

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



FOTOVOLTAİK PANELLERİN ÜZERİNDEKİ TOZ
YOĞUNLUĞUNUN GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE TESPİTİ

Fırat DİŞLİ

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet GEDİKPINAR

TEMMUZ-2018

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK PANELLERİN ÜZERİNDEKİ TOZ YOĞUNLUĞUNUN
GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FIRAT DİŞLİ

(142138101)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Haziran 2018

Tezin Savunulduğu Tarih : 2 Temmuz 2018

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet GEDİKPINAR (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Abdulkadir ŞENGÜR (F.Ü)

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÜSTÜNDAĞ (B.Ü)

TEMMUZ-2018

ÖNSÖZ

Bu çalışma esnasında ve eğitimin süresince her türlü destek, bilgi paylaşımı ve önerileriyle bana yol gösteren değerli danışmanım Doç. Dr. Mehmet GEDİKPINAR' a, ayrıca tez çalışmamda yardımcı olan Prof. Dr. Abdulkadir ŞENGÜR' e ve Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine (hocalarıma) teşekkürlerimi sunarım.

Fırat DİŞLİ

Elazığ-2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
SUMMARY.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ.....	IX
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. FOTOVOLTAİK SİSTEM.....	3
2.1. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri.....	3
2.2. Fotovoltaik Hücre.....	4
2.2.1. Fotovoltaik Hücre Eş değer devresi	6
2.2.2. Fotovoltaik Hücre I-V ve P-V Karakteristiği.....	7
2.2.3. Fotovoltaik modül, panel ve dizi.....	8
2.3. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri.....	10
2.3.1. Şebekeye bağlı sistemler.....	10
2.3.2. Şebekeden bağımsız sistemler.....	11
2.3.3. Hibrit sistemler.....	12
2.4. Fotovoltaik Sistemin Performansını Etkileyen Faktörler.....	13
3. BATARYALAR.....	16
3.1. Kurşun-Asit Aküler (Lead-Acid).....	17
3.1.1. Sulu tip kurşun asit aküler.....	18
3.1.2. Valf regüleli kurşun asit (VRLA) aküler.....	18
3.2. Nikel-Kadmiyum aküler (Ni-Cd).....	19
3.3. Nikel-Metal Hidrid aküler (Ni-MH).....	19
3.4. Lityum-İyon aküler.....	20
3.5. Lityum polimer aküler.....	20

4. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE DÖNÜŞTÜRÜCÜLER.....	21
4.1. DA-DA dönüştürücüler (konvertörler).....	21
4.2. DA-AA dönüştürücüler (inverterler-eviriciler).....	24
4.3. MPPT teknikleri.....	27
4.4. Şarj kontrol.....	29
5. GÖRÜNTÜ İŞLEME.....	32
5.1. Görüntü Histogramı.....	34
5.2. Parlaklık Ayarlama.....	35
5.3. Kontrast iyileştirme.....	36
5.4. Histogram Eşitleme.....	37
5.5. Boyutlandırma.....	38
5.6. Filtreleme.....	38
5.7. Eşikleme.....	39
6. SİSTEM TASARIMI ve DENEYSEL SONUÇLAR.....	41
6.1. FV Sistemin Tasarımı.....	41
6.2. Elektriksel Ölçümler ve Görüntülerin Alınması.....	43
6.3. Algoritma ve Yazılımın Geliştirilmesi.....	44
6.4. Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi.....	47
7. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME.....	53
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	58

ÖZET

Her geçen gün enerji talebindeki artış, alternatif enerji kaynaklarına yönelimi zorunlu kılmaktadır. Fotovoltaik (FV) alternatif enerji yöntemlerinin başında gelmektedir. FV sistemlerin verimliliği, sıcaklık ve panel kirliliği gibi çevresel faktörlerden önemli ölçüde etkilenmektedir. FV sistemlerin performansını arttırılmasında olumsuz etkenlerin tespiti önemlidir.

Bu tez çalışmasında FV panellerdeki kirlilik görüntü işleme teknikleri kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışma FV sistemin kurulması, elektriksel verilerin ve görüntülerin alınması, görüntü işleme yazılımının geliştirilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi olarak dört aşamada gerçekleştirilmiştir. FV sistemde biri doğal kirlenmeye bırakılan, diğeri ise referans değerler için kullanılmak üzere sürekli temiz tutulan iki adet özdeş panel kullanılmıştır. Elde edilen elektriksel verilerden yapılan hesaplamalar ile görüntü işleme sonuçları tablo ve grafiklerle ayrı ayrı gösterilmiş ve aralarındaki ilişki değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Fotovoltaik sistemler, panel kirliliği, sayısal görüntü işleme

SUMMARY

DETERMINATION OF DUST DENSITY ON PHOTOVOLTAIC PANELS BY IMAGE PROCESSING

The increase in energy demand every day makes the trend to alternative energy sources compulsory. Photovoltaic (PV) is one of the alternative energy methods. The efficiency of PV systems is significantly affected by environmental factors such as temperature and panel pollution. It is important to identify adverse factors in improving the performance of PV systems.

In this thesis study, it tried to determine the pollution of the PV panels by using image processing techniques. The study was carried out in four stages as the establishment of the PV system, obtain of electrical data and images, the development of image processing software and the evaluation of the results. In the PV system, two equal panels was used one of which is left to be pollution naturally and the other is kept clean to be used for reference values. The results obtained from the calculation of electrical data with image processing results were separately shown in tables and graphs, and these results were evaluated.

Key words: Photovoltaic systems, panel pollution, digital image processing

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 2.1. FV sisteminin blok şeması	3
Şekil 2.2. FV hücrenin içyapısı	4
Şekil 2.3. FV hücrenin tek diyotlu eşdeğer devresi	7
Şekil 2.4. Fotovoltaik hücrenin (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi	7
Şekil 2.5. FV hücrenin seri bağlanması	8
Şekil 2.6. FV hücrelerinin paralel bağlanması	9
Şekil 2.7. Paralel ve seri bağlantının kombinasyonu	9
Şekil 2.8. FV sistem birimleri, a) FV hücre, b) modül, c) panel ve d) dizi	10
Şekil 2.9. Şebekeye bağlı FV sistemin genel bağlantı şeması.....	11
Şekil 2.10. Şebekeden bağımsız FV sistemin genel bağlantı şeması.....	12
Şekil 2.11. Güneş ve rüzgâr enerjilerini kullanan hibrit sistem.....	13
Şekil 2.12. Güneş ışınlamı ile akım, gerilim ve güç ilişkisi.....	14
Şekil 2.13. Sıcaklık değişiminin, (a) akım ve gerilime, (b) güç ve gerilime etkisi	15
Şekil 4.1. Flyback konvertörün temel devre şeması.....	22
Şekil 4.2. Buck (düşürücü) konvertörün devre şeması.....	23
Şekil 4.3. Boost konvertörün eşdeğer devre şeması.....	23
Şekil 4.4. Buck-Boost Konvertörün eşdeğer devresi.....	24
Şekil 4.5. Gerilim kaynaklı tam köprü evirici genel devresi.....	25
Şekil 4.6. Gerilim kaynaklı tam köprü inverterin çıkış gerilimi sinyali.....	26
Şekil 4.7. FV sistemlerde inverter çeşitleri prensipleri, (a) Merkezi inverter, (b) Dizi inverter (c) Mikro inverter	26
Şekil 4.8. Sabit akım ile şarj işleminde bataryanın akım gerilim eğrisi.....	30
Şekil 4.9. Sabit gerilim ile şarj işleminde bataryanın akım ve gerilim eğrileri.....	30
Şekil 4.10. Sabit akım-gerilimli şarj işleminde batarya akım ve gerilim eğrisi.....	31
Şekil 5.1. Fiziksel bir görüntü ve bir bölümünün sayısallaştırılmış hali.....	32
Şekil 5.2. Aynı resmin farklı çözünürlükteki durumları.....	33
Şekil 5.3. Dijital görüntü türleri.....	34
Şekil 5.4. Gri seviyeli görüntü ve histogramı.....	35

Şekil 5.5. Farklı parlaklık değerlerinde görüntüler, (a) orijinal görüntü, (b) parlaklık azaltılmış görüntü, (c) parlaklık artırılmış görüntü.....	35
Şekil 5.6. Karşıtlığı düşük ve yüksek olan görüntüler ve histogramları.....	36
Şekil 5.7. Histogram eşitleme örneği, (a) orijinal resim, (c) orijinal resmin histogramı, (b) histogramı eşitlenmiş resim, (d) işlenmiş resmin histogramı	37
Şekil 5.8. Genişletme işlemin prensibi.....	38
Şekil 5.9. Gürültülü resim ve filtrelenmiş durumları, (a) gürültülü, (b) ortalama değer filtresi, (c) medyan filtresi uygulanmış resim.....	39
Şekil 5.10. Resim eşikleme, (a) orijinal görüntü, (b) eşiklenmiş görüntü.....	40
Şekil 6.1. Tez çalışmasında kullanılan sistemin,(a)prensip şeması, (b) fotoğraf görüntüsü.....	42
Şekil 6.2. Geliştirilen algoritmanın akış şeması.....	45
Şekil 6.3. Panelin görüntüsü ve işlenmiş görüntüleri, (a) renkli görüntü (b) gri tonlu hali (c) arka plan görüntüsü.....	48
Şekil 6.4. Elde edilen grafikler (a) kirlilik etkisi, (b) kirlilik oranı.....	52

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 3.1. VRLA akülerin karakteristiği.....	19
Tablo 3.2. Ni-MH akülerin karakteristik özellikleri tablodaki gibidir.....	20
Tablo 3.3. Lityum polimer akülerin karakteristik özellikleri.....	20
Tablo 4.1. Gerilim kaynaklı tam köprü inverterin anahtar doğruluk tablosu.....	25
Tablo 4.2. Batarya gerilimi ve asit yoğunluğuna göre doluluk oranı.....	29
Tablo 6.1. Elektriksel ölçüm değerleri ve tarihleri.....	44
Tablo 6.2. Her bir algoritma adımı uygulandığında çıkan sonuçlar.....	46
Tablo 6.3. Tablo 6.2'deki ölçümlerden hesaplanan elektriksel veriler.....	48
Tablo 6.4. Kirlili panelden alınan renkli görüntü, gri tonlu hali, eşiklenmiş hali ve kirlilik oranı.....	49
Tablo 6.5. Kirlilik etkisi ve kirlilik oranı.....	52

KISALTMALAR LİSTESİ

FV	:Fotovoltaik
DA	:Doğru akım
AA	:Alternatif akım
MPP	:Maksimum güç noktası
MPPT	: Maksimum güç noktası izleyici
VRLA	:Valf regüleli kurşun asit
AGM	: Absorbet Glass Mats
RGB	:Kırmızı yeşil mavi
KE	:Kirlilik etkisi
KO	:Kirlilik oranı

SEMBOLLER LİSTESİ

kWh	:Kilowattsaat
MW	:Megawatt
cm²	:Alan
€/kW_p	:Kilowatt başına maliyet
g/m²	:Birim alanda biriken toz miktarı
kg	:Kilogram
mm	:Milimetre
g/cm³	:Yoğunluk
V_i	:Konvertörün giriş gerilimi
V_o	:Konvertörün çıkış gerilimi
D	:Görev oranı
T_{on}	:İletim süresi
T	:Peryot
Wh/kg	:Enerji yoğunluğu
P	:FV panelin gücü
V	:FV panelin çıkış gerilimi
I_{sc}	:Kısa devre akımı
V_{oc}	:Açık devre gerilimi
R_s	:Paralel kol direnci
V_D	:Diyot gerilimi
I	:FV panelin çıkış akımı
I_{SH}	:Paralel kol akımı
I_L	:Panel çıkış akımı
I_D	:Diyot akımı

1. GİRİŞ

Küresel enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Enerji ihtiyacını karşılamak için yeni enerji kaynakları bulma çalışmaları ve var olan kaynaklardan elde edilen enerji verimliliğini artırma çalışmaları sürmektedir. Enerji üretimi Yenilenebilir (Tükenmeyen) ve Tükenbilir olarak iki gruba ayrılır. Tükenebilen enerji daha çok fosil yakıtlar gibi sınırlı kaynaklardan üretilirken, yenilenebilir enerji türleri ise güneş, rüzgar, suyun potansiyel enerjisi gibi dünyanın kendi doğal olaylarından üretilir [1]. Enerjinin üretimi ve dönüşümü metotlarının çıktıları (doğa kirliliği, karbon ayak izi vb.) göz önüne alındığında, olumsuz sonuçları daha az olan yenilenebilir enerjiye yönelim her geçen gün artmakta ve bu alandaki çalışmalar önem kazanmaktadır [1,2].

Elektrik enerjisinin üretiminde verim, maliyet ve kaynağın kolay bulunması gibi faktörler göz önüne alındığında yenilenebilir kaynak olarak, rüzgar ve güneş enerjisi öne çıkmaktadır. Özellikle güneş enerjisi temiz, gürültüsüz, güvenilir ve tükenmeyen bir ana kaynak olmasının yanı sıra son zamanlardaki destek ve yatırımlarla daha etkin hale gelmiştir. Güneş enerjisi Fotovoltaik (FV) paneller aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir [3].

FV panellerinin verimli çalışmasını bazı çevresel etmenler olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle panelin cam yüzeyi toz, çamur ve karbon kaynaklı atıklar (baca gazları ağırlıklı atıklar) tarafından kirletilmektedir. Bu kirlilik FV panelinin üretme performansı düşürmekte ve verimi azaltmaktadır. Bu azalma da kayıpları arttırarak üretilen gücü düşürmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalarda 1 MW'lık bir FV sisteminin kirlilik etkilerinden dolayı enerji kaybı ortalama olarak yıllık 89000 kWh olabilmektedir. Özellikle kayıplar belli zaman periyotlarında artarken, bazı periyotlarda ise oldukça alt değerlere inebilmektedir [4,5]. Kaldellis ve Kokala' nın yapıları çalışmada, panel yüzeyinde düşük oranda toz birikmesi olsa bile ($\approx 1 \text{ g/m}^2$) yıllık bazda 40 €/kW_p kayıp olabileceğini ifade etmektedirler [6].

Görüntü işleme teknikleri, resimlerin dijital ortama aktarılmasında, üzerlerindeki bozuklukların iyileştirilmesinde ve daha kaliteli resimler elde edilmesinde kullanıla bilindiği gibi nesne tanımlama, hareket algılama gibi sayısız uygulamada kullanılabilir. Fiziksel ortamdan alınan resim veya videoların kullanıldığı her alana uygun çözümlerin üretir. Görüntü işleme; radar uygulamaları, hava tahmini, medikal görüntüleme, astronomi, savunma sanayisi, kalite kontrolü gibi alanlarda kullanılmasıyla birlikte her geçen gün kullanım alanı genişlemektedir [7,8]. FV uygulamalarda görüntü işleme, bir sistemin kurulu gücünü hesaplamada ve termal kameralar kullanarak sistemdeki arızalı panelin tespitinde kullanılmaktadır [9,10].

Bu tez çalışmasında panel görüntüleri işlenerek toz yoğunluğunun tespiti gerçekleştirilecektir. Elektriksel veriler özdeş iki panelden elde edilecektir. Panellerden biri doğal kirlenmeye bırakılırken diğer panel temiz tutulacaktır. Elde edilen elektriksel veriler ile görüntü işleme sonuçları karşılaştırılacaktır. Görüntü işleme analizi Matlab ortamında yapıp bu işlem için aşağıdaki dört adımlı algoritma uygulanacaktır;

1.Adım: Arka plan resmi çıkarımı için panelin referans görüntüsü alınacak.

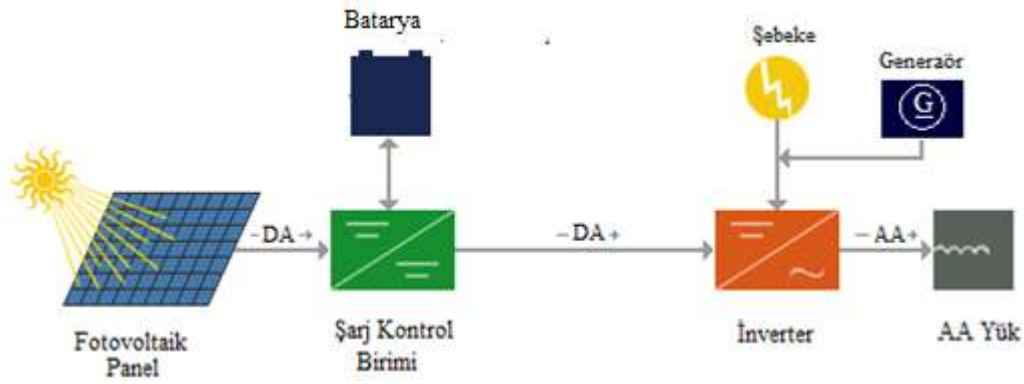
2.Adım: Kameradan alınan görüntü bazı ön işlemlerden (normalizasyon, filtreleme vs.) geçirilerek kullanılmaya elverişli hale getirilecektir.

3.Adım: Kullanılmaya hazır olan görüntü ile referans görüntü farklı alınıp daha sonra eşikleme yöntemi ile fark görüntü 2'lik görüntüye dönüştürülecektir.

4.Adım: Her bir “1” toplamı, kirli alanı gösterecektir. Bu alan bütün panel alanıyla oranlanarak kirlilik oranı bulunacaktır.

2. FOTOVOLTAİK SİSTEM

Fotovoltaik (FV) sistemler, doğru akım (DA)/alternatif akım (AA) ile çalışan yükü beslemek için, güneş ışınımından elektrik enerjisi üretirler. Bu sistemlerde güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için FV paneller kullanılır. FV panellerden DA çıkış olarak alınır ve DA ile çalışan yükler direk olarak beslenebilir. Güneş ışınımı günün farklı zamanlarında ve mevsimsel şartlara göre değişiklik gösterir. Buna bağlı olarak elektrik üretimi yükleri beslemekte yetersiz kalabilir/elektriksel enerji üretimi fazla olabilir. İhtiyaç fazlası olan elektrik enerjisi bataryalarda depolanır. Elektrik enerjisi üretiminin yetersiz kaldığı zamanlarda bataryalarda depolanan enerji kullanılarak yükler sürekli beslenilebilir. AA ile çalışan bir yük beslenileceği zaman doğru akımı alternatif akıma çevirecek bir inverter (evirici) kullanılır [11]. Şekil 2.1’de bir FV sisteminin blok şeması verilmiştir. Verilen sistemde genel olarak FV panel, batarya, şarj kontrol birimi, inverter ve belirli amaca yönelik yükler bulunabilir [12].



Şekil 2.1. FV sisteminin blok şeması

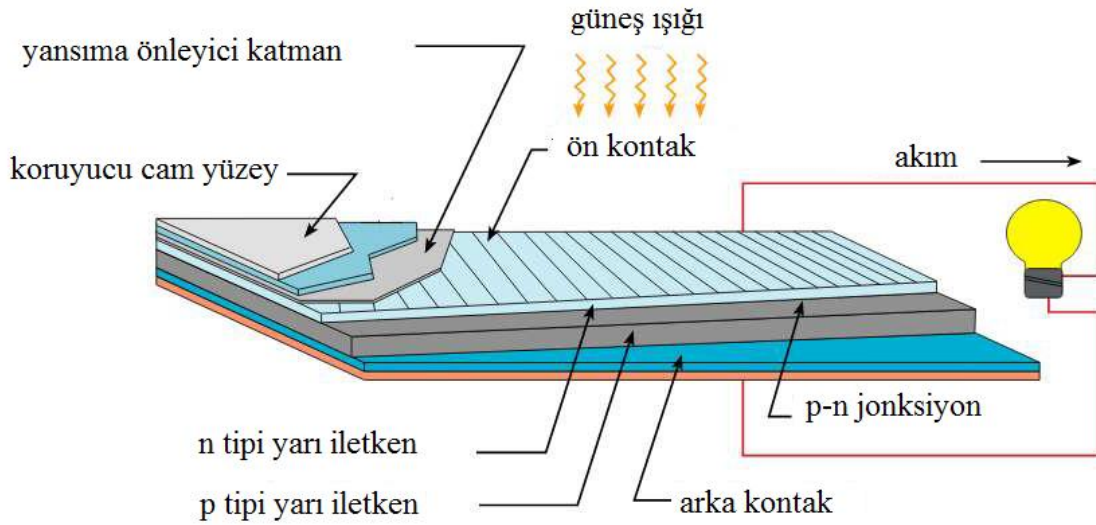
2.1. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

FV sistemler, temelde bir FV panelin yüke bağlanmasıyla oluşsa da, ihtiyaç duyulan güç ve çevresel şartlar göz önüne alınarak, farklı özellikteki bileşenlerden oluşabilir. Sistemde kullanılacak elamanların çeşidini ve özelliğini belirleyen en önemli etken ihtiyaç duyulan enerjidir. Genel olarak bir FV sistemi oluşturan bileşenler şunlardır [11,13];

- FV panel
- Batarya
- Şarj regülatörü
- Maksimum güç noktası izleyici (MPPT)
- İnverter

2.3. Fotovoltaik Hücre

Fotovoltaik hücre, FV sistemleri oluşturan temel birimdir ve fiziksel özelliği bakımından bir P-N yüzey birleşmeli diyot ile arasında pek fark yoktur. Şekil 2.2’de bir FV hücresinin iç yapısı gösterilmiştir. FV hücresinin birleşme yüzeyine ışık düştüğünde fotonların enerjisi malzemenin elektron sistemine aktarılır. Bu enerji ile birleşme yüzeyinde potansiyel güç oluşur. Oluşan bu güç depolanamaz ve ışık etkisi ortadan kalktığında oluşamaz. FV hücresinin iletkenler vasıtasıyla başka devrelere bağlanmasıyla kapalı devre oluşturulur. Böylece hücrede oluşan potansiyel güç elektrik akımına dönüştürülür.



Şekil 2.2. FV hücresinin iç yapısı

Fotovoltaik hücresinin oluşturduğu akımı kullanmak için birleşme yüzeyinin her iki tarafına kontaklar yerleştirilir. Gelen ışığın bir kısmı yansıtıldığından, hücreye gelen ışınların

yansımaları önlemek için, hücrenin ön yüzeyi yansıma önleyici madde ile kaplama yapılır. Çevresel etkiler fotovoltaik hücrenin performansını etkilediğinden içyapısını korumak için ön yüzeyin üst kısmına koruyucu cam yerleştirilir [11].

FV hücreler yapılarında kullanılan malzemelere ve üretimlerindeki teknolojilere göre gruplandırılırlar. Yapılan gruplandırmalar genel olarak aşağıdaki gibidir [15];

- Kristal silisyum hücreler
- İnce film hücreler
- Çok-eklemli hücreler
- Organik hücreler
- Boya-duyarlı hücreler

Kristal silisyum hücreler: Silisyum maddesinin yapısal özelliği uzun süre değişmediğinden birleşim yüzeyinde silisyum kullanılır. FV sistemlerde en çok kullanılan hücre türüdür. Yapısında silisyum kullanan hücreler mono kristal (c-Si) hücreler ve poli kristal (mc-Si) hücreler olarak ikiye ayrılırlar. Mono kristal hücrelerin verimliliği ve birim alandan alınan güç daha fazladır. Poli kristal hücrelerin maliyetleri daha düşük olduğundan mono kristal hücrelere göre daha çok tercih edilirler [15,16].

İnce film hücreler: Işığa duyarlı malzemelerin ince tabakalar halinde bir araya getirilmesiyle üretilirler. Üretim maliyetleri düşüktür ama verimlilikleri %10-15 arasında olduğundan çok az tercih edilirler. İnce film hücrelere, kristal yapıda olmayan anlamına gelen amorf da denmektedir. İnce film hücreler dört grupta incelenebilir. Bunlar;

1. Amorf-Silisyum (a-Si)
2. Kadmiyum-Tellurid (CdTe)
3. Bakır-İndiyum-Galyum-Diselenit (CIGS)
4. Bakır-Çinko-Kalay-Sülfoselenit (CZTSSe)

Çok eklemli hücreler: Yapılarında birden çok eklem (birleşim yüzeyi) bulunur. Her eklem farklı bant aralığındaki ışığı soğurur. Birden fazla eklem kullanılarak enerji bandı aralığı genişletilir. Tek bant aralığındaki bir eklem verimliliği laboratuvar ortamında %33,5 ölçülmüştür. Çok eklemli yapılarda bu oran %43'ün üzerine çıkmaktadır [15,16].

Organik hücreler: Yapımlarında doğada bol bulunan maddeler kullanılarak hücrelerin üretim maliyetlerini düşürmek amaçlanmıştır. Bu tür hücrelerin üretim maliyetlerinin düşük olmasıyla birlikte verimlilikleri düşüktür. Organik hücreli FV paneleler ensek ve şeffaf olarak üretilbildiğinden binaların dış cephelerinde tercih edilirler.

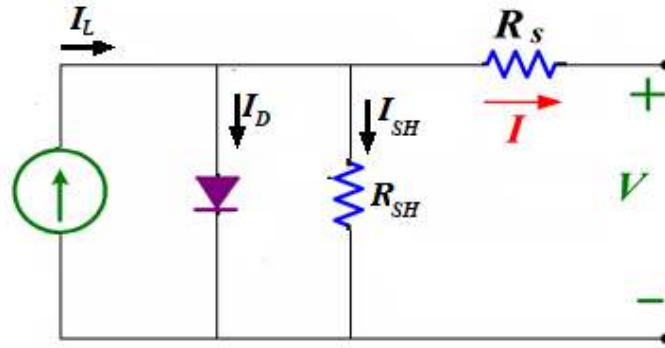
Boya-duyarlı hücreler: Organik FV hücrelere alternatif oluşturmak için geliştirilmişlerdir. Ticari olarak üretimleri çok azdır. Hücrenin çalışması kararlıdır ve laboratuvar ortamında verimleri %12,3'e ulaşmıştır [15].

2.3.1. Fotovoltaik Hücre Eş değ er devresi

FV hücrelerinin analizi için, hücrenin elektriksel eşdeğ er devresi kullanılır. Bu devre, davranışları bilinen elamanlardan oluşur. Literatürde tek diyotlu, çift diyotlu gibi birçok eşdeğ er devre gösterimi vardır. Şekil 2.3'te FV hücrenin tek diyotlu eşdeğ er devresi verilmiştir. Bu devrede akım kaynağı güneş ışı nımını ile doğru orantılı I_L akımını meydana getirir. Diyot P-N birleş me yüzeyini ifade etmektedir. Pratikte hücre ideal değildir ve kayıplar meydana gelir. Hücrenin önündeki ve arkasındaki kontaklarda meydana gelen gerilim düşümünü seri bir R_s direnci temsil etmektedir. Ayrıca sızı ntı akımları paralel bir R_{SH} direnci kullanarak ifade edilir. Modellenen bu devredeki akımlar;

- Fotovoltaik akım (I_L): Hücre üzerine düş en ışı nım ile doğru orantılıdır.
- Diyot akımı (I_D): Gerilime ve ters doyma akımına bağı ldır.
- Paralel kol akımı (I_{SH}): P-N birleş me yüzeyinin gerilimi ve paralel kolun direnci ile ilişkilidir.
- Çıkış akımı(I): Hücrenin çıkış akımını ifade etmektedir ve diğ er parametrelerle ilişkisi Eşitlik 2.1' de verilmiştir.

$$I = I_L - I_D - I_{SH} \quad (2.1)$$



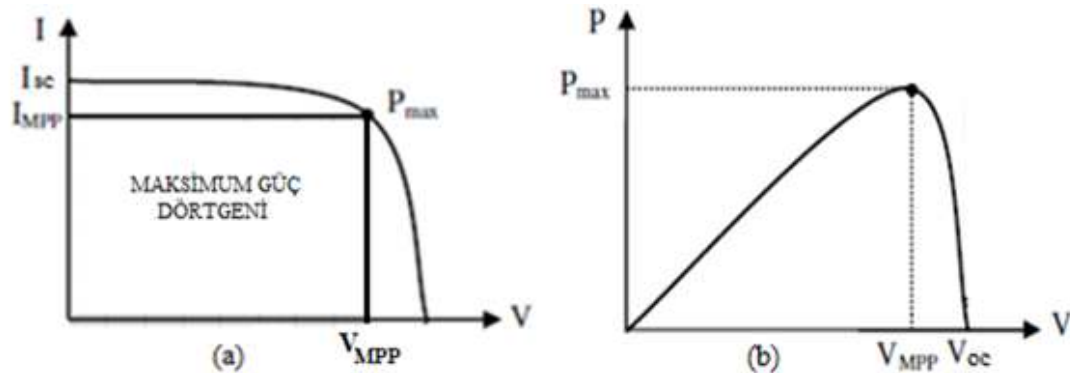
Şekil 2.3. FV hücrenin tek diyotlu eşdeğer devresi

Hücrenin yükteki gerilimi Eşitlik 2.2’de verildiği gibi P-N birleşme yüzeyinin geriliminden seri direncin gerilimi çıkarılarak hesaplanır.

$$V = V_D - I \times R_s \quad (2.2)$$

2.3.2. Fotovoltaik Hücre I-V ve P-V Karakteristiği

Hücre yüke bağlı olmadığında ve maksimum ışıınım anında, çıkış uçları ölçülerek açık devre gerilimi (V_{oc}) elde edilir. Maksimum ışıınımda hücrenin çıkış uçları kısa devre edildiğinde uç akımı ölçülerek kısa devre akımı (I_{sc}) elde edilir. Açık devre gerilimi ve kısa devre akımı hücrenin performansını belirleyen en önemli iki karakteristik parametredir. Bağlanılan yüke bağlı olarak fotovoltaik hücre I-V eğrisinde herhangi bir noktada çalıştırılabilir. Kısa devre akımı ölçülürken, diyot akımı ve sızıntı akımı ihmal edilirse $I_L = I_{sc}$ olur. Açık devre ve kısa devre şartlarında hücrede güç üretilmez [21].

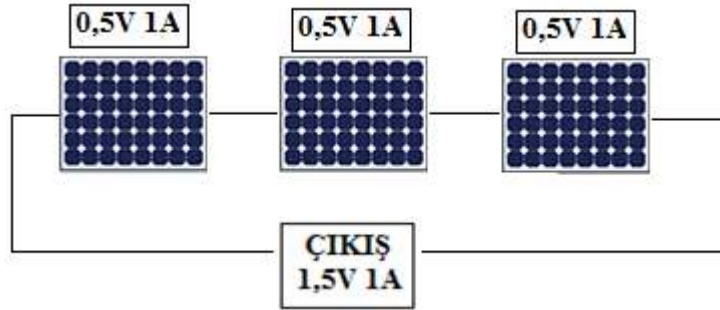


Şekil 2.4. Fotovoltaik hücrenin (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi

Fotovoltaik hücreden alınan gücün maksimum olduğu noktaya $P_{\max}$ veya MPP (Maximum Power Point – Maksimum Güç Noktası) denir. MPP noktasındaki akım I_{MPP} , gerilim V_{MPP} ile ifade edilir. Şekil 2.4(a)'da görülen güç dörtgeninin alanı ($I_{MPP} \cdot V_{MPP}$) maksimuma ulaştığı durumda maksimum güç şartı oluşur. Şekildeki maksimum güç dörtgeninin alanı, maksimum güç noktasında üretilen güce eşittir. Şekil 2.4(b)'de FV hücrenin gücü ve gerilimi arasındaki ilişki verilmiştir [12].

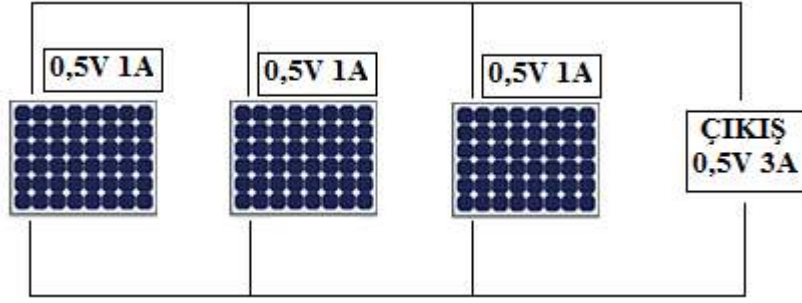
2.3.3. Fotovoltaik modül, panel ve dizi

FV güç sistemlerinde enerjiyi üreten temel birim FV hücredir. FV hücre yaklaşık olarak 100 cm^2 'lik bir alana sahiptir ve sağladığı gerilim 0,5 V civarındadır. Bir hücrenin ürettiği bu değer kullanıcılar için yeterli değildir. Güç sistemleri için gerekli enerjiyi sağlamak amacıyla fazla sayıda fotovoltaik hücre seri, paralel veya seri-paralel bağlantı kombinasyonu ile bağlanır. Şekil 2.5'te görülebileceği gibi seri bağlantı ile hücrelerin ürettiği gerilimden daha yüksek seviyede gerilim elde edilir[11].



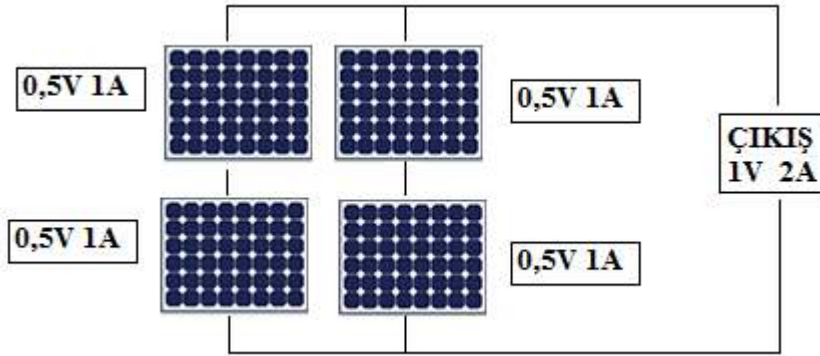
Şekil 2.5. FV hücrenin seri bağlanması

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi fotovoltaik hücrelerin paralel bağlanması ile hücrelerin ürettiği akımdan daha yüksek akım elde edilir.



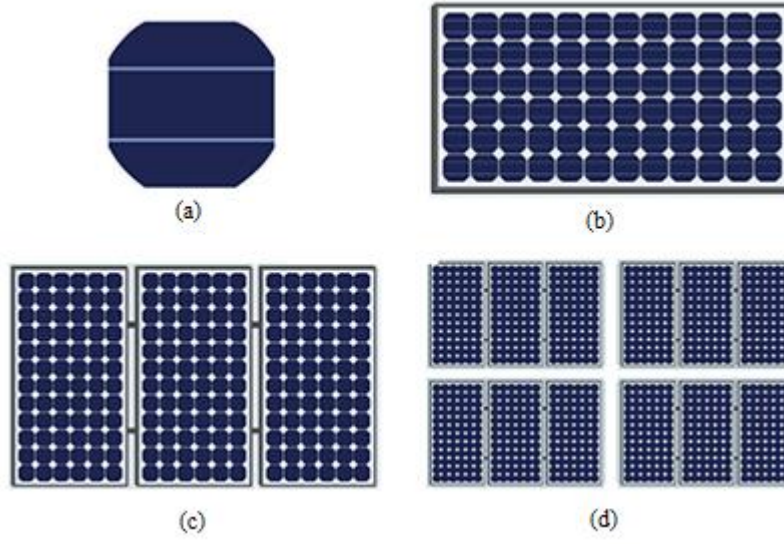
Şekil 2.6. FV hücrelerinin paralel bağlanması

FV hücrelerden istenilen gücü elde etmek için sadece paralel ve sadece seri bağlantı yetersiz kaldığında bu iki bağlantının çeşitli kombinasyonları kullanılabilir. Şekil 2.7’de paralel ve seri bağlantının kullanıldığı bir kombinasyon verilmiştir. Şekilde dört panelden oluşan 2S-2P karışık bağlantı kombinasyonu kullanılmıştır.



Şekil 2.7. Paralel ve seri bağlantının kombinasyonu.

Fotovoltaik hücrelerin seri ve/veya paralel bağlanması ile elde edilen birime fotovoltaik modül denir. Çok sayıda modülün seri ve/veya paralel bağlanması ile Fotovoltaik paneller elde edilir. Fotovoltaik paneller bazı uygulamalar için yeterli olsa da çoğu güç sistemleri için yetersiz kalır.



Şekil 2.8. FV sistem birimleri, a) FV hücre, b) modül, c) panel ve d) dizi

Fotovoltaik güç sisteminin ihtiyaç duyduğu akım ve gerilim değerlerini elde etmek için paneller seri ve/veya paralel bağlanır. Bu nedenle panellerin gerekli gerilim ve akımı üretebilmek için seri ve/veya paralel bağlanmaları gerekir. Fotovoltaik panellerin seri ve/veya paralel bağlanmaları ile fotovoltaik dizi oluşur. Şekil 2.8’de FV hücre, modül, panel ve dizi ile ilgili görsel bulunmaktadır.

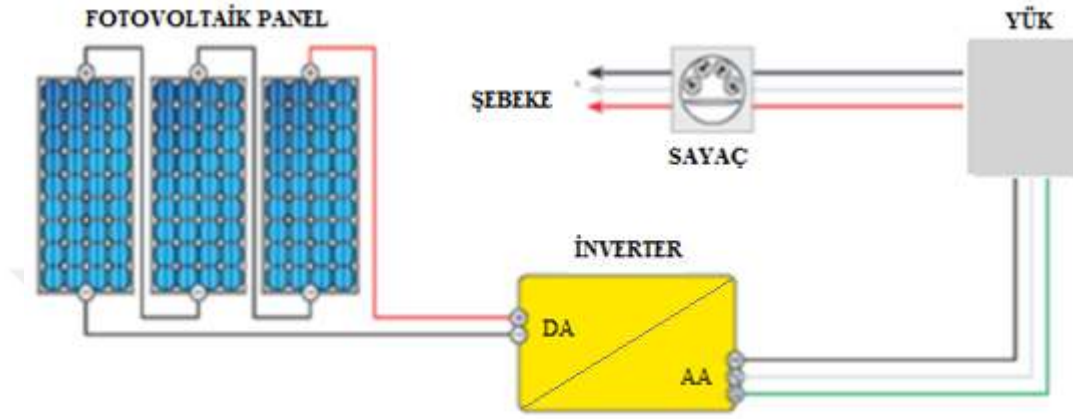
2.4. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri

FV sistemler yerleşim yerine uzaklığı, ihtiyaç duyulan enerji miktarı, maliyet gibi parametrelere göre; Şebekeye bağlı (On-Grid) ve şebekeden bağımsız (Off-grid) ve karma (Hybrid) sistemler olarak üç grupta incelenir [17].

2.4.1. Şebekeye bağlı sistemler

Şebekeye bağlı sistemlerde (On-Grid/Grid connected system), kullanıcının enerji ihtiyacı, FV sistemin üretiminden ve şebekeden karşılanır. FV paneller tarafından üretilen enerji ihtiyacı karşılamadığı durumlarda sistemin enerji ihtiyacı şebekeden karşılanır. FV paneller sistemin ihtiyaç duyduğu enerjiden daha fazla enerji ürettiğinde ise üretim fazlası enerji şebekeye

aktarılır. Bu nedenle şebeke bağlantılı sistemlerde enerjinin depolanmasına ihtiyaç duyulamaz. Şekil 2.9’da şebeke bağlantılı bir FV sistemin şeması verilmiştir [2,17,18].

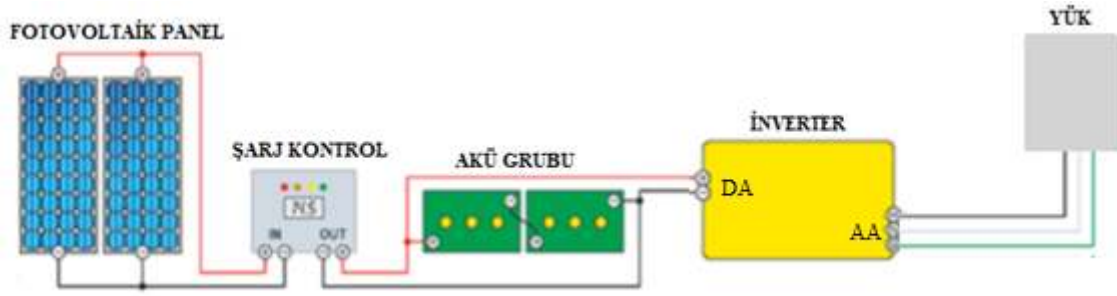


Şekil 2.9. Şebekeye bağlı FV sistemin genel bağlantı şeması

Enerji depolama birimleri sistemde olmadığından, bu sistemlerin ilk kurulum maliyetleri şebekeden bağımsız sistemlere göre daha uygundur. FV elektrik santralleri şebeke bağlantılı FV sistemlerine örnek olarak gösterilir.

2.4.2. Şebekeden bağımsız sistemler

Şebekeden bağımsız sistemler (Off-Grid), enerjinin depolanmasına ihtiyaç duyulmayan yerlerde yüke doğrudan bağlanılır. Elektrik enerjisinin depolanmasının gerekli olduğu yerlerde akü kullanılır. Bu nedenle ilk kurulum maliyeti şebekeye bağlı sistemlere göre yüksektir. İlk kurulum maliyetinin yüksek olması şebeke bağlantılı sistemlere göre dezavantajıdır. FV panellerden elektrik üretilmediği zamanlarda ve üretimin yetersiz kaldığı durumlarda, kullanıcının ihtiyacını karşılayacak şekilde depolama birimlerinin kapasitesi ayarlanabilir. Şekil 2.10’da şebekeden bağımsız bir sistemin şeması verilmiştir [2,18]. Şekilde verilen FV sistem güneş panelleri, şarj kontrol ünitesi, akü grubu, inverter ve yükten oluşan blok yapı şeklinde tasarlanmaktadır.



Şekil 2.10. Şebekeden bağımsız FV sistemin genel bağlantı şeması

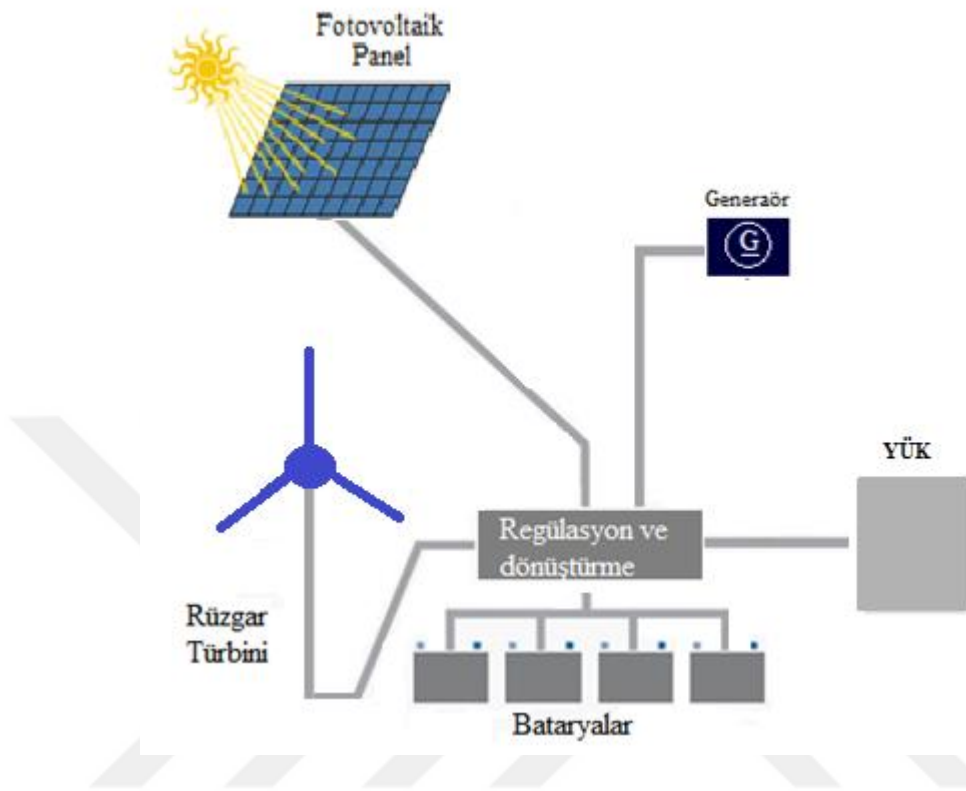
2.4.3. Hibrit sistemler

Hibrit FV sistemler, isimlerinden de anlaşıldığı gibi birden fazla sistemin birlikte kullanılmasıyla oluşturulmuş sistemlerdir. Güneş ışınımının miktarı yıl içinde farklılık gösterdiğinden hibrit sistemler ortaya çıkmıştır. Hibrit FV sistemleri oluşturan yapılardan biri fotovoltaiik sistem olurken diğeri fosil yakıtla çalışan jeneratör veya rüzgâr enerjisi gibi farklı elektrik üretim sistemlerinden biri olabilir.

Hibrit sistemlerde ihtiyaç duyulan enerji uygun koşullarda FV panellerden karşılanır ve fazla olan enerji akülerde depolanır. Güneş ışınımının yetersiz kaldığı zamanlarda depolanan enerji kullanılır. Depolanan enerjide ihtiyacı karşılamakta yetersiz ise sistemde bulunan elektrik enerjisi üreten kaynaklar devreye alınarak ihtiyaç karşılanır.

Hibrit sistemlerde FV panellerin dışında kullanılacak üreteç seçilirken sistemin kurulacağı yerin rüzgâr enerjisi potansiyeli de göz önüne alınmalıdır. Sistemin kurulacağı bölge yazın yeterli miktarda ışıınım alıyorsa ve kışın elektrik üretimine elverişli şekilde rüzgâr potansiyeline sahipse bu bölgede rüzgâr ve FV sistem hibrit olarak tasarlanabilir. Şekil 2.11’de hibrit bir FV sistem görülmektedir [18-20].

Literatürde rastlanan son çalışmalarda FV panellerin ideal çalışma sıcaklığını yaklaşık 25 °C tutularak yüksek verim elde edilmeye çalışılmaktadır. Panel sıcaklığını istenen seviyede tutabilmek için ortam sıcaklığı, nem, rüzgar gibi parametreleri farklı şekillerde sisteme dahil edebilmek amaçlı çalışmalar günümüzde devam etmektedir. Yeni bir çalışma FV-T hibrit sistem ile hem elektrik hem de ısı enerjisi elde edilmekte, bu iki enerji türü zaman ve duruma bağlı olarak bir birlerine geçiş sağlayarak yüksek verim elde edilmektedir.

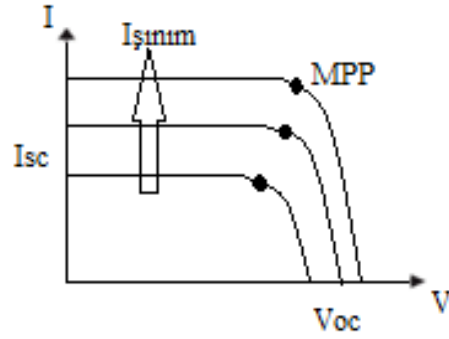


Şekil 2.11. Güneş ve rüzgâr enerjilerini kullanan hibrit sistem

2.5. Fotovoltaik Sistemin Performansını Etkileyen Faktörler

FV panellerinden elde edilen enerji çevresel etkilerle değişmektedir. Bu etkiler güneş ışıınımı, panel sıcaklığı, kirlilik, yansıma ve gölgeleme olarak sıralanabilir.

Güneş ışıınımı: FV sistemin ürettiği gücü etkileyen en önemli faktör ışıınımdır. Güneş ışıınım sistemin ürettiği gerilim ile logaritmik, akım ile lineer ilişkilidir. ışıınımın FV sistemin performansındaki etkisinin hesaplamasındaki temel zorluk, ışıınımın FV performansını etkileyen diğer faktörlerle de ilişkili olmasıdır. Bu faktörler, bulutlu gündeki dağınık ışıınım etkilerini, sabah erken saatlerde veya akşamüstü düşük ışıınım etkilerini, geliş açısı etkilerini kapsamaktadır. Şekil 2.12’de ışıınımın artması MPP noktasını arttırmıştır. Akım değeri ışıınım ile doğru orantılı artarken, gerilim değeri logaritmik artmıştır [21].

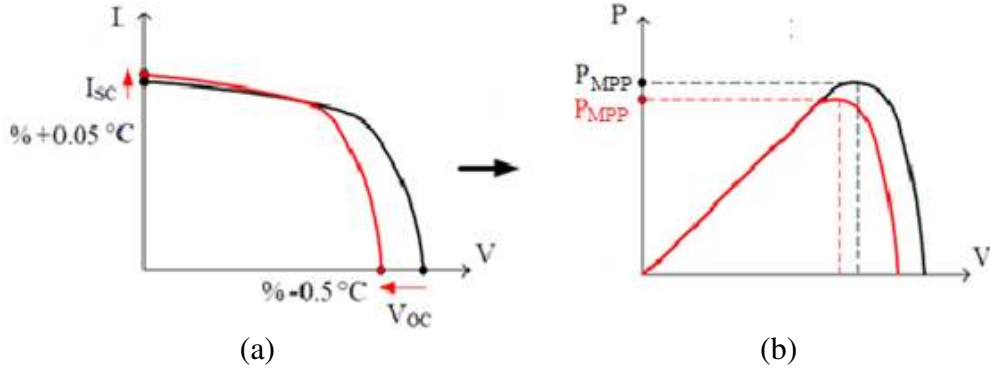


Şekil 2.12. Güneş ışınlamı ile akım, gerilim ve güç ilişkisi

Yansım: FV panellerin üzerine düşen ışığın bir kısmı hücreler tarafından emilmeden, modül yüzeyinden yansır. Yansıyan ışıklardan dolayı oluşan kayıplara yansım kayıpları denir. FV sisteminde üretilen elektrik, emilen ışık miktarına bağlı olduğundan, panellerin üretiminde ışığı daha az yansıtan malzemelerin kullanılması performansı artıracaktır. FV panellerin farklı katmanlardan oluşturulması, yansımayı azaltmak içindir. Ortalama bir ışınlım altında panellere gelen ışığın yaklaşık yaklaşık olarak %96'sı emilirken geri kalan %4'lük kısmı ise dış ortama yansıtılır.

Sıcaklık: FV panellerinin sıcaklığı arttıkça performansı düşmektedir. FV sistemlerde kullanılan panelin özelliğine göre, güneş enerjisinin %5'i ile %25'i elektrik enerjisine dönüştürülür. Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülemeyen bir kısmı , modülün sıcaklığını artırır. FV modül ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkı bazen 40 °C'nin üstüne çıkabilmektedir. Panelin arkasında biriken ısı, panelin arka kısmının havalandırılması ile doğrudan ilişkilidir. Panel arka yüzeyi hava almayacak şekilde yerleşim yapılırsa, arka yüzeyde oluşacak sıcaklık performansı düşürecektir. Panel arka yüzeyi ve montaj yüzeyi arasında boşluk bırakılırsa, istenmeyen ısı etkileri azaltılabilir.

Şekil 2.13'te görülebileceği gibi sıcaklık artışı kısa devre akımını ve açık devre gerilimini büyük oranda etkilediğinden, MPP noktasını önemli ölçüde düşürmektedir. FV sistemlerinde çeşitli soğutma teknikleri uygulanarak elektriks el verim artırılır. Bu konuda yapılan çalışmalarda panellerin soğutulması ile yaklaşık olarak %4 ile %10 arasında kazanç sağlandığı görülmüştür [21].



Şekil 2.13 Sıcaklık değişiminin, (a) akım ve gerilime, (b) güç ve gerilime etkisi

Kirlilik: Toz, kir, su, kum ve yosun gibi parçacıkların FV panel yüzeyinde birikmesi, hücreye düşen ışığı engeller ve dağıtır. Bu durum yaklaşık olarak %4 gibi enerji kaybına neden olur [56]. Kirlenmeden dolayı oluşan kayıp coğrafi özelliklere göre değişkenlik gösterir. Bu alanda yapılan çalışmalarda 1 MW'lık bir FV sisteminin kirlilik etkilerinden dolayı enerji kaybı ortalama olarak yıllık 89000 kWh olabilmektedir. Bazı yağmurlar ve tozlu rüzgarlar panel kirliliğini etkilediğinden, kayıplar belli zaman periyotlarında artarken, bazı periyotlarda ise oldukça alt değerlere inebilmektedir [4,5]. Kaldellis ve Kokala'nın yapıları çalışmada, panel yüzeyinde düşük oranda toz birikmesi olsa bile ($\approx 1\text{g/m}^2$) yıllık bazda 40 €/kW_p kayıp olabileceğini ifade edilmektedir [6].

Gölgeleme: FV sistemlerde verimliliği etkileyen faktörlerin en önemlilerinden biride gölgelemedir. Gölgelemeye binalar, ağaçlar, elektrik ve ya telefon direkleri sebep olsa da, bazen sistemin tasarımından kaynaklı olarak panellerde birbirlerini gölgeleyebilmektedir. Bu nedenle sistemin tasarımı yapılırken gölgeleme durumu dikkate alınmalıdır. Gölgeleme %1-%6 arasında verim kaybına sebep olabilmektedir [21].

3. BATARYALAR

Şebekeden bağımsız FV sistemlerde, yükü sürekli beslemek için gerekli olan elektrik bataryalarda (çoğunlukla akümülatör (akü)) depolanır. Depolama biriminin minimum kapasitesi, sistemin gece ihtiyaç duyduğu enerjiye göre, maksimum kapasitesi güneşsiz geçebilecek gün sayısına göre hesaplanır. Akülerin kullanım ömürleri şarj/deşarj döngüsü, çalışma sıcaklığı gibi parametrelerine bağlıdır. FV sistemlerde kullanılacak aküler seçilirken aşağıdaki özellikleri dikkate alınır;

- Düşük maliyet
- Yüksek enerji verimliliği
- Uzun ömür
- Düşük bakım maliyeti
- Geniş çalışma sıcaklığı aralığı
- Düşük kendiliğindendeşarj

Aküler enerjiyi depolamanın yanı sıra yükü dengeli bir gerilimle besler. Ayrıca elektrik motorları gibi başlangıçta yüksek akım çeken elamanların ihtiyacını karşılar. Böylece gerilim ve akım sıçramalarından FV paneller zarar görmemiş olur ve yükün talebi karşılanmış olur. Akülerin karakteristik özellikleri [23];

Akü kapasitesi: Bir akünün kapasitesini Amper-Saat (Ah) temsil eder. Akü gerilimini V olarak kabul edersek enerji kapasitesini ise, $Ah \times V = Wh$ (Watt-Saat) olarak kabul edebiliriz. Akünün gerçek kapasitesi yük, sıcaklık gibi çalışma koşullarına bağlıdır.

Akü gerilimi: Çalışma gerilimi veya nominal gerilim olarak da adlandırılan uç gerilimidir. Bu gerilim üreticiler tarafından belirlenir ve belli standartlara bağlıdır.

Deşarj derinliği: Tam kapasiteli bir aküden çekilen enerjinin yüzdesel olarak oranıdır. Bir akünün şarj durumu isedeşarj derinlik oranının 100 ile farkına eşittir. Örneğindeşarj derinliği %25 olan bir akünün şarj durumu $100-25=75$ yani %75'tir.

Akü yaşam döngüsü (cycle): Akünün başlangıçtaki kapasitesinin %80'in altına düştüğü, şarj/deşarj sayısıdır. Belirtilen yaşam döngüsünü tamamlayan aküler azalmış kapasite ile çalışırlar.

Deşarj/şarj oranı (C oranı): Bir akünün tam şarjı için gerekli olan saat sayısı ile C'nin oranıdır. Örneğin, akünün tam şarj süresi 10 saatse, C oranı $C/10$ veya $0.1C$ 'dir. Bir akünün belirtilen C oranından şarj süresi hesaplanıp, akü kapasitesi şarj süresine bölünerek şarj akımı bulunabilir. Örneğin, $0.1C$ oranına sahip ve 50Ah kapasiteli bir akünün, şarj süresi 10 saat ve şarj akımı $50/10=5A$ 'dır.

Kendiliğinden deşarj: Akünün içyapısında elektrokimyasal olaylar yaşanmadan kapasitesini kaybetmesidir. Sıcaklığın artması kendiliğinden deşarjı artırır. Aküler düşük sıcaklıklarda saklanarak kendiliğinden deşarj azaltılır.

Enerji yoğunluğu: Bir akünün enerji kapasitesinin ağırlığına oranıdır. Enerji yoğunluğunun birimi Wh/kg'dır.

FV sistemler için uygun olan akü çeşitleri aşağıdaki gibidir [23].

3.1. Kurşun-Asit Aküler (Lead-Acid)

Kurşun-asit aküler FV sistemler için en çok kullanılan akülerdir. Kurşun asit aküler, sert plastik kap içinde 6V veya 12V tip olabilirler. Kurşun-asit akü çeşitleri alt kısımda verildiği gibi iki ana başlık altında incelenebilir [18].

1. Sulu tip kurşun asit aküler
2. Valf regüleli kurşun asit (VRLA) aküler: Bu aküler iki alt başlıkta incelenir;
 - Jel aküler
 - AGM aküler

3.1.1.Sulu tip kurşun asit aküler

Sulu tip kurşun asit akülerin yapısında düz ve boru şeklinde plakalar kullanılır ve bu plakalar tamamen elektrolit içerisine daldırılır. Bu aküler şarj edilirken kimyasal reaksiyonlardan dolayı hidrojen ve oksijen gazları oluşur ve bu gazlar akü deliklerinden dışarı çıkar. Bu durum su eksilmesine neden olur. Elektrolit içerisinde su azalmasından dolayı periyodik olarak su eklenmesi gereklidir [18].

3.1.2. Valf regüleli kurşun asit (VRLA) aküler

Bu aküler hareketsizleştirilmiş elektrolit formuna sahiptir. Hareketsizleştirilmiş elektrolit ile oluşturulmuş bu akülerde hidrojen ve oksijen gazlarının dışarı sızması çok az olduğundan su kaybı minimum düzeydedir. Valf regüleli aküler jel elektrolit tipi ve elektroliti emdirilmiş (AGM) tip olarak ikiye ayrılırlar. Bu tür kurşun asitli aküler, aşağıdaki nedenlerden dolayı FV uygulamaları için uygundur [15]:

- Kolay taşınabilme özelliği,
- Su eklemeye gerek olmaması,
- Bakım gereksinimi daha az olması nedeni ile uzun süreçli kullanılabilmesi

Jel aküler: Silisyum dioksitin elektrolite eklenmesi, aküye eklenen ve soğutulduktan sonra jel haline gelen sıcak bir sıvı oluşturur. Şarj işlemi sırasında üretilen hidrojen ve oksijen, şarj ve deşarj işlemi sırasında jelleşmiş elektrolit içindeki çatlaklardan ve boşluklardan pozitif ve negatif plakalar arasında taşınır. Bu aküler titreşim, sıcaklık, nem gibi çevresel etkilere dayanıklı olduklarından ve ayrıca 10-12 yıl gibi uzun ömürlü olduklarından FV sistemlerde sık kullanılırlar ve solar akü olarak da adlandırılırlar.

AGM (Absorbet Glass Mats) aküler: Plakalar arasında cam elyaf bulunur. Bu cam elyafa elektrolit emdirilmiştir. Pozitif plakadaki oksijen molekülleri, negatif plakadan hidrojen

molekülleri elektrolit içine doğru hareket edip, reaksiyona girerek su oluştururlar. Bu aküler kısa süreli yüksek akım gerektiren uygulamalar için uygundur [18].

Hem AGM akülerde hem de jel akülerde şarj işlemi kontrolör gerektirir. Bu akülerde genellikle su ve gaz kaybını minimum yapmak için kurşun-asit elektrotlar kullanılır. Kurşun-asit akülerin karakteristik özellikleri Tablo 3.1’deki gibidir.

Tablo 3.1. VRLA akülerin karakteristiği

Enerji yoğunluğu	25-35 Wh/kg
Ömür	250-750 cycle
Avantajları	Düşük maliyet, yüksek verimlilik, kolay uygulama
Dezavantajları	Nispeten düşük ömür

3.2. Nikel-Kadmiyum aküler (Ni-Cd)

Ni-Cd akülerde pozitif elektrot kadmiyumdan, negatif elektrot nikel oksitten yapılır ve ayırıcı olarak plastik kullanılır. Elektrolit potasyum hidroksitten oluşur ve paslanmaz çelik gövde içinde bulunur. Kurşun-asit akülere göre daha uzun ömürlüdürler ve sıcaklık toleransları daha yüksektir. Çevresel düzenleyici kurallarına göre kadmiyumun yerini metal hidrid almıştır.

Kısmen deşarj olma olayı tekrarlanırsa, akünün o seviyeye kadar deşarj olmasına hafıza etkisi denir. Ni-Cd akülerde hafıza etkisi meydana gelmektedir. Bu etki ile aküler erken deşarj olmaya başlarlar.

3.3. Nikel-Metal Hidrid aküler (Ni-MH)

Yüksek yoğunluklu Nikel kadmiyum akülerin uzantısıdır. Pozitif elektrot kadmiyum yerine metal hidrürden oluşur. Bu aküler, Ni-Cd aküler ile karşılaştırıldıklarında daha az hafıza etkisine sahiptirler, daha yüksek tepe gücü sağlarlar ve daha pahalıdır. Aşırı şarj etmek bu akülere kolayca zarar verir. Ni-MH akülerin karakteristik özellikleri Tablo 3.2 ‘deki gibidir.

Tablo 3.2. Ni-MH akülerin karakteristik özellikleri tablodaki gibidir.

Enerji yoğunluğu	65-70 Wh/kg
Ömür	700 cycles
Avantajları	Yüksek spesifik enerji, iyi derin deşarj, çevre dostu
Dezavantajları	Yüksek maliyet, yüksek kendiliğinden deşarj, düşük verimlilik

3.4. Lityum-İyon aküler

Lityum-iyon akülerin enerji yoğunlukları kurşun-asit akülerin 3 katıdır. Hücre gerilimi 3.7V tur, gerekli akü gerilimini elde etmek için nikel ve kurşun akülere göre daha az hücre kullanılır. Her deşarj ve şarj işlemi sırasında, lityum elektrot bir pasivasyon filmi oluşturur. Bu durum daha kalın elektrot kullanılarak dengelenir. Bu akülerde de aşırı şarj zararlıdır.

3.5. Lityum polimer aküler

Bu aküde, katı polimer elektrolit hem elektrolit hem de ayırıcı olarak işlev görür ve elektrolit ile lityum elektrot reaksiyonu daha azdır. Bu aküler esnektirler, hafiftirler ve diğer türlere göre pahalıdırlar. Tablo 3.3'te lityum polimer akülerin karakteristik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.3. Lityum polimer akülerin karakteristik özellikleri

Enerji yoğunluğu	100-150 Wh/kg
Ömür	1000 cycles
Avantajları	Yüksek spesifik enerji, uzun ömür
Dezavantajları	Yüksek maliyet, düşük güvenlik

4. FV SİSTEMLERDE DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

FV panellerden alınan elektriğin akım ve gerilim değerleri sabit değildir. Bu nedenle aküyü veya bir yükü beslemek için elektrik akımının regüle edilmesi gereklidir. AA bir yük beslenmek istendiğinde ise DA-AA dönüştürme işlemi yapılmalıdır. Bu tezde FV sistemlerde kullanılan kontrolör ve dönüştürücü prensipleri dört başlık altında incelenmiştir.

4.1. DA-DA dönüştürücüler (konvertörler)

Konvertörler girişlerine uygulanan düzenlenmemiş bir elektrik sinyalinin gerilim değerini istenen düzeyde tutarak çıkışa aktarır. Giriş sinyalinin gerilim değeri, polaritesi veya her ikisi değişebilir. Konvertörler akü şarjında, kaynak makinalarında, switch-mode (anahtarlama) güç kaynaklarında, ısıtıcılarda, DA gerilim regülatörlerinde, DA motor kontrolünde kullanılırlar. Konvertörler bobin, kondansatör ve anahtarlama elemanları gibi temel elektronik aygıtlardan oluşurlar [15,24]. Konvertörlerin kullanım amaçları aşağıdaki gibidir;

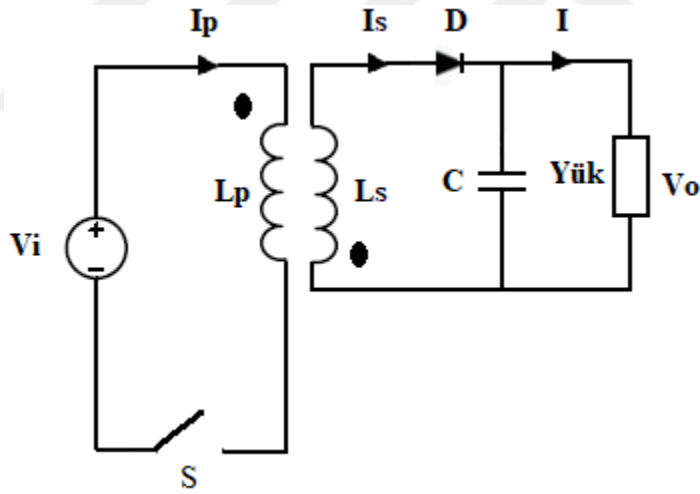
- Giriş geriliminden farklı bir çıkış gerilimi üretmek
- Yük durumlarına göre gerilimi düzenlemek
- AA gerilim dalgalanmalarını azaltmak
- Kaynak ve yük arasında izolasyon sağlamak

Konvertörler izoleli ve izolesiz olarak iki gruba ayrılırlar. Yüksek enerji seviyelerindeki uygulamalarda izoleli tipler kullanılırken düşük enerji uygulamalarında izolesiz tipler kullanılırlar. Çoğu elektronik ve FV uygulamalarında izolesiz konvertörler kullanılır. Her iki grupta da gerilimi yükselmelerine, düşürmelerine veya polaritesini değiştirmelerine göre de; Buck (düşürücü), Boost (yükseltici), Buck-Boost (düşürücü-yükseltici), Flyback, rezonans tip ve push-pull gibi konvertör çeşitleri vardır. Ayrıca anahtarlama metotlarına göre yumuşak anahtarlama ve sert anahtarlama olarak sınıflandırılabilirler [24,25].

Şekil 4.1’de Flyback konvertörün temel şeması verilmiştir. Bu konvertör giriş ve çıkış arasında izolasyon trafo sayesinde sağlanır. Anahtar iletimde olduğunda primer sargısı üzerinde enerji depolanır, bu sırada sekonder sargısının polaritesi ters olduğundan diyot üzerinden akım geçmez. Anahtar kesime geçtiğinde primer sargısı üzerindeki enerjiyi sekondere aktarır. Anahtarlama elamanının iletime ve kesime geçme sırasındaki sorunları çözebilmek için farklı devre tasarımları mevcuttur. Flyback dönüştürücünün çıkış gerilimi bağıntısı Eşitlik 4.2’de verilmiştir.

$$D = T_{on}/T \quad (4.1)$$

$$V_o = \frac{D}{1-D} \times V_i \times \frac{N_p}{N_s} \quad (4.2)$$

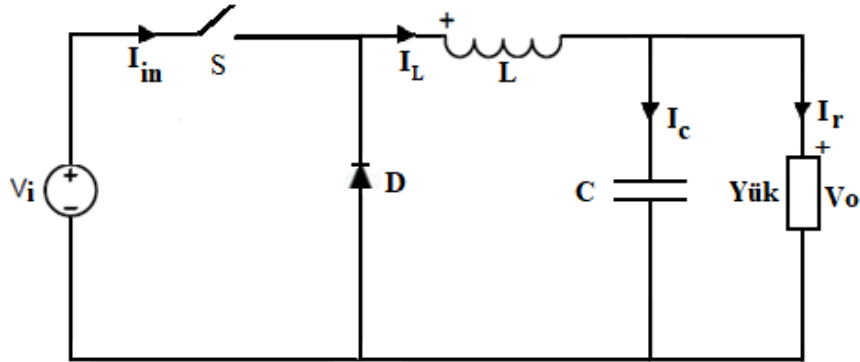


Şekil 4.1. Flyback konvertörün temel devre şeması

Buck, Boost, Buck-Boost temel ve basit konvertörlerdir. Buck konvertörler girişine uygulanan gerilimi düşürürler. Çıkış gerilimi, giriş gerilimi ile anahtarlama elamanının görev süresine bağlıdır. Anahtarın iletimde olduğu süre T_{on} , periyodu T , doluluk oranı D , giriş gerilimi V_i , çıkış gerilimi V_o olsun. Anahtarlama elamanının doluluk oranı Eşitlik 4.1’de verilmiştir. Flyback konvertörün çıkış gerilimi ilişkisi Eşitlik 4.2.’de belirtilmiştir. Buck konvertörlerde

ıkış geriliminin bağıntısı Eşitlik 4.3'teki gibi olur. şekil 4.2'de bir Buck konvertörün devre şekli verilmiştir [15,26].

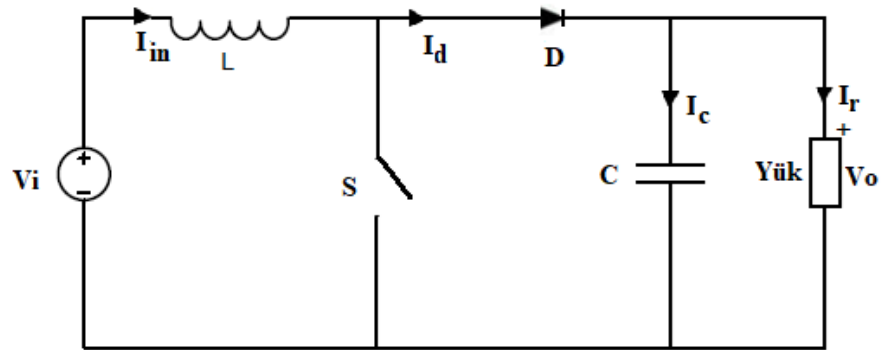
$$V_o = V_i \times D \quad (4.3)$$



şekil 4.2. Buck (düşürücü) konvertörün devre şeması

Boost konvertörler (yükseltici), çıkışta daha yüksek bir gerilim istendiğinde kullanılırlar. şekil 4.3'te Boost konvertörün eşdeğer devresi verilmiştir. Bu konvertörlerde çıkış gerilimi ilişkisi Eşitlik 4.4'te verilmiştir.

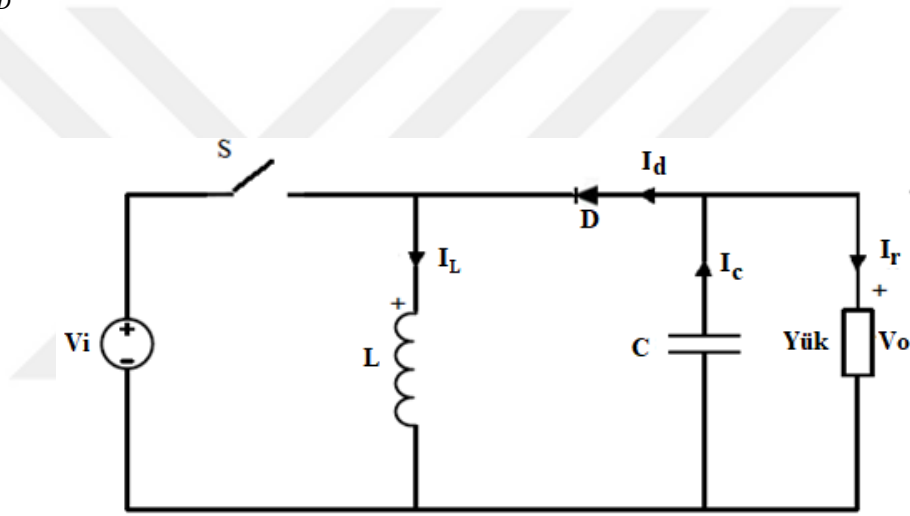
$$V_o = \left(\frac{1}{1-D}\right) \times V_i \quad (4.4)$$



şekil 4.3. Boost konvertörün eşdeğer devre şeması

Buck – Boost (düşürücü - yükseltici) konvertörler, giriş sinyalinin polaritesini terslerler ve anahtarlama elamanının doluluk oranına göre gerilim değerinin arttırırlar ve ya azaltırlar. Eşitlik 4.5'te Buck – Boost konvertörün çıkış gerilimi ilişkisi verilmiştir. Şekil 4.4'te Buck – Boost konvertörün eşdeğer devresi verilmiştir. Konvertörlerin çalışma gerilimi ve frekansına bağlı olarak seçilen anahtarlama elmanı değişir. Yüksek frekanslarda giriş gerilimindeki değişimlere hızlı cevap verildiği için çıkış gerilimindeki dalgalanmalar azalır [18,26].

$$V_o = -\left(\frac{D}{1-D}\right) \times V_i \quad (4.5)$$



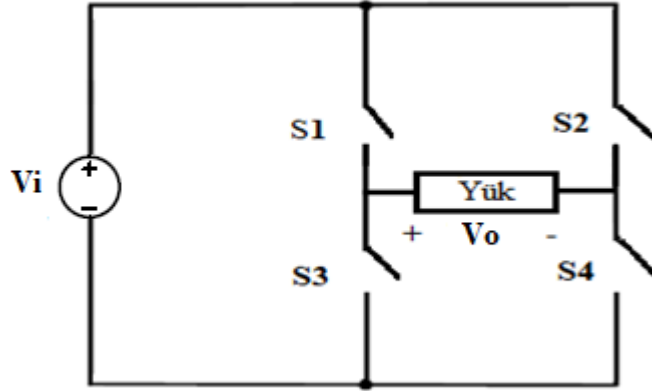
Şekil 4.4. Buck-Boost Konvertörün eşdeğer devresi

4.2 DA-AA dönüştürücüler (inverterler/eviriciler)

Bir inverter girişine uygulanan DA bir gerilimi, istenilen frekans ve genlik seviyesinde AA'a dönüştürür. FV sistemlerde panellerden DA üretildiği için, AA ile çalışan bir yük besleneceği zaman inverter kullanılır. İnverterler düşük güçteki elektronik uygulamalardan elektrik dağıtım sistemlerini besleyen büyük sistemlere kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Günümüzde yenilenebilir enerji çalışmaları hızla arttığından dolayı eviricilere olan ilgide artmaktadır [15,17].

Eviricileri bir çok başlık altında sınıflandırmak mümkündür. Çalışma şekillerine göre; yarı kontrollü eviriciler ve tam kontrollü eviriciler olarak ikiye ayrılırlar. Yarı kontrollü eviricilerde, anahtarlama elemanının iletme geçeceği zaman ayarlanabilirken, kesime geçeceği zaman

ayarlanmaz. Tam kontrollü eviricilerde, IGBT ve MOSFET gibi açılması ve kapanması kolaylıkla kontrol edilebilen anahtarlama elamanları kullanılır. FV sistemlerde bu tür eviriciler sıkça kullanılır [17].

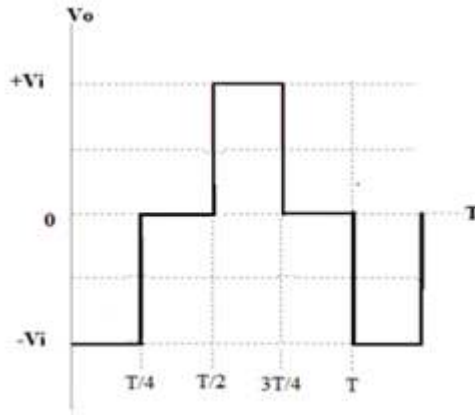


Şekil 4.5. Gerilim kaynaklı tam köprü inverter devresi

İnverterler girişlerine bağlanan kaynağa göre, gerilim kaynaklı inverterler ve akım kaynaklı inverterler olarak iki çeşittirler. Ayrıca bu inverterler kendi aralarında çıkıştaki faz sayılarına göre tek fazlı ve üç fazlı olarak sınıflandırılırlar. Şekil 4.5’ te gerilim kaynaklı tek fazlı tam köprü inverter şeması verilmiştir. Bu şemada anahtarların iletim durumlarına 1, kesim durumları 0 ile ifade edilirse yük geriliminin durumu Tablo 4.1’deki gibi, çıkış dalga şekli Şekil 4.6’daki gibi olur. Çıkış dalga şekillerine göre inverterler, kare dalga inverter, modifiye sinüs inverter ve tam sinüs dalga inverter olarak üçe ayrılırlar. Özellikle şebeke bağlantılı FV sistemlerde sıkça kullanılan mikro inverter, dizi inverter ve merkezi inverter çeşitleride mevcuttur. Bu inverter çeşitleri ile ilgili prensip şeması Şekil 4.7’de verilmiştir [17,18,26].

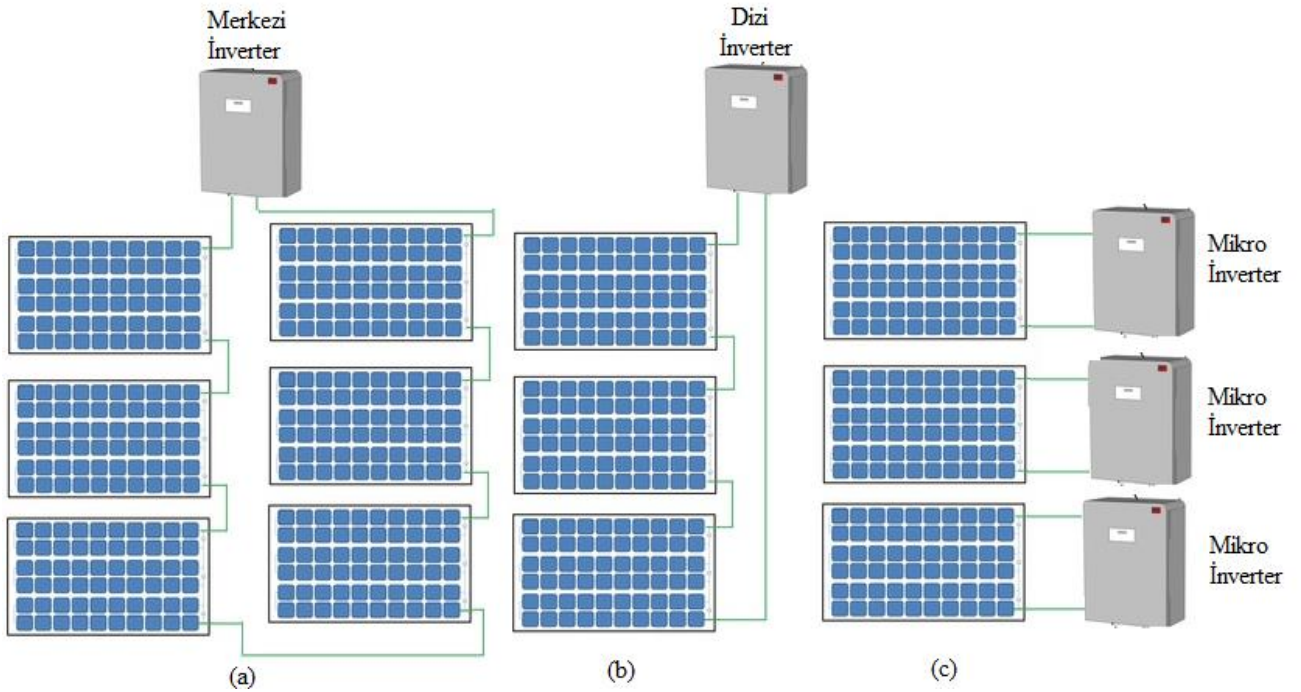
Tablo 4.1. Gerilim kaynaklı tam köprü inverterin anahtar doğruluk tablosu

S1	S2	S3	S4	V_o
0	1	1	0	$-V_i$
0	1	0	1	0
1	0	0	1	V_i
1	0	1	0	0



Şekil 4.6. Gerilim kaynaklı tam köprü inverterin çıkış gerilimi sinyali

Merkezi inverterler, çok sayıda FV dizinin bağlantısı ile oluşurlar. Bu inverterin kullanıldığı sistemlerde DA taşıyan kabloların uzun olmasından dolayı kablo kayıplarının fazla oluşu ve bir panel dizisinin kısmi gölgelemeye maruz kaldığında sistemin tamamını olumsuz etkilemesi dezavantaj olarak gösterilebilir. Bu olumsuz yönlerine rağmen basitliğe, yüksek verimliliğe ve düşük maliyete sahip olması nedeniyle en çok tercih edilen modeldir.



Şekil 4.7. FV sistemlerde inverter çeşitleri prensipleri, (a) Merkezi inverter, (b) Dizi inverter, (c) Mikro inverter

Dizi inverterler çatı uygulamaları gibi orta büyüklükteki (1-5 KW) güç sistemleri için uygundur. Bu inverterler gölgele ve kablo kayıplarını azaltmaktadır. Ayrıca bir dizinin arızası veya gücündeki azalma tüm sistemi daha az etkiler.

Mikro inverterler her bir panelin arkasına konulurlar. DA kabloların boyunu minimuma indirdiğinden kablo kayıpları azaltır. Mikro inverterlerin kullanımı düşük güç uygulamalarında uygun olsa da, büyük güç uygulamalarında kurulum ve işçilik maliyetini arttırmışından dolayı uygun değildir.

FV sistemler için üretilen inverterler DA-AA dönüşümünün yanı sıra şarj kontrol ve MPPT özelliklerine sahip olabilmektedirler. Şebeke bağlantılı sistemlerde kullanılan inverterler, sistemin ürettiği enerji talebi karşılamadığında şebekeden enerji alır, talepten fazla enerji üretildiğinde ise fazla olan enerjiyi şebekeye aktarır [18,26].

4.3 MPPT teknikleri

FV panellerden üretilen akım ve gerilimde çevresel şartlara bağlı olarak değişimler olur. Bu değişimler sistemde üretilen güçte büyük değişimlere neden olur. Sistemden maksimum verim elde etmek mekanik veya elektronik teknikler kullanılır. Mekanik teknikler, tek eksenli veya çift eksenli güneş takip sistemleri olabilir. Mekanik tekniklerin maliyetleri yüksektir ve motor kontrolü gerektirirler. Bu nedenle MPPT adı verilen elektronik teknikler ön plana çıkmaktadırlar.

MPPT, temelde bir DA-DA dönüştürücü, ölçüm birimi ve kontrol biriminden oluşan elektronik aygıttır. Maksimum güç transferi kuralına göre, kaynak ve yük empedansları eşit olduğunda maksimum güç aktarılır. MPPT cihazları bu ilkeye göre çalışırlar. MPPT cihazlarında bulunan DA-DA dönüştürücünün anahtarlama kontrol edilerek empedans dengesi kurulur [18,26,27].

MPPT cihazlarında kullanılan elektronik aygıtlar çok farklılık göstermese de, farklı algoritmalar mevcuttur. Kullanılan kontrol tekniklerine göre başlıca MPPT algoritmaları aşağıdaki gibidir:

Değiştir ve Gözle (P&Q) Algoritması: Bu teknik uygulamadaki kolaylığı nedeniyle en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde panelden alınan gerilim küçük miktarda artırılır ve panel

gücündeki beklenen değişim izlenir. Güçteki değişim pozitifse gerilim tekrar artırılır. Güçteki değişim negatifse gerilim azaltılır. Böylece maksimum güç noktasına en yakın noktada çalışılmış olunur.

Sabit Gerilim Algoritması: Bu teknik karmaşık devreler ve kontroller gerektirmeyen basit bir yöntemdir. Bu teknikte panelden alınan gerilim üreticinin ürün kataloğunda belirttiğı gerilim değerinde tutulur [28].

Artan iletkenlik Algoritması: Bu teknikte sürekli olarak akım ve gerilim değerleri ölçölür. Maksimum güç noktasında akım ve gerilim arasındaki ilişki Eşitlik 4.6'daki gibidir. Akım ve gerilimdeki değişimlerde göre referans gerilimi artırılır veya azaltılır. Bu teknik P&Q algoritması ile hemen hemen aynı verimlilikte çalışır ama daha karmaşık devreler gerektirir [28].

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (4.6)$$

Kısa devre akım algoritması : Bu teknik kısa devre akımı ile maksimum güç anındaki akım oranını kullanır. Çalışma akımı, kısa devre akımının bu oranla çarpılmasının sonucu olan seviyede tutulur.

Açık devre gerilimi algoritması : Kısa devre akımı algoritması tekniğine benzemektedir. Açık devre gerilimi ile maksimum güç noktasındaki gerilim oranı kullanılır. Bu oran sürekli ölçölen açık devre gerilim ile çarpılarak, çalışma geriliminin çıkan sonuç seviyesinde tutulur. Bu işlem sırasında açık devre gerilimi ölçmek için fazladan bir adet panel kullanılır. Böylece sistem kurulum maliyeti artmaktadır.

Hem açık devre gerilimi hem kısa devre akımı ölçümü gerektiren algoritmalarında, ya sürekli olarak panel devreden çıkartılıp kısa devre akımı ve açık devre gerilimi ölçölmeli yada bu işlemler için ek bir panel kullanılmalıdır.

4.4. Şarj kontrol

Temelde bir DA-DA dönüştürücü olan şarj kontrol cihazları, panellerden gelen regüle edilmemiş elektrik enerjisini düzeyip, bataryaları kontrollü bir şekilde şarj ederler. Bataryalar sürekli şarj/deşarj çalışırken daha performanslı bir çalışma için (ömrünü uzatmak için) şarj kontrol cihazları yardımıyla aşırı şarjdan ve derindeşarjdan korunurlar.

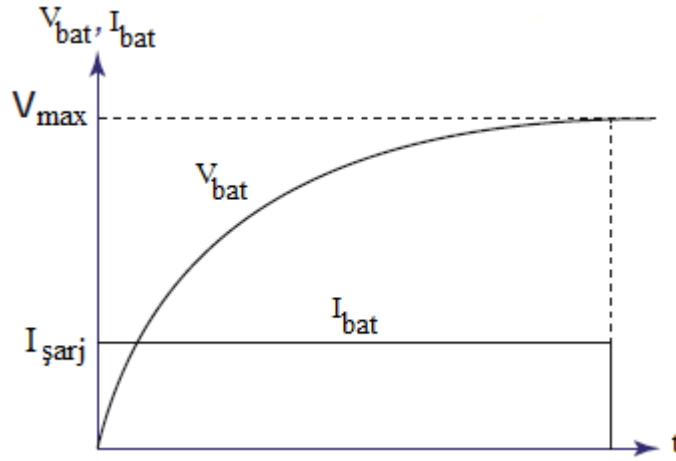
Şarj kontrol cihazları, bataryanın şarj durumunu ölçerek, uygun gerilim ve akımla bataryaları şarj ederler. Bataryaların şarj durumlarını ölçmede başlıca iki yöntem vardır. Bu yöntemler batarya elektrolit yoğunluğunun ölçülmesi ve batarya geriliminin ölçülmesidir. Tablo 4.2’de 12V ve 6V bataryaların gerilimi ve asit yoğunluğuna karşılık gelen yaklaşık doluluk oranı verilmiştir. Bu oranlar batarya türüne göre değişiklik gösterebilir.

Tablo 4.2 Batarya gerilimi ve asit yoğunluğuna göre doluluk oranı

Batarya Gerilimi		Yaklaşık Şarj Durumu	Yaklaşık Asit Yoğunluğu
12V	6V		
12.66V	6.32V	Tam şarj	1.265 g/cm ³
12.35V	6.22V	%75 şarj	1.225 g/cm ³
12.10V	6.12V	%50 şarj	1.190 g/cm ³
11.95V	6.03V	%25 şarj	1.155 g/cm ³
11.70V	6.00V	Deşarj	1.120 g/cm ³

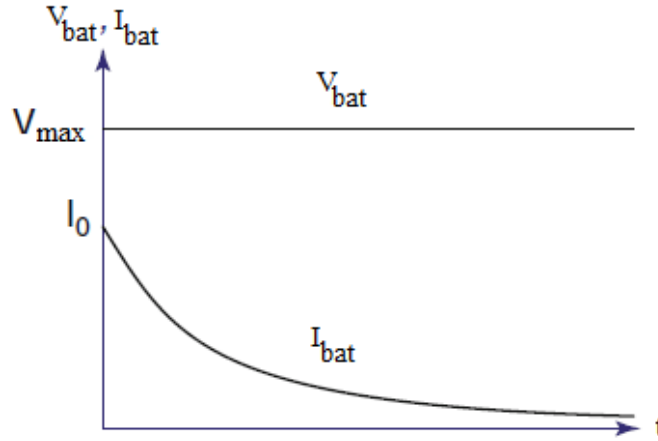
Bataryaların şarj edilmesinde genelde üç teknik kullanılır. Bu teknikler sabit akım tekniği, sabit gerilim tekniği ve iki tekniğin birlikte kullanıldığı hibrit yapılarda denilen sabit akım-gerilim tekniğidir.

Sabit akım tekniği: Batarya nominal gerilime ulaşmaya kadar sabit akımla şarj işlemi yapılır. Şekil 4.8’de sabit akım ile şarj işlemi yapıldığında bataryanın akım gerilim eğrisi verilmiştir. Sabit akım ile şarj işlemi yapıldığında şarj akımının zamanında kesilmemesi aşırı şarja ve akü arızasına neden olmaktadır [29].



Şekil 4.8. Sabit akım ile şarj işleminde bataryanın akım gerilim eğrisi

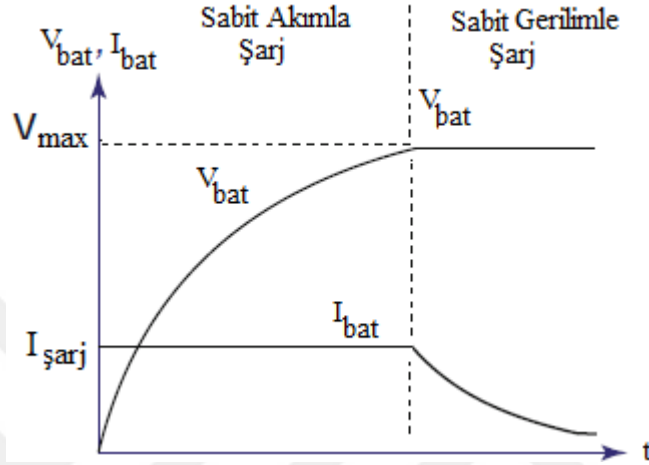
Sabit gerilim tekniği: Bu teknikte sabit gerilim değerinde şarj işlemi yapılır. Bataryanın iç direncine bağlı olarak şarj işlemi başladığı anda bataryadan yüksek akım geçebilir. Bu durum bataryaya zarar verir. Bu şarj tekniğinin bir diğer olumsuz yönü bataryanın gerilimi şarj gerilimine yaklaştığında, şarj akımının azalmasıdır. Bu azalma şarj süresinin uzamasına neden olur. Şekil 4.9’da sabit gerilim ile şarj edildiğinden bataryanın akım ve gerilim eğrileri verilmiştir.



Şekil 4.9. Sabit gerilim ile şarj işleminde bataryanın akım ve gerilim eğrileri

Sabit akım-gerilim tekniği: Bu teknikte başlangıçta batarya sabit akımla şarj edilir, akü gerilimi nominal değere ulaştığında sabit gerilimle şarj işlemi yapılır. Böylece sabit gerilim tekniğinde şarj işleminin başlangıcındaki akım sıçramasının ve sabit akım tekniğindeki aşırı

şarjın önüne bu teknik ile geçilir. Şekil 4.10’da sabit akım-gerilim tekniğinde bataryanın akım ve gerilim eğrisi verilmiştir [29].



Şekil 4.10. Sabit akım-gerilimli şarj işleminde batarya akım ve gerilim eğrisi

FV sistemler için kullanılan şarj kontrol cihazları (solar şarj kontrol) diğer şarj kontrol cihazlarından farklıdır. Solar şarj kontrol cihazları paneller, batarya grubu ve yük arasındaki dengeyi sağlarlar. Bataryalar boşaldığında ve yük aşırı akım çektiğinde yükün bağlantısını keserler. Aynı zamanda yük akım çekmediğinde ve bataryalar dolu olduğunda panellerin bağlantısını keserler.

Solar şarj kontrol cihazları amaçlarına göre, MPPT özelliğine sahip olabilirler. Bazı solar şarj kontrol cihazlarında bataryaların sıcaklığını ölçmek için sensörler vardır. Bu özellikleri sayesinde aşırı sıcaklıktan bataryaları korurlar. Şarj kontrol cihazı seçilirken giriş gerilimi, bağlanacak batarya grubunun gerilimi ve panellerin çıkış akımına dikkat edilmelidir [13,18].

5.GÖRÜNTÜ İŞLEME

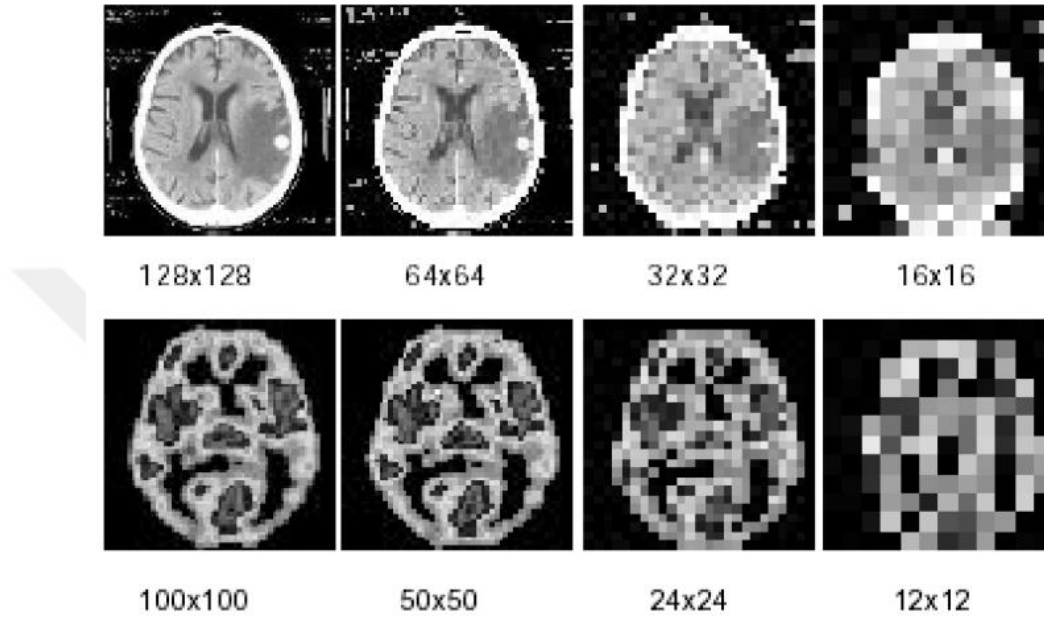
Görüntü işleme fiziksel ortamdan elde edilen resimleri elektronik ortamda kullanılmak için uygun hale getirme ve bu resimler üzerinde amaca uygun eylemler gerçekleştirmek olarak tanımlanabilir. Fiziksel ortamdan elde edilen resimleri elektronik ortama uygun hale getirme işlemine sayısallaştırma(dijitalleştirme) denir. Şekil 5.1’de bir resim ve dijitalleştirilmiş hâli verilmiştir. Dijitalleştirilmiş görüntü, fiziksel görüntünün her bir noktasını tanımlayan değerleri içeren matristir. Dijital görüntüde tanımlanabilecek en küçük noktaya piksel denir [7,30].



Şekil 5.1. Fiziksel bir görüntü ve bir bölümünün sayısallaştırılmış hali

Görüntü işleme; dijital görüntüler üzerinde yapılan özellik ve yapı değiştirme, görüntü iyileştirme ve bu görüntüler kullanılarak analizlerin yapıldığı teknolojidir. Günümüzde görüntü işleme ile bir görüntü (video veya resim) üzerinde yapılan işlemlerle istenilen özelliğe sahip başka görüntü elde edilebilir veya bir görüntünün sayısal verilerin elde edilmesini mümkündür. Dijital görüntü matrisinin satır ve sütun sayılarının çarpımı çözünürlük bilgisini verir. Yani toplam piksel sayısı çözünürlüğe eşittir. Çözünürlük görüntünün boyutuna eşit değildir. Ancak

Çözünürlük düştükçe görüntüdeki netlik azalır. şekil 5.2’de bir görüntünün farklı çözünürlükteki sonuçları verilmiştir [7,8].



şekil 5.2. Aynı resmin farklı çözünürlükteki durumları

Dijital görüntüler genel olarak 4 grupta incelenir. Bunlar ;

1. Binari (lojik) görüntü: Görüntü matrisi 0 ve 1’den oluşur. Görüntüde sadece siyah ve beyaz renk bulunur.
2. Gri seviyeli görüntü: Görüntüde siyah, beyaz ve grinin tonları bulunur. Renk bilgisi içermez sadece parlaklık bilgisi içerir.
3. Renkli görüntü: RGB görüntü olarak adlandırılır. R (kırmızı), G(yeşil), B(mavi) ton bilgilerini içeren üç adet gri seviyeli görüntünün üst üste eklenmesi ile oluşur.
4. Çok spektrumlu görüntü: Yanlış görüntü olarak adlandırılan, görünür spektrum dışında kalan görüntüdür.

Görüntü işlemede analiz yapılırken amaca uygun görüntü türü kullanılır. şekil 5.3’te dijital görüntü çeşitleri verilmiştir [8].



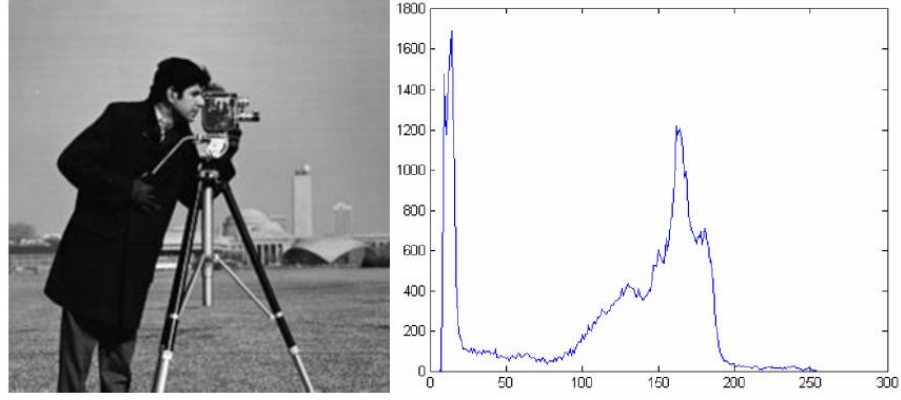
Şekil 5.3. Dijital görüntü türleri

Görüntü işlemede analiz yapılırken bazı teknikler uygulanır. Bunlar görüntü histogramı, kontrast ayarlama, histogram eşitleme, boyutlandırma gibi tekniklerdir.

5.1.Görüntü Histogramı

Histogram, gri tondaki bir görüntüde bulunan her parlaklık seviyesinin sayısını gösterir. Histogram vasıtasıyla bir görüntüdeki gri değerlerin dağılımı elde edilir. Histogramdaki yatay eksen piksellerin gri seviyesi değerini, dikey ekseninde ilgili gri seviyesine ait piksel sayısını belirtmektedir.

Görüntü üzerinde yapılan bir çok iyileştirme metodu histogram üzerindeki değerler kullanılarak yapılır. Bu metotlara örnek olarak eşikleme, kontrast ayarlama, parlaklık ayarlama, histogram eşitleme verilebilir. Şekil 5.4'te gri seviyeli bir resim ve o resme ait histogram verilmiştir [8,31].



Şekil 5.4. Gri seviyeli görüntü ve histogramı

5.2 Parlaklık Ayarlama

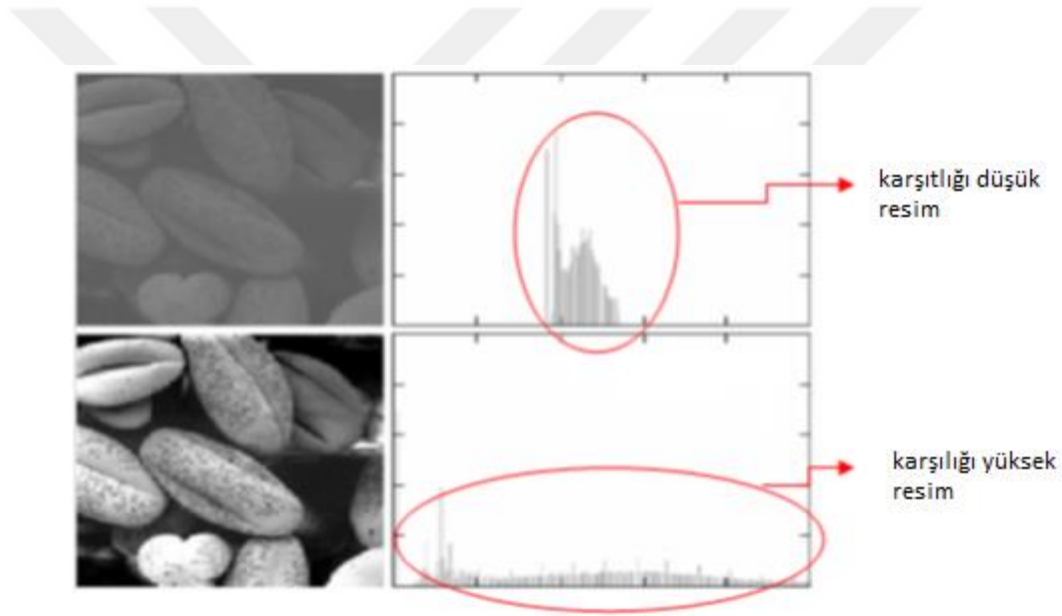
Histogramdan elde edilen gri değerlerin ağırlıklı ortalaması, görüntünün ortalama parlaklığının ölçüsünü verir. Bir görüntünün parlaklığını değiştirmek için tüm piksel değerlerine sabit bir sayı eklenebilir veya çıkartılabilir. Gri seviye değerlerine sabit bir değer eklemek parlaklığı artırırken, sabit değer çıkarmak parlaklığı azaltır. Şekil 5.5'te gri seviyeli bir resme uygulanan parlaklık arttırılması ve azaltılması gösterilmiştir [8,31].



Şekil 5.5. Farklı parlaklık değerlerinde görüntüler, (a) orijinal görüntü, (b) parlaklık azaltılmış görüntü, (c) parlaklık artırılmış görüntü

5.3 Kontrast iyileştirme

Kontrast (karşıtlık) görüntüdeki en yüksek gri değeri ile en düşük gri değeri arasındaki fark olarak tanımlanır. Ayrıca görüntünün ayırt ediciliğini ifade etmede kullanılan bir terimdir. Şekil 5.6’da bir resmin kontrastı düşük ve kontrastı yüksek görüntüsü ve histogramı verilmiştir. Kontrastı düşük olan görüntünün ayırt ediciliği düşüktür ve histogramında en düşük parlaklık değeri ile en yüksek parlaklık değeri bir birine yakındır. Kontrastı yüksek olan görüntünün ayırt ediciliği yüksektir.



Şekil 5.6. Karşıtlığı düşük ve yüksek olan görüntüler ve histogramları

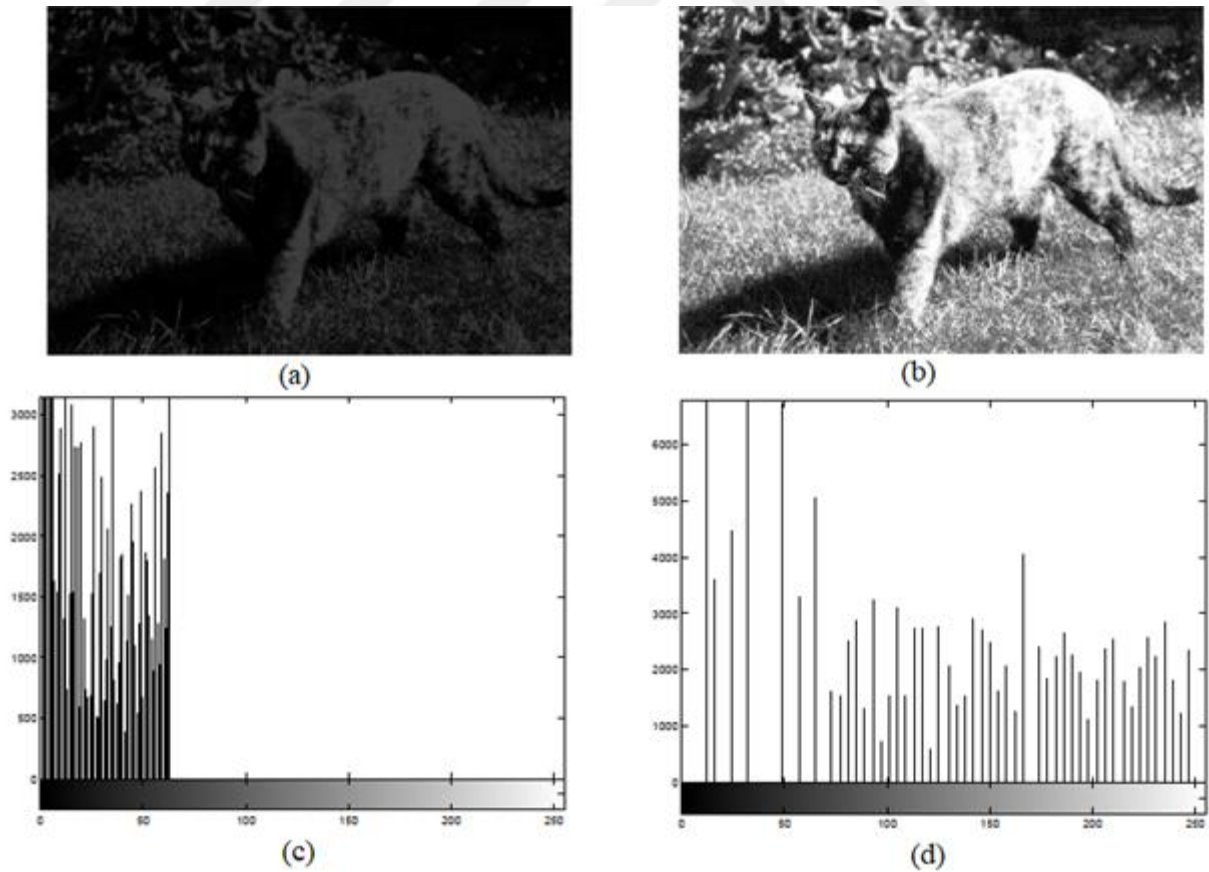
İnsan gözünün ayırt edemediği düşük kontrastlı görüntüler bir çok dönüşüm fonksiyonu kullanılarak insan gözü için uygun duruma getirilebilir. Bu fonksiyonlara örnek olarak literatürde çok sık rastlanan sabit değer ile çarpma ve lineer kontrast germe yöntemleri verilebilir.

Sabit değer ile çarpma yönteminde piksel değerleri sabit bir sayı ile çarpılırlar. Bu sayı 1’den küçük olduğunda kontrast azalır, 1’den büyük olduğunda kontrast artar. Lineer kontrast gerilim yönteminde, en düşük piksel değeri 0’a, en yüksek piksel değeri 255’e eşit olacak şekilde tüm değerler gerilir.

5.4 Histogram Eşitleme

Kontrast iyileştirme metotları arasına giren histogram eşitleme yöntemi, kontrastı düşük olan görüntülerde iyi sonuç verir. Bu yöntem görüntünün tamamına uygulanabildiği gibi görüntünün bir bölümüne de uygulanabilir. Histogram eşitlemenin uygulama adımları aşağıdaki gibidir;

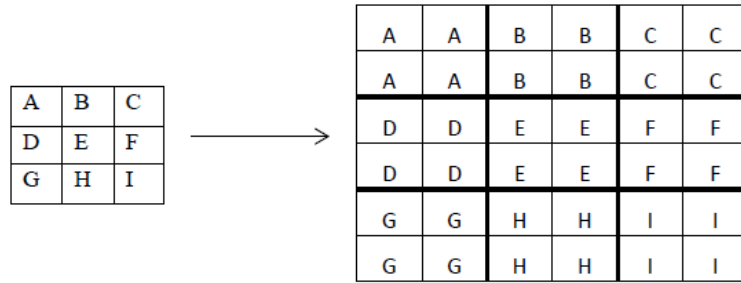
- Görüntünün histogramı bulunur.
- Bulunan Histogram kullanılarak kümülatif histogram hesaplanır.
- Kümülatif histogramın değerleri normalize edilir.
- Başlangıçtaki gri seviye değerleri ile üçüncü adımda elde edilen gri seviye değerleri birbirine karşılık düşürülür ve eşitlenmiş histogram elde edilir. Şekil 5.7’de histogram eşitlemesi ile ilgili görüntü ve histogram verilmiştir [8,30].



Şekil 5.7. Histogram eşitleme örneği, (a) orijinal resim, (c) orijinal resmin histogramı, (b) histogramı eşitlenmiş resim, (d) işlenmiş resmin histogramı

5.5 Boyutlandırma

Boyutlandırma işlemi bir görüntüyü eksenler boyunca genişletmek veya küçültmektir. Boyutlandırma işlemi genişletme olarak uygulandığında pikseller verilen yatay ve dikey oranlarla genişletileceğinden, pikseller tek tek seçilebilecek duruma geleceklerdir. Bu nedenle görüntü üzerindeki bozulmalar daha seçilebilir hale gelir. Küçültme işleminde piksellerin birim boyutları verilen boyutlar dahilinde küçültülebilmesi için kullanılan görüntünün oldukça büyük olması gereklidir. Şekil 5.8’de genişletilme uygulamasının prensibini gösteren bir matris verilmiştir.



Şekil 5.8. Genişletme işlemin prensibi

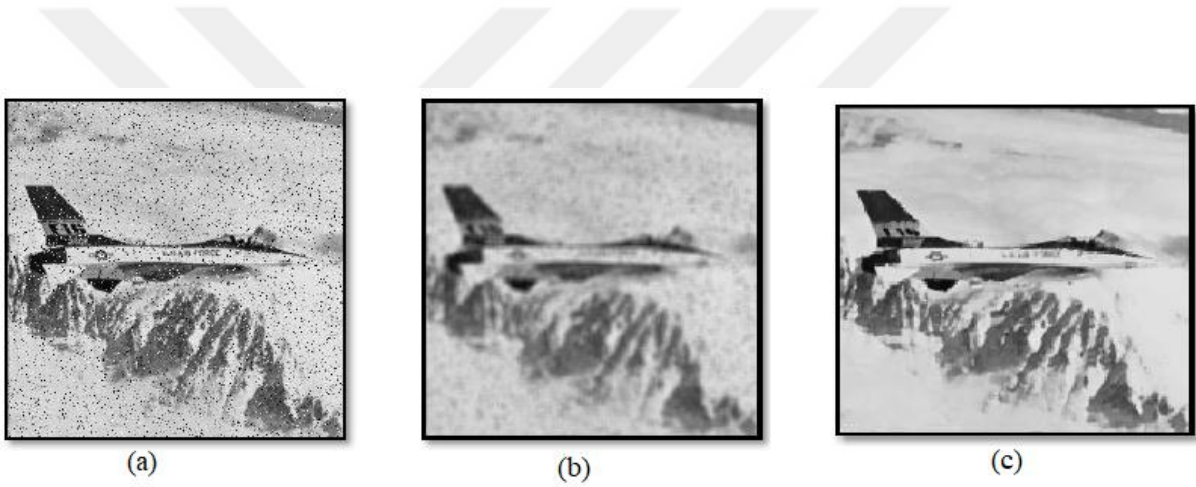
5.6 Filtreleme

Filtreleme görüntüyü iyileştirme amacı ile görüntüdeki bazı ayrıntıları ortaya çıkartmak veya görüntüdeki gürültülerin giderilmesini sağlamak için yapılan işlemlerdir. Çevresel etkilerden etkilenen cihazlardan elde edilen gürültülü görüntülerdeki kayıplar filtreleme işlemleri ile en aza indirilir. Filtreleme işlemlerinin amacı olarak, görüntü yumuşatma, kenar keskinleştirme ve kenar yakalama verilebilir [31].

Görüntüleri kirlilikten arındırmak, görüntüleri yumuşatmak ve keskinleştirmek için en çok kullanılan filtreler, ortalama değer filtresi, medyan filtresi ve Gauss filtresidir [8].

- **Ortalama değer filtresi:** Bu filtre yönteminde merkezdeki pikselin değeri etrafındaki piksellerin ortalaması olur. Böylece merkez pikselin değeri etrafındaki piksellerin değerine yaklaşır. Bu filtrede yan etki olarak görüntü bulanıklaşır.

- **Medyan filtre:** Filtreleme maskesi olarak 3x3 veya 5x5 gibi matrisler kullanılır. Filtreleme maskesi görüntü üzerinde gezdirilir. Merkez pikselin değeri, maskedeki tüm değerler küçükten büyüğe sıralandığında ortada kalan değer olur.
- **Gauss filtre:** Bir Fourier dönüşüm olan Gauss filtre, ortalama değer filtresinin Gauss dağılımı kullanılarak genişletilmesiyle uygulanır. Bu filtre önce yatay eksende işlem yapar sonra çıkan sonuçla düşey eksende yumuşatma yapar. Şekil 5.9'de gürültülü resim ve ortalama değer filtresi ile medyan filtresinin sonucu verilmiştir [31].



Şekil 5.9. Gürültülü resim ve filtrelenmiş durumları, (a) gürültülü, (b) ortalama değer filtresi, (c) medyan filtresi uygulanmış resim

5.7 Eşikleme

Eşikleme, gri seviyeli bir görüntüdeki parlaklık seviyelerinin belli bir değerin üstünde olanları 1'e, altında olanları 0'a çekilmesi işlemidir. Oluşan yeni resim binari görüntüdür ve sadece siyah ve beyaz bilgisini içerir. Eşikleme yöntemiyle görüntüdeki nesneler arka plandan ayrılabilir. Arka plan belirlemede görüntünün histogramından eşik değeri belirlenir. Şekil 5.10'da görüntü ve eşiklenmiş hali verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.10. Resim eşikleme, (a) orijinal görüntü, (b) eşiklenmiş görüntü

6. SİSTEM TASARIMI VE DENEYSEL SONUÇLAR

FV panellerdeki toz yoğunluğunun görüntü işleme ile tespit edilmesi aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar;

- FV sistemin tasarımı
- Elektriksel ölçümler ve görüntülerin alınması
- Algoritmanın ve yazılımın geliştirilmesi
- Deneysel sonuçların değerlendirilmesi

6.1. FV Sistemin Tasarımı

FV sistemler tasarlanırken enerji ihtiyacı, güneşsiz geçecek gün sayısı, ortalama gündüz süresi gibi etkenler göz önünde bulundurulur. Bu tez çalışması için tasarlanan sistem; panel, akü, şarj kontrol cihazı ve yükten oluşmaktadır. Şekil 6.1' de tez çalışmasında kullanılan sistemin prensip şeması ve fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



(a)

Şekil 6.1. Tezde kullanılan sistemin, (a)prensip şeması, (b)fotoğraf görüntüsü (devamı)



(b)

Şekil 6.1. Tezde kullanılan sistemin, (a)prensip şeması, (b) fotoğraf görüntüsü

Yapılacak tarama dikkate alındığında sistemde kullanılan elamanların özellikleri ve seçilme nedenleri alt bölümde verildiği gibi değerlendirilebilir.

Paneller: Paneller seçilirken boyutlarına, çıkış güçlerine ve temin edilebilirliğine dikkat edildi. Tablo 6.1’de sistemde kullanılan panellerin karakteristik değerleri verilmiştir. Kirli panelden alınan görüntülerin çözünürlüğünün yüksek olması, görüntüleri kolay elde edilebilmesi ve panellerin taşınabilirliği için boyutu 310x360x17mm olan paneller kullanıldı. Fiyatının uygun olması ve temin edilebilirliğinin kolay olmasından dolayı poli kristal yapılı paneller seçildi. Panellerin etiket değerleri:

- Model No: TT10-36P
- P_{max} : 10W
- V_{mpp} : 17,3V
- I_{mpp} : 0,578A
- V_{oc} : 21,1V
- I_{sc} : 0,718A
- Maksimun sistem gerilimi: 1000V
- Boyut: 310x360x17 mm
- Ağırlık: 1,4kg
- Hücre sayısı: 36 adet şeklindedir.

Akü: Sistemde kullanılacak akü seçilirken panel çıkış gerilimi ve gücü dikkate alınır. Maksimum güç noktasında panel çıkış geriliminin 17,1V ve çıkış gücü 10W olduğundan 12V gerilim değerine ve 9 Ah kapasiteye sahip akü kullanılmıştır.

Şarj kontrol cihazı: 12V ve 10W paneleler için uygun olan 3A solar şarj kontrol cihazı seçilmiştir (Başlık 4.4'te detaylar verildi).

Yük: Şarj kontrol cihazıyla uyumlu olmasından dolayı 12V çalışma gerilimine sahip 6W gücünde yük tercih edilmiştir.

6.2. Elektriksel Ölçümler ve Görüntülerin Alınması

Elektriksel ölçümler bir çok sistem tasarımında önemli rol üstlenir. Özellikle sistemin anlık durumu, performansı ve verimliliği bağlamında ölçüm parametreleri kullanılır. Ölçüm parametreleri dışında panel görüntülerinin incelenmesi de sistem durumu hakkında arzulanan bilgiyi sunabilmektedir. Bu çalışmada panel görüntülerinden, kirliliğin performans üzerindeki etkisini bulabilmek için hem elektriksel verileri hem de görüntüleri kullanarak karşılaştırma amaçlanmıştır. Bu amaç için, verilerin elde edilme işlemlerinde doğruluk, hassasiyet ve duyarlılık gibi kavramlara göz önünde bulundurulmalıdır. Verilerin elde edilme işlemleri aşağıdaki gibi uygulanmıştır;

Elektriksel verilerin elde edilmesi: Sistemin kurulum aşamasında her iki panelde temizlendikten sonra akım ve gerilim değerleri ölçülüp panel görüntüsü alındı. Doğal kirlenmeye bırakılacak panelin temiz görüntüsü referans görüntü olarak kullanıldı. Panel A doğal kirlenmeye bırakıldı. Panel B ise elektriksel ölçümler için her ölçüm esnasında temizlendi. Sistemin elektriksel değerleri pazartesi, salı, çarşamba ve perşembe günlerinde ölçülerek diğer günlerde değerlendirildi, ayrıca doğal kirlenmeye bırakıldı. Bu ölçümler arasında birbirinden bariz farklılık gösteren günlerdeki ölçüm değerleri çalışmada kullanılmak üzere tabloya işlendi (Tablo 6.2). Tabloda, çalışmada kullanılan değerlerin ölçüm tarihleri, elektriksel parametreler ve bu parametrelerin hangi panele ait olduğu verilmiştir.

Tablo 6.1. Elektriksel ölçüm değerleri ve tarihleri

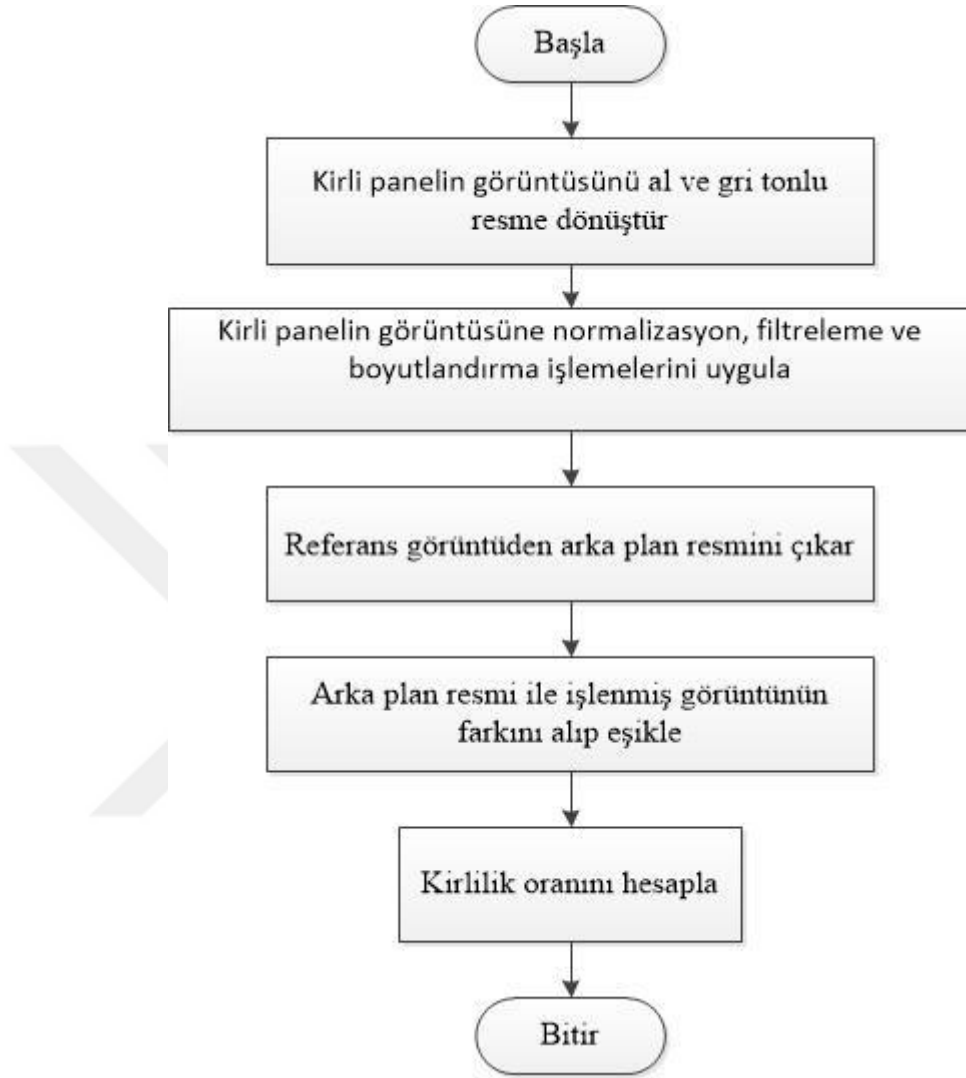
Ölçüm No	Tarih	Panel A(Kirli)		Panel B(Temiz)	
		Isc(A)	Voc(V)	Isc(A)	Voc(V)
0	13.03.2018	0,68	21,20	0,68	21,20
1	19.03.2018	0,67	21,00	0,68	21,10
2	21.03.2018	0,75	20,40	0,77	20,80
3	26.03.2018	0,74	20,70	0,78	21,10
4	02.04.2018	0,72	20,80	0,72	21,10
5	12.04.2018	0,82	19,90	0,81	20,40
6	16.04.2018	0,74	20,80	0,74	21,10
7	01.05.2018	0,71	20,50	0,70	20,80

Görüntülerin alınması: Tabloya anlamlı günler için işlenen değerlerin alındığı sırada kirli panelin görüntüsü de alındı. Panel görüntüleri işlenirken referans görüntü ile karşılaştırılacağından, görüntü alma işlemlerinde kamera panele 45cm uzaklıkta ve panele dik bir şekilde tutuldu (en uygun görüntü alabilmek için kararlaştırılmıştır). Güneş ışığının panel yüzeyindeki yansımaları görüntü işlemeyi zorlaştıracığından, çalışmanın deneysel olması dikkate alınarak görüntüler gölgede çekildi.

6.3. Algoritma ve Yazılımın Geliştirilmesi

Görüntülerin analiz edilebilmesi için bazı ön işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Bunlar, arka plan resminin çıkarılması, gürültülerin giderilmesi ve boyutlandırma gibi işlemlerdir. Panellerin yapılarından kaynaklı yüzey desenlerin ortadan kaldırılması için filtreleme işlemleri yapıldı.

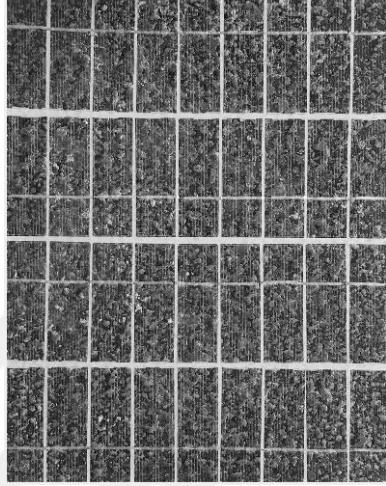
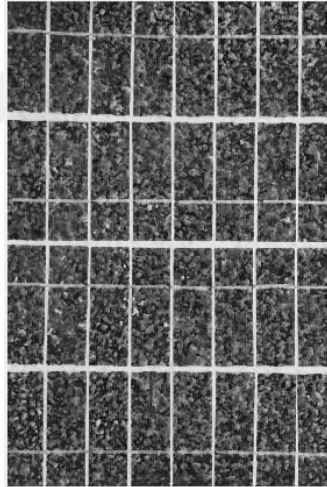
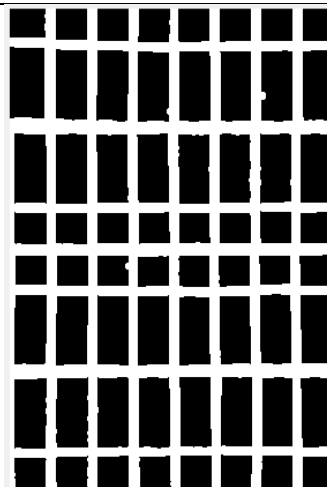
Elektronik ortamda görüntüler matris biçiminde olacağından, iki görüntüyü karşılaştırmak için görüntülerin boyutlarının aynı olması gerekir. Bu nedenle yeniden boyutlandırma işlemi uygulanır.



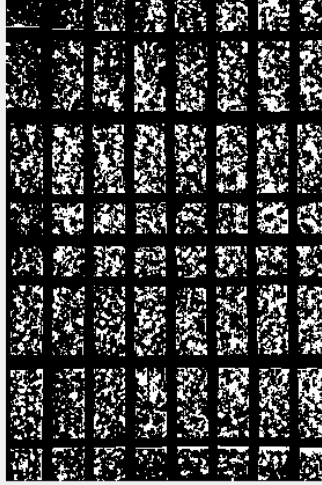
Şekil 6.2. Geliştirilen algoritmanın akış şeması

Kirli panelden alınan görüntüden arka plan çıkarılıp, eşikleme yapıldıktan sonra oluşan görüntüdeki 1'ler kirli alanı temsil etmektedir. Kirlilik oranı, kirli alanı temsil eden 1'lerin sayısının görüntüdeki toplam 1 ve 0'ların sayısına bölünmesiyle elde edildi. Yapılan işlemlerin anlamlı ve sıralı bir şekilde ifade edilmesi sonucu bir algoritma oluştu. Şekil 6.2' de geliştirilen algoritmanın akış şeması verilmiştir. Tablo 6.2'de örnek bir ölçümdeki görüntünün geliştirilen algoritmanın her bir adımının Matlab ortamında işlenmesi sonucu gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Her bir algoritma adımı uygulandığında çıkan sonuçlar

Algoritma adımları	Sonuçları
1.adım: “ <i>Kirli panelin görüntüsünü al ve gri tonlu resme dönüştür</i> ”	
2.adım: “ <i>Kirli panelin görüntüsüne normalizasyon, filtreleme ve boyutlandırma işlemlerini uygula</i> ”	
3.adım: “ <i>Referans görüntüden arka plan resmini çıkar</i> ”	

Tablo 6.2. Her bir algoritma adımı uygulandığında çıkan sonuçlar (devamı)

4.adım: "Arka plan resmi ile işlenmiş görüntünün farkını alıp eşikle"	
5.adım: "Kirlilik oranını hesapla"	kirlenme_oranı = %36.66

6.4. Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi

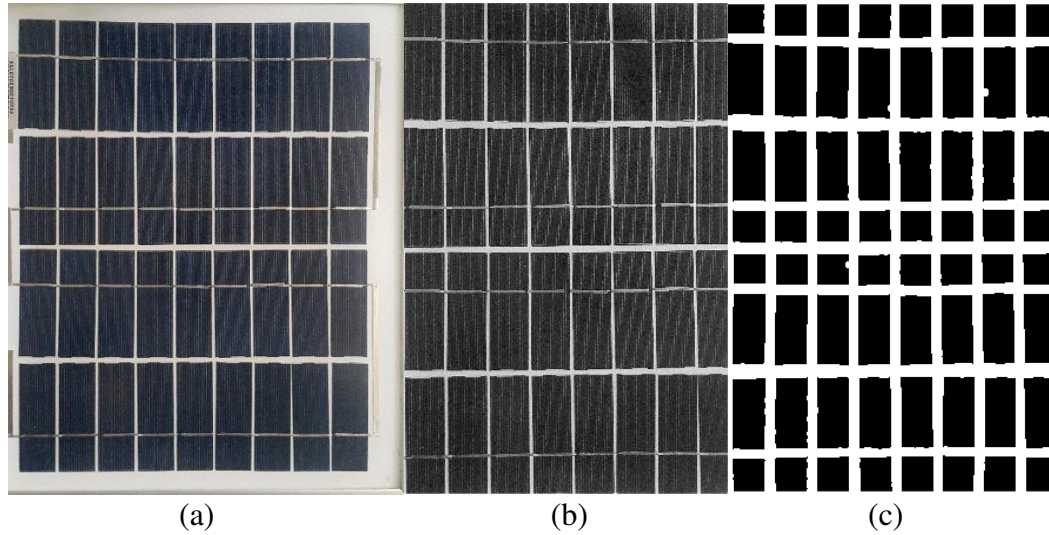
Bu bölümde, elde edilen elektriksel veriler ile görüntü işleme sonucunda hesaplanan değerler karşılaştırılacaktır. Öncelikle panellerin ürettiği güç dikkate alınarak verim ve kirlilik etkisi (KE) hesaplanacaktır. Sonrasında kirli panel görüntüsünden geliştirilen yazılım kullanılarak kirlilik oranı (KO) bulunacaktır. Hesaplanan kirlilik etkisi ile görüntü işlemeden elde edilen kirlilik oranı karşılaştırılacaktır.

Tablo 6.3'te ölçümlerin hesaplanması ile elde edilen veriler gösterilmiştir. Bu tabloda PA kirli panelin gücü, PB temiz panelin gücü, $\text{verim} = (PA/PB) \cdot 100$, $KE = 100 - \text{verim}$ şeklinde işlenmiştir.

Tablo 6.3. Tablo 6.2’deki ölçümlerden hesaplanan elektriksel veriler

Ölçüm No	PA	PB	Verim %	Kirlilik Etkisi %
1	14,070	14,348	98,062	1,937
2	15,300	16,016	95,529	4,470
3	15,318	16,458	93,073	6,926
4	14,976	15,192	98,578	1,421
5	16,318	16,524	98,753	1,246
6	15,392	15,614	98,578	1,421
7	14,555	14,560	99,965	0,034

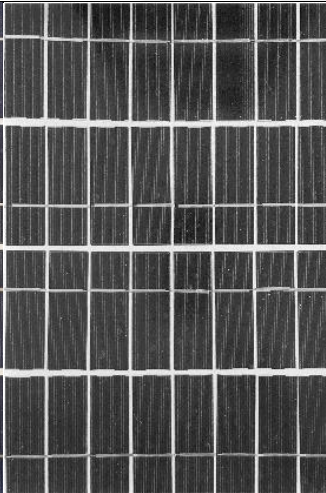
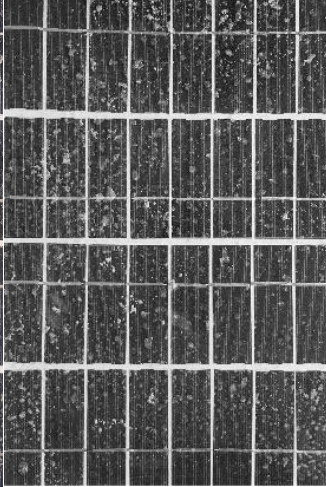
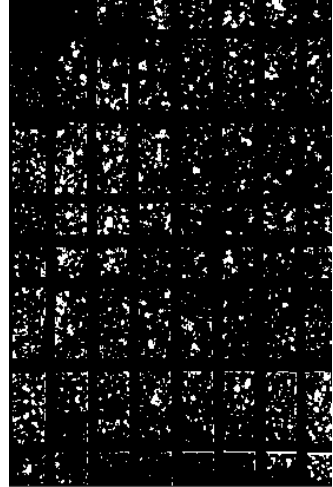
Görüntü işleme anlizlerinde genellikle resmin gri tonları kullanılır. Bu prensib göz önünde tutularak, kirli panelden alınan görüntü gri tonlu resme dönüştürüldü. Karşılaştırma işlemleri için gerekli olan çerçeve ve arka plan resimleri referans görüntü kullnılarak elde edildi. Şekil 6.3’te elde edilen panel resimlerinin çekilmiş renkli görüntüleri, gri tona dönüştürülmüş halleri ve panel yapısındaki desenlerin filtrelenip elde edilen arka plan resimleri birlikte sırasıyla verilmiştir.



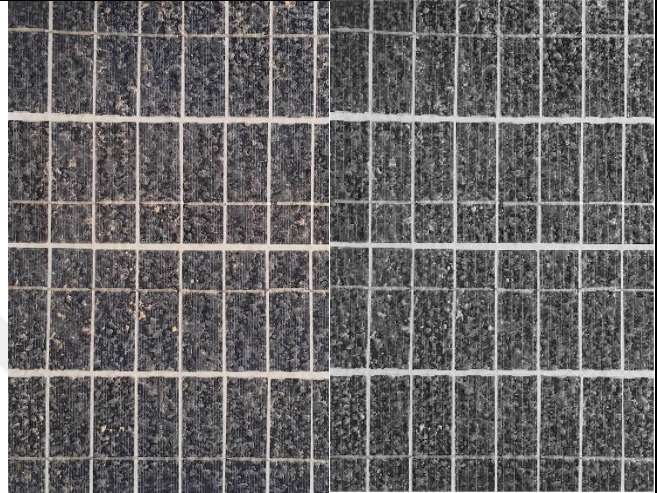
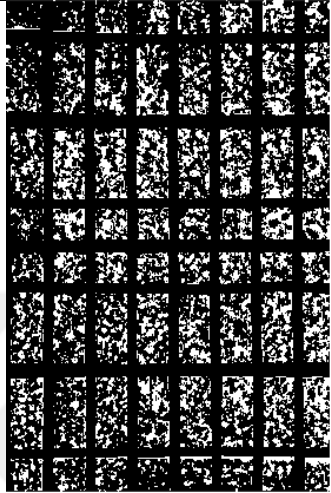
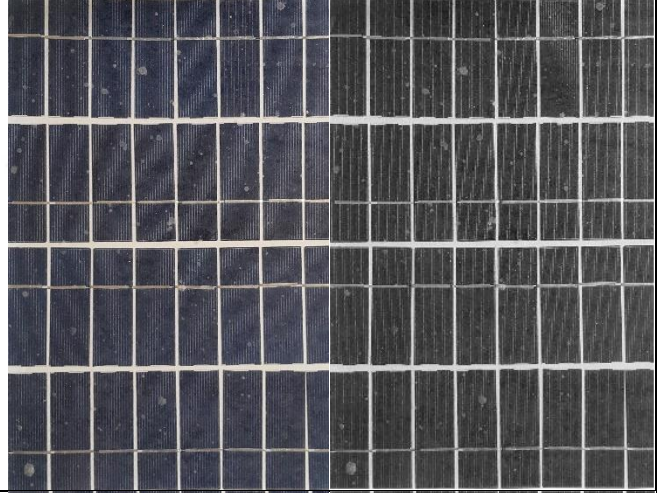
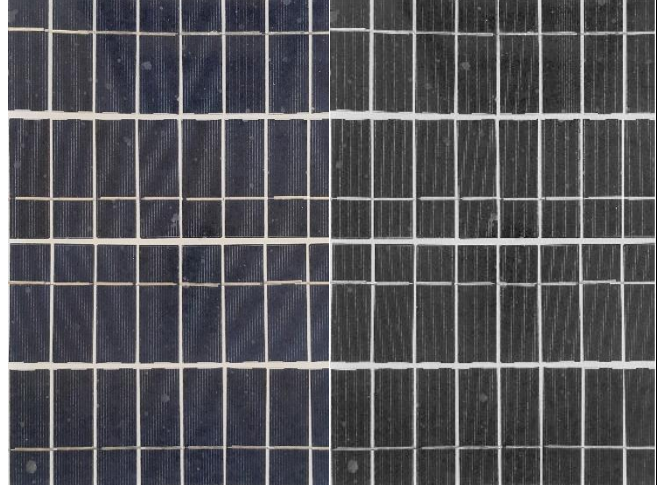
Şekil 6.3. Panelin görüntüsü ve işlenmiş görüntüleri, (a) renkli görüntü (b) gri tonlu hali (c) arka plan görüntüsü

Kirli panelden alınan görüntüler geliştirilen yazılım kullanılarak işlendi ve paneldeki kirlilik oranı hesaplandı. Tablo 6.4'te kirli panelden alınan renkli görüntüler, gri tonlu halleri, yazılım sonucunda elde edilen eşiklenmiş görüntü ve hesaplanan kirlilik oranı sırasıyla verilmiştir.

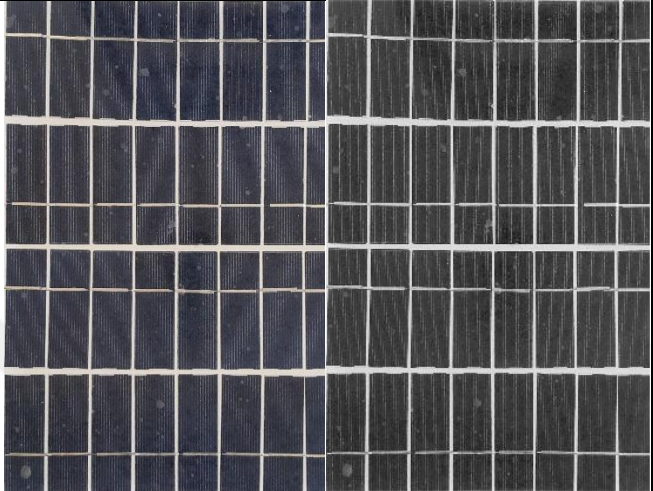
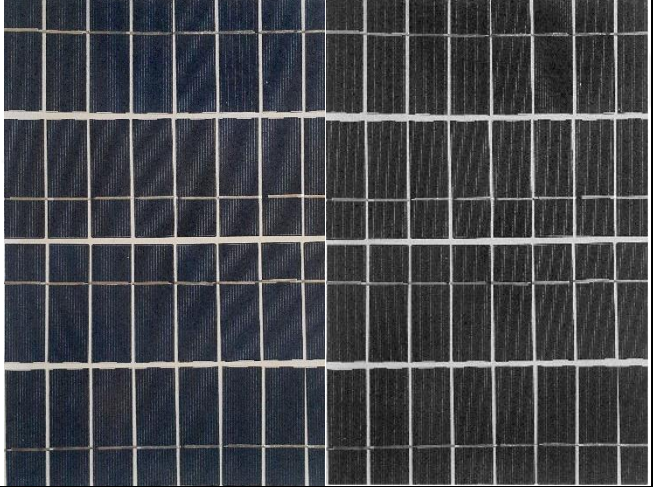
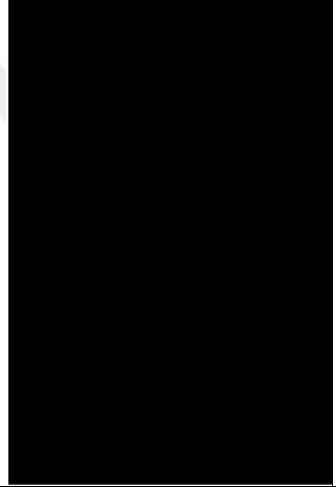
Tablo 6.4. Kirli panelden alınan renkli görüntü, gri tonlu hali, eşiklenmiş hali ve kirlilik oranı

Ö. No	Renkli görüntü	Gri tonlu resim	Eşiklenmiş resim	KO
1				0,24
2				11,58

Tablo 6.4. Kirli panelden alınan renkli görüntü, gri tonlu hali, eşiklenmiş hali ve kirlilik oranı (devamı)

3			36,66
4			1,37
5			0,49

Tablo 6.4. Kirli panelden alınan renkli görüntü, gri tonlu hali, eşiklenmiş hali ve kirlilik oranı (devamı)

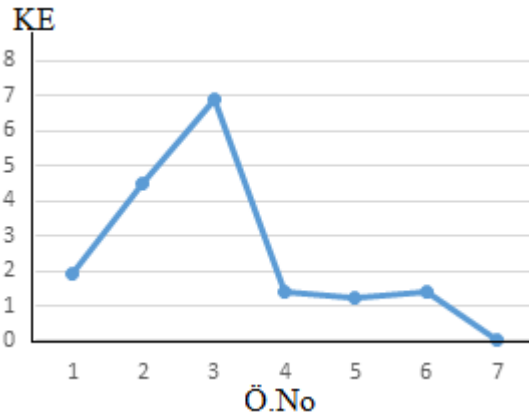
6			0,74
7			0

Deneysel çalışmadan elde edilen elektriksel veriler ile görüntü işleme sonucunda elde edilen değerleri tablo ve grafik haline dönüştürmek, değerlendirme işlemini kolaylaştırır. Tablo 6.5'te elektriksel veriler sonucunda hesaplanan kirlilik etkisi (KE) ve görüntü işleme işlemi sonucunda elde edilen kirlilik oranı (KO) verilmiştir.

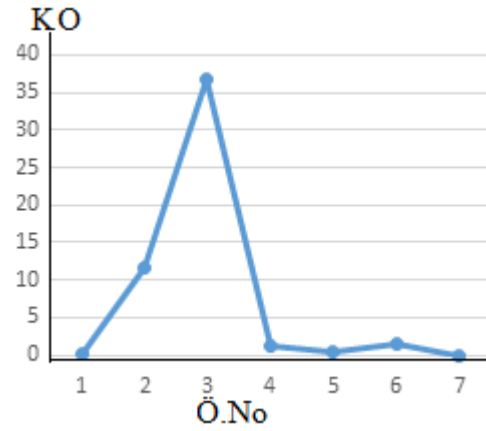
Tablo 6.5. Kirlilik etkisi ve kirlilik oranı

Ö. No	KE (%)	KO (%)
1	1,937	0,24
2	4,470	11,58
3	6,926	36,66
4	1,421	1,37
5	1,246	0,49
6	1,421	1,42
7	0,034	0

Altta Şekil 6.4'te ölçün numaralarına göre kirlilik etkisi ve kirlilik oranlarının %'lik değer grafikleri verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6.4. Elde edilen grafikler (a) kirlilik etkisi, (b) kirlilik oranı

Şekil 6.4' te verilen grafikler incelendiğinde anlamlı bir benzerliğin olduğu görülmektedir. Bu benzerlikten, hesaplamalarla elde edilen KE ile görüntü işleme sonucu hesaplanan KO grafiklerinin yaklaşık örtüştüğü söylenebilir. Bu durum, panel kirlilik oranının görüntü işleme teknikleri ile tespit edilebilir olduğunu gösterebilir.

7. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Son yıllarda enerji talebindeki artış, alternatif enerji kaynaklarına yönelimi zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda alternatif enerji kaynakları önem kazanmış ve bunlar arasında tercih genelde Fotovoltaik (FV) enerjiden yana olmuştur. Bu günlerde FV sistemlerin gündeme taşınması ile verimlilik, sıcaklık ve panel kirliliği gibi çevresel faktörlere bağlı parametrelerin analizi üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Yapılan analizler FV sistemlerin performansını arttırılmasında önemli rol üstlenmiştir.

Bu çalışmada, FV panellerdeki toz yoğunluğu görüntü işleme teknikleri kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışma FV sistemin kurulması, elektriksel verilerin ve görüntülerin alınması, görüntü işleme yazılımının geliştirilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi olarak 4 aşamada gerçekleştirilmiştir. FV sistemdeki özdeş panellerden birisi doğal kirlenmeye bırakılmış, diğer panel ise referans değerler için kullanılmak üzere sürekli toz ve kirden arındırılmış bir şekilde tutulmuştur. Her iki panelden elde edilen elektriksel veriler ile görüntü işleme sonuçları tablo ve grafikler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda görüntü işleme ile elde edilen toz yoğunluğu /kirlilik oranı ile elektriksel verilerden elde edilen panel verimliliği/kirlilik etkisinin paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir.

Literatür taramalarında bu bağlamda çok az çalışma göze çarpmaktadır. Özellikle bu çalışmalarda çeşitli kamera teknikleri ile sistem verimliliğinin tespiti denenmiştir. Genellikle yerleşim bölgelerinden uzak yerlerde kurulmuş FV güneş tarlalarından quadratörler kullanılarak alınacak görüntülerden kirlilik tespitinin yapılmasına dönük çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Köklü, T.**, 2017. Remote Monitoring of Photovoltaic System, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üni., Fen Bilimleri Ens., İzmir.
- [2] **Bakır, H.**, 2016. Fotovoltaik Sistem Entegreli Akıllı Şebeke İçin Zigbee Aygıtları ile Enerji Kontrolü ve İzlemenin Gerçekleştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üni., Fen Bilimleri Ens., Konya.
- [3] **Parmaksız, H.**, 2017. Rasperi PI ile Fotovoltaik Panellerin Elektriksel Verilerin Gerçek Zamanlı İzlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Şeyh Edebalı Üni., Fen Bilimleri Ens., Bilecik
- [4] **Saidan, M., Albaali A. G., Alasis, E., Kaldellis, J. K.**, 2016. Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment, *Renewable Energy* 92,499-505.
- [5] **Louy, M., Wang C.**, 2017. Effect of Dust on the I-MW Photovoltaic Power Plant at Tafila Technical University, *The 8th International Renewable Energy Congress (IREC 2017)*, Amman, Ürdün, 21-23 Mart 2017.
- [6] **Kaldellis, J.K., Kokala, A.**, 2010. Quantifying the decrease of the photovoltaic panels' energy yield due to phenomena of natural air pollution disposal, *Energy*, 35 (2010) 4862-4869.
- [7] **Erkan, E.**, 2015. Görüntü İşleme Tekniği Kullanan Bilgisayar Destekli Güvenlik Sistemi Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Sütçü İmam Üni. Fen Bil. Ens., Kahramanmaraş.
- [8] **Perihanoğlu, G.M.**, 2015. Dijital Görüntü İşleme Teknikleri Kullanarak Görüntülerden Detay Çıkarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bil. Ens., İstanbul.

- [9] **Lee,S.,** An, K.E., Jeon, B.D., Cho, K.Y., Lee, S.J., Seo, D., 2018. Detecting Faulty Solar Panels Based on Thermal Image Processing, *2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, Las Vegas, NV, ABD, 12-14 Ocak 2018.
- [10] **Wu,F., Zhang, D., Li, X., Luo, X., Wang, J., Yan, W.,** 2017. Aerial Image Recognition and Matching for Inspection of Large-Scale Photovoltaic Farms, *Smart Cities Conference (ISC2), 2017 International*, Wuxi, Çin, 14-17 Eylül 2017.
- [11] **Bahtiyar, B.,** 2006. Fotovoltaik Sistemler İçin Gerçek Zamanlı Bir İzleme Merkezi Tasarım ve Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, Muğla Üni. Fen Bil. Ens., Muğla.
- [12] **Kulaksız, A.A.,** 2007. Maksimum Güç Noktası İzleyicili ve UVM İnverterli Fotovoltaik Sistemin Yapay Sinir Ağları Tabanlı Kontrolü, *Doktora Tezi*, Selçuk Üni. Fen Bil. Ens., Konya.
- [13] **Kaplan, Z.,** 2012. Fotovoltaik Sistem Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üni. Fen Bil. Ens., Kütahya.
- [14] **Kavurucu, S.,** 2014. Design and Implementation of a 200W Microinverter Grid Connected Photovoltaic Energy Conversion System, *Yüksek Lisans Tezi*, ODTÜ Fen Bil. Ens., Ankara.
- [15] **Alkan, A.,** 2016. Yenilenebilir Hibrit Enerji Kaynakları ile Beslenen Konutlarda Akıllı Enerji Depolama ve Yönetim Sistemi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üni. Fen Bil. Ens., Kocaeli.
- [16] **Girgin, M.H.,** 2011. Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Fizibilitesi Karaman Bölgesinde 5MW'lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Enerji Ens., İstanbul.
- [17] **Alçın, Z.M.,** 2017. Z-kaynak Evirici Temelli Fotovoltaik Güç Üretim Sistemi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bil. Ens., Elazığ.

[18] **Yılmaz, Ş.**, 2015. Kahramanmaraş İl Merkezi Koşullarında Optimum Enerji Verimliliğine Sahip Fotovoltaik Temelli Bir Elektrik Jeneratörünün Modellenmesi ve Gerçekleştirilmesi, Sütçü İmam Üni. Fen Bil. Ens., Kahramanmaraş.

[19] **Abamor, S.**, 2016. Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Enerji Santrallerinin Elektrik Güç Kalite Parametrelerinin İzlenmesi ve Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Harran Üni. Fen Bil. Ens., Şanlıurfa.

[20] **Gülkocan, O.**, 2017. Farklı Coğrafyalarda Bulunan Aynı Büyüklükteki Müstakil Konutların Elektrik Enerji İhtiyacının Fotovoltaik-Rüzgar Hibrit Enerji Sistemlerinden Karşıllanması İçin Yapılan Yapılan Tasarım ve Optimizasyon Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Sıtkı Koçan Üni. Fen Bil. Ens., Muğla.

[21] **Yoldaş, Y., Teke, A.**, 2015. Fotovoltaik Sistemlerin Performansını Etkileyen Faktörler, *VIII. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Adana, 15-16 Ekim 2015, s.37-41.

[22] **Çelik, Ö., Teke, A., Yıldırım, B.**, 2015. Fotovoltaik Sistemlerde Evirici Topolojilerinin Sistem Performansına Olan Etkileri, *VIII. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Adana, 15-16 Ekim 2015, s. 49-53.

[23] **Manimekalai, P., Harikumar, R., Raghavan, S.**, 2013. An Overview of Batteries for Photovoltaic (PV) Systems, *International Journal of Computer Applications (0975–8887)*, 82-12, s. 28-32.

[24] **Sihikhan, A.A.**, 2015. Design and Implementation of DC/AC Converter for Photovoltaic Panels, *Yüksek Lisans Tezi*, Gaziantep Üni. Fen Bil. Ens., Gaziantep.

[25] **Ekinoğlu, F.**, 2017. Modelling and Analysis of a Three Phase Dual Active Bridge Isolated Bidirectional DC-DC Converter, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üni. Fen Bil. Ens., Adana.

[26] **Çelik, Ö.**, 2015. A Novel Hybrid MPPT Method for Grid Connected Photovoltaic Systems with Partial Shading Conditions, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üni. Fen Bil. Ens., Adana.

[27] **Nayak, B.P., Shaw, A.**, 2017. Design of MPPT Controllers and PV cells Using MATLAB Simulink and Their Analysis, *2017 International Conference on Nascent Technologies in the Engineering Field (ICNTE-2017)*, Navi Mumbai, Hindistan, 27-28 Haziran.

[28] **Onat, N., Ersöz, S.**, 2009. Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Karşılaştırılması, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır, 2009, s. 50-56.

[29] **Faihan, A.M.**, 2018. Design and Implemetation of Intelligent Li-on Battery Charger, *Yüksek Lisans Tezi*, Gaziantep Üni. Fen Bil. Ens., Gaziantep.

[30] **McAndrew, A.**, An Introduction to Digital Image Processing with Matlab, <http://www.math.hkbu.edu.hk/~zeng/Teaching/math3615/ls.pdf>, 5 Nisan 2018.

[31] **Çankaya, G.**, 2013. Görüntü İşleme Teknolojisi İle Betonun Bazı Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üni. Fen Bil. Ens., Konya.

ÖZGEÇMİŞ

Fırat DİŞLİ

Sarayatik Mahallesi Bosna Hersek Bulvarı No:55/8 Merkez/ELAZIĞ

E-Posta : sss_frt@hotmail.com

KİŞİSEL BİLGİLER

Eğitim Durumu : Üniversite (Mezun) – Yük. Lisans (devam ediyor)
Medeni Durumu : Bekar
Askerlik Durumu : Yapılmadı
Uyruk : T.C.
Doğum Tarihi : 01.02.1992
Doğum Yeri : Maden/Elazığ

EĞİTİM BİLGİLERİ

Üniversite (Yüksek Lisans) Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Elektrik/Elektronik Mühendisliği 02.2015- devam ediyor

Üniversite (Lisans) Fırat Üniversitesi - (Örgün Öğretim) 3.01 / 4

Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi, Bilgisayar Öğretmenliği
09.2009- 07.2013

Lise ELAZIĞ ANADOLU LİSESİ 4,4 / 5 07.2009

İŞ TECRÜBESİ

Öğretmen

Eğil Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi

11.09.2013- | Eğil/Diyarbakır - Türkiye | Tam Zamanlı