



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ PANELLERİNİN KİRLİLİĞİ SONUCU TEMİZLİK
ROBOTLARINA YÖNELİK BÖLGESEL YÖNLENDİRME SİSTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emin CANTEZ

Akıllı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı

Akıllı Sistemler Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

OCAK 2025

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ PANELLERİNİN KİRLİLİĞİ SONUCU TEMİZLİK
ROBOTLARINA YÖNELİK BÖLGESEL YÖNLENDİRME SİSTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Emin CANTEZ
(21434998017)**

**Akıllı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı
Akıllı Sistemler Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

Danışman: Doç. Dr. Ömer Faruk EFE

İkinci Danışman: Doç. Dr. Gökay BAYRAK

OCAK 2025

BTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 21434998017 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Emin CANTEZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GÜNEŞ PANELLERİNİN KİRLİLİĞİ SONUCU TEMİZLİK ROBOTLARINA YÖNELİK BÖLGESEL YÖNLENDİRME SİSTEMİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Ömer Faruk EFE**
Bursa Teknik Üniversitesi

İkinci Danışmanı : **Doç. Dr. Gökay BAYRAK**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ömer Faruk EFE**
Bursa Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Alper YILMAZ
Bursa Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Didem GÜLERYÜZ ÖZDEN
Bayburt Üniversitesi

Teslim Tarihi : Şubat 2025
Savunma Tarihi : 30 Ocak 2025



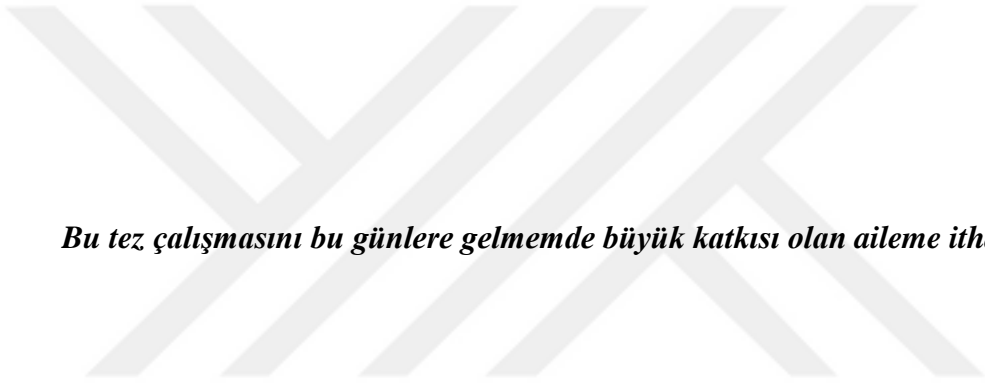
20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu çalışmada görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Emin CANTEZ

İmzası:



Bu tez çalışmasını bu günlere gelmemde büyük katkısı olan aileme ithaf ediyorum.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimine başladığımdan itibaren bana her türlü desteği sağlayan, bilgi ve birikimiyle sürekli yol gösteren, tez yazım sürecimde bana destek olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Ömer Faruk EFE ve Doç. Dr. Gökay BAYRAK'a teşekkürü borç bilirim. Hayatımın her alanında olduğu gibi, bu tezin hazırlanmasında da yardımı ve desteğini esirgemeyen sevgili eşim Rukiye CANTEZ'e teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük katkısı olan anneme ve babama ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2025

Emin CANTEZ
(Mühendis)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	2
1.2 Yöntem	3
1.3 Özgünlük	3
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3. GÜNEŞ ENERJİSİ	12
3.1 Fotovoltaik Paneller	14
3.2 Fotovoltaik Panellerin Çalışma Yapısı.....	15
3.3 Fotovoltaik Panel Çeşitleri	17
3.3.1 Mono kristal ve poli kristal fotovoltaik paneller.....	17
4. MATERYAL VE METOD.....	22
4.1 Akış Şeması.....	22
4.2 Materyal	24
4.2.1 Pv panel özellikleri.....	25
4.2.2 Kamera	25
4.2.2.1 Dahua ip kamera	25
4.2.3 Siemens plc	26
4.2.4 Stm32f767 gömülü sistem kartı	27
4.2.5 Poe switch	28
4.4 Metod	28
4.4.1 Yolo nesne tanıma algoritması.....	28
4.4.1.1 Yolov4 mimarisinin temelleri	33
4.4.1.2 Yolov4'ün matematiksel arka planı	33
5. UYGULAMA.....	35
5.1 Veri Toplama.....	35
5.2 Verilerin Etiketlenmesi	35
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	52
KAYNAKLAR	54
EKLER.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	59

KISALTMALAR

AM	: Air Mass (Hava Kütle)
A-Sİ	: Amorphous Silicon (Amorf Silikon)
CNN	: Convolutional Neural Network (Konvolüsyonel Sinir Ağları)
E	: Spektral Işınım
EL	: Elektrolüminesans
GES	: Güneş Enerji Santrali
IP	: Internet Protocol (İnternet Protokolü)
IP67	: International Protection Code (Uluslararası Koruma Kodu)
Mono-c-Si	: Monocrystalline Silicon (Monokristal Silikon)
MP	: Megapixels (Megapiksel)
PLC	: Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)
PoE	: Power over Ethernet (Ethernet Üzerinden Güç)
Poli-c-Si	: Polycrystalline Silicon (Polykristal Silikon)
PV	: Photovoltaic (Fotovoltaik)
RSME	: Rating Scale Mental Effort Method (Bilişsel Çaba Değerlendirme Ölçeği)
STC	: Standart Test Koşulları
YOLO	: You Only Look Once (Sadece Bir Kez Bakarsın)
WRC	: World Radiation Center (Dünya Işınım Merkezi)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Güneş panellerinin kirliliği konusunda incelenen çalışmalar.....	10
Çizelge 3.1: 2024 için üretim verileri.....	18
Çizelge 4.1: Monokristal panel teknik bilgileri.....	25
Çizelge 5.1: YOLO eğitim başarısı.....	46
Çizelge 5.2: Test performans değerleri.....	49
Çizelge 5.3: YOLOv4 parametreler.....	49

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Güneş yüksekliği (h) ve zirve açısı (θ_z) ile hava kütlesi (AM).....	13
Şekil 3.2: Dalga boyuna göre spectral ışınım oranları.....	14
Şekil 3.3: p-tipi ve n-tipi yarı iletkenlerin birleştirilmesi.	16
Şekil 3.4: Panel hücresi ve baralar.....	20
Şekil 3.5: Mono kristal ve Poly kristal panelleri ve hücreleri.	20
Şekil 4.1: Akış şeması.	22
Şekil 4.2: Deney düzeneği.	24
Şekil 4.3: Dahua IP Kamera.	26
Şekil 4.4: SIEMENS PLC.	27
Şekil 4.5: Stm32f767.	27
Şekil 4.6: WiTek Poe Switch.....	28
Şekil 4.7: Yapay zeka, makine öğrenmesi, derin öğrenme kronolojisi.	29
Şekil 4.8: Derin ağ mimarisi.	29
Şekil 4.9: Derin öğrenmede veri büyüklüğü-performans ilişkisi.....	30
Şekil 4.10: Konvolüsyonel sinir ağı mimarisi.	31
Şekil 4.11: Yolov4.	31
Şekil 4.12: Yolov4 mimari diyagramı.	32
Şekil 5.1: Veri etiketleme işlemi.	36
Şekil 5.2: Etiketli veri örneği.....	36
Şekil 5.3: Orijinal ve normalleştirme koordinatları.....	37
Şekil 5.4: Koordinatların matematiksel formülü.	38
Şekil 5.5: Tozlu panellerin etiketlenmesi.	39
Şekil 5.6: Tozlu ve kirli panellerin etiketlenmesi.....	39
Şekil 5.7: Sağ bölgesel kirli panellerin etiketlenmesi.....	40
Şekil 5.8: Orta bölgesel kirli panellerin etiketlenmesi.....	40
Şekil 5.9: Çamurlu panellerin etiketlenmesi.....	41
Şekil 5.10: Az çamurlu panellerin etiketlenmesi.....	41
Şekil 5.11: Az kirli panellerin etiketlenmesi.	42
Şekil 5.12: Bölgesel çamurlu panellerin etiketlenmesi.....	42
Şekil 5.13: Bölgesel çamur sulu panellerin etiketlenmesi.....	43
Şekil 5.14: Tozlu ve kumlu panellerin etiketlenmesi.	43
Şekil 5.15: Çok çamurlu panellerin etiketlenmesi.	44
Şekil 5.16: Kumlu ve çamur sulu panellerin etiketlenmesi.	44
Şekil 5.17: Kumlu ve yağmur sulu panellerin etiketlenmesi.....	45
Şekil 5.18: Etiketli durum karışıklık matrisi.....	46
Şekil 5.19: Eğitim grafiği.	47
Şekil 5.20: Karışıklık matrisi.....	47
Şekil 5.21: Recall grafiği.	48

Şekil 5.22: F1 score grafiği.....	48
Şekil 5.23: Precision grafiği.	48
Şekil 5.24: Augelab studio eğitim ekranı.	50
Şekil 5.25: Eğitim grafikleri.	51



GÜNEŞ PANELLERİNİN KİRLİLİĞİ SONUCU TEMİZLİK ROBOTLARINA YÖNELİK BÖLGESEL YÖNLENDİRME SİSTEMİ

ÖZET

Günümüzde güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında çevre dostu ve sürdürülebilir bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Güneş enerjisi üretimi, temelde termal sistemler ve fotovoltaik (PV) sistemler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu sistemler arasında, fotovoltaik sistemler enerji dönüşümü ve çevresel etkiler açısından önemli bir yer tutmaktadır. PV sistemler, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilme kabiliyeti sayesinde çok sayıda enerji santralinde ve bireysel uygulamalarda tercih edilmektedir. Bununla birlikte, bu sistemlerin verimliliği dış etkenlere bağlı olarak zamanla azalabilmektedir.

Fotovoltaik paneller, dış ortam koşullarına maruz kaldıkları için toz, yağmur, polen, kuş dışkısı ve diğer çevresel faktörler nedeniyle kirlenmektedir. Bu kirlenme, panellerin ışık alma kapasitesini azaltarak enerji üretim verimliliğini düşürmektedir. Özellikle büyük ölçekli fotovoltaik enerji santrallerinde, paneller arasındaki kirlenme şiddeti eşit dağılmaz; bazı paneller diğerlerine göre daha fazla kirlenir. Geleneksel temizlik yöntemlerinde, panellerin hem temiz hem de kirli olanlarının bir arada temizlenmesi yaygındır. Ancak bu durum, gereksiz enerji ve su tüketimine, temizlik robotlarının aşınmasına ve yedek parça israfına yol açmaktadır.

Bu sorunlara yönelik planlanan sistem, PV panellerin temizliğini daha verimli hale getirmeyi hedeflemektedir. Bu sistemde, panellerin kirlenme durumlarını tespit etmek için görüntü işleme teknikleri kullanılarak, kamera sistemleriyle elde edilen veriler analiz edilerek, yalnızca kirli bölgeler belirlenip temizlik robotuna iletilecektir. Bu yöntem, gereksiz enerji ve su tüketimini azaltacak, temizlik sürecini hızlandıracak ve robotun malzeme ömrünü uzatacaktır. Ayrıca, yalnızca kirli alanlara odaklanması, enerji üretim verimliliğinin artmasını ve sistem performansının iyileşmesini sağlayacaktır.

Yalnızca kirli alanlara odaklanarak yapılan bu temizlik, zaman tasarrufu sağlarken, temizlik robotunun bakım ihtiyacını ve aşınma oranlarını azaltacaktır. Geleneksel temizlik yöntemlerinden farklı olarak, bu yöntemle temizlik operasyonlarının çevresel etkileri de minimize edilecektir. Daha az su ve enerji kullanımı, PV sistemlerinin sürdürülebilirliğini arttırırken, ekonomik verimliliğinin de artmasını sağlayacaktır.

Sonuç olarak, fotovoltaik panellerin temizliğini optimize etmeye yönelik bu yenilikçi yaklaşım, enerji verimliliğinin artması ve temizlik maliyetlerinin azaltılması adına önemli bir potansiyele sahiptir. Bu çalışma, PV sistemlerinin daha sürdürülebilir, ekonomik ve çevre dostu bir şekilde kullanılmasına katkı sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: Enerji, Fotovoltaik, Görüntü işleme, Kamera, Nesne algılama.

REGIONAL GUIDANCE SYSTEM FOR CLEANING ROBOTS DUE TO SOLAR PANEL CONTAMINATION

SUMMARY

Solar energy is recognized as a sustainable and environmentally friendly alternative among renewable energy sources. Electricity generation from solar energy is primarily achieved through thermal systems and photovoltaic (PV) systems, with PV systems playing a crucial role in energy conversion and environmental sustainability. Due to their ability to directly convert solar radiation into electrical energy, PV systems are widely utilized in both large-scale energy plants and individual applications. However, their efficiency diminishes over time due to exposure to various environmental factors. Photovoltaic panels, being continuously subjected to outdoor conditions, accumulate dust, rain residues, pollen, bird droppings, and other contaminants, which significantly reduce their capacity to absorb sunlight and, consequently, their energy production efficiency. In large-scale PV power plants, contamination levels vary across different panels, with some accumulating more dirt than others. Conventional cleaning methods, which involve cleaning both clean and contaminated panels simultaneously, lead to unnecessary water and energy consumption, increased wear on cleaning robots, and inefficient use of spare parts. To address these challenges, the proposed system integrates image processing techniques to enhance the efficiency of PV panel cleaning. Through real-time camera-based monitoring, contamination levels on panel surfaces are analyzed, enabling the identification of only the affected areas. This targeted approach ensures that cleaning efforts are directed solely toward contaminated regions, thereby reducing unnecessary energy and water usage, expediting the cleaning process, and extending the operational lifespan of cleaning robots. By implementing a selective cleaning strategy, this system not only enhances energy production efficiency but also minimizes maintenance requirements and mechanical wear on cleaning equipment. Unlike conventional methods, which indiscriminately clean all panels, this approach optimizes resource utilization and mitigates the environmental footprint of cleaning operations. The reduction in water and energy consumption contributes to the overall sustainability and economic viability of PV systems. In conclusion, the adoption of an image processing-based selective cleaning approach presents a promising advancement in photovoltaic panel maintenance. This study underscores the potential of such a system in improving energy efficiency, reducing operational costs, and fostering the sustainable and cost-effective deployment of PV technologies.

Keywords: Camera, Energy, Image processing, Object detection, Photovoltaic.

1. GİRİŞ

Ülkemiz, coğrafi konumu itibarıyla yıllık ortalama 1.527,46 kWh/m² güneş ışınımı olarak oldukça yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir [1]. Dünyada ve ülkemizdeki ekonomik büyüme, teknolojinin yaygınlaşması ve dünya nüfusunun hızla artması, enerji talebinin giderek artmasına yol açmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinin enerji üretimi, genellikle güneş ışınımı ile çeşitli çevresel ve iklimsel faktörlerin yanı sıra sistem ve bileşen performansları ile ilişkilidir. Ancak, coğrafi konum ve koşullarla ilgili diğer dış faktörler, sistem performansı üzerinde daha büyük etkilere neden olmaktadır. Bunlar arasında, genellikle göz ardı edilen bir sorun olan kirlenme, bir güneş enerjisi kurulumunun sürdürülebilirliği için ciddi bir engel teşkil edebilir. Özellikle birçok güneş enerjisi açısından zengin coğrafi bölgede yaygın olan toz-kum ve toz-nem kombinasyonu koşullarına bağlı kirlenme sorunları görülmektedir [2]. Endüstriyel alanlara yakın olan fotovoltaik (PV) panellerdeki kirlenme, endüstriyel atık maddelerin birikmesinden kaynaklanabilir. Denize yakın bölgelerde ise kirlenme, tuzlu maddelerin birikmesiyle meydana gelebilir. Tarım arazilerine yakın PV sistemlerinde ise, kirlenme genellikle bitkisel ürünler ve toprakla ilişkilidir [1]. Tozların kimyasal, biyolojik, elektrostatik özellikleri, şekli, boyutu ve ağırlığı, panel üzerindeki toz birikimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Toz kirliliği nedeniyle kaybedilen PV enerjisi, PV sistem sahipleri ve operatörleri için önemli bir sorun teşkil etse de, toz kirlenme türlerine yönelik yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır [3].

Çöl koşullarında farklı PV teknolojilerinin performansını etkileyen iklimsel ve çevresel faktörler incelenmiştir. Toz birikimi, sıcaklık ve nem gibi çevresel değişkenlerin PV panellerin verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırma bulgularına göre, mono-kristal PV paneller, %85'e kadar verimlilik oranıyla amorf silikon panellere (%70) göre daha yüksek performans göstermektedir. Ancak mono-kristal paneller, toz birikiminden daha fazla etkilenmekte olup, 100 günlük bir toz birikimi ile verimliliklerinde yaklaşık %10'luk bir düşüş gözlemlenmiştir. Buna karşın, amorf panellerin toza karşı daha dayanıklı olduğu ve çöl koşullarında daha sürdürülebilir bir seçenek sunduğu belirtilmiştir. Sıcaklık ve nemin etkisi de

değerlendirilmiş ve sıcaklık artışının özellikle amorf silikon panellerde verimliliği daha olumsuz etkilediği, mono-kristal panellerin ise bu koşullara daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, her iki panel tipi için de sıcaklık ve nemin etkileri, toz birikimine kıyasla daha az önemli bulunmuştur. Zorlu çöl koşullarında fotovoltaik panellerin etkin şekilde kullanılabilmesi için düzenli bakım ve temizlik stratejilerinin uygulanması gerektiği vurgulanmıştır. Özellikle toz birikiminin uzun vadede verimliliği büyük ölçüde düşürdüğü göz önünde bulundurularak, panellerin düzenli temizlenmesi önerilmektedir. Bu çalışma, fotovoltaik enerji sistemlerinin sürdürülebilirliğini artırmak ve verimliliğini maksimize etmek için önemli bir yol haritası sunmaktadır. PV sistemlerin yüksek başlangıç maliyetleri, bu teknolojinin henüz yeterince geniş bir pazar payına ulaşamamış olmasından kaynaklanmaktadır. PV sistemlerinin maliyetlerini düşürmek amacıyla, araştırmacılar panel verimliliğini artırmaya yönelik çalışmalarını sürdürmektedir. Ancak bu çabaların yanında, hükümetlerin gerekli ekonomik destekleri sağlayarak büyük ölçekli PV panel ekonomilerinin oluşmasını teşvik etmesi de oldukça önemlidir. Bu destekler, tarife garantileri veya sübvansiyonlar gibi mekanizmalarla sağlanabilir. Ayrıca, PV sistemlerinin başlangıçtaki sermaye maliyetlerini belirli bir süre içinde karşılayabilmesini ve bu sürecin ardından da üretim devam ettiği müddetçe desteklerin sürdürülmesini sağlayacak politikalar hayata geçirilmelidir. PV panellerinin ömrünün belirlenmesi, dayanıklılık, performans ve güvenlik özelliklerinin değerlendirilebilmesi için yapılan çeşitli güvenilirlik ve stres testleriyle gerçekleştirilir. Ancak, bu testler her zaman PV panellerinin gerçek kullanım ortamlarında karşılaşılabilecekleri tüm etmenleri kapsamayabilir [4]. Örneğin, üretim hatalarından kaynaklanan hücre uyumsuzlukları, kuş pislikleri, kar, kirlleticiler ve toz gibi doğal kirlilik unsurları bu testlerin dışında kalabilir. Özellikle doğal kirlilikten kaynaklanan toz faktörü, bu çalışmanın temel odak noktasını oluşturmaktadır. Üreticiler, bir PV panelinin ürettiği gücü genellikle standart test koşulları (Standard Test Conditions, STC) olan 1000 W/m² ışınım, 25°C sıcaklık ve 1,5 hava kütlesi (AM) değerleri altında ölçmektedir.

1.1 Amaç

Bu çalışmanın amacı fotovoltaik (PV) panellerin temizliğini optimize ederek enerji üretim verimliliğini artırmak ve çevresel etkileri azaltmaktır. Yalnızca kirli alanlara odaklanılarak gereksiz su ve enerji tüketiminin önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

1.2 Yöntem

Panellerin kirlenme durumları görüntü işleme teknikleri kullanılarak tespit edilecektir. Kamera sistemlerinden elde edilen veriler analiz edilerek yalnızca kirli alanlara yönelik temizlik yapılacaktır. Bu yöntem, temizlik sürecini hızlandırırken enerji ve su tasarrufu sağlayacaktır.

1.3 Özgünlük

Geleneksel yöntemlerden farklı olarak yalnızca kirli alanların temizlenmesini hedefleyen bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yöntem, enerji verimliliğini artırırken temizlik maliyetlerini azaltmakta ve PV sistemlerinin ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğine katkıda bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Bursa Teknik Üniversitesi Akıllı Şebekeler ve Yenilebilir Enerji Uygulamaları Laboratuvarına ait açık alanda bulunan 2 Adet PV paneller üzerinde çalışma yapılmıştır. Panellerin fotoğraflarını çekmek için DAHUA IP marka kamera kullanılmıştır. Kamera bilgisayar arasındaki bağlantıyı sağlayabilmek için Radem marka Poe switch kullanılarak yapılmıştır. Kameradan alınan görüntüler Augelab studio programında makine öğrenmesi modeli oluşturulmuş ve model bu program üzerinden çalıştırılarak kullanılmıştır. Çekilen fotoğrafı, oluşturulan model analiz ettikten sonra temizleyici robot veya temizleme sistemlerine panelleri temiz veya panelleri temizleme bilgi aktarmak için SIEMENS marka programmable logic controller (PLC) ve Stm32f767 programlama kartı kullanılmıştır.

Güneş panellerinde kirli bölgenin tespit edilip temizleme sisteminin yönlendirildiği bu çalışmada giriş bölümünde çalışma amacına, ikinci bölümde literatür araştırmasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde güneş enerjisi kavramlarına değinilmiş, paneller ve çalışması hakkında bilgilere yer verilmiştir. Dördüncü bölümde kullanılan materyal ve yöntemler ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Çalışmanın beşinci bölümünde veri toplama ve analiz kısımları anlatılmıştır. Çalışmada son olarak ise elde edilen analiz sonuçları yorumlanıp öneride bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tahran'da gerçekleştirilen bir çalışmada, fotovoltaik (PV) sistemlerin performansı üzerinde eğim açısı ve hava kirliliği gibi faktörlerin etkileri incelenmiştir. Çalışmada, PV sistemlerinin verimliliğini artırmada eğim açısının önemini vurgulamakta ve bu amaçla deneysel veriler kullanılmaktadır. Hava kirliliğinin PV performansı üzerindeki olumsuz etkisi, Tahran'daki hava kalitesi verileri analiz edilerek değerlendirilmiştir. Sonuçlar, eğim açısının doğru ayarlanmasının PV sistemlerinin enerji üretimini artırdığını, yüksek hava kirliliği seviyelerinin ise performansı olumsuz etkilediğini ortaya koymuştur. En yüksek verimin yaz mevsiminde ve 23° eğim açısıyla elde edildiği tespit edilmiştir. Bu bulgular, PV sistemlerinin tasarım ve yönetim stratejilerinin geliştirilmesinde önemli katkılar sunmaktadır. Ayrıca, çevresel faktörlerin etkisini dikkate alan bilimsel çalışmaların, güneş enerjisi kaynaklarının verimli kullanımına yönelik sürdürülebilir çözümler sağladığı belirtilmiştir [5].

Güneş kolektörlerinin cam yüzeyler üzerindeki tozun etkisini incelemiştir. 100 cam örneği içeren bir deneysel kurulum geliştirmişlerdir. 3mm kalınlıktaki panel camların üzerindeki etkisi incelenmiştir. Camın geçirgenliği, yaklaşık yedi aylık bir süre boyunca düzenli aralıklarla ve çevredeki her gök gürültülü fırtınadan sonra değerlendirilmiştir. Bu sadece kısa vadeli bir bakış açısı olmasına rağmen, ön sonuçlar, camın normal geçirgenliğindeki azalmanın, toz birikme yoğunluğuna eğim açısıyla birlikte güçlü bir şekilde bağlı olduğunu, ayrıca yüze etki eden rüzgar yönüne göre konumlandırılmasıyla ilgili olduğunu göstermektedir. Toz birikimi, güneş ışınlarının geçişini engellediğini ve güneş kolektörlerinin performansını azalttığını tespit etmiştir. Tozun cam yüzeyde birikmesi, güneş kolektörlerinin verimliliğini olumsuz etkilediğini ve bu nedenle enerji üretiminde kayıplara neden olduğu gözlenmiştir. Araştırmada, toz birikiminin zaman içinde nasıl değiştiğini ve uzun vadeli etkileri incelenmiştir. Temizlik prosedürleri, tozun birikimini azaltarak güneş kolektörlerinin performansını artırmaktadır. Tozun cam yüzey üzerinde birikmesi, güneş kolektörlerinin ısı kaybını artırdığı ve dolayısıyla enerji kaybına yol açmaktadır. Yapılan çalışmada, toz birikiminin güneş kolektörlerinin bakım maliyetlerini

artırdığını ve uzun vadede sistem maliyetlerini etkileyebileceğini belirtmektedir. Tozun birikimi, güneş kolektörlerinin performansını etkileyerek enerji üretiminde değişikliklere neden olmaktadır. Temizlik ve bakım, güneş kolektörlerinin toz birikimine karşı dayanıklılığını artırmak için önemlidir [6].

Atina'da gerçekleştirilen bir çalışmada, doğal hava kirliliği kaynaklı toz birikiminin PV panellerin enerji verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Atina Teknolojik Eğitim Enstitüsü'ndeki "Soft Energy Applications & Environmental Protection" laboratuvarında yürütülen deneylerde, 30° eğimli ve güneşe yerleştirilmiş 12 polikristal PV panel kullanılmıştır. Paneller, temiz ve toz birikmiş gruplar halinde sınıflandırılmış ve 2 ila 8 haftalık sürelerde doğal hava kirliliğine maruz bırakılmıştır. Yüzeydeki toz yoğunluğu ölçülerek enerji üretimindeki kayıplar analiz edilmiştir. Yüzeydeki toz yoğunluğunun artmasıyla enerji üretiminin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. 1 g/m² toz birikimi %6.5 enerji kaybına neden olurken, düşük yoğunlukta (0.1 g/m²) iki haftalık birikim %2 kayıpla sınırlı kalmıştır. 10 kWp kapasiteli küçük bir PV sistemi için yıllık gelir kaybı yaklaşık 400 € olarak hesaplanmıştır. Düzenli temizliğin enerji ve ekonomik verimliliği korumada kritik olduğu vurgulanmıştır. Kuraklık ve düşük yağış seviyeleri toz birikimini artırırken, yağmur ve rüzgar gibi çevresel faktörler kirlilik etkilerini azaltmada önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışma, kentsel alanlarda PV panellerin performansını optimize etmek için hava kirliliği ve çevresel koşulların dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır [7].

Fotovoltaik hücrelerin yüzeyinde biriken farklı fiziksel özelliklere sahip tozların, hücrelerin performansına etkilerini araştırmıştır. Beş farklı türde toz incelenmiştir. Üçü farklı boyutlarda kireçtaşı parçacıkları, diğer ikisi ise çimento ve karbon partikülleridir. Daha ince parçacıklar, daha iri olanlara kıyasla fotovoltaik hücrelerin performansını daha fazla düşürmektedir. Bunun nedeni, ince partiküllerin yüzeyi daha homojen bir şekilde kaplayarak ışık geçişini engellemesidir. Çimento (ortalama 10 µm) fotovoltaik hücrelerin kısa devre akımını ve güç çıkışını önemli ölçüde azaltmıştır. Karbon partikülleri (ortalama 5 µm): Performansı en kötü etkileyen toz türüdür. Karbonun optik özellikleri ve ışığı emme kapasitesi, büyük kayıplara neden olmuştur. Toz birikiminin yoğunluğu (g/m²), hem kısa devre akımını hem de maksimum güç çıkışını azaltıcı bir etkiye sahiptir. Karbon ve çimento gibi ince partiküller, düşük yoğunluklarda bile ciddi performans kayıplarına yol açmıştır. Fotovoltaik hücrelerin açık devre gerilimi değişim göstermemiş, ancak doluluk faktörü ve çıkış gücü önemli ölçüde azalmıştır. PV sistemlerin performansını değerlendirmek

için toz türü, boyutu ve birikim yoğunluğu gibi parametrelerin dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışma, özellikle ince ve ışığı emme özelliği yüksek olan tozların (örneğin karbon) fotovoltaik hücre performansını ciddi şekilde etkilediğini ortaya koymuştur. Ek araştırmalarla farklı ışık yoğunlukları altında tozların optik etkilerinin incelenmesi önerilmiştir [8].

PV panellerin yüzey kirliliğinden kaynaklanan enerji verimliliği kayıplarını azaltmak amacıyla otonom bir yüzey temizleme robotunun geliştirilmesini ve farklı temizlik periyotlarının enerji verimliliği üzerindeki etkilerini incelemektedir. PV paneller, toz, kir ve kuş dışkısı gibi çevresel faktörler nedeniyle enerji kayıpları yaşar. Literatürde, temizlenmeyen panellerin verim kaybı günlük %1,2'ye, çöl ortamlarında ise aylık %18,74'e ulaşabilmektedir. Geleneksel temizlik yöntemlerinin insan müdahalesi ve yüksek maliyet gerektirmesi nedeniyle, otonom bir robot çözüm olarak önerilmiştir. Geliştirilen robot, çevresel verileri izleyerek toz seviyesi, sıcaklık ve yağmur gibi faktörlere göre temizleme kararı verir, bu sayede gereksiz su tüketimini önler. Mikrofiber fırçalar ve de-iyonize saf su kullanarak panelleri çizmeden etkili temizlik sağlar. Robot, üzerindeki PV panellerle kendi bataryasını şarj ederek ek enerji kaynağına ihtiyaç duymaz ve mobil uygulama desteğiyle uzaktan kontrol edilebilir. Çalışma, Manisa Celal Bayar Üniversitesi'nin 334,8 kWp kapasiteli bir güneş enerji santralinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler, günlük temizlikle %3,16, haftalık temizlikle %1,44 ve yağmur sonrası temizlikle %2'ye varan enerji verimliliği artışları sağlamıştır. Robotun saf su tüketimi ve bakım maliyetleri gibi unsurlar optimize edilmiştir. Ayrıca, termal kamera eklenmesiyle arızalı hücrelerin tespiti ve bakım işlevlerinin robot üzerinden gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Bu sistem, geleneksel yöntemlere kıyasla sürdürülebilir, kullanıcı dostu ve PV panellerin verimliliğini artırmada etkili bir çözüm sunmaktadır [9].

PV panellerin performansı, toz birikimi nedeniyle özellikle kurak ve tozlu bölgelerde ciddi şekilde düşmektedir. Toz, güneş ışığını engelleyerek enerji üretimini azaltmakta ve 45 gün boyunca temizlenmeyen panellerin verimliliği %50'ye kadar düşebilmektedir. Kahire'deki 14 kW kapasiteli bir PV santralinde yapılan çalışmada, toz birikiminin etkileri ve temizlik yöntemleri incelenmiştir. Basınçsız su ile yapılan temizlik, yüzeydeki tozu tamamen giderememiş ve panellerin verimliliğinde günlük %0.14 oranında bir azalma gözlenmiştir. Yapışkan ve inatçı tozların su ile giderilememesi, bu yöntemin yetersiz olduğunu ortaya koymuştur. Buna karşın, surfaktant karışımları (anyonik ve katyonik yüzey aktif maddeler) kullanılarak yapılan

temizlik, panellerin üzerindeki tozu etkili bir şekilde gidermiş ve verimliliği sabit tutmayı başarmıştır. Sürfaktantlar, yüzey yüklerine etki ederek yapışkan toz parçacıklarını temizlemiş ve panellerin yüzeyinde kalıntı bırakmamıştır. Bu yöntem, sadece daha etkili bir temizlik sağlamakla kalmamış, aynı zamanda daha az su tüketimi ile su kaynaklarının korunmasına da katkı sağlamıştır. Çalışma, düzenli temizliğin, özellikle kurak ve tozlu bölgelerdeki PV santralleri için zorunlu olduğunu vurgulamaktadır. Sadece su ile yapılan temizlik, hem enerji verimliliğini düşürmekte hem de uzun vadede daha fazla su tüketimine neden olmaktadır. Buna karşın, surfaktant temelli temizlik yöntemleri, hem toz gideriminde daha etkili hem de su tasarrufunda daha başarılıdır. Bu nedenle, çöl ve kurak bölgelerdeki PV panelleri için surfaktant içeren temizlik sistemlerinin uygulanması önerilmektedir. Bu sistemlerin, enerji verimliliğini koruyarak işletme maliyetlerini azaltacağı ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayacağı düşünülmektedir [10].

Batman ilindeki tozlanmanın fotovoltaiik (PV) panellerin verimi üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemiştir. Fotovoltaiik paneller, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerin temel bileşenleridir ve yüzeylerinde biriken tozlar, hücrelere ulaşan ışınımı engelleyerek enerji verimliliğini ciddi şekilde azaltmaktadır. 5 günlük toz birikimi, panel verimini %5,26 oranında düşürmüştür. 1 aylık toz birikimi, %28,49 oranında verim kaybına yol açmıştır. 6 aylık toz birikimi ise %78,38 oranında ciddi bir kayba neden olmuştur. Batman Üniversitesi kampüsünde, güney yönüne bakan ve 32° eğim açısıyla yerleştirilen 90 Wp kapasiteli monokristal PV paneller kullanılmıştır. Farklı sürelerde (5 gün, 1 ay ve 6 ay) tozlanmaya bırakılan panellerin enerji üretimi, temiz panellerle karşılaştırılmıştır. Panel yüzeyine biriken toz miktarları, dijital terazilerle ölçülmüştür. Daha uzun süreli toz birikimleri ise polinomal regresyon ve yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak tahmin edilmiştir. Enerji kayıpları, gün bazında ve kümülatif olarak değerlendirilmiştir. PV panellerin tozlanmaya bağlı verim kaybını önlemek için düzenli temizlik şarttır. Özellikle yağışsız bölgelerde periyodik temizleme büyük önem taşımaktadır. Büyük ölçekli santrallerde maliyetleri optimize etmek için temizlik periyotlarının belirlenmesi gerekmektedir. Çalışma, tozlanmanın etkisini azaltmak için coğrafi ve meteorolojik şartlara uygun stratejiler geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır [11].

Bağdat'ta fotovoltaiik (PV) sokak lambalarının performansı üzerindeki toz birikiminin etkilerini incelemiştir. PV paneller üzerindeki toz birikimi, hücrelere ulaşan ışınımı azaltarak enerji üretimini ciddi ölçüde düşürmektedir. Çalışmada tozun fiziksel ve

kimyasal özellikleri analiz edilerek enerji üretimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. PV panellerde biriken toz, düzensiz ve genellikle küresel şekillere sahip, tamamen opak olmayan parçacıklardan oluşmaktadır. Toz, kum, kil, bitkisel lifler, mantar sporları gibi çeşitli bileşenlerden meydana gelmiştir. İnce toz parçacıkları, ışığı daha fazla bloke ederek enerji üretim kayıplarını artırmaktadır. Haftalık temizlenen panellerde enerji kaybı %14,1 iken, hiç temizlenmeyen panellerde bu oran %58,9'a kadar çıkmıştır. Aylık temizlenen panellerde enerji kaybı %47,8 olarak hesaplanmıştır. Hafif yağmurlar kayıpları artırabilirken, yoğun yağmur doğal temizlik sağlayarak performansı iyileştirmiştir. Kuş pislikleri, tozdan daha ciddi sorunlara neden olabilir. Panel yüzeyinde sıcaklık artışına yol açarak, "hot spot" etkisi oluşturur ve enerji kaybına neden olur. Kuş pisliği veya yoğun kirlenme, panellerde kalıcı hasarlar bırakabilmektedir. Toz birikimi ve diğer kirleticiler, PV sistemlerin performansını ciddi şekilde azaltmaktadır. Panellerin düzenli temizliği, özellikle tozlu ve kurak bölgelerde, verimliliği korumak için şarttır. Panel eğim açısı ve yüzey özellikleri, toz birikimini azaltacak şekilde optimize edilmelidir. Çalışma, Bağdat gibi tozlu bölgelerde PV sistemlerin uzun vadeli sürdürülebilirliği için önemli bir referans sağlamaktadır [12].

Güneş enerjisi üretiminde kullanılan PV panellerin verimliliğini artırmak için arızaların tespiti ve sınıflandırılması önemlidir. Çalışmada, elektrolüminesans (EL) görüntüleri kullanılarak PV hücre arızalarının otomatik olarak sınıflandırılması amacıyla bir evrişimli sinir ağı (ESA) modeli önerilmiştir. Daha az parametreye ve küçük bir model boyutuna sahip olan SqueezeNet mimarisi temel alınarak, transfer öğrenme yaklaşımıyla bir model geliştirilmiştir. Veri seti olarak çalışmada 2.624 EL görüntüsü içeren bir veri seti kullanılmış, sınıf dengesizliği veri artırma teknikleriyle giderilmiştir. Önerilen model, AlexNet, GoogLeNet, ShuffleNet ve SqueezeNet gibi diğer ESA mimarileriyle karşılaştırılmıştır. Model doğruluk (%91.29), kesinlik (%84.21), duyarlılık (%89.72), özgüllük (%92.04) ve F1-skor (%86.88) metriklerinde başarılı sonuçlar vermiştir. Diğer yöntemlere göre doğruluk oranında %0.99 ila %6.29 arasında iyileştirme sağlanmıştır. Önerilen yöntemin pratikte hızlı, basit ve etkili bir çözüm sunduğu görülmüştür. Bu yöntem, EL görüntülerinde arızalı PV hücrelerini hızlı ve doğru bir şekilde sınıflandırmak için düşük maliyetli bir çözüm sunar. Özellikle büyük ölçekli güneş enerjisi santrallerinde manuel inceleme sürecinin yerine kullanılabilir bir potansiyele sahiptir [13].

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik artan ilgi, PV panellerin verimliliğini koruma gerekliliğini de beraberinde getirmektedir. Ancak, PV paneller üzerinde oluşan kar, toz, gölgelenme, kuş pisliği ve fiziksel hasar gibi dış etkenler, enerji üretim verimliliğini önemli ölçüde düşürmektedir. Geleneksel manuel bakım ve denetim yöntemleri zaman alıcı olmakla birlikte, insan kaynaklı hatalara da açıktır. Bu nedenle, son yıllarda görüntü işleme ve derin öğrenme teknikleri kullanılarak otomatik kusur tespiti ve sınıflandırma yöntemleri geliştirilmektedir. Çalışmada, güneş paneli kusurlarının sınıflandırılması için derin öğrenme tabanlı bir model önerilmektedir. Veri setindeki yetersizlik nedeniyle veri çoğaltma teknikleri uygulanarak modelin eğitim süreci iyileştirilmiş ve 7 farklı panel kusurunun sınıflandırılmasında %96.56 doğruluk oranı elde edilmiştir. Önerilen model, geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı ve yüksek doğruluk oranına sahip bir kusur tespit süreci sunmaktadır. Ayrıca, modelin farklı çevresel koşullara adaptasyonunu artırmak amacıyla genişletilmiş bir veri kümesi kullanılmış ve çeşitli ışıklandırma ve hava koşullarında test edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, önerilen yöntemin güneş panellerinin otomatik kusur tespiti ve bakım süreçlerinin iyileştirilmesinde önemli bir katkı sağlamaktadır. Gelecek çalışmalar kapsamında, modelin farklı panel türleri üzerinde test edilmesi ve saha uygulamalarına yönelik taşınabilir sistemlerle entegrasyonu planlanmaktadır [14].

Güneş enerjisi santrallerinde PV panellerin verimli çalışmasını engelleyen sıcak nokta (hotspot) kusurlarının erken tespiti büyük önem taşımaktadır. Geleneksel manuel denetim yöntemleri zaman alıcı ve maliyetli olduğundan, bu çalışmada YOLO algoritmalarının etkinliği incelenmiştir. YOLOv5, YOLOv6, YOLOv7 ve YOLOv8 modelleri karşılaştırılmış ve en yüksek doğruluk oranına sahip model belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında, insansız hava araçlarıyla elde edilen 100 görüntüden oluşan bir veri seti kullanılmış, veri artırma teknikleri uygulanarak modelin performansı iyileştirilmiştir. YOLOv8 modeli, %88.7 özgüllük, %80.5 duyarlılık ve %83.8 mAP (ortalama doğruluk) değerleri ile en iyi performansı göstermiştir. Çalışma, nesne tespit algoritmalarının güneş enerjisi santrallerinde bakım ve izleme süreçlerine entegre edilerek verimliliğin artırılabilceğini ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmalarda, modelin farklı panel türleri ve hava koşullarında test edilmesi, ayrıca SSD ve Faster R-CNN gibi diğer nesne tespit algoritmalarıyla karşılaştırılması planlanmaktadır [15]. Çizelge 2.1’de güneş panellerinin kirliliği konusunda incelenen çalışmalar verilmiştir.

Çizelge 2.1: Güneş panellerinin kirliliği konusunda incelenen çalışmalar.

Yazar(lar)	Yılı	Çalışma Konusu	Bulgular	Yöntem
Asl Soleimani ve diğ. (2021)	2021	Panellerin kirliliği, eğim açısı enerji üretimine etkisi.	23° eğim açısı en yüksek verimi sağladı. Hava kirliliği performansı olumsuz etkilemektedir.	Deneysel analiz, Veri toplama sistemi, hava kalitesi ölçümleri.
Elminir ve diğ. (2006)	2006	Panellerdeki toz etkisi incelenmiştir.	Toz birikimi ışık geçişini engelleyerek verimi düşürmektedir.	Veri toplayarak kimyasal ve fiziksel analiz yapılmıştır.
Kaldellis ve Kokala (2010)	2010	Doğal hava kirliliği sonucu toz birikiminin hesaplanması.	1 g/m ² toz birikimi %6.5, 0.1 g/m ² ise %2 enerji kaybına neden olmuştur.	Kontrollü deneyler ve enerji ölçümleri.
El Shobokshy ve diğ. (1993)	1993	Kireçtaşı, çimento ve karbon parçacıkların PV hücrelerin de elektriksel performansı.	İnce partiküller daha fazla performans kaybına neden oluyor. Karbon ve çimento kötü etkilere sahiptir.	Farklı toz türleri ile kaplama ve verim ölçümü.
Karaman ve Taşkın (2022)	2022	Panel temizliği için otonom robot tasarımı geliştirilmiştir.	Günlük temizlikle %3,16, haftalık %1,44, yağmur sonrası %2 verim artışı sağlandı.	Robot destekli otomatik temizlik ölçümleri.
Moharram ve diğ. (2013)	2013	Toz birikimi ve temizlik yöntemlerinin PV verimine etkisi.	Basınçsız su yeterli değil, surfaktant kullanımı daha etkili.	Farklı temizlik teknikleri karşılaştırması.
Kayrı ve Tan Bayar (2021)	2021	Tozlanmanın PV verimi üzerindeki etkisi.	5 günde %5,26, 1 ayda %28,49, 6 ayda %78,38 verim kaybı.	Uzun süreli toz birikimi analizi.
Ghazi ve Mustafa (2013)	2013	PV sokak aydınlatma sistemlerinin toz birikiminin etkileri.	Haftalık temizlikle %14,1, aylık %47,8, hiç temizlenmeyenlerde %58,9 verim kaybı.	Temizlik periyotlarının karşılaştırılması.
Açıkgöz ve Korkmaz (2022)	2022	EL görüntüler kullanılarak PV panel arızaların tespiti ve sınıflandırılması.	Model doğruluk: %91,29, F1-skor: %86,88.	Evrişimli Sinir Ağı (ESA), SqueezeNet mimarisi.
Lermi ve Onur (2024)	2024	Panellerin kirliliği etkileyen faktörlerin incelenmesi.	%96.56 doğruluk oranı elde edildi. Model, çevresel koşullara uyarlanarak test edildi.	Derin öğrenme, veri çoğaltma, genişletilmiş veri kümesi kullanılmıştır.
Yanılmaz ve diğ. (2024)	2024	PV panellerin hotspot kusurlarının tespiti	YOLOv8 modeli en yüksek doğruluk oranına sahip oldu %88.7	Yapay sinir ağı YOLO algoritması kullanılmıştır.

Literatürde gerçekleştirilen çalışmalar, güneş panellerinin kirlilik kaynaklı verim kaybının boyutlarını, bölgesel farklılıklarını, otonom temizlik robotlarının performansını ve alternatif temizlik yöntemlerinin detaylı bir şekilde incelemektedir. Bu bilgiler, bölgesel yönlendirme sistemi için kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle, kirliliğin yoğun olduğu bölgelerin tespit edilmesi, temizlik robotlarının operasyonel verimliliğinin artırılması ve sürdürülebilir enerji üretiminin desteklenmesi açısından literatürden elde edilen bulgular, sistemin temel bileşenlerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla, mevcut çalışmaların sunduğu yöntemler ve veriler, çalışmanın teorik çerçevesini güçlendirirken, aynı zamanda pratik uygulama stratejilerinin oluşturulmasına da önemli katkılar sunmaktadır.

Literatürdeki mevcut çalışmalar incelendiğinde, fotovoltaik panellerin temizliği için genellikle periyodik veya sensör tabanlı otomatik temizlik sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Periyodik temizlik yöntemleri, belirli zaman aralıklarında sabit programlara dayandığından gereksiz su ve enerji tüketimine yol açmaktadır. Sensör tabanlı sistemler ise genellikle yüzey kirliliğini doğrudan tespit etmek yerine dolaylı ölçümlerle karar vermekte ve bu durum hassasiyetin düşmesine neden olabilmektedir. Ayrıca, literatürdeki bazı görüntü işleme tabanlı sistemlerde, genel panellerin kirlilik durumu belirlenmekte ancak kirli alanların konum bazlı tespiti yeterince detaylandırılmamaktadır. Bu nedenle, mevcut çalışmalar ya tüm panelleri aynı şekilde temizlemeye odaklanmakta ya da kirlenme miktarını yüzeysel analizlerle değerlendirmektedir. Çalışmadaki sistem de ise, bu eksiklikleri gidermeyi amaçlamaktadır. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak panellerin yalnızca kirli bölgeleri tespit edilecek ve temizlik robotuna yönlendirilecektir. Böylece, su ve enerji tüketimi optimize edilirken, gereksiz temizlik operasyonları önlenerek bakım maliyetleri azaltılacaktır. Literatürde yaygın olarak karşılaşılan, tüm panel yüzeyine yönelik genel temizleme yaklaşımının aksine, bu çalışma daha spesifik ve hedefe yönelik bir temizlik stratejisi sunmaktadır. Bu sayede, PV sistemlerinin uzun vadeli performans sürdürülebilirliği artırılarak ekonomik ve çevresel avantajlar sağlanacaktır.

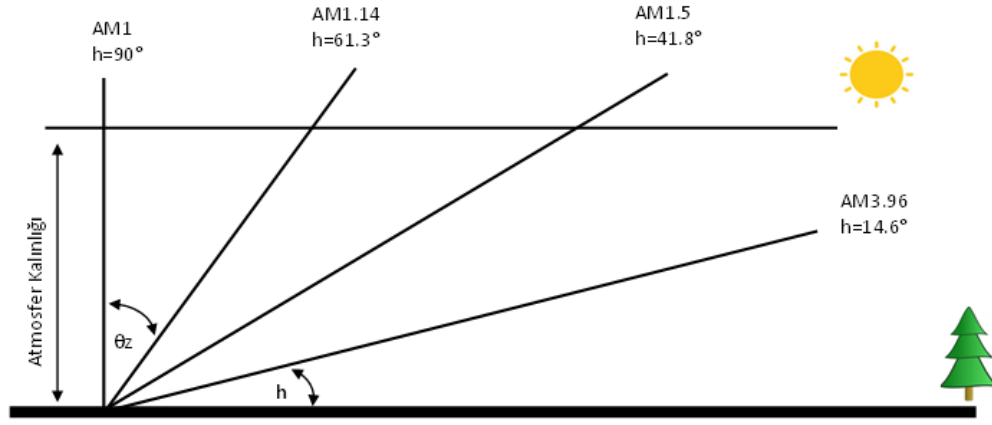
3. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş'te her saniye büyük miktarda enerji üretilmekte ve bu enerji radyasyon formunda uzaya yayılmaktadır. Dünya ile Güneş arasındaki 149,6 milyon kilometrelik mesafe nedeniyle, bu enerjinin yalnızca küçük bir kısmı Dünya'nın atmosferine ulaşır. Dünya atmosferine ulaşan bu radyasyonun şiddeti, yaklaşık olarak 1367 W/m² değerine eşittir ve bu değer "güneş sabiti" olarak adlandırılmaktadır. Güneş radyasyonu, atmosferden geçerken bir kısmı yüzeye ulaşır ve "doğrudan ışın radyasyonu" olarak adlandırılırken, bir kısmı atmosferdeki su buharı ve parçacıklar tarafından emilir ya da dağıtılarak "dağınık radyasyon" haline gelir [16]. "Küresel yatay radyasyon" olarak ifade edilen, yatay bir yüzeye ulaşan toplam ışınım ise, doğrudan gelen ışın radyasyonu ile atmosferde yayılan radyasyonun kombinasyonu olarak değerlendirilir [16, 17]. Bu toplam ışınım, ışınların yüzeye geliş açısına ve yayılma özelliklerine göre düzeltilmiş bir ölçümdür.

Güneşten Dünya'ya ulaşan radyasyon, farklı dalga boylarında dağılım gösterir (Şekil 3.1). Birim alan başına her bir dalga boyunda alınan radyasyon enerjisi, Spektral Işınım (E) olarak adlandırılır [18]. Atmosferin spektral radyasyon şiddeti üzerindeki etkisi, radyasyonun kat ettiği yolun uzunluğu ve optik geçirgenlik özelliklerine bağlıdır. Bu etki, spektral radyasyonun zayıflamasının yol uzunluğunun üstel bir fonksiyonu olmasıyla açıklanır.

Hava Kütlesi (AM), güneş ışınlarının atmosferde kat ettiği gerçek mesafenin, doğrudan dikey bir yol üzerindeki minimum mesafeye oranını ifade eder. AM değeri, Şekil 3'de gösterildiği gibi, güneş ile zenit arasındaki dikey açının kosinüsü temel alınarak tanımlanır. AM ile güneş yükselme açısı (h) arasındaki matematiksel ilişki, denklem 1'de detaylandırılmaktadır.

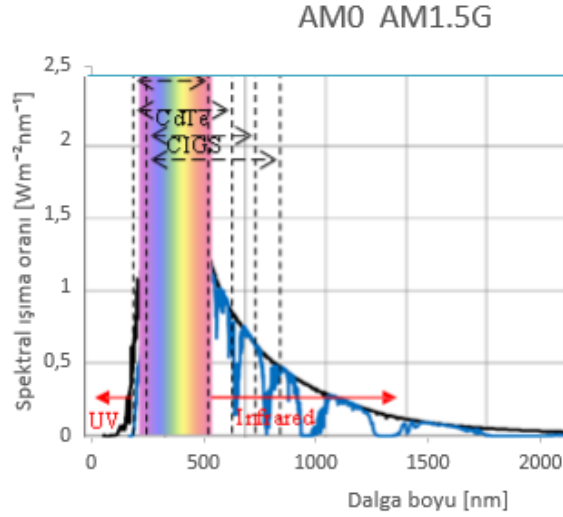
$$AM \cong \frac{1}{\cos(90-h)} \cong \frac{\text{Güneş ışınlarının atmosferde aldığı yol}}{\text{Güneş ışınlarının atmosferde aldığı en kısa yol}} \quad (1)$$



Şekil 3.1: Güneş yüksekliği (h) ve zirve açısı (θ_z) ile hava kütlesi (AM).

AM değerleri, güneş spektrumunun farklı koşullar altında nasıl algılandığını tanımlayan ölçümlerdir. AM0, ekstra karasal spektrumu ifade ederken, güneş ışınlarının doğrudan yeryüzüne ulaştığı bir durumu AM1 temsil eder [17]. Fotovoltaik sistemler için uluslararası standart testlerinde referans alınan AM değeri ise AM1.5'tir. Bu değer, 41.8° güneş yükselme açısına sahip, orta enlemlerdeki yıllık ortalama bir spektrumu modellemek amacıyla geliştirilmiştir ve genellikle açık hava koşullarını da kapsar (bkz. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2) [15]. Atmosferde askıda kalan parçacıklar, güneş spektrumunun zayıflamasına neden olabilir [19,20]. Ancak bu çalışmada daha çok toz parçacıklarının etkileri ele alınmıştır.

Güneş radyasyonunu ölçen cihazlar, genellikle belirli dalga boyu aralıklarında spektral ışınımın integralini alarak, "ışınım" (G) olarak bilinen güç yoğunluğunu hesaplar. Belirli bir zaman aralığı boyunca ışınımın integrali ise enerji yoğunluğu olarak tanımlanır ve genellikle MJ/m² veya kWh/m² birimleriyle ifade edilir. Bu enerji yoğunluğu değeri, PV sistemlerinin uzun vadeli performans değerlendirmelerinde ve analizlerinde yaygın olarak kullanılır. Özellikle, yıllık toplam ışınım değerleri (kWh/m²/yıl), sistemlerin yıllık verimliliğinin ölçülmesinde temel bir parametre olarak öne çıkar [15].



Şekil 3.2: Dalga boyuna göre spectral ışınım oranları.

Şekil 3.1’de , IEC60904-3 standardında belirtildiği üzere, 1000 W/m^2 spektral ışınımın AM0 ve AM1.5 koşulları altındaki dağılımını göstermektedir [21]. Grafikte yer alan işaretli alanlar, farklı PV modül teknolojilerinin kullanmakta olduğu dalga boyu aralıklarını ifade etmektedir.

Dünya’nın yörüngesinde, uzay ortamında birim yüzeye ulaşan güneş enerjisi miktarı “güneş enerjisi sabiti” olarak tanımlanır [21]. Bu sabitin değeri NASA’ya göre 1353 W/m^2 , Dünya Işınım Merkezi’ne (WRC) göre ise 1367 W/m^2 ’dir. Hesaplamalarda genellikle WRC’nin belirlediği 1367 W/m^2 değeri esas alınmakta olup, bu değer AM0 koşulları için geçerli kabul edilmektedir.

Atmosfer içerisinde, güneş ışınlarının tam tepe noktasından (zenit açısı) geçişi AM1 olarak ifade edilir. Ancak, atmosferik faktörler ve diğer engellemeler nedeniyle güneş ışınımı yaklaşık %30 oranında bir azalmaya uğrar ve yeryüzüne ulaştığında ortalama 1000 W/m^2 seviyesine düşer. Bu değer, PV sistemler için standart bir ışınım seviyesi olarak kabul edilmiştir. Bu bağlamda, 25°C sıcaklık ve Hava Kütlesi 1.5 (AM1.5) koşullarında, 1000 W/m^2 ışınım değeri, standart test koşulları (STC) olarak tanımlanmaktadır.

3.1 Fotovoltaik Paneller

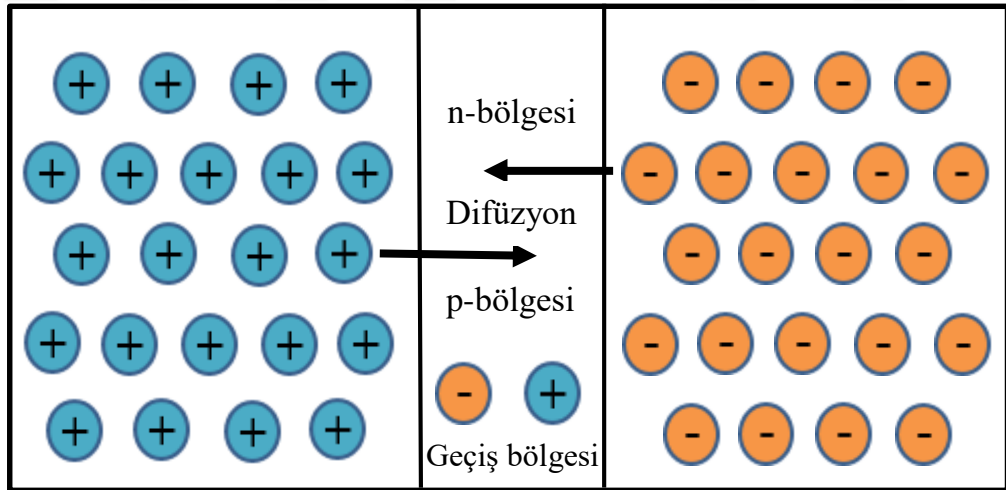
Fotovoltaik hücreler, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren, yarı iletken malzemelerden oluşan ileri teknolojik yapılar olarak tanımlanmaktadır. Bu teknoloji, bir asrı aşkın bir süredir gelişim göstermekte olup enerji dönüşüm

sistemlerinde önemli bir yer edinmiştir. Fotovoltaik etkinin ilk keşfi, 1839 yılında Fransa'da çalışan genç fizikçi Edmund Becquerel tarafından gerçekleştirilmiştir. Becquerel, ışık altında asidik bir çözeltiliye daldırılmış gümüş kaplı bir platin elektrodun elektriksel gerilim ve akım ürettiğini gözlemleyerek bu olguyu ortaya koymuştur. Bu çalışmalardan sonra Fransız matematikçi Augustin Mouchot, fizikçinin çalışmasından ilham alarak 1860'larda güneş enerjisiyle çalışan motorlar için patent almaya başladı. Fransa'dan ABD'ye, mucit Edward Weston, matematikçinin patentlerinden ilham alarak 1888 gibi erken bir tarihte güneş enerjisiyle çalışan cihazlar için patent almıştır. New York'lu bilim insanı Charles Fritts'in selenyumu ince bir altın tabakasıyla kaplayarak ilk güneş pilini 1883 yılın da üretti. Fritts, selenyum modülünün sürekli, sabit ve oldukça güçlü bir akım ürettiğini buldu. Bu hücre % 1-2 arasında bir enerji verimi elde etti. Fotovoltaik etki, günümüz güneş pillerinde katı hâl cihazları içerisinde meydana gelmektedir. Silikon p-n bağlantılı ilk fotovoltaik hücre, 1954 yılında D. M. Chapin, C. S. Fuller, G. L. Pearson ve M. B. Prince tarafından Bell Telephone Laboratories, Inc. (Murray Hill, New York) bünyesinde geliştirilmiştir. Bu hücre, güneş ışığını elektriğe dönüştürmede %6 verimlilik sağlayarak fotovoltaik teknolojisinin ticari uygulamalara yönelik ilk somut adımı olmuştur. Zamanla fotovoltaik teknolojide kaydedilen ilerlemeler sayesinde, çok eklemlili güneş hücreleri gibi daha sofistike tasarımlar geliştirilmiş ve bu sayede enerji dönüşüm verimliliği önemli ölçüde artırılmıştır [22]. Günümüzde fotovoltaik hücrelerin laboratuvar ortamında elde edilen en yüksek verimliliği %40 seviyelerine kadar ulaşmıştır. Bu durum, teknolojinin gelecekteki potansiyeline ilişkin umut vadetmektedir.

3.2 Fotovoltaik Panellerin Çalışma Yapısı

Fotovoltaik (PV) cihazlar, ışığı elektriğe dönüştüren katı hâl cihazlarıdır. Bu dönüşüm, PV cihazlarının, enerji taşıyan fotonlardan oluşan güneş ışınımına maruz kalmasıyla gerçekleşir. Fotonların enerjisi, yarı iletken malzemenin değerlik ve iletim bantları (Band Gap olarak da bilinir) boyunca bir elektrona aktarılır ve bunun sonucunda bir elektron-delik çifti oluşur. Elektron, değerlik bandındaki normal enerji seviyesinden ayrılarak iletim bandına geçer ve bu süreçte değerlik bandında bir boşluk (delik) bırakır. Bu uyarılmış durumdaki elektron, iletim bandında hareket edebilir ve

genellikle katkılı yarı iletken malzemelerden oluşan bir p-n birleşimi aracılığıyla ayrıştırılır. P-n birleşimleri, örneğin kristal silikona, periyodik tablodaki 3A ve 5A gruplarına ait elementlerin katkılanması yoluyla oluşturulur [15]. 5A grubu elementler, katkılındıkları kristal yapı içerisinde her atom başına bir fazla elektron sağlayarak n-tipi bir yarı iletken oluşturur. Benzer şekilde, 3A grubu elementlerin katkılanması ise her atom başına bir elektron eksikliğine yol açarak p-tipi yarı iletken oluşumuna neden olur. Bir n-tipi yarı iletken tabaka ile bir p-tipi yarı iletken tabaka bir araya getirildiğinde bir p-n birleşimi meydana gelir [18]. Elektronlar, p-tipi ve n-tipi yarı iletkenler arasındaki elektron ve delik yoğunlukları arasındaki konsantrasyon gradyanına bağlı olarak n-tipi malzemeden p-tipi malzemeye doğru yayılır. Bu süreç, p ve n-tipi yarı iletkenler arasında fakirleşmiş bir bölge oluşturur. Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Fakirleşmiş bölge, serbest yük taşıyıcılarının yokluğu ile karakterize edilir ve yalnızca zıt polariteli iyonlaşmış atomlar içerir [23]. Bu iyonlaşmış atomlar, serbest taşıyıcıların bir bölgeden diğerine geçişini engelleyerek bir potansiyel bariyer oluşturur. Potansiyel fark, p-n birleşiminde bir bariyer gerilimi yaratır [24]. Uygulanan dış gerilimin bu bariyer gerilimini aşması durumunda fakirleşmiş bölge ortadan kalkar ve p-n birleşimi üzerinden elektrik akımı geçişi sağlanır.



Şekil 3.3: p-tipi ve n-tipi yarı iletkenlerin birleştirilmesi.

3.3 Fotovoltaik Panel Çeşitleri

PV panellerin enerji dönüşüm verimliliğini artırmak amacıyla çeşitli malzeme türleri ve türevleri üzerinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bu kapsamda, günümüze kadar farklı özelliklere sahip birçok PV hücresi geliştirilmiştir. Bu hücreler, temel olarak kristal silikon tabanlı ve ince film teknolojisine dayalı güneş hücreleri olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılmaktadır.

Kristal silikon hücreler

- Tek kristal (mono-kristal) - (c-Si)
- Çoklu kristal (poli-kristal) - (mc-Si)

İnce film hücreler

- Amorf Silisyum (a-Si)
- Kadmiyum Tellür (CdTe)
- Bakır İndiyum Galyum (de) Selenyum (CIGS)

Ticari olarak en yaygın kullanılan PV paneller, monokristal ve polikristal hücrelere sahip olanlardır. Bu paneller, güneş enerji santrallerinde (GES) en sık tercih edilen PV teknolojileri arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, çalışmada yapılan deneyler, monokristal ve polikristal PV paneller üzerinde gerçekleştirilmiştir.

3.3.1 Mono kristal ve poli kristal fotovoltaik paneller

Günümüzde ticari olarak kullanılan üç temel silikon bazlı güneş pili teknolojisi bulunmaktadır: monokristal silikon (mono c-Si), polikristal silikon (poli c-Si), ve amorf silikon (a-Si). Monokristal silikon, yüksek verimliliği ve üstün performans özellikleri ile dikkat çeken pahalı seçenektir. Monokristal silikon ise Polikristalden daha yüksek maliyetli ve daha çok verimli bir yapıya sahiptir. Yaygın kullanımı sayesinde güneş pili üretiminde en çok tercih edilen malzemedir. Çok kristalli silikon olarak da bilinen poli c-Si, maliyet-etkinliği ve üretim kolaylığı nedeniyle bu alanda önemli bir yere sahiptir. Öte yandan, amorf silikon (a-Si), düşük maliyeti ve esnek üretim avantajlarıyla öne çıkarken, düşük verimlilik seviyesi bu teknolojinin sınırlayıcı faktörlerinden biridir. Bu üç teknoloji, PV panel üretiminde temel yapı taşlarını oluşturmakta ve her birinin üretim miktarları teknolojik gelişmelerin yanı sıra küresel talep eğilimlerine göre değişkenlik göstermektedir [17]. 3 tip paneller 2024 için global fotovoltaik üretim verileri verilmiştir.

Çizelge 3.1: 2024 için üretim verileri.

Malzeme	Üretim Yüzdesi (%)	GWdc (gigawatt dc)
Monokristal Silikon	59	144
Polikristal Silikon	32	84
Amorf Silikon	4	12
Toplam	95	240

Çizelge 3.1’de yer alan veriler, 2024 yılında üretilen güneş pillerinin %95’inin silikon bazlı olduğunu ortaya koymaktadır. Güneş pilleri, güneş radyasyonunun maksimum düzeyde soğurulmasını sağlamak amacıyla geniş bir yüzey alanına sahip olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu tasarım sürecinde, güneş radyasyonunun büyük bir kısmını absorbe edebilecek optimum kalınlık korunurken, yapısal ağırlığın ve malzeme kullanımının azaltılması hedeflenmektedir. Böylelikle, güneş hücreleri içerisindeki enerji iletim kayıplarının asgari düzeye indirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, yüzeye uygulanan yansıtma önleyici kaplamalar, ışık yansımalarını minimize ederek güneş radyasyonunun emilimini daha da artırmaktadır.

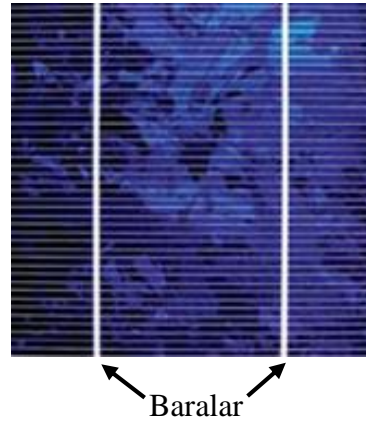
Monokristalin silikon güneş pilleri, silikonun tek kristal yapıya sahip olmasından kaynaklanan üstün enerji dönüşüm verimliliği nedeniyle en yüksek performansa sahip güneş pili türü olarak bilinmektedir. Bununla birlikte, üretim süreçlerindeki maliyetler, bu tür güneş pillerini en pahalı seçeneklerden biri haline getirmektedir. Üretim, Czochralski yöntemi kullanılarak gerçekleştirilir [23]. Bu yöntemde, saf silikon eriyiği içeren bir fırına, kristalizasyonu başlatmak amacıyla küçük bir tohum kristali yerleştirilir. Erimiş silikon, tohum kristalinin yüzeyinde büyüyerek kristal yapıyı korur ve istenen monokristal yapı elde edilir.

Silisyumun p-tipi bir yarı iletken haline getirilmesi amacıyla, eriyik silisyuma bor katkı maddesi eklenir. Benzer şekilde, n-tipi bir yarı iletken elde etmek için fosfor katkı maddesi kullanılır. Tohum kristali, eriyik silikon içerisinde yavaşça çekilerek yaklaşık 2 metre uzunluğa ve 23 santimetre çapa ulaşabilen silindirik bir külçe oluşumu sağlanır. Bu süreç sırasında külçe içerisindeki safsızlıklar, çeşitli termal arıtma işlemleriyle minimize edilir. Elde edilen silindirik külçe, yaklaşık 200-250

mikron kalınlığında ince monokristal silikon dilimlere kesilir. Ancak, kesim işlemi sırasında külçenin yaklaşık %50'si silisyum tozu şeklinde kayba uğrar. Kesim sonrası dilimlerin yüzeyleri parlatılarak işlem tamamlanır. P-n eklemi oluşturmak amacıyla, n-tipi fosfor katkısı p-tipi silikon dilimlerinin ön yüzeyine, p-tipi bor katkısı ise n-tipi silikon dilimlerinin ön yüzeyine dağıtılır. Bu yapı, güneş ışığına maruz kaldığında p-tipi tarafın n-tipi tarafa kıyasla pozitif bir elektrik potansiyeli oluşturmasını sağlar. Bu elektriksel potansiyel, güneş pillerinin temel enerji üretim mekanizmasını oluşturur. Monokristalin silikon güneş pillerinin yüksek saflığı ve düzenli kristal yapısı, bu pillerin üstün verimlilik özelliklerinin temel dayanağıdır.

Çıplak bir silikon yüzey, üzerine gelen güneş radyasyonunun yaklaşık %30'unu yansıtarak güneş hücresinin optik verimliliğini önemli ölçüde düşürebilmektedir. Bu yansımının minimize edilmesi ve güneş hücresi tarafından ışık absorpsiyonunun artırılması amacıyla, hücrenin ön yüzeyine dielektrik bir antirefleksif (AR) kaplama ve yüzey dokusu uygulanmaktadır. AR kaplama, yansıma kayıplarını azaltarak görünür ışığın etkin bir şekilde absorbe edilmesini sağlamak için tasarlanır. Kaplamanın kalınlığı, görünür ışığın yaklaşık 600 nm dalga boyundaki zirve güç dalgasının çeyrek dalga boyuna karşılık gelecek şekilde optimize edilir [17]. Bu bağlamda, silikon nitrid (Si_3N_4) veya titanyum oksit (TiO_2) gibi malzemelerden üretilen AR kaplamalar genellikle yaklaşık 150 nm kalınlığında uygulanmaktadır.

Güneş hücresinin üretim sürecinin tamamlanabilmesi için, hücrenin arka yüzeyi elektrik akımını toplamak amacıyla alüminyum ile kaplanır. Ön yüzeyde ise, elektriksel akımı toplamak için bir ızgara yapısı ve ince gümüş metalizasyon şeritleri serigrafi yöntemiyle uygulanır. Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Ancak, bu ızgara yapısı ve metalizasyon şeritleri, yüzey alanını kısmen kaplayarak güneş ışığının bir kısmının hücreye ulaşmasını engeller ve dolayısıyla hücrenin enerji dönüşüm verimliliğini düşürür. Bu nedenle, ızgara tasarımı, elektrik akımını maksimum düzeyde toplarken yüzeye gelen ışık blokajını en aza indirecek şekilde optimize edilir. Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Bu tasarım yaklaşımı, hem optik hem de elektriksel performansın dengeli bir biçimde artırılmasını sağlamayı amaçlamaktadır.



Şekil 3.4: Panel hücresi ve baralar.



Şekil 3.5: Mono kristal ve Poly kristal panelleri ve hücreleri.

Polikristalin silikon güneş pilleri, silikon malzeme içerisindeki çok sayıda tane sınırının varlığı nedeniyle, monokristalin silikon (mono c-Si) güneş pillerine kıyasla daha düşük maliyetle üretilmekte, ancak daha düşük enerji dönüşüm verimliliği sunmaktadır. Üretim süreci, saflaştırılmış silikon parçalarının eritilmesiyle başlamakta ve malzeme, bir blok oluşturacak şekilde soğutulmaktadır. Ancak, tek bir kristal yapı oluşturulması hedeflenmediği için, rastgele yönelimli küçük kristaller meydana gelmekte ve bu kristaller arasında tane sınırları oluşmaktadır. Tane sınırları, soğuma sırasında erimiş silikondan çeşitli yabancı maddelerin toplanmasına yol açarak malzemenin saflığını azaltmaktadır. Ayrıca, kristal yapısındaki kusurlar da çoğunlukla

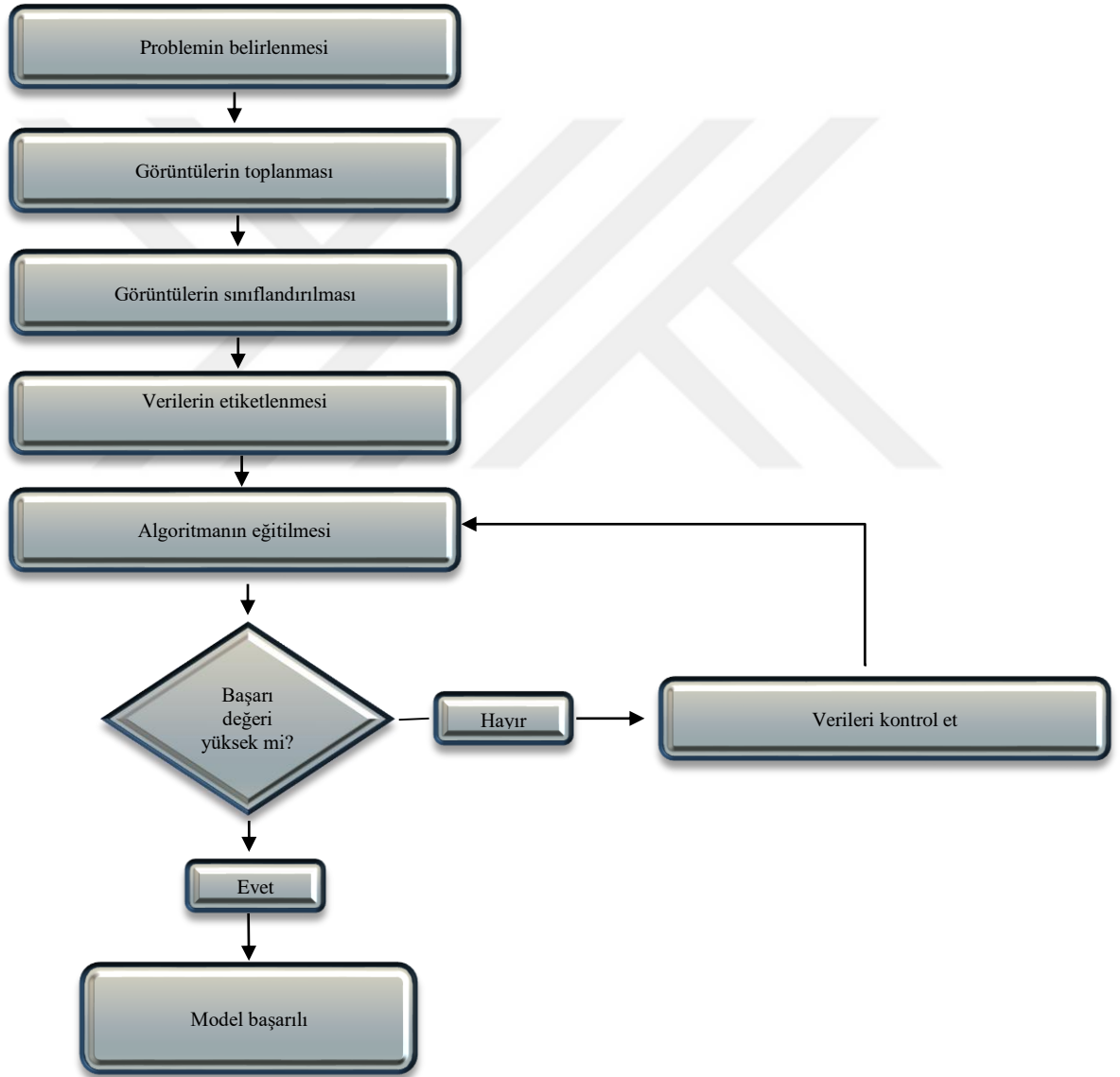
bu tane sınırlarında yoğunlaşmaktadır. Bu safsızlıklar ve kristal kusurları, silikonun elektriksel özelliklerini, özellikle de taşıyıcı ömrü üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta ve dolayısıyla polikristalin silikon güneş pillerinin enerji dönüşüm verimliliğini, monokristalin silikon pillerle karşılaştırıldığında önemli ölçüde düşürmektedir. Bunun yanı sıra, tane sınırlarının varlığı, polikristalin silikon güneş pillerinde "sıcak nokta" olarak adlandırılan lokalize yüksek sıcaklık bölgelerinin oluşma eğilimini artırmaktadır. Bu tür sıcak noktalar, cihazın genel performansını ve dayanıklılığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir [25]. Polikristalin silikon güneş pillerinin üretim süreçlerinin geri kalan aşamaları ise, monokristalin silikon güneş pillerinin üretiminde kullanılan yöntemlerle büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.

Amorf silikon (a-Si) güneş pilleri, kristal bir yapıya sahip olmamaları nedeniyle diğer güneş pili türleriyle karşılaştırıldığında en düşük maliyetli ve aynı zamanda en düşük enerji dönüşüm verimliliğine sahip teknolojiler arasında yer almaktadır. Amorf silikon, geleneksel olarak erimiş silikon kütlesinden kristal yapılar oluşturularak üretilen yöntemlerden farklı olarak, ince bir film formunda bir yüzey üzerine biriktirilerek elde edilmektedir. Bu üretim süreci nedeniyle amorf silikon güneş pilleri, "ince film güneş pilleri" sınıfında değerlendirilir. Amorf silikon malzemesi, esnek alt tabakalar üzerine biriktirilebilme yeteneği ile dikkat çeker. Bu özellik, monokristalin silikon (mono c-Si) ve polikristalin silikon (poli c-Si) güneş pillerinde karşılaşılan kırılabilirlik ve sertlik sınırlamalarını aşarak, esneklik gerektiren uygulamalarda kullanım imkânı sağlamaktadır. Bu avantajı sayesinde amorf silikon güneş pilleri, çeşitli endüstriyel ve ticari uygulamalar için önemli bir seçenek haline gelmiştir. Ancak, düşük enerji dönüşüm verimliliği, bu tür güneş pillerinin performansını sınırlayan en önemli faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir.

4. MATERYAL VE METOD

4.1 Akış Şeması

Bu çalışmada kullanılan akış şeması şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Akış şeması.

- **Problemin Belirlenmesi:** İlk aşamada, çözülmesi gereken problemin açık ve net bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Bu süreç, hangi görüntülerin işleneceğinin ve analiz sonucunda hangi çıktılara ulaşmak istendiğinin belirlenmesini içerir.
- **Görüntülerin Toplanması:** Modelin eğitimi için gerekli veri setinin oluşturulması aşamasıdır. Bu kapsamda, farklı kaynaklardan elde edilen görüntüler bir araya getirilerek çeşitlendirilir. Veri setinin geniş ve dengeli olması, modelin farklı senaryolarda daha yüksek doğrulukla çalışmasını sağlayacaktır.
- **Görüntülerin Sınıflandırılması:** Toplanan görüntüler, önceden belirlenen sınıflara ayrılmaktadır. Bu süreç, modelin öğrenme sürecini düzenli hale getirmek adına kritik bir öneme sahiptir. Yanlış veya düzensiz sınıflandırılmış veriler, modelin performansını olumsuz yönde etkileyebilir.
- **Verilerin Etiketlenmesi:** Modelin doğru bir şekilde öğrenebilmesi için her görüntüye uygun bir etiket atanmalıdır. Etiketleme süreci, görüntülerin hangi sınıfa ait olduğunun belirlenmesini sağlar. Doğru ve tutarlı etiketleme, modelin başarı oranını doğrudan etkileyen temel faktörlerden biridir.
- **Algoritmanın Eğitilmesi:** Model, etiketlenmiş görüntüler kullanılarak eğitilir. Bu aşamada makine öğrenimi veya derin öğrenme algoritmaları kullanılarak modelin doğru tahmin yapması sağlanır.
- **Başarı Değeri Yüksek mi?:** Modelin doğruluğunu belirlemek amacıyla başarı oranı hesaplanır. Eğer elde edilen başarı oranı belirlenen kabul edilebilir sınırların üzerindeyse model başarılı kabul edilir ve süreç tamamlanır.
- **Evet → Model başarılı olarak değerlendirilir ve süreç sonlandırılır.**
- **Hayır → Modelin başarısını artırmak için veri seti ve model parametreleri yeniden gözden geçirilir.**
- **Verileri Kontrol Et:** Modelin istenen başarı seviyesine ulaşamaması durumunda, veri seti detaylı bir şekilde analiz edilir. Eksik veriler, hatalı etiketlemeler veya yetersiz veri çeşitliliği gibi sorunlar tespit edilerek düzeltilir. Gerekli durumlarda, yeni veriler eklenerek model yeniden eğitilir. Bu süreç, modelin optimum performansa ulaşana kadar tekrarlanır.

4.2 Materyal

Bu çalışma, Bursa Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik laboratuvarı, açık alanda kurulu PV paneller üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyle, yüksek verimliliğiyle bilinen monokristal PV paneller kullanılarak yürütülmüş ve görüntü tabanlı veri elde etme süreçlerini desteklemek amacıyla kamera entegreli bir deney düzeneği tasarlanarak kurulmuştur. Araştırmada, veri toplama sürecinin doğruluğunu artırmak için ekipmanlar geliştirilmiş ve sistematik bir şekilde entegre edilmiştir. Ayrıca, toplanan verilerin işlenmesi ve analizi için uygun yöntemler detaylı bir şekilde uygulanmıştır. Şekil 4.2’de deney düzeneği gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Deney düzeneği.

4.2.1 Pv panel özellikleri

Deneyle mono kristal panel üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu PV panellerin elektriksel özellikleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1: Monokristal panel teknik bilgileri.

Modül İsmi	HR-200-24/Aa
Hücre Tipi	Mono-Kristal
Maksimum Güç (Pmax)	200W
Maksimum Güç Gerilimi (Vmpp)	37.39V
Maksimum Güç Akımı (Impp)	5.35A
Açık Devre Gerilimi (Voc)	45.50V
Kısa Devre Akımı (Isc)	5.79A
Hücre Sayısı	72
Boyutlar	1580 x 808 x 40mm

4.2.2 Kamera

Kameralar, görüntüleri optik bir sistem aracılığıyla yakalayan, bu verileri dijital veya analog formatta işleyerek kaydedebilen ve belirli iletim yöntemleriyle aktarabilen ileri teknoloji cihazlardır. Optik bileşenler, genellikle bir lens sistemi ve bir görüntü sensöründen oluşarak, ışık enerjisini elektronik sinyallere dönüştürür. Kameralar, teknolojik ilerlemeler doğrultusunda, bağlantı yöntemleri; kablolu, kablosuz, IP tabanlı ve usb kamera olarak kullanım amaçlarına göre çeşitlenmiştir. Deney setimizde IP kamera kullanılmıştır.

4.2.2.1 Dahua ip kamera

IP kameralar (Internet Protocol kameralar), dijital görüntüleme teknolojisi ve ağ iletişimini birleştirerek modern güvenlik ve izleme sistemlerinde kritik bir rol oynayan cihazlardır. Bu kameralar, görüntü verilerini dijital olarak işleyip sıkıştırarak ağ üzerinden iletir ve böylece yüksek çözünürlüklü görüntü kaydı, uzaktan erişim ve

esnek entegrasyon imkânı sağlar. IP kameraların temel özellikleri arasında hareket algılama, gece görüşü, iki yönlü ses iletişimi ve yapay zeka destekli analiz yer alır. Endüstriyel otomasyon, akıllı şehir uygulamaları perakende analitiği ve ev güvenlik sistemleri gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılan bu cihazlar, ölçeklenebilir yapısı ve kullanıcı dostu özellikleri sayesinde modern güvenlik teknolojilerinin vazgeçilmez bir bileşeni haline gelmiştir. Deney düzeneğimizde Dahua marka oldukça hassas görüntü alan bir cihazdır. Dış ortam koşullarına uyumlu IP67 sertifikasına sahip su, nem ve kar'dan etkilenmeyen kameradır. Odaklamayı kendi içerisinde bulunan motorlar sayesinde program üzerinden istediğimiz hassasiyette odaklama ayarı yapma imkanı sağlamaktadır. Sistemimiz de 4 Megapiksel (MP) kamera ile görüntüler alınmıştır. Şekil 4.3'de Dahua kamera ve çalışma düzeneği gösterilmektedir.



Şekil 4.3: Dahua IP Kamera.

4.2.3 Siemens plc

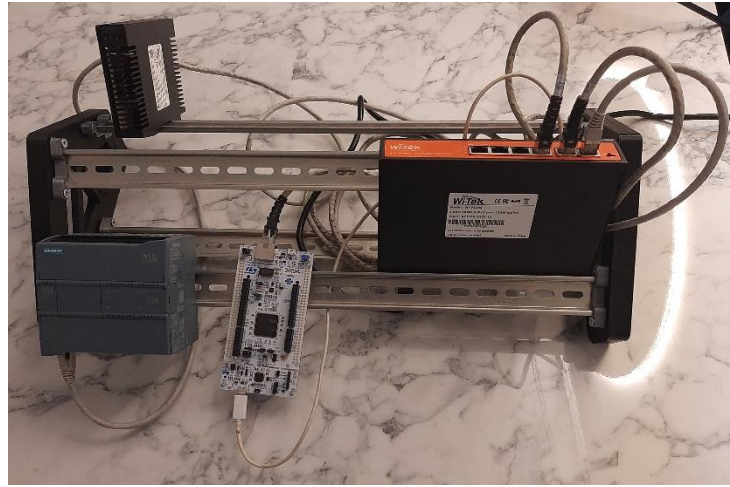
PV panellerden elde edilen görüntüleri makine öğrenmesi algoritmasının sonucun da PLC aracılığı ile temizleme sisteminle haberleşilerek sinyal gönderilir. Gönderilen bu sinyal ile temizleme sistemi harekete geçer. Sistemde SIEMENS S7 1200 plc kullanılmıştır. Görüntü işleme yazılımı ile plc profinet haberleşme protokolü üzerinden haberleşmektedir. Şekil 4.4'de siemens plc gösterilmektedir.



Şekil 4.4: SIEMENS PLC.

4.2.4 Stm32f767 gömülü sistem kartı

Gömülü sistem kartı, çok protokollü haberleşme desteği sayesinde farklı endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanı sunmaktadır. USB ve CAN protokollerinin esnekliği, hem düşük seviyeli donanım kontrolü hem de yüksek hızda veri transferi gerektiren uygulamalar için avantaj sağlamaktadır. Profinet üzerinden sağlanan ağ tabanlı haberleşme, temizleme sisteminin merkezi bir kontrol birimine entegre edilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede, sistemin gerçek zamanlı izlenmesi, veri analizi ve operasyonel karar süreçleri optimize edilmektedir. Gömülü sistem kartının bu özelliklerigörüntü işleme uygulamalarında etkin bir çözüm olarak öne çıkmasını sağlamaktadır. Şekil 4.5’de Stm32f767 gösterilmektedir.



Şekil 4.5: Stm32f767.

4.2.5 Poe switch

(PoE) Power over Ethernet Switch, hem veri iletişimini hem de elektrik enerjisini aynı Ethernet kablosu üzerinden iletebilen bir ağ cihazıdır. PoE teknolojisi, özellikle IP kameralar, kablosuz erişim noktaları ve diğer ağ cihazlarının enerji ihtiyacını ayrı bir güç kablosuna gerek kalmadan karşılamayı mümkün kılar. Şekil 4.6'de görüldüğü üzere sistemizde bu özelliği için yer almaktadır.



Şekil 4.6: WiTek Poe Switch.

4.4 Metod

Bu çalışmada yapılan deneysel çalışma YOLOv4 (You Only Look Once) derin öğrenme yöntemi ile modellenmiştir.

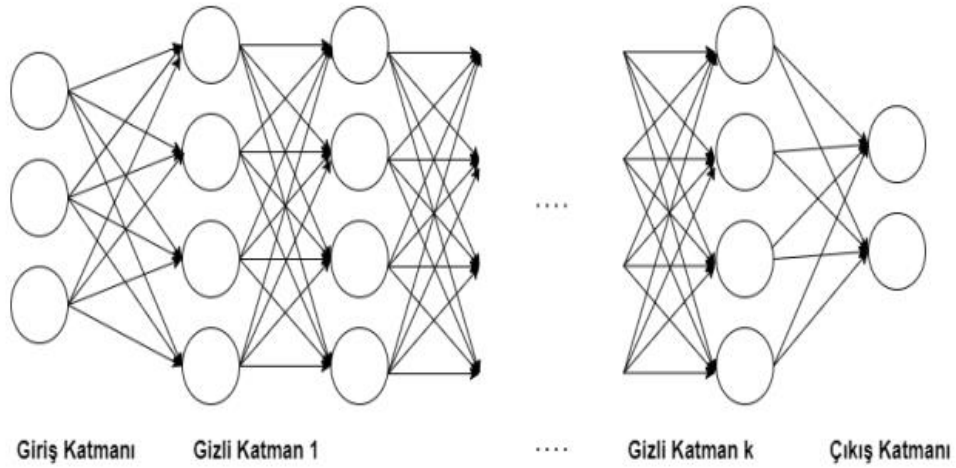
4.4.1 Yolo nesne tanıma algoritması

Yapay zekâ çalışmalarında kullanılan makine öğrenimi yöntemi yapay zekânın alt dalı olarak kabul edilmektedir [26]. Derin öğrenme de makine öğreniminin alt dalıdır. Şekil 4.7'da yapay zekâ, makine öğrenmesi ve derin öğrenmeye ait ilişki gösterilmiştir.



Şekil 4.7: Yapay zeka, makine öğrenmesi, derin öğrenme kronolojisi.

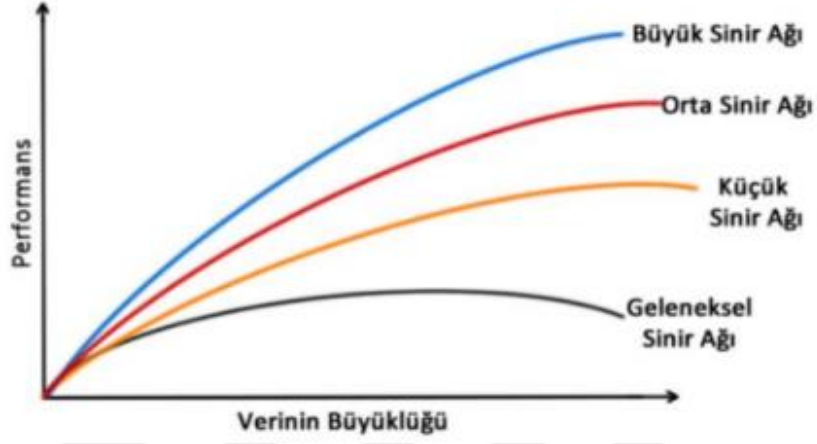
Derin öğrenme; doğrusal olmayan katmanlardan yararlanarak ses dosyalarını metne dönüştürme, görüntü analizi, görüntü sınıflandırma, verileri işleme gibi işlemler için kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerindedir. Derin öğrenme katmanlardan oluşur ve her katman önceki katmandan gelen çıktıyı kendisine girdi olmaktadır [27]. Derin öğrenme katmanlarında girdi katmanı ilk katman, çıkış katmanı ise son katmandır. Giriş ve çıkış katmanı arasındaki katmanlara da gizli katmanlar denilmektedir. Şekil 4.8’de derin ağ mimarisi gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Derin ağ mimarisi.

Derin öğrenme kaliteli sonuçlar çıkarmak için çok büyük verilere ihtiyaç duymaktadır. Öğrenme işleminin en yüksek başarı ile yapılabilmesi için sistemin eğitilmesi gerekmektedir. Derin öğrenmeyi makine öğrenmesinden ayıran fark çok katmanlı bir

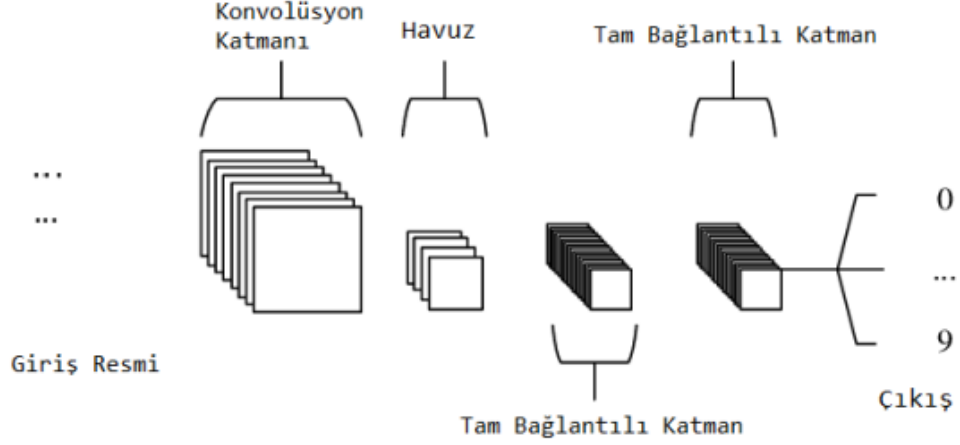
sinir ağına sahip olmasıdır. Öğrenme aşaması katmanlardan oluşur. Daha az ayırt edici özellikler alt katmanlarda, alt katmanların birleştirilmesiyle oluşan üst katmanlarda ise daha fazla ayırt edici özellikler bulunmaktadır [29]. Problemin durumuna göre kullanılacak sinir ağı modeli değişmektedir. Şekil 4.9’de büyük katmanlara sahip bir sinir ağından daha fazla performans alındığına dair şekil gösterilmiştir.



Şekil 4.9: Derin öğrenmede veri büyüklüğü-performans ilişkisi.

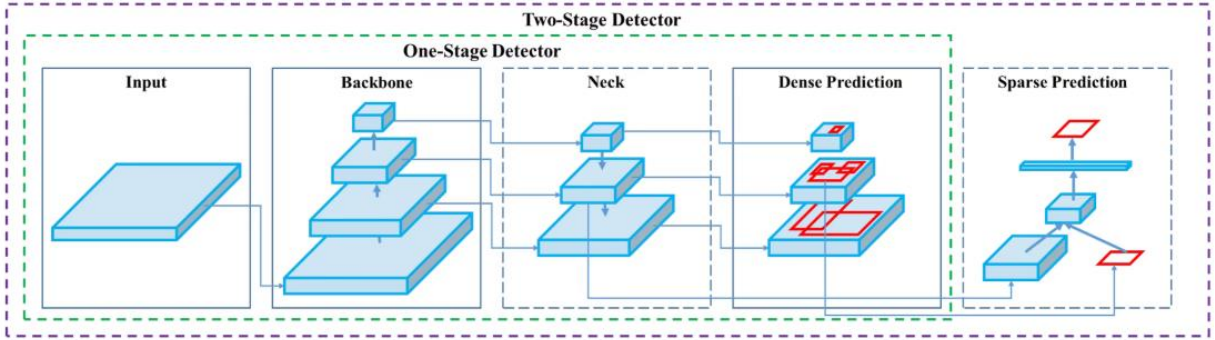
Derin öğrenmede kullanılan mimariler; konvolüsyonel sinir ağları, tekrarlayan sinir ağları, sınırlı boltzmann makineleri, uzun kısa vadeli bellek ağları, derin otokodlayıcılar, derin inanç ağlarıdır.

Konvolüsyonel Sinir Ağları (Convolutional Neural Network - CNN) İleri beslemeli, yapay sinir ağı tabanlı, denetimli bir sinir ağıdır. Girdi olarak verilen görüntüdeki nesnelere sınıflandırmak, kümelemek, tanımak için kullanılır [30]. Sabit boyutlu girişler ve çıkışlar vardır. Konvolüsyonel sinir ağı mimarisi tabanlı geliştirilen yöntemlere AlexNet, VGG, GoogleLeNet, Clarifai örnek verilebilir. Şekil 4.10’da konvolüsyonel sinir ağına ait mimari gösterilmiştir.

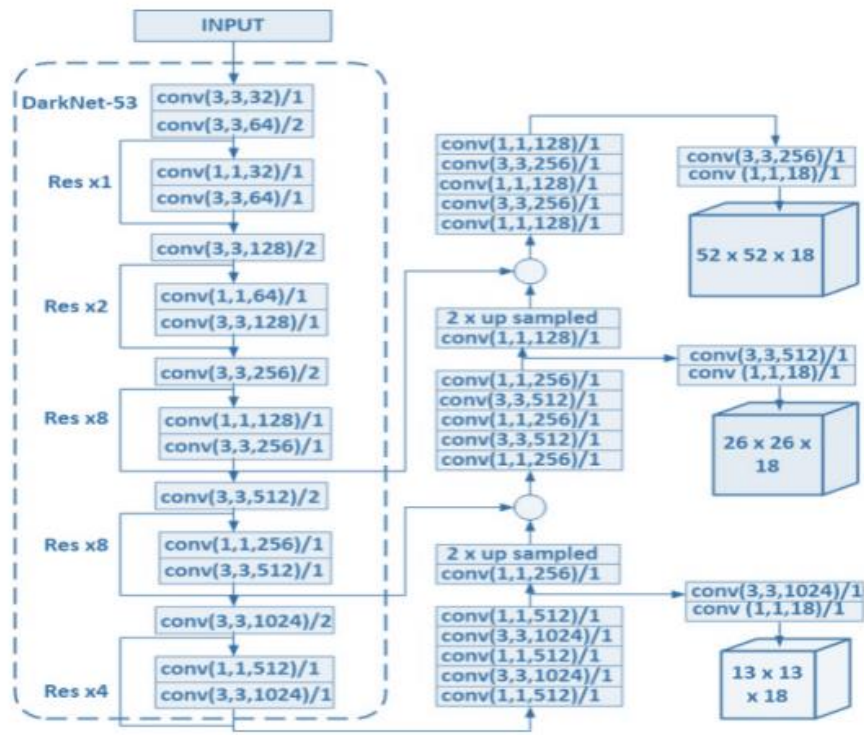


Şekil 4.10: Konvolüsyonel sinir ağı mimarisi.

Gerçek zamanlı nesne takibi için RCNN , Fast R CNN, Faster R CNN gibi uygulamalar 2015 yılında YOLO piyasaya sürülene kadar kullanılan popüler uygulamalardı. YOLO'yu diğer uygulamalardan ayıran en önemli özelliği çok hızlı olmasıydı [31]. Hız ve doğruluk arasında optimum dengeyi sağlamak için tasarlanmıştır ve bu da onu birçok uygulama için mükemmel bir seçim haline getirmiştir. Bu özelliği ile diğer uygulamaları geride bırakmıştır [32]. Şekil 4.11 Yolov4 ve Şekil 4.12 de Yolov4 mimari diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.11: Yolov4.



Şekil 4.12: Yolov4 mimari diyagramı.

Yolov4, derin sinir ağları üzerine inşa edilmiştir. Özellikle, özellik haritalarını çıkararak nesne tespiti yapan konvolüsyonel sinir ağı CNN mimarisi kullanır. Matematiksel olarak, bir CNN'in temel yapı taşları şunlardır.

Konvolüsyon (Convolution): Konvolüsyon işlemi, giriş görüntüsündeki özellikleri (kenarlar, dokular, nesnelere vb.) çıkarır. Matematiksel olarak denklem 4.1'de $I(x, y)$ giriş görüntüsü, $K(i, j)$ ise filtre çekirdeğidir.

$$f(x, y) = \sum_{i=-k}^k \sum_{j=-k}^k I(x + i, y + j) \cdot K(i, j) \quad (4.1)$$

- Aktivasyon Fonksiyonu: Aktivasyon fonksiyonları (örneğin, ReLU) doğrusal olmayanlık ekleyerek modelin daha karmaşık ilişkileri öğrenmesini sağlar. Denklem 4.2'de gösterilmiştir.

$$f(z) = \max(0, z) \quad (4.2)$$

- Havuzlama (Pooling): Maksimum ya da ortalama havuzlama, özellik haritasının boyutunu küçültürken önemli bilgileri korur. Maksimum havuzlama matematiksel olarak Denklem 4.3'te gösterilmiştir.

$$P(x, y) = \max\{I(x + i, y + j) \mid i, j \in \text{filtre boyutu}\} \quad (4.3)$$

4.4.1.1 Yolov4 mimarisinin temelleri

Yolov4, hız ve doğruluk açısından önceki versiyonları geliştirir. Mimari, üç temel bölüme ayrılır:

- Backbone

CSPDarknet53, görüntülerden temel özellikleri çıkarmak için kullanılır.

- Neck

SPP (Spatial Pyramid Pooling) ve PANET (Path Aggregation Network), çoklu özellik seviyelerini birleştirerek tespit hassasiyetini artırır.

- Head

Modelin son katmanları olan bu bölüm, bounding box koordinatları ve sınıf etiketlerini çıkarır.

4.4.1.2 Yolov4'ün matematiksel arka planı

Görüntünün içindeki anlamlı özellikler, bir sinir ağı (CSPDarknet53) tarafından çıkarılır. Bu ağ, şu işlemleri yapmaktadır;

- Görüntüdeki desenleri ve kenarları bulmak için katman katman filtreler uygular.
- Her katmanda, aktivasyon fonksiyonları (Leaky ReLU gibi) yardımıyla bu filtreler etkinleştirilir.

Modelin ne kadar doğru çalıştığını ölçen bir matematiksel ifade kullanılır. 3 ana bileşenden oluşur;

- Kutuların Doğruluğu

Gerçek kutu ile tahmin edilen kutunun ne kadar örtüştüğünü (IoU) ölçer.

- Nesne Tahmini Doğruluğu

Bir kutunun içinde gerçekten nesne olup olmadığını tahmin eder.

- Sınıf Tahmini Doğruluğu

Nesnenin doğru sınıfa ait olup olmadığını kontrol eder.

Bu üç hata birleştirilerek modelin toplam hatası hesaplanır.

YOLOv4'ün çıkış katmanı, her bir hücre için tespit kutularının konumlarını, sınıf olasılıklarını ve güven puanlarını tahmin eder.

- Koordinat Tespiti: Model, nesne kutusunun merkezi (b_x, b_y) , genişlik b_w , yükseklik b_h gibi parametreleri tahmin eder. Bu değerler, denklem 4.4'te aşağıdaki formüllerle normalize edilir.

$$\begin{aligned} b_x &= \sigma(t_x) + c_x, & b_y &= \sigma(t_y) + c_y \\ b_w &= p_w e^{t_w}, & b_h &= b_h e^{t_h} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Burada σ sigmoid fonksiyonudur ve t_x, t_y modelin tahmin ettiği ofsetlerdir.

- IoU (Intersection over Union): Model, tahmin edilen kutunun ve gerçek kutunun örtüşme oranını hesaplamak için IoU kullanır. Denklem 4.5'te gösterilmiştir.

$$IoU = \frac{x_1 y_1, x_2 y_2 \cap x_3 y_3, x_4 y_4}{x_1 y_1, x_2 y_2 \cup x_3 y_3, x_4 y_4} \quad (4.5)$$

- Kayıp Fonksiyonu: YOLOv4, tespit, sınıflandırma ve koordinat hatalarını optimize etmek için birden fazla bileşene sahip kayıp fonksiyonu kullanır. Denklem 4.6'te gösterilmiştir.

$$Kayıp = \lambda_{coord} \cdot \text{Koordinat kaybı} + \text{Objekt kaybı} + \lambda_{noobj} \cdot \text{No object kaybı} \quad (4.6)$$

YOLOv4, her bir grid hücresinde birden fazla "anchor box" kullanır. Bu kutular, farklı nesne boyutlarına uygun önceden tanımlanmış referans kutularıdır. Tahminler, bu kutulara göre ölçeklendirilir. YOLOv4, CSPNet yapısını kullanarak özellik haritalarındaki bilgiyi daha verimli bir şekilde kullanır. Bu, derin katmanlar arasında daha iyi bir bilgi akışı sağlar. Matematiksel olarak, CSPNet, giriş (X) ve kısmî özellikler (X_1, X_2) arasında şu şekilde çalışır. Denklem 4.7'te gösterilmiştir.

$$X = F(X_1) + G(X_2) \quad (4.7)$$

Burada F ve G , farklı konvolüsyon işlemlerini temsil eder.

Mozaik veri artırma ile YOLOv4, aynı anda dört farklı görüntüyü birleştirerek modelin daha genel özellikler öğrenmesini sağlar. IoU-Aware Kayıp, YOLOv4, IoU'yu doğrudan optimize ederek daha iyi tespit kutuları üretir. YOLOv4, hızlı ve doğru nesne tespiti için tasarlanmış ileri düzey bir modeldir. Matematiksel temelinde CNN, IoU, kayıp fonksiyonları ve optimizasyon yöntemleri yer alır. Bu yöntemler, modelin hem hesaplama açısından verimli hem de yüksek doğruluklu olmasını sağlar.

5. UYGULAMA

5.1 Veri Toplama

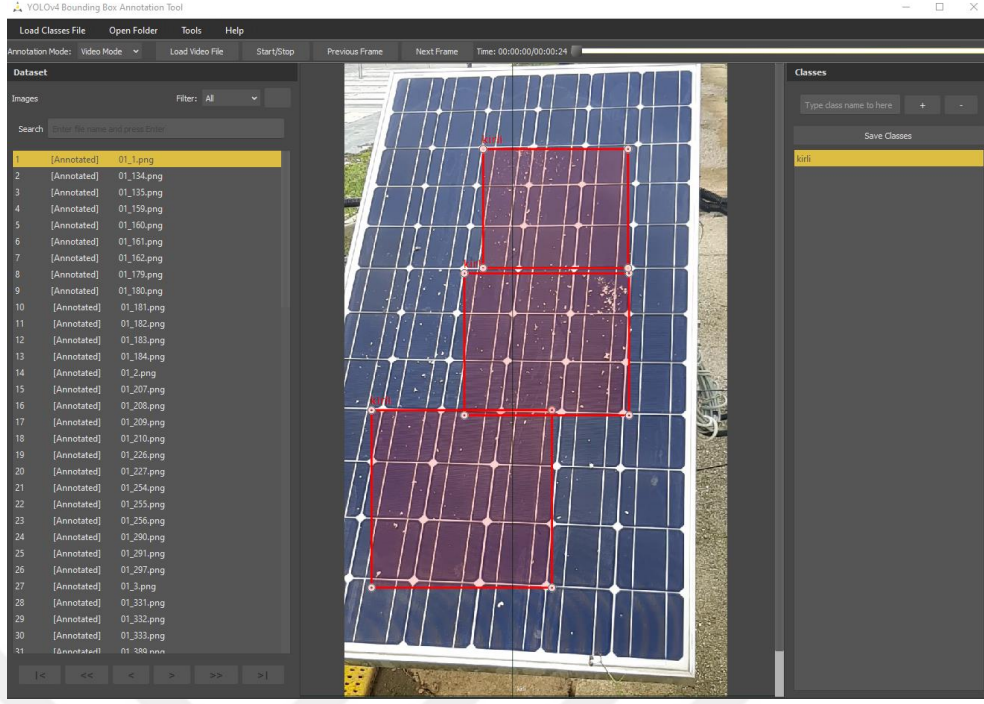
Bu çalışmada, PV panellerde meydana gelen kirliliğin görüntü işleme yöntemleriyle tespit edilmesi ve bu tespitlerin, panellerin temizlik sistemlerine sinyal aracılığıyla iletilmesini sağlayan bir sistem tasarlanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, araştırmaya özgü bir veri seti oluşturulmuştur. Bu süreçte, PV panellerden elde edilen görüntü ve video kayıtları belirli bir ön işleme aşamasından geçirilmiş ve etiketlenmiş bir veri seti elde edilmiştir. Veri setinin çeşitliliğini artırmak amacıyla, farklı türlerde kirliliği ve temiz panel görüntüleri toplanmış, ancak bu çalışmada OpenCV kullanılarak veri çoğaltma yöntemine başvurulmamıştır. Toplanan görüntüler, "kirli panel" ve "temiz panel" olarak etiketlenerek veri setine dahil edilmiştir. Elde edilen veri seti, %80 oranında eğitim ve %20 oranında test verisi olacak şekilde iki gruba ayrılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, derin öğrenme yöntemlerinden biri olan YOLOv4 modelinin tasarımı ve konfigürasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu model, panellerin kirlilik durumunun tespit edilmesinde kullanılmak üzere optimize edilmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise sistem eğitilerek, sisteme entegre edilebilecek bir evrişimsel sinir ağı modeli elde edilmiştir.

Bu yöntemle, PV panellerin kirlilik durumları etkili bir şekilde analiz edilmiş ve otomatik temizlik sistemleri için kullanılabilir bir çözüm geliştirilmiştir.

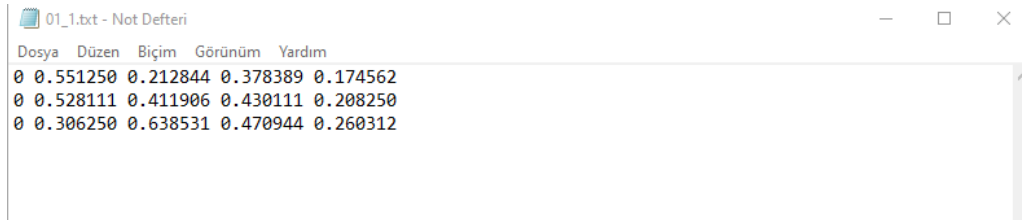
5.2 Verilerin Etiketlenmesi

Veri setinin etiketleme aşamasında, her bir görsele sıralı olarak 1'den başlayıp veri setinin sonuna kadar devam eden bir adlandırma sistemi uygulanmıştır. YOLO algoritmasına uygun etiketleme işlemini gerçekleştirebilmek için kullanılacak çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. Bu yazılımlar arasında Supervise.ly, Hasty.ai, CVAT, Darwin, Heartex, Scalabel, Segments.ai, Make-Sense, LinkedAI, LabelImg, RectLabel, LabelBox, LabelMe, DataTurks ve makesense.ai gibi araçlar yer almaktadır. Bu çalışmada, veri setindeki tüm görseller, belirlenen senaryoya uygun olarak Augelab Studio yazılımı kullanılarak etiketlenmiş ve bu işlem Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Veri etiketleme işlemi.

Her bir görüntüye ait tespit edilen koordinat bilgileri ve görüntüde bulunan nesne sayısı, görüntünün adıyla aynı olacak şekilde oluşturulan bir metin dosyasına kaydedilmektedir. Şekil 5.2’te görüldüğü üzere, her bir görüntüye ait etiket bilgilerini içeren .txt uzantılı dosyalar oluşturulmuş ve düzenlenmiştir. Etiketlenen görüntülere ait uzunluk (dH) ve genişlik (dW) bilgileri ile birlikte, görüntü üzerinde etiketin konumunu ifade eden (X_0 , X_1 , Y_0 , Y_1) koordinatları ve etiket değeri, görüntüyle aynı ada sahip .txt uzantılı metin dosyasına kaydedilmektedir. Ayrıca, veri setindeki tüm örnekler üzerinde normalizasyon işlemi gerçekleştirilerek, etiketli veri seti oluşturulmuştur. Bu işlem, veri setini sistemde kullanılacak YOLO mimarisi için uygun bir formata dönüştürmek amacıyla yapılmıştır.



Şekil 5.2: Etiketli veri örneği.

Normalizasyon işleminin, verilen koordinatların (X_0, X_1, Y_0, Y_1) 0 ile 1 arasında bir aralığa indirgenmektedir. Bu işlem genellikle görüntü işleme ve derin öğrenmede, etiketlenen nesne koordinatlarını bir görüntü boyutuna bağımlı olmaktan çıkarıp ölçeklenebilir hale getirmek için kullanılır.

- Merkez Nokta Koordinatları (X, Y), denklem 5.1'te gösterilmiştir.

$$X = \frac{(X_0+X_1)}{2} \quad , \quad Y = \frac{(Y_0+Y_1)}{2} \quad (5.1)$$

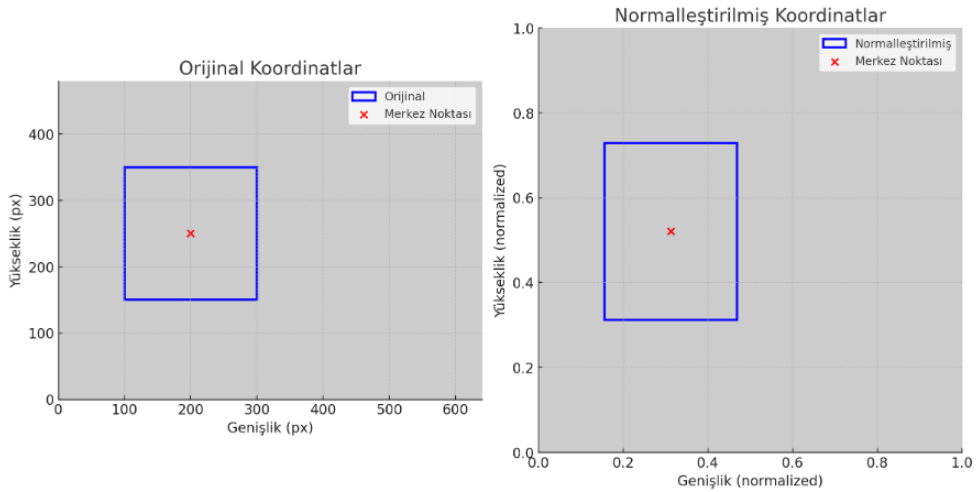
- Genişlik ve Yükseklik (W, H), denklem 5.2'te gösterilmiştir.

$$W = X_1 - X_0 \quad , \quad H = Y_1 - Y_0 \quad (5.2)$$

- Normalizasyon, bu koordinatlar genellikle görüntü genişliği W_{img} ve yüksekliği H_{img} ile normalize edilir. Denklem 5.3'te gösterilmiştir.

$$X_{norm} = \frac{X}{W_{img}} \quad , \quad Y_{norm} = \frac{Y}{H_{img}} \quad , \quad W_{norm} = \frac{W}{W_{img}} \quad , \quad H_{norm} = \frac{H}{H_{img}} \quad (5.3)$$

Bu formül ile, etiketlenen koordinatların ve boyutların görüntü boyutlarından bağımsız hale getirilmesini sağlayarak, verilerin evrensel bir ölçekte temsil edilmesine olanak tanır.

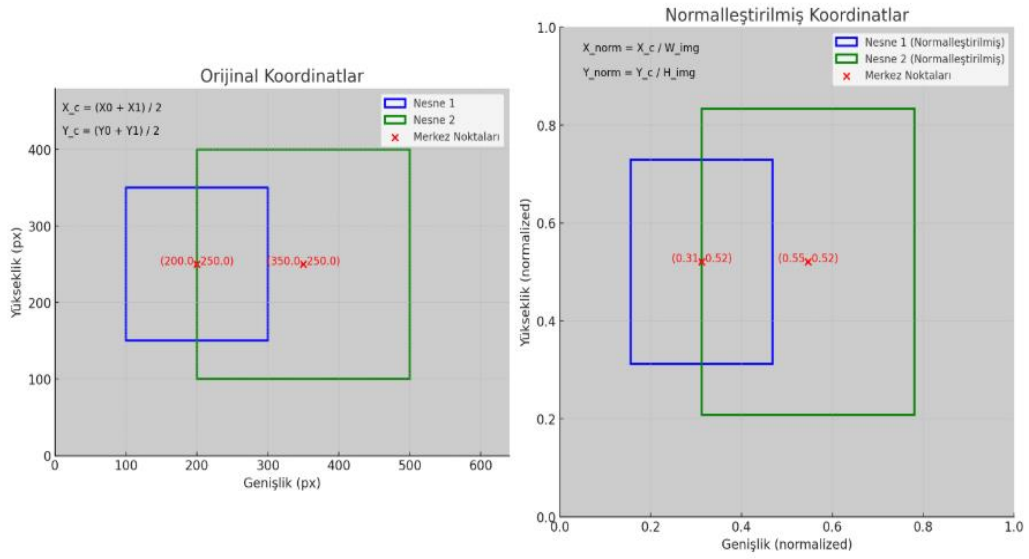


Şekil 5.3: Orijinal ve normalleştirme koordinatları.

Şekil 5.3'te sol tarafta orijinal koordinatlar, sağ tarafta ise normalleştirilmiş koordinatlar gösterilmiştir.

Orijinal Koordinatlar: Mavi çerçeve, nesnenin genişlik ve yüksekliğini, kırmızı nokta ise nesnenin merkezini ifade eder. Koordinatlar, görüntünün piksel boyutlarına bağlıdır.

Normalleştirilmiş Koordinatlar: Tüm koordinatlar 0-1 aralığına indirgenmiştir. Mavi çerçeve ve kırmızı nokta yine nesnenin boyut ve merkezini temsil eder, ancak artık bu değerler bağımsızdır ve farklı çözünürlüklerde aynı ölçekte çalışabilir.



Şekil 5.4: Koordinatların matematiksel formülü.

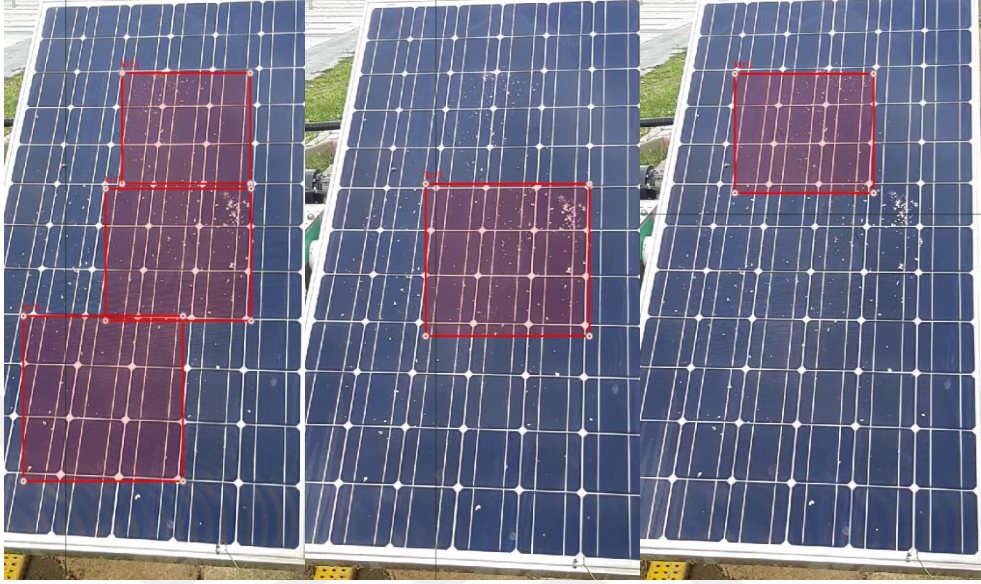
Koordinat ve Boyut Etiketleri; Her iki grafikte de nesnelerin merkez noktaları kırmızı renkle işaretlenmiş ve koordinat değerleri belirtilmiştir. Orijinal grafikte piksel cinsinden, normalleştirilmiş grafikte 0-1 aralığında koordinatlar verilmiştir.

Karşılaştırma için İkinci Nesne; İkinci bir nesne eklendi (yeşil çerçeve). Her iki grafikte de normalizasyonun bu nesne üzerindeki etkisi görülebilir.

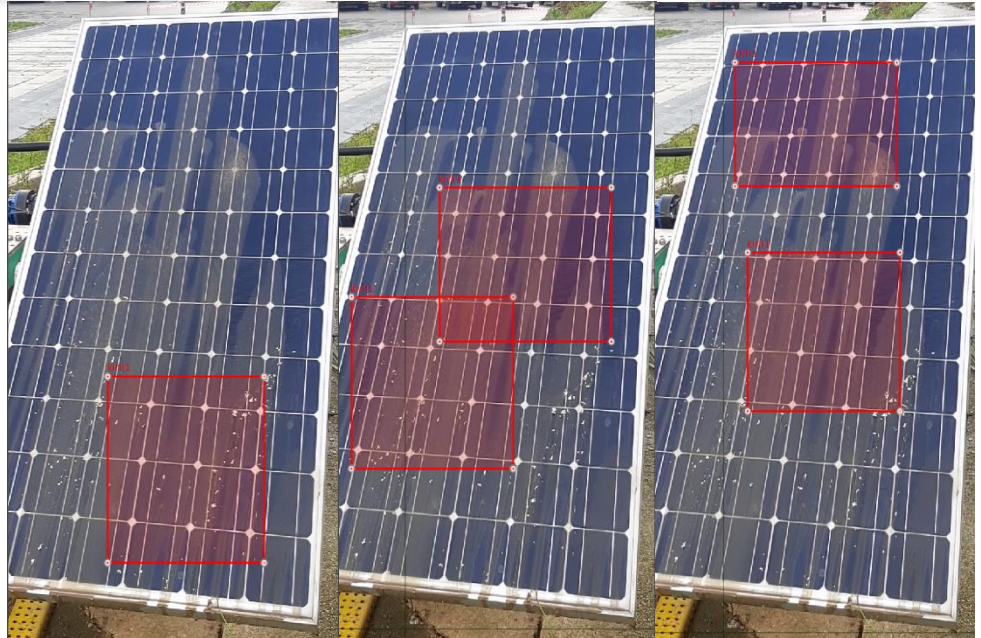
Matematiksel Açıklamalar; Her iki grafikte, işlem formülleri grafik üzerinde belirtilmiştir.

Kullanılmış olan koordinatların matematiksel formülü C++ kodu yazılarak EK-A'da sunulmuştur.

Tozlu panellerin etiketlenmesi, Şekil 5.5’de gösterilmiştir. Tozlu ve kirli panellerin etiketlenmesi, Şekil 5.6’da gösterilmiştir. Sağ bölgesel kirli panellerin etiketlenmesi, Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.5: Tozlu panellerin etiketlenmesi.

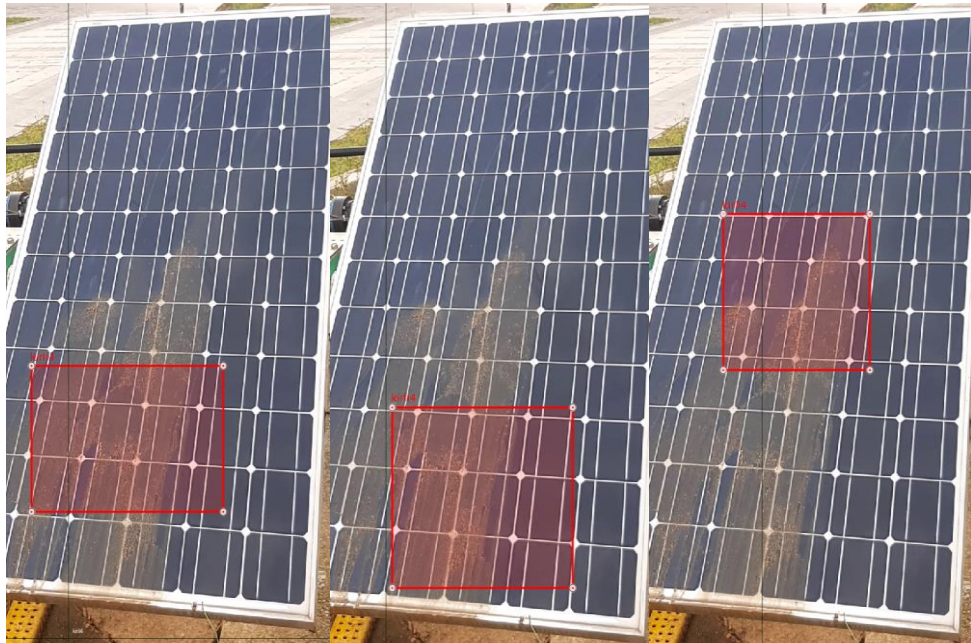


Şekil 5.6: Tozlu ve kirli panellerin etiketlenmesi.

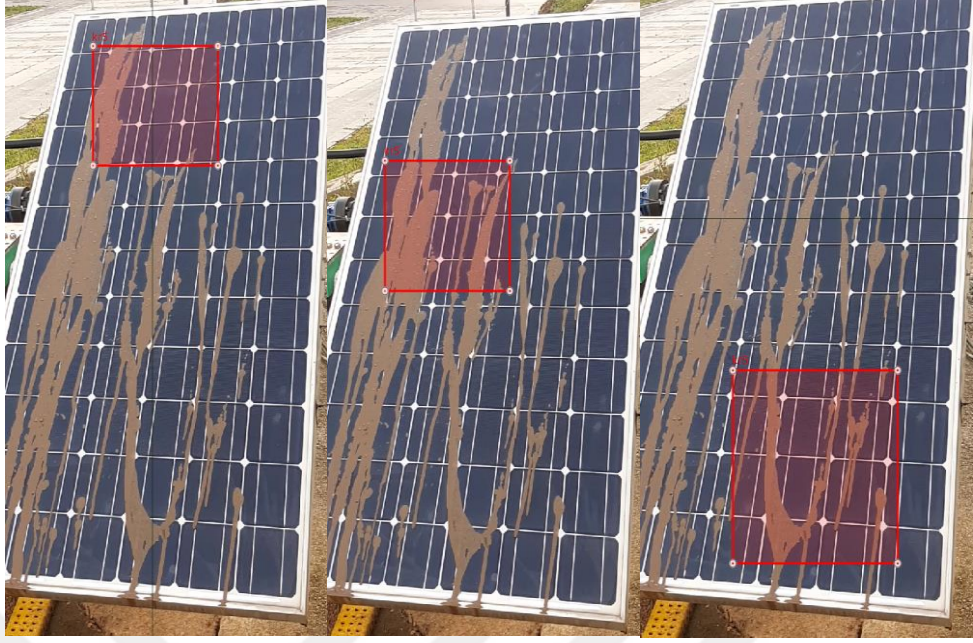


Şekil 5.7: Sağ bölgesel kirli panellerin etiketlenmesi.

Şekil 5.8’de orta bölgesel kirli panellerin etiketlenmesi gösterilmiştir. Şekil 5.9’da çamurlu panel etiketlenmesi gösterilmiştir. Şekil 5.10’da az çamurlu panellerin etiketlenmesi gösterilmiştir.



Şekil 5.8: Orta bölgesel kirli panellerin etiketlenmesi.

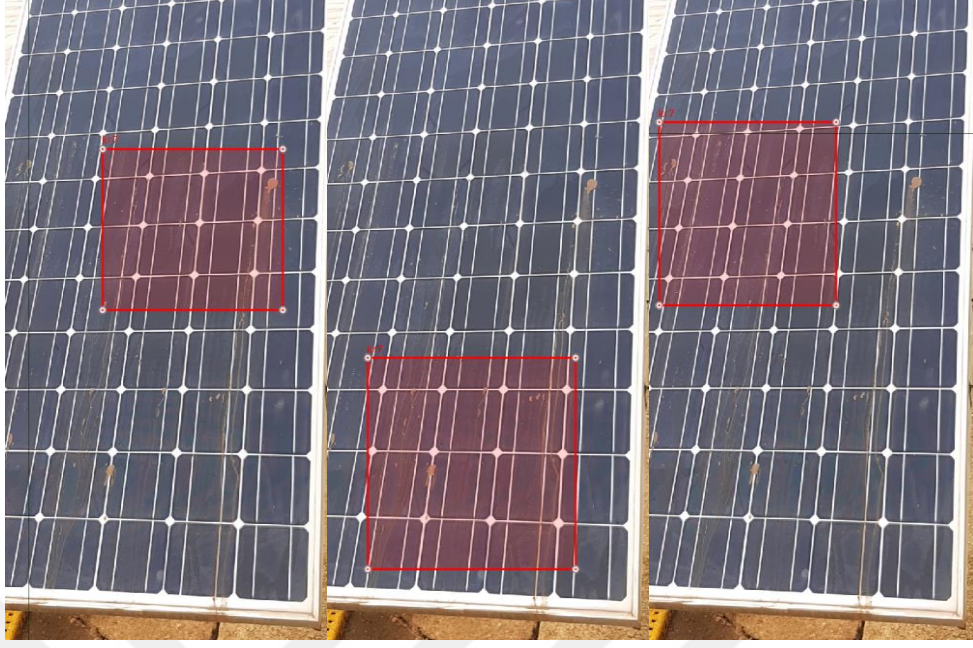


Şekil 5.9: Çamurlu panellerin etiketlenmesi.

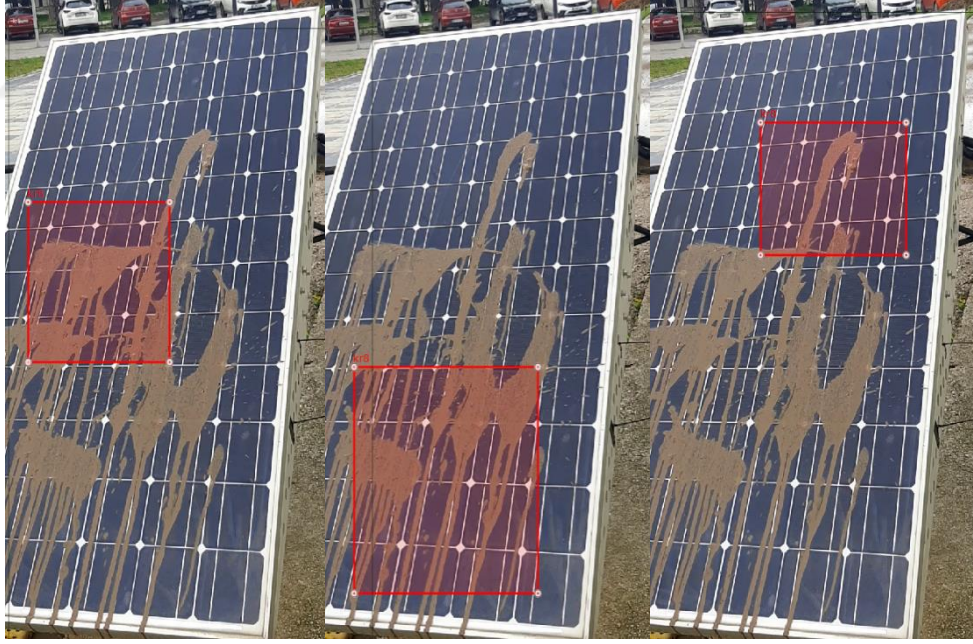


Şekil 5.10: Az çamurlu panellerin etiketlenmesi.

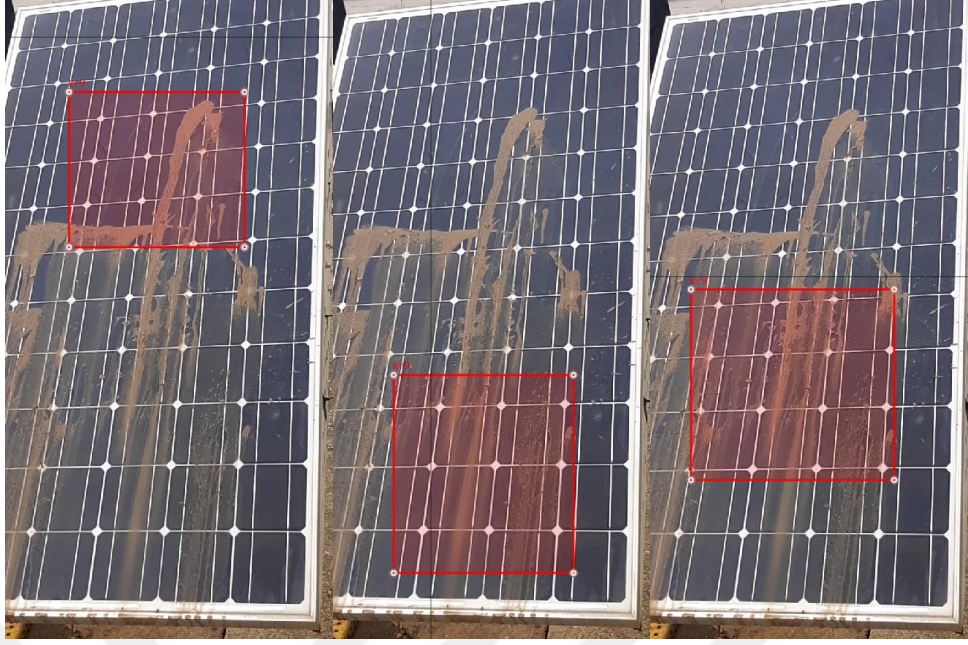
Az kirli panellerin etiketlenmesi Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Bölgesel çamurlu panellerin etiketlenmesi şekil 5.12’te gösterilmiştir. Bölgesel çamur sulu panellerin etiketlenmesi şekil 5.13’te gösterilmiştir.



Şekil 5.11: Az kirli panellerin etiketlenmesi.



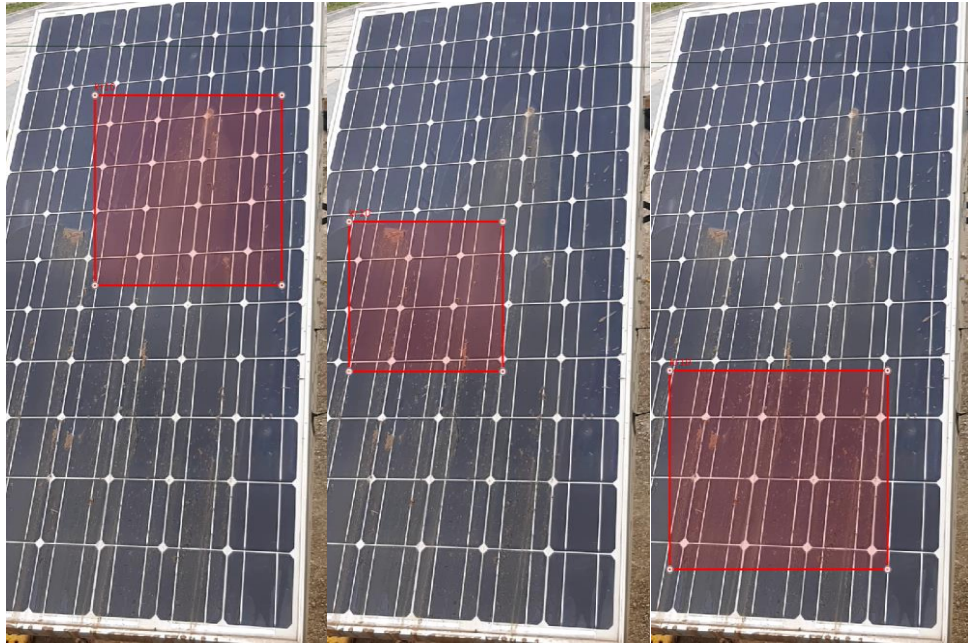
Şekil 5.12: Bölgesel çamurlu panellerin etiketlenmesi.



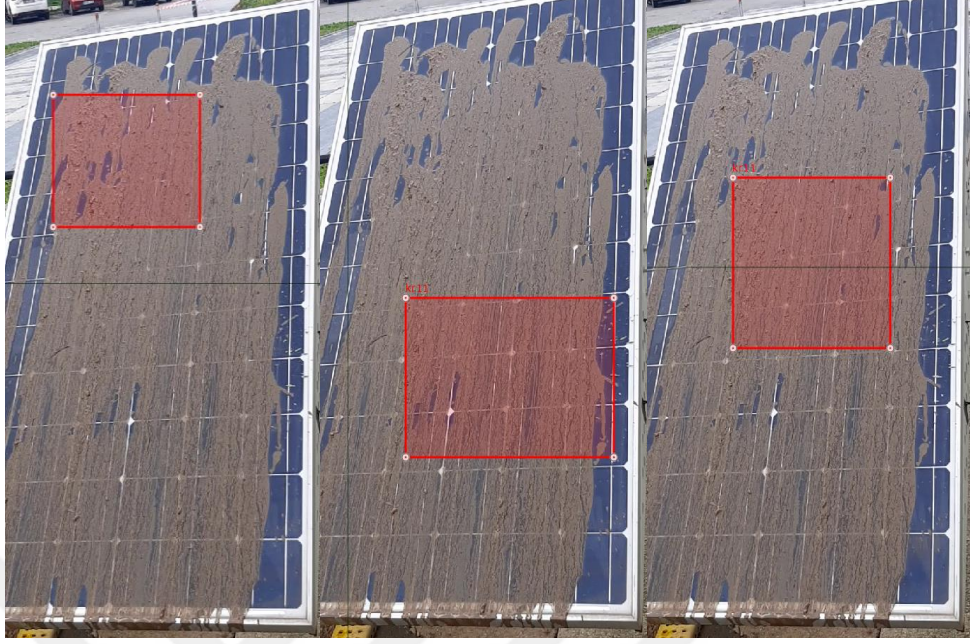
Şekil 5.13: Bölgesel çamur sulu panellerin etiketlenmesi.

Tozlu ve kumlu panellerin etiketlenmesi şekil 5.14'te gösterilmiştir. Çok çamurlu panellerin etiketlenmesi şekil 5.15'te gösterilmiştir.

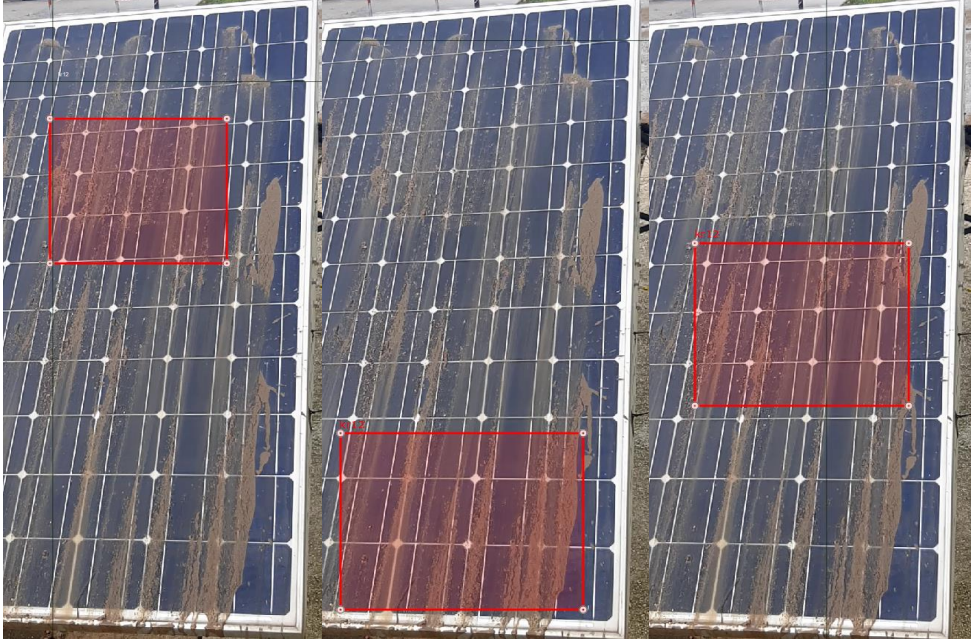
Kumlu ve çamur sulu panellerin etiketlenmesi şekil 5.16'de gösterilmiştir. Kumlu ve yağmur sulu panellerin etiketlenmesi şekil 5.17'de gösterilmiştir.



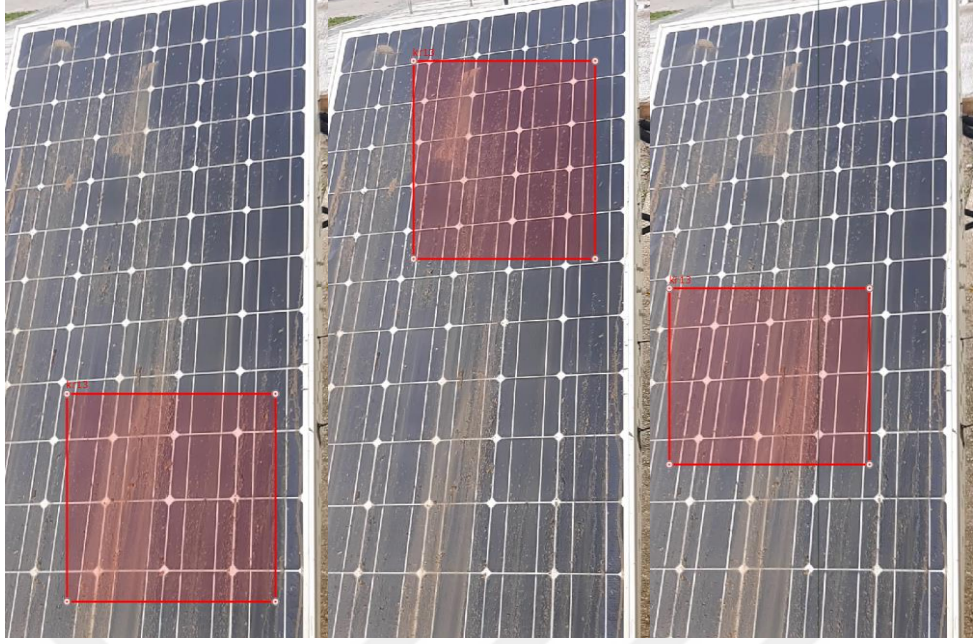
Şekil 5.14: Tozlu ve kumlu panellerin etiketlenmesi.



Şekil 5.15: Çok çamurlu panellerin etiketlenmesi.



Şekil 5.16: Kumlu ve çamur sulu panellerin etiketlenmesi.



Şekil 5.17: Kumlu ve yağmur sulu panellerin etiketlenmesi.

Sistem mimarisini YOLOv4 modeline göre derin öğrenme yöntemleri ile eğitmek için Augelab studio tercih edilmiştir. Bu çalışmada bir yapay sinir ağı çatısı (framework) olan darknet ve gerçek zamanlı nesne tespit aracı olan YOLO, üzerinde görüntü tespiti yapmak amacıyla kullanılmıştır. Veri seti olarak panellerin kirliliği ve temiz panel görüntüleri toplanarak veri seti oluşturulmuş ve kullanılmıştır. Görüntüler farklı günlerde toplanarak oluşturulmuştur. Farklı sınıfları oluşturabilmek için rüzgarlı, tozlu günlerde ve yağmurlu günlerde ise yağmur yağdıktan sonra görüntüler toplanmıştır. Veri seti YOLO formatına uygun bir şekilde Augelab studio'da etiketlenmiştir. 1600 görüntü eğitim 400 görüntü ise test için kullanılmıştır. Veri seti, temiz ve kirliliği PV panel görüntülerinden oluşmuş, %80 oranında eğitim ve %20 oranında test verisi olacak şekilde düzenlenmiştir. 13 ayrı farklı tipte kirlilik çeşiti bulunmaktadır. Test için ortalama olarak her bir kirliliği sınıftan 15 adet görüntü alınarak test yapılmıştır. Test için seçilen görüntüler manuel olarak seçilmiştir. Derin öğrenmede öğrenme başarısı olasılık modeli olan keskinlik (precision) değeri üzerinden hesaplanmaktadır. Bu skala için bazı temel kavramlar vardır. Bu kavramlardan dördü gerçekleşen öğrenmeyi test verisi üzerinde uygulandığında elde edilen tahmini sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Bu kavramlar doğru pozitif (TP), yanlış pozitif (FP), doğru negatif (TN) ve yanlış negatif (FN) değerleridir.

	Etiketlenmiş Durum		
	Toplam Durum	Etiket Pozitif	Etiket Negatif
Tahmin Edilen Durum	Tahmin Pozitif	Doğru Pozitif (TP)	Yanlış Pozitif (FP)
	Tahmin Negatif	Yanlış Negatif (FN)	Doğru Negatif (TN)

Şekil 5.18: Etiketli durum karışıklık matrisi.

Karışıklık matrisinin terimleri kullanılarak her bir örnek için Precision(kesinlik) ve Recall (duyarlılık) değerleri hesaplanır. Kesinlik (Precision) değerinin formülünü denklem 5.4’de gösterilmiştir.

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (5.4)$$

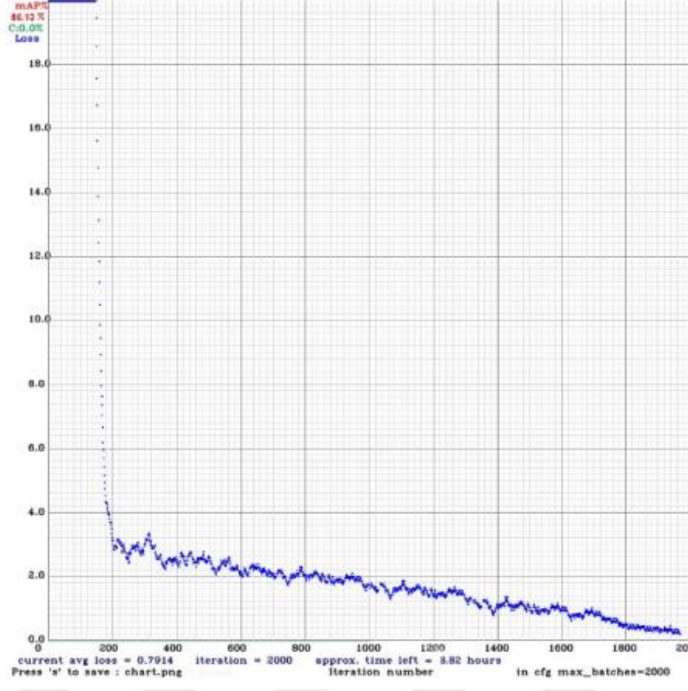
Duyarlılık (Recall) değerinin formülünü denklem 5.5’de gösterilmiştir.

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (5.5)$$

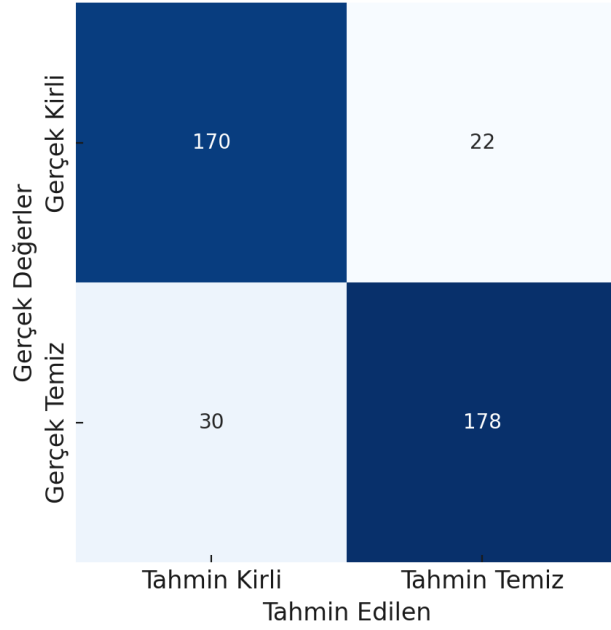
YOLOv4’ün eğitim başarısı mAP değerleri iterasyon sayısına göre çizelge 5.1’de yer almaktadır. Eğitim grafiği ise şekil 5.19’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.1: YOLO eğitim başarısı.

Tekrar (Iteration)	mAP
500	39,68
1000	75,31
1500	81,86
2000	86,13

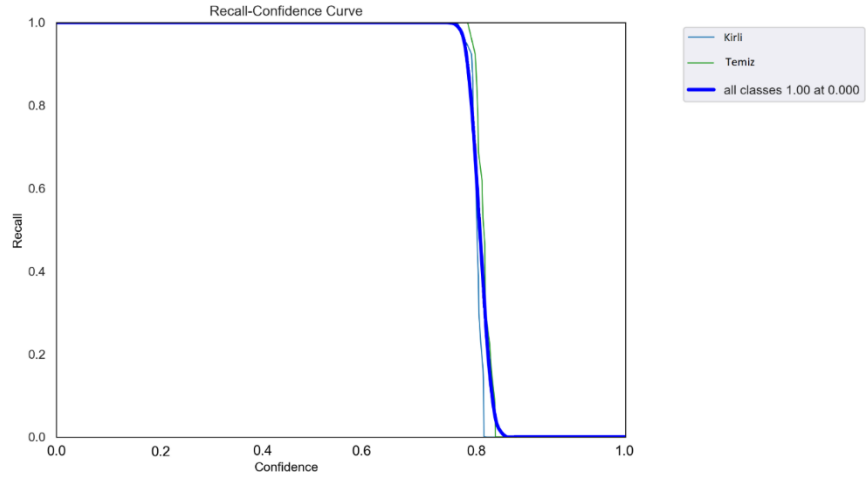


Şekil 5.19: Eğitim grafiği.

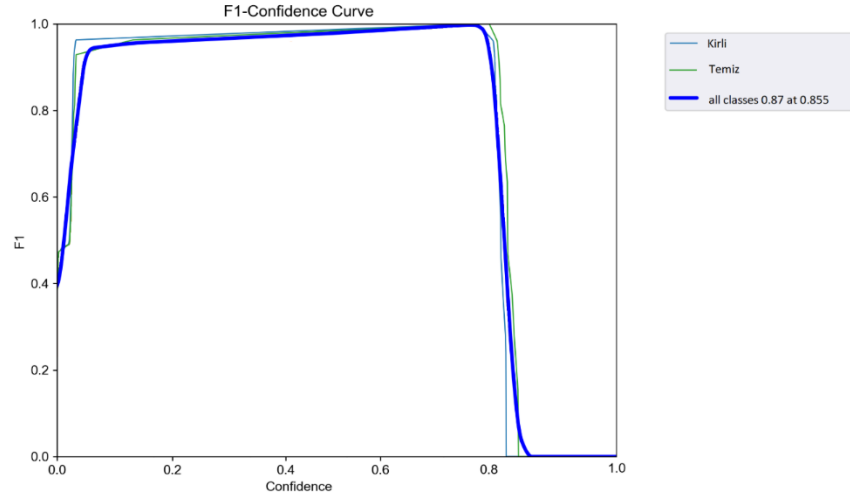


Şekil 5.20: Karışıklık matrisi.

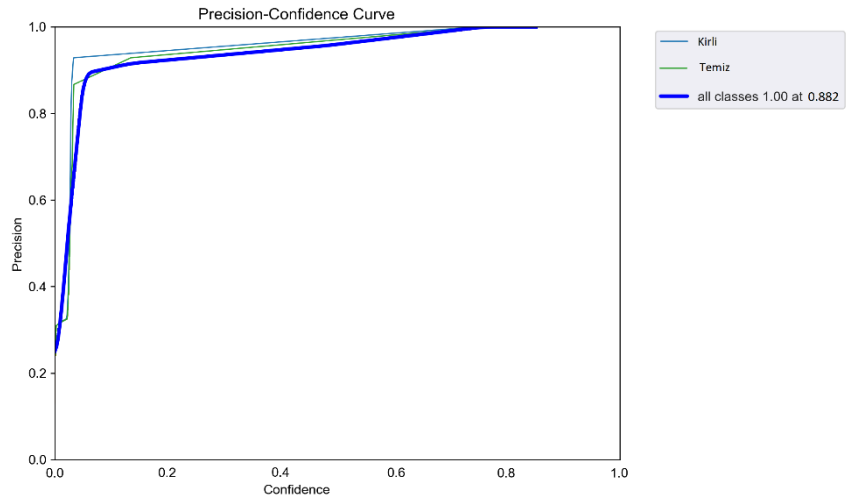
192 kirli görüntü üzerinden, 170 görüntüye kirli, 22 görüntüye ise temiz görüntü test sonucunda görülmektedir. 208 temiz görüntü üzerinden, 178 görüntüye temiz, 30 görüntüye kirli görüntü test sonucunda karışıklık matrisinde görülmektedir.



Şekil 5.21: Recall grafiği.



Şekil 5.22: F1 score grafiği.



Şekil 5.23: Precision grafiği.

400 görüntü üzerinden yapılan test sonucu karışıklık matrisi (Confusion Matrix) şekil 5.20’de gösterilmiştir. Recall grafiği şekil 5.21’de, F1 Score grafiği şekil 5.22’de, Precision grafiği şekil 5.22’de gösterilmiştir. Kirli görüntülere, temiz olarak gösterdiği görüntüler ise tozlu ve kirli panellere ait sınıf olarak görülmektedir. Çamurlu ve kumlu sınıfa ait panellerde ise böyle bir durum görülmemektedir. Kesinlik (Precision 0.885), Duyarlılık (Recall 0.85) ve (F1 Score 0.867) bu değerler modelin test setindeki performansını değerlendirmek için kullanılan temel metriklerdir.

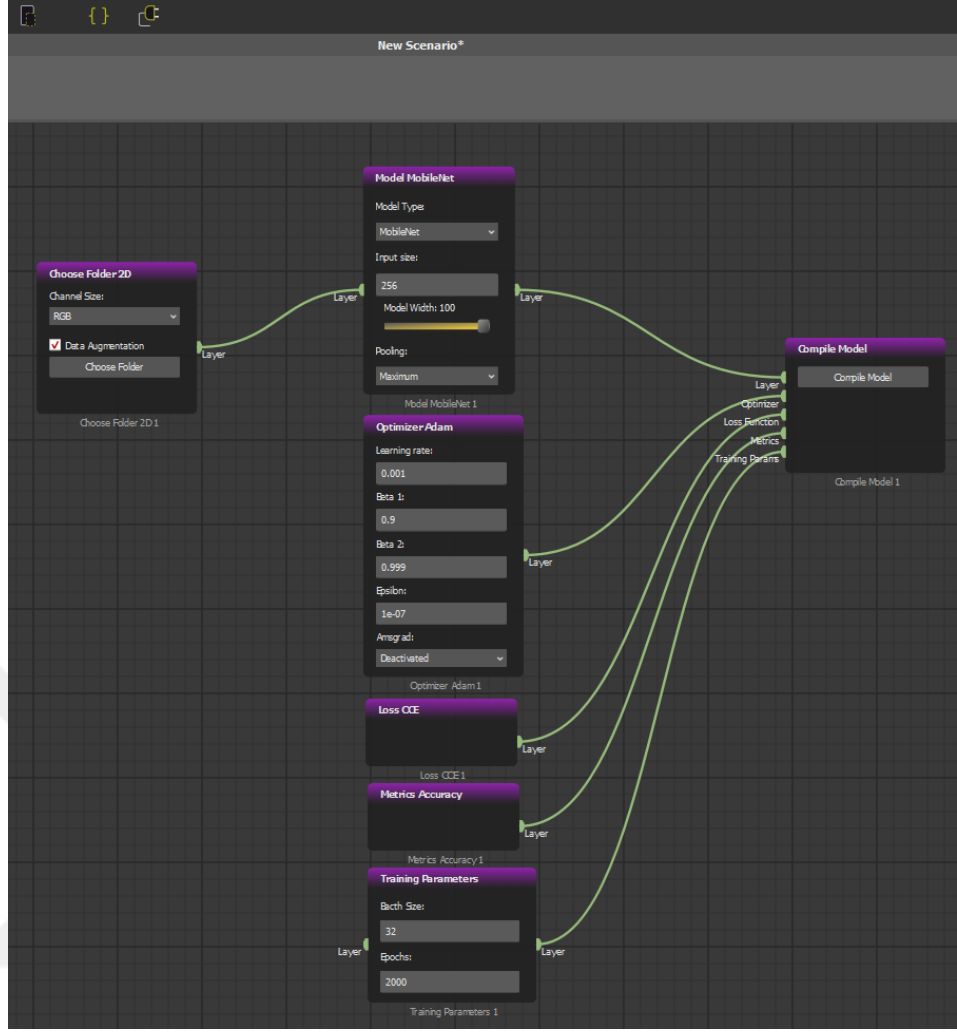
Çizelge 5.2’de test performans değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.24’de Augelab studio model ekranı gösterilmiştir. Çizelge 5.3’de Yolov4 parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.2: Test performans değerleri.

Parametreler	Değerler
Precision	%88.5
Recall	%85
F1 Score	%86.7
Accuracy	%87

Çizelge 5.3: YOLOv4 parametreler.

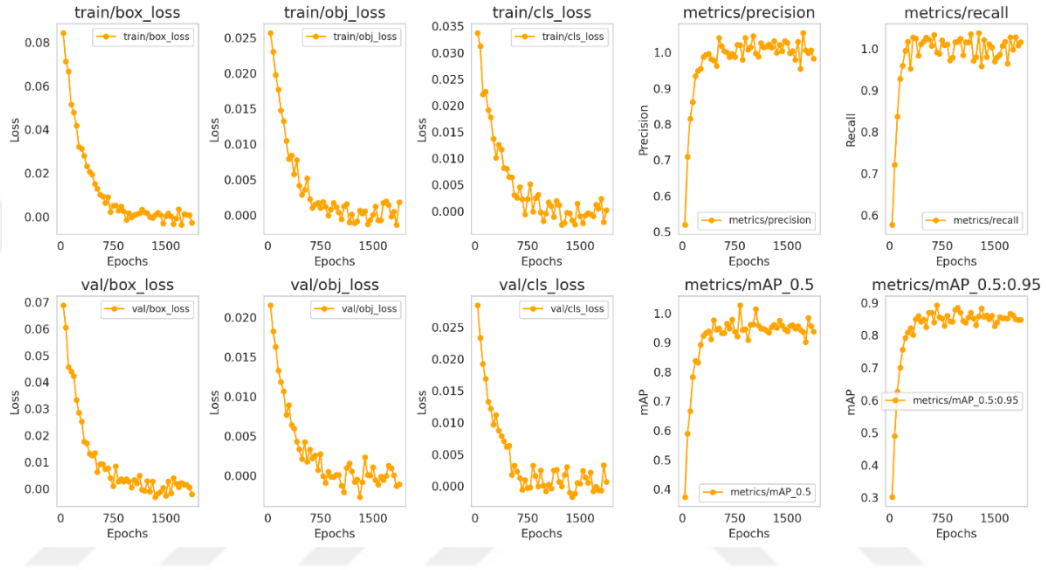
Parametreler	Değerler
Optimizasyon Algoritması	Adam
Batch Size	32
Learning Rate	0.001
Görüntü Boyutu	256 X 256
Epoch	2000



Şekil 5.24: Augelab studio eğitim ekranı.

Optimizasyon algoritması olarak Adam kullanılmıştır. Batch size 32, learning rate 0.001'dir. 256 X 256 piksel olarak görüntü boyutları oluşturulmuştur. Fakat batch size yüksek olursa 256 X 256 piksel olarak 32 tane fotoğrafı aynı anda GPU belleğine gönderiyoruz ve GPU belleğimizin hafızası buna yeterli gelmez ise memori hatası alınmaktadır. Bu durumda batch size veya fotoğrafın pikselleri düşürülmektedir. Pikselleri düşürdüğümüzde ise detaylar azaldığı için öğrenme başarısında etkilemektedir. Çalışmaları oluşturduğumuz GPU üst seviye olduğu için model oluşturma esnasında böyle bir hata ile karşılaşılmamıştır. Eğer bu tür bir hata ile karşılaşmış olsaydı, çalışmada detayların yüksek öneme sahip olması nedeniyle piksel sayısındaki azalma, modelin öğrenme başarısını olumsuz yönde etkileyecekti. Bu durumu önlemek amacıyla, piksel sayısı sabit tutulmuş ve model, batch size değeri düşürülerek oluşturulacaktı.

Bununla birlikte, PV panellerin dış ortam koşullarında çalışması sebebiyle, deneysel süreçte ek aydınlatma kullanılmamıştır. Yağışlı, çok bulutlu, havanın kapalı olduğu gün ışığının az olduğu ve gece vaktinde sistem çalıştığında ise verimi düşük olarak kararsız çalışmaktadır. Bu kararsızlığı önlemek için ışık ile deneme yaptığımızda ise paneller parladığı için kamerada panellerin kirliliği görülmediği için sistem hatalı çalıştığı görülmüştür. Eğitim grafikleri şekil 5.25'te gösterilmiştir.



Şekil 5.25: Eğitim grafikleri.

Hem train (eğitim) hem de val (doğrulama) kayıpları (box_loss, obj_loss, cls_loss) zamanla düşüş göstermekte, bu da modelin öğrenme sürecinin başarılı olduğunu göstermektedir. Hem mAP@0.5 hem de mAP@0.5:0.95 metrikleri giderek artmakta ve 0.8-0.9 seviyelerine ulaşıyor. mAP grafiklerinde erken aşamalarda hızlı bir yükselme var ancak 750 epoch sonrasında nispeten sabitleniyor. Modelin iyi bir genel doğruluk seviyesine ulaştığını gösteriyor. Precision ve Recall grafiklerinde bir aşırı dalgalanma yok ve yüksek değerlere ulaşıyorlar. Bu da modelin yanlış pozitif ve yanlış negatif oranlarının iyi dengelendiğini göstermektedir. Grafiklerde eğitim kayıpları doğrulamaya göre biraz daha düşük ve doğrulama kayıpları belirli bir noktada düşüş hızını yavaşlatmış burada çok hafif bir overfitting mevcut olabilir. Burada veri artırma (data augmentation) teknikleri kullanılmamıştır. Ama veri seti oluşturulurken fotoğraflar aynı uzaklıkta kamera açısı değiştirilerek veri seti oluşturulmuştur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, PV panellerde meydana gelen kirliliğin tespiti ve otomatik temizlik sistemleri için kullanılabilir bir çözüm geliştirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Mevcut çalışmalar PV panellerin temizliğinde periyodik veya sensör tabanlı yaklaşımlar benimsemekte olup, bu yöntemler su ve enerji israfına veya düşük hassasiyete neden olabilmektedir. Ayrıca, görüntü işleme tabanlı sistemler genellikle kirlilik seviyesini genel olarak değerlendirmekte, ancak kirli bölgelerin konum bazlı tespitinde yetersiz kalmaktadır. Bu çalışma, görüntü işleme teknikleriyle yalnızca kirli bölgeleri tespit edip temizlik robotlarına yönlendirerek bu eksiklikleri gidermektedir. Böylece, su ve enerji tüketimi optimize edilmekte, bakım maliyetleri azaltılmakta ve fotovoltaik sistemlerin uzun vadeli verimliliği artırılmaktadır. Çalışma kapsamında, YOLOv4 algoritması kullanılarak kirliliğin tespitine yönelik derin öğrenme tabanlı bir model geliştirilmiş ve bu model, özel olarak oluşturulmuş bir veri seti ile eğitilmiştir. Veri seti, temiz ve kirli PV panel görüntülerinden oluşmuş, eğitimde %80 oranında eğitim ve %20 oranında test verisi olacak şekilde düzenlenmiştir. Model, 2000 iterasyon sonunda %86,13 mAP (mean Average Precision) değerine ulaşmış ve kirlilik tespiti konusunda başarılı bir performans sergilemiştir. Test sonuçlarında ise Precision (Kesinlik Oranı) 88.5% , Recall (Duyarlılık) 85% , F1 Score 86.7% , Accuracy (Doğruluk Oranı): 87%'dir. Sistemin test doğruluğu 87%'dir. Kullanılan malzemelerin maliyeti kısa sürede geri kazanılmaktadır. Bunun başlıca nedenleri, elektrik üretimindeki artış, temizlik işlemleri için harcanan sürenin azalması ve temizlik robotlarının malzeme ömrünün uzamasıdır. Ayrıca, artan elektrik fiyatları göz önüne alındığında, panellerin verimli çalışması ekonomik açıdan daha da önemli hale gelmektedir. Kirlilik nedeniyle panellerde %60'a varan enerji kayıpları yaşanabilmekte, ancak düzenli ve etkili temizlik sayesinde bu kayıplar büyük ölçüde önlenmektedir. Bu faktörler bir araya geldiğinde, sistemin uzun vadeli verimliliğini artırarak önemli bir ekonomik kazanç sağlamaktadır. Çalışmada, görüntü işleme yöntemleri ve derin öğrenme teknikleri birleştirilerek PV panellerin kirlilik durumlarının etkili bir şekilde analiz edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, kirliliğin türüne ve yoğunluğuna göre sınıflandırılabilir bir yapı sunduğunu göstermektedir. Sistem, toz, çamur, kum gibi farklı kirlilik türlerini algılayabilmiş ve bu sayede PV panellerin temizlik süreçlerinin optimize edilmesine yönelik bir temel

oluşturmuştur. Özellikle, kirlilik yoğunluğunun tespiti ile enerji üretimindeki kayıpların doğru bir şekilde analiz edilmesine olanak tanınmıştır. Bu çalışma, yalnızca PV panellerin temizliği ile sınırlı kalmamakta, aynı zamanda enerji verimliliği açısından kritik bir öneme sahip olan bakım süreçlerini dijitalleştirme ve otomatikleştirme adına da önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, geliştirilen yöntem, hem yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğini artırmakta hem de manuel temizlik yöntemlerinin oluşturduğu zaman ve maliyet yükünü hafifletmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma, PV panellerin verimliliğini artırmaya yönelik yenilikçi bir yaklaşım sunmakla kalmamış, aynı zamanda enerji sektöründe daha geniş kapsamlı uygulamalar için de bir örnek teşkil etmiştir. Çalışmada kullanılan yöntemler ve elde edilen bulgular, gelecekte bu tür sistemlerin daha fazla yaygınlaşmasına ve geliştirilen teknolojilerin enerji üretiminde standart bir araç haline gelmesine katkı sağlayacaktır. *Saha Uygulamaları ve Testler:* Geliştirilen sistemin farklı çevresel koşullarda (örneğin, farklı iklim ve toprak yapıları) uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi, sistemin genel geçerliliği açısından önemlidir.

Veri Seti Çeşitliliğinin Artırılması: Veri setine farklı kirlilik türlerini (örneğin, yağ, su, kuş pisliği gibi) içeren görüntülerin eklenmesi, modelin genelleme kabiliyetini artırabilir. Ayrıca, veri çoğaltma yöntemleri kullanılarak daha geniş bir veri seti oluşturulabilir.

Entegrasyon Çalışmaları: Geliştirilen sistem, otomatik temizlik mekanizmaları ile tam entegrasyon sağlanarak, gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabilir hale getirilebilir. Bu bağlamda, IoT tabanlı çözümler ile temizlik sistemlerinin otomasyonu güçlendirilebilir.

Ekonomik ve Çevresel Etki Değerlendirmesi: Sistemin uygulanabilirliği kapsamında ekonomik analizler ve çevresel etkiler değerlendirilmeli, enerji üretiminde sağlanan artış ile maliyet analizi yapılmalıdır. Bu tür bir değerlendirme, sistemin uzun vadeli faydalarını ortaya koyabilir.

Kullanıcı Eğitimi ve Farkındalık: Sistemin son kullanıcılar tarafından etkili bir şekilde kullanılabilmesi için, sistemle ilgili eğitim ve farkındalık çalışmaları yapılabilir. Kullanıcı dostu bir arayüz tasarlanarak sistemin kolayca benimsenmesi sağlanabilir. Bu öneriler doğrultusunda yapılacak çalışmalar, sistemin etkinliğini artırarak PV panellerin verimliliğini optimize etmeye yönelik daha kapsamlı çözümler sunacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Adigüzel, E.** (2018). *Farklı boyutlardaki toz partiküllerinin fotovoltaik panellerin verimliliği üzerine etkisi* (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [2] **Sarver, T., Al-Qaraghuli, A., 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 and Sustainable Energy Reviews*, 22, 698-733.
- [3] **Darwish, Z. A., Kazem, H. A., Sopian, K., Al-Goul, M. A., Alawadhi, H.** (2015). Effect of dust pollutant type on photovoltaic performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 735-744.
- [4] **Malik, A. Q., Damit, S. J. B. H.** (2003). Outdoor testing of single crystal silicon solar cells. *Renewable energy*, 28(9), 1433-1445.
- [5] **Asl-Soleimani, E., Farhangi, S., 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.
- [6] **Elminir, H. K., Ghitas, A. E., Hamid, R. H., El-Hussainy, F., Beheary, M. M., Abdel-Moneim, K. M.** (2006). Effect of dust on the transparent cover of solar collectors. *Energy conversion and management*, 47(18-19), 3192-3203.
- [7] **Kaldellis, J. K., Kokala, A.** (2010) Quantifying the decrease of the photovoltaic panels' energy yield due to phenomena of natural air pollution disposal. *Energy*, 2010, 35.12: 4862-4869.
- [8] **El-Shobokshy, M. S., Hussein, F. M.** (1993). Effect of dust with different physical properties on the performance of photovoltaic cells. *Solar energy*, 51(6), 505-511.
- [9] **Karaman, B., Taşkın, S.** (2022) Development of autonomous photovoltaic panel surface cleaning robot and analyzing of cleaning interval on energy efficiency. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 28(2), 234-239.
- [10] **Moharram, K. A., Abd-Elhady, M. S., Kandil, H. A., El-Sherif, H.** (2013). Influence of cleaning using water and surfactants on the performance of photovoltaic panels. *Energy Conversion and Management*, 68, 266-272.
- [11] **Kayri, İ., Tan Bayar, M.** (2021). Toz faktörünün fotovoltaik panellerin verimi üzerindeki etkisinin araştırılması: Batman örneği. *Uluslararası Mühendislik, Doğa ve Sosyal Bilimler Sempozyumu*, (pp.88-96), 25 – 28 Kasım 2021, Batman, Türkiye
- [12] **Ghazi, A., Mustafa, F.** (2013). Dust effects on the performance of PV street light in Baghdad city. In *2013 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)* (pp. 18-22). IEEE.

- [13] **Açıköz, H., Korkmaz, D.** (2022). Elektrolüminesans Görüntülerde Arızalı Fotovoltaik Panel Hücrelerin Evrişimli Sinir Ağı ile Otomatik Sınıflandırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 34(2), 589-600.
- [14] **Lermi, S. Y., Onur, T. Ö.** (2024). Güneş Paneli Kusurlarının Derin Öğrenme Tabanlı Sınıflandırılması. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 36(2), 140-149.
- [15] **Yanılmaz, S., Türkoğlu, M., Aslan, M.** (2024). Güneş Enerjisi Santrallerinde YOLO Algoritmaları ile Hotspot Kusurlarının Tespiti. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 36(1), 121-132.
- [16] **Url-1**<<http://www.enerji.gov.tr/gunes-bilgimerkezi>>,date retrieved 27.11.2024.
- [17] **Url-3**<<http://www.epa.gov/climatechange-science/causes-climate-change>>,date retrieved 08.11.2024.
- [18] **Url-4**<<http://suntech.energy/solar-panel-types>>,date retrieved 11.11.2024.
- [19] **Deutsche Gesellschaft Fur Sonnenenergie.** (2008). *Planning and Installing Photovoltaic Systems a Guide for Installers, Architects and Engineers.* London: Earthscan, ISBN: 978- 1-84971-343-6.
- [20] **Antonio Luque, S. H.** (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering.* Wiley, Chichester, ISBN: 978-0-470-72169-8.
- [21] **Url-5**<https://www.turkcebilgi.com/g%C3%BCne%C5%9F_enerji_si_sabiti>,date retrieved 11.11.2024.
- [22] **Url-6**<<https://sbsolar.com.tr/ilk-gunes-panelini-kim-buldu-gunes-panellerinin-kisa-tarihi?srsltid=AfmBOoodPHV85vdqseYThcQUAiNf-gC67zksZ5kmqGIWibgChTKvJjWW>>,date retrieved 12.11.2024.
- [23] **Kuntman, A.** (2004). *Elektriksel Malzemeler Ve Uygulamaları.* İstanbul Üniversitesi, İstanbul, ISBN: 975-404-722-7
- [24] **Url-7**<<https://www.elektriktesisatportali.com/fotovoltaik-enerji-sistemleri-yazidizisi-21.html>>,date retrieved 13.11.2024.
- [25] **Url-8**<<https://tr.shieldenchanel.com/blogs/solar-panels?page=1>>,date retrieved 14.11.2024.
- [26] **Insights, C. B.** (2019). The race for AI: Here are the tech giants rushing to snap up artificial intelligence startups (Rapor No. 1023). New York: CB Insights Kurumsal Raporu.
- [27] **Deng, L., Yu, D.** (2014). *Deep Learning: Methods and Applications.* Boston, MA.: Now Publishers.
- [28] **Url-9**<<https://stanford.edu/~shervine/teaching/cs-230/cheatsheet-deep-learning-and-tricks>>,date retrieved 16.11.2024.
- [29] **Leijnen, S., Veen, F. V.** (2020). The neural network zoo. *In Proceedings* (Vol. 47, No. 1, p. 9). MDPI.
- [30] **O'Shea, K.** (2015). An introduction to convolutional neural networks. *arXiv preprint arXiv:1511.08458.*

- [31] **Url-10**<<https://ece-akdagli.medium.com/yolo-algoritmas%C4%B1-nedir-859862c7d5a6>>,date rerieved 17.11.2024.
- [32] **Url-9**<<https://docs.ultralytics.com/tr/models/yolov4/>>,date rerieved 17.11.2024.
- [33] **Çalışkan, D., Demir, Ö.** (2022). Derin Öğrenme Yöntemleri ile Şüpheli Davranış Tespiti. *International Periodical Of Recent Technologies İn Applied Engineering*, 3(1), 28-43.



EKLER

EK A: C++ Kodu



EK A: C++ Kodu

```
#include <iostream>
#include <iomanip> // Setprecision için

// Fonksiyon tanımlamaları
void calculateAndNormalize(
    double X0, double X1, double Y0, double Y1,
    double W_img, double H_img)
{
    // Merkez noktası ve boyut hesaplama
    double X_center = (X0 + X1) / 2.0;
    double Y_center = (Y0 + Y1) / 2.0;
    double W = X1 - X0;
    double H = Y1 - Y0;

    // Normalizasyon
    double X_norm = X_center / W_img;
    double Y_norm = Y_center / H_img;
    double W_norm = W / W_img;
    double H_norm = H / H_img;

    // Sonuçları ekrana yazdır
    std::cout << std::fixed << std::setprecision(2); // Ondalıklı basamak ayarı
    std::cout << "Orijinal Koordinatlar ve Boyutlar:\n";
    std::cout << "X_center: " << X_center << ", Y_center: " << Y_center << "\n";
    std::cout << "W: " << W << ", H: " << H << "\n\n";
    std::cout << "Normalleştirilmiş Değerler:\n";
    std::cout << "X_norm: " << X_norm << ", Y_norm: " << Y_norm << "\n";
    std::cout << "W_norm: " << W_norm << ", H_norm: " << H_norm << "\n";
}

int main() {
    // Görüntü boyutları (örnek)
    double W_img = 640.0;
    double H_img = 480.0;

    // Orijinal koordinatlar (örnek)
    double X0 = 100.0, X1 = 300.0, Y0 = 150.0, Y1 = 350.0;

    // Hesaplama ve normalizasyon
    calculateAndNormalize(X0, X1, Y0, Y1, W_img, H_img);

    // İkinci bir nesne için örnek (isteğe bağlı)
    double X0_2 = 200.0, X1_2 = 500.0, Y0_2 = 100.0, Y1_2 = 400.0;
    std::cout << "\nİkinci Nesne:\n";
    calculateAndNormalize(X0_2, X1_2, Y0_2, Y1_2, W_img, H_img);
    return 0;
}
```

ÖZGEÇMİŞ

TARANMIŞ
VESİKALIK
FOTOĞRAF

Ad-Soyadı : Emin CANTEZ

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Ön Lisans** : 2012, Balıkesir Üniversitesi, Edremit Meslek Yüksek Okulu, Mekatronik Bölümü
- **Lisans** : 2018, Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Özel sektörde mühendis olarak görevime devam etmekteyim.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Cantez, E., Şahin, H., Efe, Ö. F. (2023). Regional Guidance System for Cleaning Robots as a Result of Pollution of Solar Panels. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 22, 274-279. <https://doi.org/10.55549/epstem.1350961>

DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

-