, B. W. ve Mirza, T., 2015, Effect of dust and weather conditions on photovoltaic performance in Doha, Qatar, *2015 First Workshop on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE)*, 1-6.
- Haddad, A. G. ve Dhaouadi, R., Modeling and analysis of PV soiling and its effect on the transmittance of solar radiation, *2018 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, 1-5.
- Hammoud, M., Shokr, B., Assi, A., Hallal, J. ve Khoury, P., 2019, Effect of dust cleaning on the enhancement of the power generation of a coastal PV-power plant at Zahrani Lebanon, *Solar Energy*, 184, 195-201.
- Haralick, R. M. ve Shanmugam, K., 1973, Textural features for image classification, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-3 (6), 610-621.
- Hassan, A. H., Rahoma, U. A., Elminir, H. K. ve Fathy, A. M., 2005, Effect of airborne dust concentration on the performance of PV modules, *Journal of the Astronomical Society of Egypt*, 13 (1), 24-38.
- Hodgkin, A. L. ve Huxley, A. F., 1952, A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve, *The Journal of physiology*, 117 (4), 500-544.
- Hottel, H. C. ve Woertz, B. B., 1942, Performance of flat-plate solar heat collectors, *Transactions of the American Society of Mechanical Engineering*, 64, 64-91.
- Islam, M. R., Rahman, F. ve Xu, W., 2016, *Advances in Solar Photovoltaic Power Plants*, Springer, p. 360.
- Jacobson, M. Z. ve Delucchi, M. A., 2011, Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials, *Energy Policy*, 39 (3), 1154-1169.
- Jahne, B., 2000, *Computer vision and applications: a guide for students and practitioners*, Elsevier.

- Karagöl, E. T. ve Kavaz, İ., 2017, Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji, *SETA*, 197, 18-28.
- Kawamoto, H. ve Shibata, T., 2015, Electrostatic cleaning system for removal of sand from solar panels, *Journal of Electrostatics*, 73, 65-70.
- Kazem, A. A., Chaichan, M. T. ve Kazem, H. A., 2014, Dust effect on photovoltaic utilization in Iraq, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 37, 734-749.
- Kazem, H. A. ve Chaichan, M. T., 2016, Experimental analysis of the effect of dust’s physical properties on photovoltaic modules in Northern Oman, *Solar Energy*, 139, 68-80.
- Khaligh, A. ve Onar, O. C., 2009, Energy harvesting: solar, wind, and ocean energy conversion systems, CRC Press Taylor & Francis Group, p. 382.
- Kim, P., 2017, Matlab Deep Learning With Machine Learning, Neural Networks Artificial Intelligence, 130.
- Klugmann-Radziemska, E., 2015, Degradation of electrical performance of a crystalline photovoltaic module due to dust deposition in northern Poland, *Renewable Energy*, 78, 418-426.
- Krishnamoorthy, C. S. ve Rajeev, S., 2018, Artificial Intelligence and Expert Systems for Engineers, CRC Press, Taylor &c Francis Group, p. 320.
- Kröse, B., Krose, B., van der Smagt, P. ve Smagt, P., 1993, An introduction to neural networks.
- Kudish, A. I. ve Evseev, E. G., 2011, The analysis of solar UVB radiation as a function of solar global radiation, ozone layer thickness and aerosol optical density, *Renewable Energy*, 36 (6), 1854-1860.
- Kulaksız, A. A., 2007, Maksimum güç noktası izleyicili ve UVM inverterli fotovoltaik sistemin yapay sinir ağları tabanlı kontrolü, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Kurzweil, R., 1990, The age of intelligent machines, MIT Press, p. 565.
- Laughton, M. A., 1990, Renewable Energy Sources: Watt Committee: report number 22, Elsevier Applied Science London and New York, p.
- Liu, S., Yue, Q., Zhou, K. ve Sun, K., 2019, Effects of Particle concentration, deposition and accumulation on Photovoltaic device surface, *Energy Procedia*, 158, 553-558.

- Luque, A. ve Hegedus, S., 2003, Photovoltaic science and engineering, Wiley Online Library.
- Maghami, M., Hizam, H. ve Gomes, C., 2014, Impact of dust on solar energy generation based on actual performance, *2014 IEEE International Conference on Power and Energy (PECON)*, 388-393.
- Mastekbayeva, G. A. ve Kumar, S., 2000, Effect of dust on the transmittance of low density polyethylene glazing in a tropical climate, *Solar Energy*, 68 (2), 135-141.
- Masters, G. M., 2013, Renewable and Efficient Electric Power Systems, John Wiley and Sons Ltd., p. 690.
- Mekhilef, S., Saidur, R. ve Kamalisarvestani, M., 2012, Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (5), 2920-2925.
- Menoufi, K., Farghal, H. F. M., Farghali, A. A. ve Khedr, M. H., 2017, Dust accumulation on photovoltaic panels: a case study at the East Bank of the Nile (Beni-Suef, Egypt), *Energy Procedia*, 128, 24-31.
- Mertens, K., 2018, Photovoltaics: fundamentals, technology, and practice, John Wiley & Sons.
- Minsky, M. ve Papert, S., 1969, Perceptron: an introduction to computational geometry, *The MIT Press, Cambridge, expanded edition*, 19 (88), 2.
- Mir-Artigues, P. ve Del Río, P., 2016, The economics and policy of solar photovoltaic generation, Springer.
- Mirmehdi, M., 2008, Handbook of texture analysis, Imperial College Press.
- Mohamed, A. S. S. ve Lu, J., 2015, Analysis of GLCM Parameters for Textures Classification on UMD Database Images, In, Eds, *Brussels, Belgium: IARIA*, p. 111-116.
- Moreno-Munoz, A., 2017, Large scale grid integration of renewable energy sources, Institution of Engineering & Technology.
- Nabiyev, V. V., 2012, Yapay zeka: insan-bilgisayar etkileşimi, Seçkin Yayıncılık.
- Narimane, K., Ahmed, D., Khadidja, B., Bilal, D. M., Halima, B. ve Gougui, A., 2018, In-situ Investigation the Effect of Dust Deposition on the polycrystalline silicon photovoltaic modules in Ouargla region, *2018 International Conference on Communications and Electrical Engineering (ICCEE)*, 1-5.

- Negnevitsky, M., 2005, *Artificial Intelligence: A Guide To Intelligent Systems*, Pearson Education Canada, p. 504.
- Nishinaga, T., 2014, *Handbook of Crystal Growth: Fundamentals*, Elsevier.
- Nixon, M. S. ve Aguado, A. S., 2013, *Feature Extraction & Image Processing for Computer Vision*, Elsevier Science Publishing Co Inc., p. 632.
- Nunes Silva, I., Hermani Spatti, D., Andrade Flauzino, R., Liboni, L. H. B. ve dos Reis Alves, S. F., 2017, *Artificial Neural Networks: A Practical Course*, Springer, p. 13.
- Öztürk, S. ve Saygın, S., 2017, 1973 Petrol Krizinin Ekonomiye Etkileri ve Stagflasyon Olgusu, *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi*, 6 (12), 1-12.
- Patel, M. R., 2005, *Wind and solar power systems: design, analysis, and operation*, CRC Press.
- Piprek, J., 2017, *Handbook of Optoelectronic Device Modeling and Simulation: Lasers, Modulators, Photodetectors, Solar Cells, and Numerical Methods*, CRC Press.
- Quaschnig, V., 2016, *Understanding renewable energy systems*, Routledge.
- Quaschnig, V. V., 2010, *Renewable Energy and Climate Change*, Wiley-IEEE Press, p. 320.
- Ramli, M. A. M., Prasetyono, E., Wicaksana, R. W., Windarko, N. A., Sedraoui, K. ve Al-Turki, Y. A., 2016, On the investigation of photovoltaic output power reduction due to dust accumulation and weather conditions, *Renewable Energy*, 99, 836-844.
- Rao, C. N., Sastry, S. S., Mallika, K., Tiong, H. S. ve Mahalakshmi, K. B., 2013, Co-occurrence matrix and its statistical features as an approach for identification of phase transitions of mesogens, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2 (9), 4531-4538.
- Rich, E., Knight, K. ve Nair, S. B., 2009, *Artificial Intelligence*, New Delhi, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, p. 568.
- Russ, J. C. ve Neal, F. B., 2017, *The Image Processing Handbook*, CRC Press.
- Russell, S. J. ve Norvig, P., 2016, *Artificial intelligence: a modern approach*, Malaysia; Pearson Education Limited.
- Said, S., 1990, Effects of dust accumulation on performances of thermal and photovoltaic flat-plate collectors, *Applied energy*, 37 (1), 73-84.

- Saidan, M., Albaali, A. G., Alasis, E. ve Kaldellis, J. K., 2016, Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment, *Renewable Energy*, 92, 499-505.
- Salari, A. ve Hakkaki-Fard, A., 2019, A numerical study of dust deposition effects on photovoltaic modules and photovoltaic-thermal systems, *Renewable Energy*, 135, 437-449.
- Salim, A. A., Huraib, F. S. ve Eugenio, N. N., 1988, PV power-study of system options and optimization, *EC photovoltaic solar conference*. 8, 688-692.
- Sarver, T., Al-Qaraghuli, A. ve Kazmerski, L. L., 2013, A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 22, 698-733.
- Sayyah, A., Horenstein, M. N. ve Mazumder, M. K., 2014, Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels, *Solar Energy*, 107, 576-604.
- Selfridge, O. G., 1958, Pandemonium: A paradigm for learning, *the Mechanisation of Thought Processes*.
- Shi, Z., 2011, Advanced Artificial Intelligence, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., p. 613.
- Smith, W., 1873, Effect of light on selenium during the passage of an electric current, *Nature*, 7, 303.
- Soh, L. K. ve Tsatsoulis, C., 1999, Texture analysis of SAR sea ice imagery using gray level co-occurrence matrices, *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 37 (2), 780-795.
- Sulaiman, S. A., Mat, M. N. H., Guangul, F. M. ve Bou-Rabee, M. A., 2015, Real-time study on the effect of dust accumulation on performance of solar PV panels in Malaysia, *2015 International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT)*, 269-274.
- Tahça, M., 2009, Felsefi Açından Yapay Zeka, *Muğla Üniversitesi, Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, 65.
- Tanesab, J., Parlevliet, D., Whale, J. ve Urmee, T., 2017, Seasonal effect of dust on the degradation of PV modules performance deployed in different climate areas, *Renewable Energy*, 111, 105-115.

- Touati, F., Massoud, A., Hamad, J. A. ve Saeed, S. A., 2013, Effects of environmental and climatic conditions on PV efficiency in Qatar, *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPO'13)*, 20-22.
- Vijayarekha, K., 2019, Pattern Recognition, <https://nptel.ac.in/courses/117106100/37>: [21.07.2019].
- Virtuani, A., Lotter, E. ve Powalla, M., 2006, Influence of the light source on the low-irradiance performance of Cu (In, Ga) Se₂ solar cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90 (14), 2141-2149.
- Wakim, F. J. K. I. f. S. R., Kuwait City, 1981, Introduction of PV power generation to Kuwait.
- Wang, G., 2018, Technology, Manufacturing and Grid Connection of Photo-voltaic Solar Cells, Wiley Online Library, p.
- Yang, Y., Kim, K. A., Blaabjerg, F. ve Sangwongwanich, A., 2018, Advances in Grid-Connected Photovoltaic Power Conversion Systems, Woodhead Publishing, p. 213.
- Zhang, X., Cui, J., Wang, W. ve Lin, C., 2017, A study for texture feature extraction of high-resolution satellite images based on a direction measure and gray level co-occurrence matrix fusion algorithm, *Sensors*, 17 (7), 1474.
- Zorrilla-Casanova, J., Philiouline, M., Carretero, J., Bernaola, P., Carpena, P., Mora-López, L. ve Sidrach-de-Cardona, M., 2011, Analysis of Dust Losses in Photovoltaic Modules, *World Renewable Energy Congress-Sweden*, Linköping; Sweden, 2985-2992.

EKLER:**EK I. PV Sistemden Veri Okunmasına Ait C++ Programı**

```

/* Includes -----*/
#include "main.h"
#include "stm32f1xx_hal.h"
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include <math.h>
#include <string.h>
#include <stdio.h>
#ifdef __GNUC__
/* With GCC/RAISONANCE, small printf (option LD Linker->Libraries->Small printf
set to 'Yes') calls __io_putchar() */
#define PUTCHAR_PROTOTYPE int __io_putchar(int ch)
#else
#define PUTCHAR_PROTOTYPE int fputc(int ch, FILE *f)
#endif /* __GNUC__ */
#define MAXCLISTRING 16
/* USER CODE END Includes */

/* Private variables -----*/
ADC_HandleTypeDef hadc1;
DMA_HandleTypeDef hdma_adc1;
RTC_HandleTypeDef hrtc;
TIM_HandleTypeDef htim2;
TIM_HandleTypeDef htim3;
UART_HandleTypeDef huart1;
DMA_HandleTypeDef hdma_usart1_rx;
/* USER CODE BEGIN PV */

/* Private variables -----*/
/* USER CODE END PV */

/* Private function prototypes -----*/
void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_DMA_Init(void);
static void MX_ADC1_Init(void);
static void MX_RTC_Init(void);
static void MX_TIM2_Init(void);
static void MX_USART1_UART_Init(void);
static void MX_TIM3_Init(void);
void HAL_TIM_MspPostInit(TIM_HandleTypeDef *htim);
/* USER CODE BEGIN PFP */

```



```

/* Private function prototypes -----*/
void execute_Serial_Command(char *cmd);
void set_PWM(uint8_t channel,uint32_t pwm_val);
/* USER CODE END PFP */
/* USER CODE BEGIN 0 */
uint8_t rxBuffer = 0;
uint8_t rxString[MAXCLISTRING+1];
int rxindex = 0;
int32_t Sys_Tick_Cnt=0;
uint32_t Sys_Tick_S=0;
uint32_t ADCBuffer[10]={0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000,0x0000, 0x0000, 0x0000,
0x0000, 0x0000};
float temp=0;
float irrad = 0;
float voltage = 0;
float current = 0;
uint8_t servo_pos = 0;
/* USER CODE END 0 */
int main(void) {
/* USER CODE BEGIN 1 */
int i=0;
int index=0;
/* USER CODE END 1 */
/* MCU Configuration-----*/
/* Reset of all peripherals, Initializes the Flash interface and the Systick. */
HAL_Init();
/* USER CODE BEGIN Init */
/* USER CODE END Init */
/* Configure the system clock */
SystemClock_Config();
/* USER CODE BEGIN SysInit */
/* USER CODE END SysInit */
/* Initialize all configured peripherals */
MX_GPIO_Init();
MX_DMA_Init();
MX_ADC1_Init();
MX_RTC_Init();
MX_TIM2_Init();
MX_USART1_UART_Init();
MX_TIM3_Init();

```

```

/* USER CODE BEGIN 2 */
__HAL_UART_FLUSH_DRREGISTER(&huart1);
HAL_UART_Receive_DMA(&huart1,&rxBuffer,1);
printf("system start\n\r");
HAL_ADC_Start(&hadc1);
HAL_ADCEX_Calibration_Start(&hadc1);
HAL_ADC_Start_DMA(&hadc1,(uint32_t*)&ADCBuffer[0], 4);
temp = 0;
irrad = 0;
voltage = 0;
current = 0;
/* USER CODE END 2 */

/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1)
{
/* USER CODE END WHILE */
/* USER CODE BEGIN 3 */
if(Sys_Tick_Cnt%5==0){
HAL_ADC_Stop_DMA(&hadc1);
temp += (float)((((ADCBuffer[2])*0.806f)- 1235.0f)/10.0f;
irrad += (float)((ADCBuffer[1])*0.806f);
voltage += (((float)ADCBuffer[3])*0.806f/1000.0f)*13.60f;
current += (((float)ADCBuffer[0])*0.805f)-2600.0f)/28.0f;
HAL_ADC_Start_DMA(&hadc1,(uint32_t*)&ADCBuffer[0], 4);
index++;
}
HAL_Delay(1);
if(index >= 199){
index = 0;
printf("Temp=   %02.2f   irrad=   %02.2f   voltage=   %02.2f   current=   %02.2f\n",temp/200.0f,irrad/200.0f,voltage/200.0f,current/200.0f);
temp = 0;
irrad = 0;
voltage = 0;
current = 0;
}
}
/* USER CODE END 3 */
}

```

```

/** System Clock Configuration
*/
void SystemClock_Config(void)
{
RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct;
RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct;
RCC_PeriphCLKInitTypeDef PeriphClkInit;
/**Initializes the CPU, AHB and APB busses clocks
*/
RCC_OscInitStruct.OscillatorType =
RCC_OSCILLATORTYPE_HSE|RCC_OSCILLATORTYPE_LSE;
RCC_OscInitStruct.HSEState = RCC_HSE_ON;
RCC_OscInitStruct.HSEPredivValue = RCC_HSE_PREDIV_DIV1;
RCC_OscInitStruct.LSEState = RCC_LSE_ON;
RCC_OscInitStruct.HSIState = RCC_HSI_ON;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSE;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLMUL = RCC_PLL_MUL9;
if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK)
{
_Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
/**Initializes the CPU, AHB and APB busses clocks
*/
RCC_ClkInitStruct.ClockType = RCC_CLOCKTYPE_HCLK|RCC_CLOCKTYPE_SYCLK
RCC_CLOCKTYPE_PCLK1|RCC_CLOCKTYPE_PCLK2;
RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource = RCC_SYSCLKSOURCE_PLLCLK;
RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYSCLK_DIV1;
RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV2;
RCC_ClkInitStruct.APB2CLKDivider = RCC_HCLK_DIV1;
if (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct, FLASH_LATENCY_2) != HAL_OK)
{
_Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
PeriphClkInit.PeriphClockSelection = RCC_PERIPHCLK_RTC|RCC_PERIPHCLK_ADC;
PeriphClkInit.RTCClockSelection = RCC_RTCCLKSOURCE_LSE;
PeriphClkInit.AdcClockSelection = RCC_ADCPCLK2_DIV6;
if (HAL_RCCEx_PeriphCLKConfig(&PeriphClkInit) != HAL_OK)
{
_Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}

```

```

}
/**Configure the Systick interrupt time
*/
HAL_SYSTICK_Config(HAL_RCC_GetHCLKFreq()/1000);
/**Configure the Systick
*/
HAL_SYSTICK_CLKSourceConfig(SYSTICK_CLKSOURCE_HCLK);
/* SysTick_IRQn interrupt configuration */
HAL_NVIC_SetPriority(SysTick_IRQn, 0, 0);
}
/* ADC1 init function */
static void MX_ADC1_Init(void)
{
ADC_ChannelConfTypeDef sConfig;
/**Common config
*/
hadc1.Instance = ADC1;
hadc1.Init.ScanConvMode = ADC_SCAN_ENABLE;
hadc1.Init.ContinuousConvMode = ENABLE;
hadc1.Init.DiscontinuousConvMode = DISABLE;
hadc1.Init.ExternalTrigConv = ADC_SOFTWARE_START;
hadc1.Init.DataAlign = ADC_DATAALIGN_RIGHT;
hadc1.Init.NbrOfConversion = 4;
if (HAL_ADC_Init(&hadc1) != HAL_OK)
{
_Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
/**Configure Regular Channel
*/
sConfig.Channel = ADC_CHANNEL_4;
sConfig.Rank = 1;
sConfig.SamplingTime = ADC_SAMPLETIME_13CYCLES_5;
if (HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc1, &sConfig) != HAL_OK)
{
_Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
/**Configure Regular Channel
*/
sConfig.Channel = ADC_CHANNEL_5;
sConfig.Rank = 2;

```

```

if (HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc1, &sConfig) != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
/**Configure Regular Channel
*/
sConfig.Channel = ADC_CHANNEL_6;
sConfig.Rank = 3;
if (HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc1, &sConfig) != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
/**Configure Regular Channel
*/
sConfig.Channel = ADC_CHANNEL_7;
sConfig.Rank = 4;
if (HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc1, &sConfig) != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
}
}
/* RTC init function */
static void MX_RTC_Init(void)
{
    RTC_TimeTypeDef sTime;
    RTC_DateTypeDef DateToUpdate;
    /**Initialize RTC Only */
    hrtc.Instance = RTC;
    hrtc.Init.AsynchPrediv = RTC_AUTO_1_SECOND;
    hrtc.Init.OutPut = RTC_OUTPUTSOURCE_ALARM;
    if (HAL_RTC_Init(&hrtc) != HAL_OK)
    {
        _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
    }
    /**Initialize RTC and set the Time and Date */
    if(HAL_RTCEx_BKUPRead(&hrtc, RTC_BKP_DR1) != 0x32F2){
        sTime.Hours = 0x12;
        sTime.Minutes = 0x10;
        sTime.Seconds = 0x0;
        if (HAL_RTC_SetTime(&hrtc, &sTime, RTC_FORMAT_BCD) != HAL_OK)

```

```

{
_Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
DateToUpdate.WeekDay = RTC_WEEKDAY_SATURDAY;
DateToUpdate.Month = RTC_MONTH_DECEMBER;
DateToUpdate.Date = 0x24;
DateToUpdate.Year = 0x16;
if (HAL_RTC_SetDate(&hrtc, &DateToUpdate, RTC_FORMAT_BCD) != HAL_OK)
{
_Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
HAL_RTCEX_BKUPWrite(&hrtc, RTC_BKP_DR1, 0x32F2);
}
}
/* TIM2 init function */
static void MX_TIM2_Init(void)
{
TIM_ClockConfigTypeDef sClockSourceConfig;
TIM_MasterConfigTypeDef sMasterConfig;
TIM_OC_InitTypeDef sConfigOC;
htim2.Instance = TIM2;
htim2.Init.Prescaler = 71;
htim2.Init.CounterMode = TIM_COUNTERMODE_UP;
htim2.Init.Period = 255;
htim2.Init.ClockDivision = TIM_CLOCKDIVISION_DIV1;
if (HAL_TIM_Base_Init(&htim2) != HAL_OK)
{
_Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
sClockSourceConfig.ClockSource = TIM_CLOCKSOURCE_INTERNAL;
if (HAL_TIM_ConfigClockSource(&htim2, &sClockSourceConfig) != HAL_OK)
{
_Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
if (HAL_TIM_PWM_Init(&htim2) != HAL_OK)
{
_Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
}
sMasterConfig.MasterOutputTrigger = TIM_TRGO_RESET;
sMasterConfig.MasterSlaveMode = TIM_MASTERSLAVEMODE_DISABLE;

```

```

if (HAL_TIMEx_MasterConfigSynchronization(&htim2, &sMasterConfig) != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
sConfigOC.OCMode = TIM_OCMode_PWM1;
sConfigOC.Pulse = 0;
sConfigOC.OCpolarity = TIM_OCPolarity_HIGH;
sConfigOC.OCFastMode = TIM_OCFAST_DISABLE;
if (HAL_TIM_PWM_ConfigChannel(&htim2, &sConfigOC, TIM_CHANNEL_1) != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
if (HAL_TIM_PWM_ConfigChannel(&htim2, &sConfigOC, TIM_CHANNEL_2) != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
if (HAL_TIM_PWM_ConfigChannel(&htim2, &sConfigOC, TIM_CHANNEL_3) != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
if (HAL_TIM_PWM_ConfigChannel(&htim2, &sConfigOC, TIM_CHANNEL_4) != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
HAL_TIM_MspPostInit(&htim2);
}
/* TIM3 init function */
static void MX_TIM3_Init(void)
{
    TIM_ClockConfigTypeDef sClockSourceConfig;
    TIM_MasterConfigTypeDef sMasterConfig;
    TIM_OC_InitTypeDef sConfigOC;
    htim3.Instance = TIM3;
    htim3.Init.Prescaler = 71;
    htim3.Init.CounterMode = TIM_COUNTERMODE_UP;
    htim3.Init.Period = 255;
    htim3.Init.ClockDivision = TIM_CLOCKDIVISION_DIV1;
    if (HAL_TIM_Base_Init(&htim3) != HAL_OK)
    {
        _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
    }
}

```

```

}
sClockSourceConfig.ClockSource = TIM_CLOCKSOURCE_INTERNAL;
if (HAL_TIM_ConfigClockSource(&htim3, &sClockSourceConfig) != HAL_OK)
{
  _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
if (HAL_TIM_PWM_Init(&htim3) != HAL_OK)
{
  _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
sMasterConfig.MasterOutputTrigger = TIM_TRGO_RESET;
sMasterConfig.MasterSlaveMode = TIM_MASTERSLAVEMODE_DISABLE;
if (HAL_TIMEx_MasterConfigSynchronization(&htim3, &sMasterConfig) != HAL_OK)
{
  _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
sConfigOC.OCMode = TIM_OCMODE_PWM1;
sConfigOC.Pulse = 0;
sConfigOC.OCpolarity = TIM_OCPOLARITY_HIGH;
sConfigOC.OCFastMode = TIM_OCFAST_DISABLE;
if (HAL_TIM_PWM_ConfigChannel(&htim3, &sConfigOC, TIM_CHANNEL_3) != HAL_OK)
{
  _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
if (HAL_TIM_PWM_ConfigChannel(&htim3, &sConfigOC, TIM_CHANNEL_4) != HAL_OK)
{
  _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
HAL_TIM_MspPostInit(&htim3);
}
/* USART1 init function */
static void MX_USART1_UART_Init(void)
{
  huart1.Instance = USART1;
  huart1.Init.BaudRate = 115200;
  huart1.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
  huart1.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
  huart1.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;
  huart1.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
  huart1.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;

```



```

huart1.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
if (HAL_UART_Init(&huart1) != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}
}
/**
 * Enable DMA controller clock
 */
static void MX_DMA_Init(void)
{
    /* DMA controller clock enable */
    __HAL_RCC_DMA1_CLK_ENABLE();
    /* DMA interrupt init */
    /* DMA1_Channel1_IRQn interrupt configuration */
    HAL_NVIC_SetPriority(DMA1_Channel1_IRQn, 0, 0);
    HAL_NVIC_EnableIRQ(DMA1_Channel1_IRQn);
    /* DMA1_Channel5_IRQn interrupt configuration */
    HAL_NVIC_SetPriority(DMA1_Channel5_IRQn, 0, 0);
    HAL_NVIC_EnableIRQ(DMA1_Channel5_IRQn);
}
/** Configure pins as
 * Analog
 * Input
 * Output
 * EVENT_OUT
 * EXTI
 */
static void MX_GPIO_Init(void)
{
    /* GPIO Ports Clock Enable */
    __HAL_RCC_GPIOC_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOD_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE();
}
/* USER CODE BEGIN 4 */
PUTCHAR_PROTOTYPE
{
    HAL_UART_Transmit(&huart1,(uint8_t*)&ch,1,0xffff);
}

```

```

return ch;
}
void HAL_UART_RxCpltCallback(UART_HandleTypeDef *huart)
{
  __HAL_UART_FLUSH_DRREGISTER(&huart1); // Clear the buffer to prevent overrun
  int i = 0;
  // printf("%c", (char)rxBuffer);
  // Echo the character that caused this callback so the user can see what they are typing
  if (rxBuffer == 8 || rxBuffer == 127)
  // If Backspace or del
  {
    printf(" \b");
    // "\b space \b" clears the terminal character. Remember we just echoed a
    \b so don't need another one here,
    just space and \b
    rxindex--;
    if (rxindex < 0) rxindex = 0;
  }
  else if (rxBuffer == '\n' || rxBuffer == '\r') // If Enter
  {
    execute_Serial_Command((char *)rxString);
    rxString[rxindex] = 0;
    rxindex = 0;
    for (i = 0; i < MAXCLISTRING; i++) rxString[i] = 0; // Clear the string buffer
  }
  else
  {
    rxString[rxindex] = rxBuffer; // Add that character to the string
    rxindex++;
    if (rxindex > MAXCLISTRING) // User typing too much, we can't have commands that big
    {
      rxindex = 0;
      for (i = 0; i < MAXCLISTRING; i++) rxString[i] = 0; // Clear the string buffer
      //printf("\r\nConsole> ");
    }
  }
}
void execute_Serial_Command(char *cmd){
  switch( cmd[0]){
  case 'a':HAL_ADC_Stop_DMA(&hadc1);

```

```

temp = (((float)ADCBuffer[0])*0.806)- 1235)/10;
irrad = (((float)ADCBuffer[1])*0.806);
voltage = (((float)ADCBuffer[2])*0.806)/1000)*6.76;
current = (((float)ADCBuffer[3])*0.806)-1650)/28;
printf("$ %02.2f %02.2f %02.2f %02.2f \n\r",temp,irrad,voltage,current);
HAL_ADC_Start_DMA(&hadc1,(uint32_t*)&ADCBuffer[0], 4);
break;
}
}
void set_PWM(uint8_t channel,uint32_t pwm_val){
}
void HAL_SYSTICK_Callback(void)
{
/* NOTE : This function Should not be modified, when the callback is needed,
the HAL_SYSTICK_Callback could be implemented in the user file
*/
Sys_Tick_Cnt++;
}
/* USER CODE END 4 */
/**
 * @brief This function is executed in case of error occurrence.
 * @param None
 * @retval None
 */
void _Error_Handler(char * file, int line)
{
/* USER CODE BEGIN Error_Handler_Debug */
/* User can add his own implementation to report the HAL error return state */
while(1)
{
}
/* USER CODE END Error_Handler_Debug */
}
#ifdef USE_FULL_ASSERT
/**
 * @brief Reports the name of the source file and the source line number
 * where the assert_param error has occurred.
 * @param file: pointer to the source file name
 * @param line: assert_param error line source number
 * @retval None

```

```
*/  
void assert_failed(uint8_t* file, uint32_t line)  
{  
/* USER CODE BEGIN 6 */  
/* User can add his own implementation to report the file name and line number,  
ex: printf("Wrong parameters value: file %s on line %d\r\n", file, line) */  
/* USER CODE END 6 */ }  
#endif
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyad : Muhammed ÜNLÜTÜRK
Uyruğu : TC
Doğum Yeri ve Tarihi : Beyşehir/1989
Telefon : +90 506 030 1000
Faks :
e-Mail : unluturk_204@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Mahmut Esat Anadolu Lisesi, Seydişehir, Konya	2008
Üniversite	: Bozok Üniversitesi, Yozgat	2015
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi, Konya	2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017-2018	Özel Sektör (Güneş Enerji Santrali)	Mühendis

UZMANLIK ALANI

Yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulumu ve işletilmesi, Yapay zekâ uygulamaları

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Uluslararası Bildiriler

1. Unluturk, M., Kulaksiz, A. A. & Unluturk, A., 2019, Image Processing-based Assessment of Dust Accumulation on Photovoltaic Modules, 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), IEEE, Nevşehir/Turkey (Yüksek lisans tezinden yapılmıştır).