



T.C.  
İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

ORGANİK YAPILARDA İLETİM VE MPPT

YÜKSEK LİSANS

Gözde KUŞTEPE

176301123

Danışman: Prof. Dr. Osman YILDIRIM

İSTANBUL-2019



T.C.

İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

## ORGANİK YAPILARDA İLETİM VE MPPT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tezi Hazırlayan: **Gözde KUŞTEPE**

İSTANBUL-2019


T.C.  
İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ  
TEZLİ YÜKSEK LİSANS SINAV TUTANAĞI

13/09/2019

Enstitümüz *Elektrik-Elektronik Mühendisliği* yüksek lisans programı öğrencilerinden **176301123** numaralı **Gözde KUŞTEPE** "*İstanbul Arel Üniversitesi Lisansüstü Eğitim - Öğretim ve Sınav Yönetmeliği*"nin ilgili maddesine göre hazırlayarak, Enstitümüze teslim ettiği "**ORGANİK YAPILARDA İLETİM VE MPPT**" konulu tezini, Yönetim Kurulumuzun 02/09/2019 tarih ve 2019/12 sayılı toplantısında seçilen ve Sefaköy Yerleşkesinde toplanan biz jüri üyeleri huzurunda, ilgili yönetmeliğin 39. maddesi gereğince (5.9) dakika süre ile aday tarafından savunulmuş ve sonuçta adayın tezi hakkında ~~oyekluğu/oybirliği~~ ile ~~Kabul/Red veya Düzeltme~~ kararı verilmiştir.

İşbu tutanak, 1 nüsha olarak hazırlanmış ve Enstitü Müdürlüğü'ne sunulmak üzere tarafımızdan düzenlenmiştir.

  
DANIŞMAN  
PROF.DR. OSMAN YILDIRIM

  
ÜYE  
DR.ÖĞR.ÜYESİ YAŞAR NURİ SEVGEN

  
ÜYE  
DR.ÖĞR.ÜYESİ YAVUZ ATEŞ

## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “ORGANİK YAPILARDA İLETİM VE MPPT” başlıklı bu çalışmanın, tarafımdan, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmanın içinde kullandıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

**05.10.2019**

**Gözde KUŞTEPE**

## ONAY

Tezimin/raporumun kağıt ve elektronik kopyalarının İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

- Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.
- Tezim/Raporum sadece İstanbul Arel yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- Tezimin/Raporumun .....yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

**05.10.2019**

**Gözde KUŞTEPE**

## ÖZET

### ORGANİK YAPILARDA İLETİM VE MPPT

Gözde KUŞTEPE

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Osman YILDIRIM

Eylül, 2019- 102 sayfa

Gelişen teknoloji ile artan enerji talebi neticesinde, fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok kullanılan ve üzerinde araştırmalar yapılan güneş enerjisidir. Güneş enerjisinden elektrik elde edebilmek için kurulan sistemin maliyeti, ilk kurulumda yüksektir. Haliyle yatırımcılar yüksek verimle çalışan ve yükün talep ettiği gücü karşılayan bir güneş enerjisi sistemi istemektedir. Güneş enerjisine yönelim ve bu konuda artan talepler doğrultusunda, güneş enerjisinden elektrik elde etmede meydana gelen dezavantajların önüne geçmeye veya aza indirgeye yönelik olarak araştırmalar yapılmaktadır.

Hem sistemde kullanılan güneş panellerine yönelik hem de enerji sistemine yönelik araştırmalar yapılmaktadır. Geçmişten günümüze kadar, teknolojinin de gelişmesiyle, farklı yapılarda güneş pilleri üretilmiş ve üçüncü nesil güneş pilleri olarak adlandırılan organik güneş pilleri geliştirilmiştir. Bunun yanı sıra güneş enerjisi sistemine yönelik olarak maksimum güç noktası izleyici algoritmaları geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmalar ya daha önceden yapılmamış ya da var olan algoritmanın iyileştirilmesi ile oluşturulmuş algoritmalarlardır. Değişir ve gözle algoritması, maksimum güç noktası izleyici algoritmaları arasında en yaygın kullanılan algoritmadır.

Yapılan bu tez çalışmasında organik güneş paneli içeren bir güneş enerjisi sisteminin ne kadar verimli çalıştığını gözlemlemek amaçlandı. Bu amaç doğrultusunda inorganik güneş paneli içeren bir güneş enerjisi sistemi ile kıyaslama yapılmasına karar verildi. Kıyaslama yapılan bu iki sistemde aynı maksimum güç noktası izleyici kontrol devresi tasarlandı ve gerçekleştirildi. Maksimum güç noktası izleyici metodu olarak, yaygın kullanımından dolayı, değişir ve gözle algoritması kullanıldı. Değişir

ve gözle algoritması Arduino programında yazıldı ve Arduino Uno ile tasarlanan devreye uygulandı.

Sekiz gün boyunca, günde yarım saat ara ile aynı anda her iki sistemden de akım ve gerilim ölçümü alındı. Her iki sistemden de aynı anda alınan sonuçlar ortaya kondu.

**Anahtar Kelimeler:** Organik güneş pili, Organik güneş paneli, Maksimum güç noktası izleyici, MPPT, Organik elektronik, Güneş enerjisi, Fotovoltaik enerji, Fotovoltaik piller



## **ABSTRACT**

### **CURRENT MECHANISM IN ORGANIC STRUCTURES AND MPPT**

**Gözde KUŞTEPE**

**Master's Thesis, Department of Electrical and Electronic Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Osman YILDIRIM**

**September,2019- 102 pages**

As a result of increasing energy demand with developing technology, there has been a shift from fossil fuels to renewable energy sources. Solar energy is one of the most widely used and researched renewable energy sources. The cost of the system installed to obtain electricity from solar energy is high at first installation. Investors want a solar energy system that works at high efficiency and meets the power demanded by the load. In line with the tendency to solar energy and the increasing demands in this regard, research is being carried out to prevent or minimize the disadvantages that occur in obtaining electricity from solar energy.

Both the solar panels used in the system and the energy system are being investigated. From past to present, with the development of technology, different structures of solar cells have been produced and organic solar cells, called third-generation solar cells, have been developed. In addition, maximum power point tracking algorithms have been developed for the solar power system. The algorithms developed have either never been done before or have been created by the development of the existing algorithm. The perturb and observe algorithm is the most widely used algorithm among maximum power point tracking algorithms.

In this thesis, it was aimed to observe how efficiently a solar energy system containing organic solar panels works. It was decided to make a comparison with a solar energy system that included an inorganic solar panel. The same maximum power point tracking control circuit was designed and carried out for both systems. Due to its widespread use as a maximum power point tracking method, the perturb and observe algorithm were used. Perturb and the observe algorithm was encoded in the Arduino program and applied to the circuit designed with Arduino Uno.



For eight days, current and voltage measurements were taken from both systems simultaneously at half-hour intervals per day. Results that are taken at the same time from both systems were given at the end of the thesis.

**Keywords:** Organic solar cell, Organic solar panel, Maximum power point tracking, MPPT, Organic electronic, Solar energy, Photovoltaic energy, Photovoltaic cells



# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ.....	xii
KISALTMA LİSTESİ .....	xii
ÖNSÖZ.....	xiii

## 1.BÖLÜM GİRİŞ

1. GİRİŞ .....	1
1.2. Literatür Özeti .....	2
1.2.1 Güneş Pilleri .....	2
1.2.2 Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmaları .....	4

## 2.BÖLÜM GÜNEŞ ENERJİSİ

2. GÜNEŞ ENERJİSİ .....	7
2.1 Güneş Enerjisinin Toplanması ve Depolanması .....	7
2.2. Güneş Pillerinin Tarihçesi.....	7
2.3. Güneş Panelleri.....	8
2.3.1. Güneş Hücresi.....	9
2.3.2. Güneş Paneli ve Dizi.....	9
2.4. Fotovoltaik Sistemin Temel Bileşenleri .....	10
2.4.1. Fotovoltaik Hücre Çeşitleri .....	10
2.4.1.1. Birinci Nesil Güneş Pilleri .....	10
2.4.1.1.1 Kristal Silisyum Hücreler .....	10
2.4.1.1.2 Galyum Arsenik (GaAs).....	11
2.4.1.2 İkinci Nesil Güneş Pilleri.....	11
2.4.1.2.1 Amorf Silisyum (a-Si) .....	11
2.4.1.2.2 Kadmiyum Tellür (CdTe).....	12
2.4.1.2.3 Bakır İndiyum Diselenit (CIS).....	12
2.4.1.3 Üçüncü Nesil Güneş Pilleri.....	12
2.4.1.3.1 Boya Duyarlı Güneş Pilleri.....	12
2.4.1.3.2 Organik Güneş Pilleri.....	13
2.4.2. Şarj Regülatörleri.....	13
2.4.2.1. Darbe Genişlik Modülasyonlu (PWM) Şarj Regülatörü.....	13
2.4.2.2. Maksimum Güç Noktası İzleyicili (MPPT) Şarj Regülatörleri.....	13
2.4.3. İnverter .....	13
2.4.3.1. Şebekeye Bağlı (On-Grid) İnverterler .....	13
2.4.3.2. Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) İnverterler.....	14
2.4.4. Aküler.....	14
2.4.4.1. OPzS Aküler.....	14

2.4.4.2. Jel Aküler .....	14
2.4.4.3. Kuru Aküler.....	14
2.5. Fotovoltaik Sistem Modelleri.....	14
2.5.1. Şebekeye Bağlı (On-Grid) Sistemler .....	14
2.5.2. Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Sistemler.....	14
2.5.3. Hibrit Sistemler .....	14

### 3.BÖLÜM ORGANİK GÜNEŞ PİLLERİ

<b>3.ORGANİK GÜNEŞ PİLLERİ.....</b>	<b>16</b>
3.1 Organik Yarı İletkenler.....	18
3.1.1 Konjuge Polimer Güneş Pilleri.....	21
3.1.2 Polimer-Polimer Güneş Pilleri.....	21
3.1.3 Organik-İnorganik (Hibrit) Güneş Pilleri.....	21
3.1.4 Karbon Nanotüp İçeren Polimer Güneş Pilleri .....	22
3.2 Organik Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi .....	23
3.2.1 Fotonların Soğurulması .....	24
3.2.2 Eksiton Difüzyonu .....	24
3.2.3 Yük Ayrışması .....	24
3.2.4 Yüklerin Taşınması .....	24
3.3 Yapısına Göre Organik Güneş Pilleri.....	25
3.3.1 Tek Katmanlı Fotovoltaik Hücreler .....	26
3.3.2 İki Katlı Heteroeklem Fotovoltaik Hücreler.....	26
3.3.3 Hacim Heteroeklem Fotovoltaik Hücreler .....	27
3.4 Çok Eklemlili Güneş Pilleri .....	28
3.4.1 Yığılmış Piller (Stacked Cells) .....	29
3.4.2 Tandem Güneş Pilleri.....	29
3.5 Organik Güneş Pili Yapımında Kullanılan Malzemeler.....	30
3.5.1 Organik Malzemeler.....	30
3.5.2 Elektrot Malzemeleri.....	30
3.6 Organik Güneş Pillerinin Üretim Teknikleri .....	32
3.7 Organik Güneş Pillerinin Karakteristiği .....	32
3.7.1 Açık Devre Gerilimi (Voc).....	33
3.7.2 Kısa Devre Akımı (Isc) .....	33
3.7.3 Dolgu Faktörü (Fill Factor-FF).....	33
3.7.4 Maksimum Güç Noktası.....	33
3.7.5 Güç Dönüşüm Verimliliği .....	34
3.7.6 Hava Kütleli (Air Mass-AM) .....	34
3.8 Organik Güneş Pillerinde Kararlılık, Verim ve Yaşam Süresini Etkileyen Bozulma Mekanizmaları .....	34

### 4.BÖLÜM MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİ

<b>4. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİ .....</b>	<b>38</b>
4.1 Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmaları.....	39
4.1.1 Çevrimdışı Teknik.....	39
4.1.1.1 Açık Devre Gerilimi Tekniği .....	40
4.1.1.2 Kısa Devre Akımı Tekniği .....	40

4.1.2 Çevrimiçi Teknik .....	41
4.1.2.1 Değiştir ve Gözle Metodu (Perturb&Observe Algorithm- P&O)	41
4.1.2.2 Artan İletkenlik Metodu (Incremental Conductance-INC) .....	45
4.1.2.3 Kayan Kipli Kontrol (Slide Mode Control) .....	46
4.1.2.4 Tepe Tırmanma Algoritması .....	46
4.1.3 Akıllı MPPT Denetleyicileri.....	47
4.1.3.1 Bulanık Mantık Kontrol (Fuzzy Logic Control) .....	47
4.1.3.2 Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network) .....	48
4.1.3.3 Parçacık Sürü Algoritması (Particle Swarm Optimization) .....	48
4.1.4 Diğer Teknikler.....	48
4.1.4.1 Parazit Kapasite Metodu .....	49
4.1.4.2 Tablodan Okuma Yöntemi.....	49
4.1.4.3 Eğri Uydurma Metodu .....	49
4.1.4.3 Sadece Akım Metodu.....	49

## **5.BÖLÜM DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER**

<b>5. DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER .....</b>	<b>51</b>
5.1 Boost (Yukarı) Dönüştürücü.....	51
5.2 Buck (Aşağı) Dönüştürücü .....	52
5.3 Buck- Boost (Alçaltıcı- Yükseltici) Dönüştürücü .....	52
5.4 SEPIC (Single Ended Primary Inductor Converter- Tek Uçlu Birincil İndüktör Konvertörü) .....	53

## **6.BÖLÜM TASARIM**

<b>6. TASARIM .....</b>	<b>54</b>
6.1 Güneş Paneli Seçimi.....	54
6.1.1 Organik Güneş Paneli Seçimi.....	54
6.1.2 İnorganik Güneş Paneli Seçimi.....	55
6.2 Algoritma Seçimi .....	56
6.3 DC-DC Dönüştürücü Seçimi .....	57
6.3 Akım Sensörü.....	58
6.4 Gerilim Sensörü.....	59
6.5 MOSFET Sürücü.....	59
6.6 Şema .....	60
6.7 Yazılım.....	62

## **7.BÖLÜM UYGULAMA**

<b>7. UYGULAMA .....</b>	<b>63</b>
--------------------------	-----------

## 8.BÖLÜM SONUÇLAR

8.SONUÇLAR.....	77
KAYNAKÇA.....	77



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 Fotovoltaik panel.....	8
Şekil 2.2 Fotovoltaik hücre yapısı .....	9
Şekil 3.1 Polimer güneş pili tipleri .....	21
Şekil 3.2 Malzeme yüzeyinde toplanan fotonların elektrotlarda toplanmasına kadar olan süreçte meydana gelen kayıplar .....	25
Şekil 3.3 Organik güneş pillerinde tek katmanlı yapı.....	26
Şekil 3.4 Organik güneş pillerinde iki katlı heteroeklem yapı .....	26
Şekil 3.5 Organik güneş pillerinde hacim heteroeklem yapı .....	27
Şekil 3.6 Organik güneş pillerinde çok eklemli yapı.....	28
Şekil 3.7 Organik güneş pillerinde tandem yapı.....	29
Şekil 3.8 Organik fotovoltaiklerde ilerleme .....	36
Şekil 3.9 Organik fotovoltaik araştırmalarına en çok katkıda bulunan ülkeler.	37
Şekil 4.1 Maksimum güç noktası izleyici içeren güneş enerjisi sisteminin blok diyagramı .....	38
Şekil 4.2 Açık devre gerilimi tekniği akış diyagramı .....	40
Şekil 4.3 Kısa devre akımı tekniği akış diyagramı .....	41
Şekil 4.4 Değiştir ve gözle metodu akış diyagramı .....	42
Şekil 4.5 Artan iletkenlik metodu akış diyagramı .....	45
Şekil 4.6 Tepe tırmanma algoritması akış diyagramı .....	47
Şekil 4.7 Bulanık mantık blok diyagramı .....	47
Şekil 4.8 Yapay sinir ağları diyagramı.....	48
Şekil 5.1 Boost (yukarı) dönüştürücü devre şeması .....	51
Şekil 5.2 Buck (aşağı) dönüştürücü devre şeması .....	52
Şekil 5.3 Buck- boost (aşağı-yukarı) dönüştürücü devre şeması .....	53
Şekil 5.4 SEPIC dönüştürücü devre şeması .....	53
Şekil 6.1 İnce film organik güneş filmi.....	55
Şekil 6.2 İnorganik güneş paneli .....	56
Şekil 6.3 Boost (yukarı) dönüştürücü .....	57

Şekil 6.4 Buck (aşağı) dönüştürücü .....	58
Şekil 6.5 Akım sensörünün bağlantısı .....	58
Şekil 6.6 Gerilim sensörü .....	59
Şekil 6.7 MOSFET sürücü .....	60
Şekil 6.8 MOSFET sürücü ile IRF520 bağlantısı.....	60
Şekil 6.9 MPPT kontrol devresi çizimi.....	61
Şekil 7.1 Maksimum güç noktası izleyici uygulaması .....	63
Şekil 7.2 MPPT kontrol devresi uygulaması.....	64
Şekil 7.3 Arduino Uno bağlantısı .....	64
Şekil 7.4 Lityum iyon pil .....	65



## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 7.1. Birinci Gün Ölçüm Değerleri .....	66
Tablo 7.2. İkinci Gün Ölçüm Değerleri .....	67
Tablo 7.3. Üçüncü Gün Ölçüm Değerleri .....	68
Tablo 7.4. Dördüncü Gün Ölçüm Değerleri.....	69
Tablo 7.5. Beşinci Gün Ölçüm Değerleri.....	70
Tablo 7.6. Altıncı Gün Ölçüm Değerleri .....	71
Tablo 7.7. Yedinci Gün Ölçüm Değerleri.....	72
Tablo 7.8. Sekizinci Gün Ölçüm Değerleri.....	73
Tablo 8.1. Akım ve Gerilim Değerleri.....	74
Tablo 8.2. Akım ve Gerilim Ölçüm Sonucu Elde Edilen Güç.....	75



## KISALTMA LİSTESİ

MPPT	: Maksimum Güç Noktası İzleyici
PV	: Fotovoltaik
OPV	: Organik Fotovoltaik
ITO	: İndiyum Katkılı Kalay Oksit
Al	: Alüminyum
Ag	: Gümüş
HOMO	: En Yüksek İşgal Edilmiş Moleküler Orbital
LUMO	: En Düşük İşgal Edilmiş Moleküler Orbital
PEDOT	: Polietilen Dioksitiyofen
PEDOT-PSS	: Polistiren Katkılı Polietilen Diositiyofen
CNT	: Karbon Nano Tüp
PANI	: Polyanilin
FTO	: Flor Katkılı Kalay Oksit
TO	: Kalay Oksit
SEPIC	: Tek Uçlu Birincil İndüktör

## ÖNSÖZ

Güneş enerjisinin ilk kurulum maliyeti yüksektir. Yatırımcı kurduğu güneş enerjisi sisteminin verimli ve yüke talep ettiği gücü üreten performansta olmasını beklemektedir. Hem sistemde kullanılan güneş panelinden hem de sistemsel nedenlerden dolayı verim konusunda sorunlar ortaya çıkmaktadır. Gelişen teknoloji ile çeşitli yapılarda güneş panelleri ve sistemin ürettiği gücün maksimum seviyede tutulabilmesine yönelik olarak araştırmalar yapılmaktadır. Üçüncü nesil güneş pilleri olarak adlandırılan organik güneş pilleri, inorganik olanlarına kıyasla daha düşük maliyetli ve üretim yöntemleri daha kolaydır. Maksimum güç noktası izleyicileri üzerine yapılan araştırmalar ise ya yeni bir yöntem geliştirmeye yönelik ya da var olan yöntemi iyileştirmeye yöneliktir. İçlerinde kullanımı en yaygın olan yöntem değiştir ve gözle yöntemidir.

Bu çalışma ile organik güneş paneli içeren bir sistemin verim analizinin yapılması amaçlandı. Gerçekleştirilen uygulamanın kontrolü maksimum güç noktası izleyici algoritmalarından olan değiştir ve gözle algoritması ile yapılacaktır. Organik güneş paneli içeren sistemin gözlenen çıkışlarını kıyaslayabilmek için ayrıca inorganik güneş paneli içeren bir sistem daha kurulacaktır. Bu sistemde de maksimum güç noktası izleyicisi olarak değiştir ve gözle algoritması kullanılacak olup; her iki sisteminde maksimum güç noktası izleyici devresi aynı olacaktır. İki sisteminde aynı koşullar altında sonuçları incelenecektir.

Organik güneş panellerini araştırmam için beni teşvik eden ve projemde bana yol gösteren tez danışmanım Prof. Dr. Osman YILDIRIM'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca çalışmamın her anında bana destek olan aileme ve meslektaşlarıma yardımları için sonsuz teşekkür ederim.

**İSTANBUL, 2019**

**GÖZDE KUŞTEPE**

## 1. BÖLÜM

### GİRİŞ

Güneş içinde sürekli olarak hidrojenin helyuma dönüştüğü reaksiyonlar meydana gelmektedir. Bu reaksiyonlar sonucu oluşan kütle farkı ısı enerjisine dönüşerek tüm uzaya yayılmaktadır ancak bu enerjinin bir kısmı yer yüzüne ulaşmaktadır. Bunun nedeni atmosferdeki su buharı, CO<sub>2</sub> miktarı, ozon gibi gazların ışınımı absorbe etmesi ve enerjinin kat etmesi gereken yolun uzunluğudur.

Güneş neredeyse sonsuz denebilecek kadar büyük ve tükenmez bir enerji kaynağıdır. Öyle ki bu değer günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının tüketim miktarının binlerce katıdır. Fosil kaynakların tükenmeye başlaması ve artan enerji talebi ile gelişen teknolojinin ışığında yenilenebilir enerji kaynaklarına özellikle de güneş enerjisine yönelim artmıştır.

Güneş enerjisinin kullanımı iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Bunlardan biri elektrik üretmek için kullanılan fotovoltaik piller ve güneş ısısından yararlanmak için kullanılan ısı kollektörlerdir. Güneşin ışık özelliğinden yararlanarak güneş enerjisini elektriksel olarak toplayan fotovoltaik piller, ışık enerjisinin elektromanyetik dalgalarının toplam enerjisini oluşturan enerji paketçiklerini fotoelektriksel olay gereğince elektrik enerjisine dönüştürmektedir. 2.bölümde güneşten elektrik enerjisi elde edilmesine dair ayrıntıya yer verildi. Yaygın olarak kullanılmakta olan inorganik güneş pillerinin üretiminde kullanılan malzemeler ve üretim sürecinde kullanılan yöntemler oldukça pahalıdır. Yapılan çeşitli amaçlar neticesinde elektriği iletme özelliğine sahip organik materyaller geliştirilerek inorganik güneş pillerine kıyasla daha uygun fiyatlı ve üretim şekilleri daha kolay olan organik güneş pilleri üzerine yapılan araştırmalar artmıştır. Organik güneş pilleri ile ilgili ayrıntılı bilgiye 3.bölümde yer verildi.

Direkt olarak güneş paneli ile yük birbirine bağlandığı takdirde güneş paneli doğrusal olmayan akım-gerilim karakteristiklerine sahip olduğu için yük ile uyumsuzluk çıkacak ve verim düşecektir. Meydana gelen bu uyumsuzluğun önüne geçilebilmesi için güneş paneli ile yük arasında DC-DC dönüştürücüler bağlanmaktadır. Söz edilen

DC-DC dönüştürücüler ile ilgili ayrıntılı bilgiye 5.bölümde yer verildi. Bağlanan DC-DC dönüştürücülerin kontrolü maksimum güç noktası izleyici algoritmaları ile sağlanmaktadır. Güneş enerjisine olan eğilim artıkça ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte üzerine yapılan çalışmaların arttığı maksimum güç noktası izleyici algoritmalarına dair ayrıntılı bilgi 4.bölümde verildi.

İnorganik güneş panelleri ile oluşturulan sistemlerde maliyeti ve uygulama kolaylığı gibi avantajlarından dolayı uygulanan değiştir ve gözle algoritması, organik güneş paneli içeren bir sisteme uyarlandı. Aynı şartlar altında, aynı tasarıma ve aynı kontrol algoritmasına sahip, biri inorganik diğeri ise organik güneş paneli içeren iki güneş enerjisi sistemi basitçe kurularak, çıkışlarında oluşacak akım, gerilim ve güç değerlerinin kıyaslanması amaçlandı.

## **1.2. Literatür Özeti**

Literatürde mevcut olan çalışmalar, güneş pilleri ve maksimum güç noktası izleyici algoritmaları olarak iki grupta incelendi.

### **1.2.1 Güneş Pilleri**

Fransız fizikçi Alexandre-Edmand Becquerel 1839 yılında fotovoltajik etkiyi keşfetmiş ve fotovoltajik malzemenin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Fotovoltajik olay ile ilgili en kapsamlı çalışma Albert Einstein'ın 1904 yılında yaptığı teorik çalışmadır. 1916 yılında ise Robert Millikan, Albert Einstein'ın teorik çalışmasını uygulamıştır. 1954 yılında p-n eklemli silisyum güneş pili üretilmiş, geliştirilmiş ve günümüze kadar pek çok alanda da kullanımı olmuştur (Singh, Singh, & Gaur, 1997). Ancak günümüze kadar kullanımından önce ilk olarak uzay araçlarında kullanılmış, 1958 yılında ilk uygulama Amerikan Vanguard uydusunda yapılmıştır. İlk zamanlar bu inorganik güneş pillerinin verimleri düşük iken ilerleyen zamanlarda kullanılan farklı mimari teknikler ve malzemeler ile %45,7 civarında verime ulaşılmıştır (Scanlon, 2014). Verim artışında, yapılmış olan uzay uygulamaları da etkili olmuştur. Öncelikle uzay uygulamalarında başarılı olan silikon kristal yapıları güneş pilleri üzerine gidilmiş, ardından ince film güneş pilleri üzerinde çalışmalar hızlanırken daha sonra üçüncü nesil güneş pilleri olarak isimlendirilen organik güneş pillerine yönelim olmuştur. İletken polimerlerin keşfi ve organik materyallerin geliştirilmesi ile fark edilmiştir ki organik güneş pili üretmek inorganik güneş pili üretmekten daha ucuz ve kolaydır. 1986 yılından itibaren organik güneş pilleri üzerine yapılan araştırmalar artırılmıştır.

1986 yılında ilk organik güneş pili Tang ve arkadaşları tarafından üretilmiştir. Üretilen bu güneş pilinde elektron- boşluk çiftinin ayrımı katmanların ara yüzeyinde meydana geldiği için verimi %1'lerde olmuştur (Tang, 1986). 2000'li yıllara gelindiğinde Alan McDiarmid, Alan Heeger ve Hideki Shirakawa'nın yarıiletken polimerlerin kullanıldığı organik güneş pili araştırmaları vesilesiyle organik güneş pilleri üzerine yapılan araştırmalar artmış ve hız kazanmıştır (Hall, 2003). Aynı yıllarda Takashi ve arkadaşları yaptıkları çalışma ile farklı organik malzemeler kullanarak güç dönüşümü, açık devre gerilimi ve kısa devre akımı parametrelerini inceleyerek üç tabakalı güneş pilinin iyi bir güneş pili olduğunu tespit etmişlerdir (Takahashi, Kuraya, Yamaguchi, Komura, & Murata, 2000).

Organik güneş pillerinde (OPV) bazı teknik aksaklıklar mevcuttur. Bunların önüne geçildiği takdirde inorganik olanlarına kıyasla daha verimli olabilecek ve kullanımları ticarileşebilecektir. Organik güneş pilleri üzerine yapılan araştırmalarda genellikle foton-elektron dönüşümü, malzemelerin sahip olduğu enerji seviyeleri, aktif katman özellikleri ve yeni tasarımlar gibi konulara yönelim olmaktadır (Su, Lan, & Wei, 2012). Ancak ticari olarak yaygınlaşmalarının önündeki en büyük engel verim sorunu olmuştur. Verimi artırmaya yönelik olarak pek çok çalışma yapılmaktadır. 2012 yılında Amerikan yarıiletken malzeme üretim firması olan Polyera, organik güneş pili üretiminde PEDOT-PSS (polimer malzeme) kullanarak verimi laboratuvar ortamında verimi %9.1 bulmuşlardır. Aynı yıl bir diğer çalışma ise Alman güneş enerjisi firması Heliatek'ten gelmiş ve verimi %12 olan organik güneş pili ürettiklerini açıklamışlardır. Verim artışının gözlendiği çalışmalar genellikle çok eklemli (tandem) yapıları organik güneş pillerinde olmuştur. Bu yöntemde farklı bant aralıklarına sahip olan hücreler seri bağlanarak çok eklemli yapıyı meydana getirmekte ve tek bir hücreden elde edilen verimden yüksek verim elde edilmektedir. Genellikle organik malzemelerin bant aralıkları düşük olduğu için çok eklemli yapı ile bunun önüne geçilebilmektedir (Vijay & Sumaria, 2014). Masahiro Hiramoto ve Yusuke Shinmura 2017 yılında yaptıkları çalışmada organik güneş pili yapıları incelemiş ve organik güneş pillerinin yüksek performansta olabilmeleri için, yüksek değerli organik yarı iletken malzemeler kullanılabilirse eksiton ayrışmasında meydana gelen sorunların önüne geçileceğini ve uzun eksiton uzunluğuna sahip materyaller kullanılırsa eksiton difüzyonundan kaynaklı sınırlamaların da önüne geçilebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca organik güneş pilleri düşük maliyetli olduğundan yakın gelecekte kullanımının

inorganik olanlarından daha yaygın olabileceğini eklemişlerdir (Hiramoto & Shinmura, 2017).

### **1.2.2 Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmaları**

İlerleyen teknoloji ile yenilenebilir enerji sektöründe özellikle de güneş enerjisine yönelik çalışmalar artmıştır. Güneş enerjisi sistemlerinin ilk kurulum maliyeti yüksek olduğu için yatırımcılar, kurdukları sistemden yüksek performans beklemektelerdir. Bu alanda yapılan çalışmalar güneş panellerinin kendisi üzerine olduğu kadar bulunduğu sisteme de yönelik olmaktadır. Sistemsel araştırmaların başında, güneş paneli ile yük arasında bulunan DC-DC dönüştürücülerin kontrolünü sağlayan maksimum güç noktası izleyici algoritmaları bulunmaktadır. Maksimum güç noktası izleyici yöntemlerine yönelik araştırmalarda hem yeni algoritmalar geliştirilmesi hem de mevcut algoritmaların dezavantajlarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kısımda kısaca literatürde yapılan çalışmalardan bahsedilecektir. Maksimum güç noktası izleyici algoritmaları hakkında ayrıntılı bilgi 4.bölümde bulunmaktadır.

2009 yılında Onat ve Ersöz, yaptıkları çalışmada maksimum güç noktası izleyici algoritmalarını verim, panele bağımlı çalışma, maksimum güç noktasının tespiti, analog veya dijital kontrol, periyodik ayar gereksinimi, çalışma hızı, uygulanmasındaki kolaylık ve algılanan büyüklükler (akım, gerilim) gibi parametreler açısından incelemiş ve kıyaslamışlardır. Sonuç olarak parazit kapasite algoritmasının en yüksek verime sahip algoritma olduğunu tespit etmişlerdir (Onat & Ersoz, 2009).

2011 yılında Çalışkan, yaptığı çalışmada güneş panellerini maksimum güçte çalıştıran, bataryayı şarj-deşarj edebilen, çıkıştaki yükün uçlarına sabit gerilim uygulayan DSP temelli bir güneş enerjisi sistemi tasarlamış ve uygulamıştır. Çalışmasını gerçekleştirirken değişir ve gözlem algoritması kullanırken başlangıç koşullarının ayarlanabilmesi için açık devre gerilimi kullanmıştır. Yaptığı uygulama sonucunda yük geriliminin sabit, sistem kararlılığının yüksek ve en küçük gerilimin dahi kullanıldığını gözlemlemiştir. Yarı gölgelenme durumlarında bölgesel maksimum güç noktaları oluşacağı için sıradan maksimum güç noktası izleyici algoritmaların maksimum güç noktasında kitlenebileceğini söylemiştir (Caliskan, 2011).

2014 yılında Keskin ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan değiştir ve gözle algoritması ile artan iletkenlik algoritmasını farklı ışınım değerleri altında karşılaştırmış ve MATLAB’da benzetimini yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre değiştir ve gözle algoritması maksimum güce ulaşamamış ve bu noktada salınım gerçekleştirmiştir. Artan iletkenlik metodu ise maksimum güç noktasını sürekli takip ederek değiştir ve gözle algoritmasından daha iyi performans göstermiştir. Düşük ışınım değerinde artan iletkenlik algoritması daha iyi performans gösterirken, yüksek ışınım değerinde her iki metodunda gösterdiği performansın aynı olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Keskin, Basoglu, Tekdemir, & Cakır, 2014).

2016 yılında Dutta ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada pek çok maksimum güç noktası izleyici algoritmasını inceledikten sonra artan iletkenlik metodu ile güneş enerjisi sistemi tasarlamışlardır. Elde ettikleri sonuçlarda, artan iletkenlik metodunun mümkün olan en iyi çıkışı verdiğini tespit etmişlerdir (Dutta, Barua, & Saha, 2016).

2016 yılında Selvan ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada maksimum güç noktası algoritmalarını inceleyerek çevrimdışı teknik, çevrimiçi teknik ve akıllı maksimum güç noktası izleyici denetleyicileri olarak sınıflandırmışlardır. Sınıflandırma yapılırken, algoritma karmaşıklığı, yakınsama hızı, güneş paneline olan bağımlılık, izleme doğruluğu ve donanım uygulaması gibi faktörleri göz önüne almışlardır. Çevrimiçi ve çevrimdışı tekniklerin tekdüze hava koşullarında iyi çalıştıklarını, bu dezavantajın da akıllı maksimum güç noktası izleyicileri ile aşılabileceğini belirtmişlerdir (Selvan, Nair, & Umayal, 2016).

Yine 2016 yılında Ort, yaptığı çalışmada güneşten maksimum enerji üretmeyi sağlayan güneşi takip eden bir sistem tasarlamış, yapılan modellemeler ve incelemeler neticesinde değiştir ve gözle yönteminin en iyi yöntem olduğunu gözlemlemiştir (Ort, 2016).

2017 yılında Rebhi ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada çıkış gerilimini yükseltmek için boost (yukarı) dönüştürücü kullanmış ve güneş enerjisi sistemi tasarlayıp uygulamışlardır. Tasarladıkları sistemin kontrolünde değiştir ve gözle algoritması kullanmışlardır. Sonuç olarak düşük maliyetli bir sistem ederek ortalama gücün hesaplanması ile maksimum güç noktasındaki salınımların aza indirildiğini gözlemlemiştir (Rebhi, Benatiallah, & Sellam, 2017).

2018 yılında Popescu, yaptığı çalışmada değişken adımlı değiştir ve gözle algoritması geliştirmiştir. Bu yöntem sayesinde klasik değiştir ve gözle algoritmasının dezavantajlarının kısmen önüne geçmiştir. Elde ettiği sonuçlarda artan iletkenlik metodunun verimi değiştir ve gözle algoritmasından iyiyken, değişken adımlı değiştir ve gözle algoritması artan iletkenlik algoritmasından daha iyi performans sergilemiştir (Popescu, 2018).

Yine 2018 yılında Hussein Ali ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada değiştir ve gözlem algoritmasını incelemiş ve simülasyonunu yapmışlardır. İlk önce sabit ışınımında yapılan simülasyon çalışması sonrasında değişken ışınım ile gerçekleştirilerek iki farklı simülasyon yapılmıştır. Değiştir ve gözle algoritması gereksinimlere göre optimize edilebildiğinden, yanıtının daha hızlı olduğu ve diğer algoritmalara kıyasla daha iyi gerçekleştiği sonucuna ulaşmışlardır (Hussein Ali & Abdulwahhab Abdulrazzaq, 2018)

2019 yılı şubat ayında Tourqui ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada güneş enerjisi sisteminin performansını arttırmaya yarayan bir dijital kontrol kartı geliştirmişlerdir. Komuta kartı basit devreler kurularak oluşturulmuştur. Kurulan sistemde değiştir ve gözle algoritması, tepe tırmanma algoritması ve artan iletkenlik algoritmasını kullanmışlardır. Sonuç olarak maksimum güç noktası kontrolörü ile iyileştirilmiş yüksek tepki hızına, maksimum güç noktasını bulma doğruluğuna, ani atmosferik değişimlerde iyi kontrol sağlandığına ulaşmışlardır (Tourqui, Betka, Smaili, & Allaoui, 2019).

2019 yılı haziran ayında Tolentino ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada maksimum güç noktası izleyici kontrol cihazlarının verimliliğini artırabilmek için, bulutlu, gün doğumu ve gün batımı gibi düşük ışınımlı hava koşullarında çalışabilecek dönüştürücü ve anahtarlama devresini artıran güç yönetim sistemi eklemişlerdir. Eklenen takviye dönüştürücü ile maksimum güç noktası izleyici denetleyicisinin gerekli voltajını ayarlayabilmek için Arduino Uno'nun PWM işlevi tarafından sistemin kontrolünü sağlamışlardır. Düşünülen bu yöntem, yapılan uygulamalar neticesinde başarılı olmuştur (Tolentino, Abacco, & Siquihod, 2019).



## 2. BÖLÜM

### GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş içinde sürekli olarak hidrojenin helyuma dönüştüğü reaksiyonlar meydana gelmektedir. Bu reaksiyonlar sonucu oluşan kütle farkı ısı enerjisine dönüşerek tüm uzaya yayılmaktadır ancak bu enerjinin bir kısmı yer yüzüne ulaşmaktadır. Bunun nedeni atmosferdeki su buharı, CO<sub>2</sub> miktarı, ozon gibi gazların ışınımı absorbe etmesi ve enerjinin kat etmesi gereken yolun uzunluğudur.

Güneş neredeyse sonsuz denebilecek büyük ve tükenmez bir enerji kaynağıdır. Öyle ki bu değer günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının tüketim miktarının binlerce katıdır.

#### 2.1 Güneş Enerjisinin Toplanması ve Depolanması

Öncelikle güneş enerjisinin kullanılabilmesi gerekir. Bu toplama işlemi iki şekilde olmaktadır; elektrik üretmek için kullanılan fotovoltaik piller ve güneş ısısından yararlanmak için kullanılan ısı kolektörleridir.

Güneşin ısı özelliğinden yararlanılarak sıcak su üretimi gibi gereksinimlerin giderilmesinde kullanılan ısı güneş kolektörleri ; düz yüzeyli ve yoğunlaştırmasız güneş kolektörü, odaklayıcı ve yoğunlaştırılmalı güneş kolektörü, güneş havuzlarıdır.

Güneşin ışık özelliğinden yararlanarak güneş enerjisini elektriksel olarak toplayan fotovoltaik piller ise ışık enerjisinin elektromanyetik dalgalarının toplam enerjisini oluşturan enerji paketçiklerini fotoelektriksel olay gereğince elektrik enerjisine dönüştürmektedir.

#### 2.2. Güneş Pillerinin Tarihi

Fotovoltaik malzemenin ilk ortaya çıkışı 1839'da olmuştur. O yılda Fransız fizikçi Alexandre-Edmond Becquerel fotovoltaik etkiyi keşfetmiştir. Fotovoltaik etki birbirine eklenmiş iki farklı malzemenin üzerine ışık veya başka bir ışınım enerjisi düşürüldüğünde elektrik pili davranışı göstermesidir.

İlk zamanlarda fotovoltaik hücrelerin verimi %1 civarındayken, 1954 yılında Bell laboratuvarlarında silisyum, fotovoltaik hücrelerin geliştirilmesi sonucu verimlilikleri artırılmış ve %6'ya çıkarılmıştır.

Fotovoltaik panellerin maliyetlerinin fazla ve verimlerinin düşük olmasından dolayı başlangıçta uzay teknolojisinde uydu araçlarında kullanılmıştır. 1974’de yaşanan petrol krizinin ardından alternatif enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç artmış ve fotovoltaik hücre verimi geliştirilmiştir. 80’li yıllardan itibaren binalara entegre edilmeye başlanmıştır. PV panel üretimi yaygınlaşıp büyük üreticilerin eline geçince verimliliği daha da arttırılmış ve pazardaki rekabetten dolayı da üretim maliyeti düşmüştür. Bunun neticesinde geriye sadece panel maliyeti ve işçi maliyeti kaldığı için fosil kaynaklara kıyasla daha ekonomik hale gelmiştir.

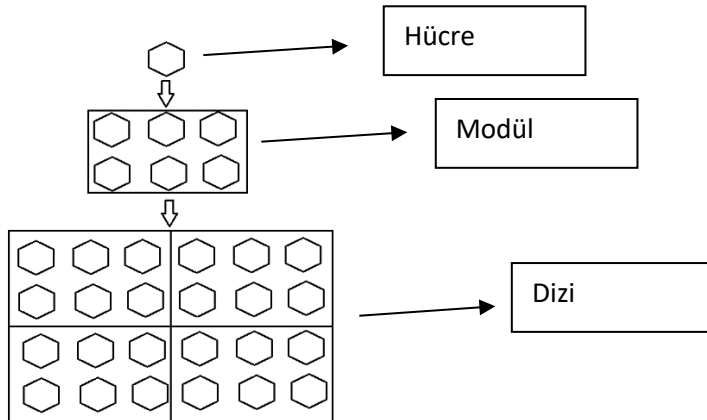
### 2.3. Güneş Panelleri

Güneş hücreleri yarı iletken maddelerdir. Yüzeylerine ulaşan güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürler. En az iki katmandan oluşmaktadırlar. Üstte olan N-tipi, altta olan P-tipi katmandır.

Güneş ışığının N-tipi katmana gelmesi ile bazı ışık fotonları emilerek N-tipi katmandaki elektronların dış devreden P-tipi katmana doğru akmasını sağlar. Böylelikle doğrusal elektrik akımı (DC) oluşmaktadır. DC voltajını kontrol etmek amacıyla regülatör, elektriği depolamak için aküler ve doğru akımı alternatif akıma çevirmek için inverter sisteme eklenebilir.

Hücreler üzerine gelen güneş ışınımını ne kadar fazla olursa, verim de o kadar fazla olmaktadır. Bundan dolayı maksimum verim elde edilmesi için güneş ışınımının hücreler üzerine dik açı ile gelmesi gerekmektedir.

Hücreler modülleri oluşturmak üzere bir araya gelirler. Modüller ise birleşerek dizileri oluştururlar.

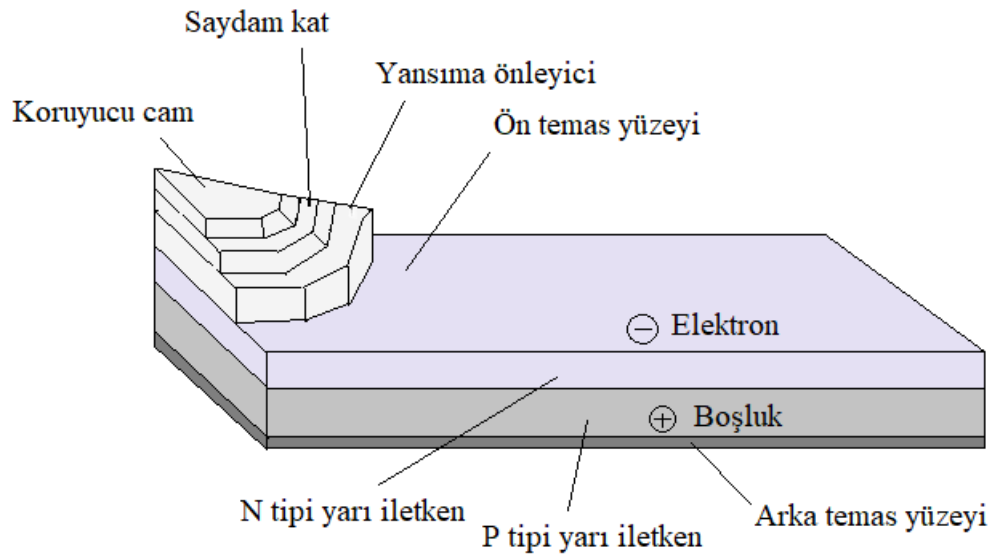


Şekil 2.1 Fotovoltaik panel

### 2.3.1. Güneş Hücresi

Güneş pili yarı iletken bir düzenektir. Çoğunluk yük taşıyıcıları elektrondan oluşan N-tipi ile çoğunluk yük taşıyıcıları oyuklardan oluşan P-tipi yarı iletken yan yana getirilir. Işık enerjisi bu birleşme noktasına düşerse dış devreden bir akım geçebilmektedir.

P-N yarı iletken birleşiminde, elektronlar P-tipi bölgeye geçerek birleşme yüzeyine yakın bölgelerde boşluk, yük taşıyıcıda ki elektron eksikliğini tamamlayıp (-) iyonlar oluşturulurken; N-tipi bölgede de (+) iyon duvarı oluşacaktır. Dış tesir olmazsa bu enerji duvarı akım geçmesini engelleyecektir. Işın demeti bu bölgeye düşerse, yük taşıyıcı elektronlar çok az oranlarda olduğundan muhtemelen bir valans elektrona enerjisini bırakacak ve onu P-tipi bölgeye doğru itecektir. Dış devre akımı ise P'den N'ye doğru olacaktır. Bu şekilde güneş pilleri belli güneşlenme şartlarında, birim alan başına belirli bir akım ve gerilim üretirler. Talep edilen enerji için birçok pili seri ve paralel olarak bağlamak gerekir. Böylece güneş modülü(paneli) oluşturulur.



Şekil 2.2 Fotovoltaik hücre yapısı

### 2.3.2. Güneş Paneli ve Dizi

Güneş hücresi, güneş enerjisi sisteminin temel elemanıdır. Bu temel elemanın boyutları küçüktür ve düşük miktarda güç üretebilir. Üretilen bu düşük miktardaki güç ise güneş enerjisi sistemi için yeterli olmayacaktır. Bu nedenden dolayı daha yüksek değerlerde güç üretimi için güneş hücreleri seri ve/veya paralel olarak bağlanırlar. Bu bağlanma sonucu elde edilen birime panel(modül) denmektedir. Çok sayıda sistem için tek bir panelden de elde edilen güç yeterli olmayacaktır. Bu nedenle paneller de istenen

gerilim ve akımı üretebilmek amacıyla seri ve/veya paralel olarak bağlanırlar. Oluşan bu düzeneğe ise fotovoltaik dizi denmektedir.

## **2.4. Fotovoltaik Sistemin Temel Bileşenleri**

Fotovoltaik sistemler, talebe hitaben çeşitli tasarım ve malzemelere sahiptir. En genel sistem, güneş paneli, şarj kontrolü, batarya ve inverterden oluşan sistemdir.

### **2.4.1. Fotovoltaik Hücre Çeşitleri**

Literatür çalışmaları incelendiğinde görülecektir ki güneş pilleri; uygulama alanları, yapımında kullanılan malzeme, optik karakteristikleri veya teknolojik gelişim aşamaları gibi kriterler göz önüne alınarak sınıflandırılmıştır. Günümüze kadar üretilen pillerin teknolojik gelişimi göz önüne alınarak sınıflandırılması şu şekilde olmaktadır:

- Birinci nesil güneş pilleri
- İkinci nesil güneş pilleri
- Üçüncü nesil güneş pilleri

#### **2.4.1.1. Birinci Nesil Güneş Pilleri**

Bu tür güneş pillerinin yapımında en çok kullanılan malzemeler, silisyum (Si) ve galyum arseniktir (GaAs). Bulunma zorluğunun olmadığı silisyumun verimi ilk bulunduğu zamanlara kıyasla oldukça artmış ve dayanıklı kristal yapısı sayesinde güneş pili yapımında en çok kullanılan malzeme olmuştur.

##### **2.4.1.1.1 Kristal Silisyum Hücreler**

Dünya üzerinde en yaygın olan ve en çok bulunan fotovoltaik hücre çeşididir.

- Tek (Mono) Kristalli Silisyum Hücreler

Bu hücrelerde kristal büyütme işlemleri “Czochralski”, “Float-zone” ya da “Ribbon” “metodu ile yapılır ve ortaya çıkan silindir şeklindeki tek kristalli silisyum külçeleri “wafer” yöntemiyle 0,2-0,3 mm kalınlığında ince ince dilimlenerek hücreler elde edilir. Bu teknik ile kesilen silisyum külçelerdeki malzeme kaybı %40’ları bulmaktadır. Bu da malzemenin maliyetinin yükselmesine sebep olur. Tek kristalli silisyum hücrelerin laboratuvar şartları altında verimi %24 iken, uygulanan modüllerdeki verimliliği %15 civarındadır (Kelzenberg et al., 2008).

- Çok (Poli) Kristalli Silisyum Hücreler

Bu hücreler tek kristallilere göre daha az verimlidir. Buna karşılık daha az maliyetli hücrelerdir. Verimleri laboratuvar şartlarında %18'leri bulmaktayken, uygulamalarında ölçülen değer %14 civarındadır (Kelzenberg et al., 2008). Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen çok kristalli silisyum fotovoltaik hücreler ise daha ucuza üretilmekte olup malzeme kaybı tek kristalli silisyum hücrelere göre yok denecek kadar azdır.

- Semikristal (Yarı Kristal) Silisyum Hücreler

Sıvı silisyumun soğutulmasıyla elde edilen kümelenmiş küçük silisyum kristallerinden oluşur. Verimleri %14 civarında olup, kümelenmiş silisyum taneciklerinin sınırlarındaki kayıplara bağlıdır.

- Ribbon Silisyum Hücreler

Malzeme kaybının azaltılması amacıyla levha halinde silisyum tabakalardan yapılırlar. Çok kristalli silisyum güneş hücrelerinden daha düşük verime sahip olmalarına rağmen üretimdeki malzeme tasarrufu sayesinde maliyetleri daha düşüktür. Verimleri laboratuvar şartlarında %17-18 arasındadır.

#### **2.4.1.1.2 Galyum Arsenik (GaAs)**

Galyum elementi silisyum kadar yaygın olarak bulunamadığı için güneş pili uygulamalarında silisyum kadar tercih edilmemektedir. Laboratuvar şartlarında %25-28 (optik yoğunlaştırıcılı) verim elde edilmektedir. Diğer yarı iletkenlerle birleştirilince %30 verim elde edilmiştir. GaAs hücreler uzay teknolojisinde ve optik yoğunlaştırıcılı sistemlerde kullanılmaktadır (YEGM, 2012).

#### **2.4.1.2 İkinci Nesil Güneş Pilleri**

Bu tip pillerde üç farklı pil öne çıkmaktadır. Bunlar: amorf silisyum, kadmiyum tellür ve bakır indiyum diselenid güneş pilleridir.

##### **2.4.1.2.1 Amorf Silisyum (a-Si)**

En eski ve en çok bilinen ince film hücresidir. Soğurma kat sayısı çok büyüktür. Soğurma kat sayısı kristal silisyum hücrelere kıyasla büyük olduğu için aynı miktarda ışık soğurumu daha ince olan amorf silisyum güneş pilleri ile sağlanabilir. Bu

özelliğinden dolayı kristal silisyum hücrelerden daha uygun maliyete üretilebilirler. Elde edilen verim laboratuvar şartlarında %10, gerçekleştirilen uygulamalarda %5-7 civarındadır. Günümüzde en çok kullanıldığı yer küçük elektronik cihazların güç kaynağıdır. Bunun yanında fotovoltaiik hücrelerin önemli bir uygulama alanı olan mimaride, binanın dış yüzeyleri hangi formda olursa olsun kaplanarak tasarım özgürlüğü sunmakta olup hem enerji üretimi hem de yalıtımı sağlamaktadır (Matsumoto, Hirata, Takakura, Okamoto, & Hamakawa, 1990).

#### **2.4.1.2.2 Kadmiyum Tellür (CdTe)**

İnce film güneş pilidir. Elektronik yapısı güneş ışığı tayfına en uygun yarı iletkenlerden biridir. Oda sıcaklığı koşulunda yasak enerji aralığı 1.5eV olduğu için güneş spektrumundan maksimum değeri elde etmeye oldukça yakındır. Genellikle kadmiyum sülfür (CdS) ile kullanılır. CdS, yasak enerji aralığı 2.5eV olan bir yarı iletkenidir. Ayrıca CdS/CdTe eklemi akım oluşması için gerekli elektrik potansiyelini sağlar. Bu tür fotovoltaiik panellerde verim değerleri %11'e ulaşırken, panel maliyeti dünyadaki tüm teknolojiler arasında en düşük düzeye inmiştir (Das & Morris, 1993).

#### **2.4.1.2.3 Bakır İndiyum Diselenit (CIS)**

İnce film güneş pilidir. Bakır (Cu), indiyum (In) ve selenyum (Se) elementlerinin mevcut elektronik ve optik özelliklerinden dolayı (doğru bant yapısı, yüksek soğurma katsayısı) soğurucu tabaka olarak kullanılabilen ve güneş pili uygulamalarında kullanılmaktadır (Akman, Akin, Karanfil, & Sonmezoglu, 2013). Yarıiletkenidir. Soğurma kat sayıları yüksektir. Yasak enerji aralıkları güneş spektrumu ile ideal bir şekilde uyuşacak biçimde ayarlanabilir.

#### **2.4.1.3 Üçüncü Nesil Güneş Pilleri**

Yarıiletken polimerlerin kullanıldığı organik güneş pilleri, iletken polimerlerin keşfinden sonra önemli bir araştırma konusu olmuştur. Birinci ve ikinci nesil güneş pillerine kıyasla daha uygun fiyatlı olması ve uygulama kolaylığından dolayı araştırmacılar bu tür güneş pillerine yönelmişlerdir.

##### **2.4.1.3.1 Boya Duyarlı Güneş Pilleri**

TiO<sub>2</sub> tabanlı bu yarıiletken güneş pillerinin temelinde ışığa duyarlı organik yapıya sahip boya ve yarıiletken tabaka esastır. Bu tür güneş pillerinde elektronik iletkenliğin sağlanabilmesi için nano boyuttaki parçacıkları içeren oksit tabaka çok önemlidir. En

genel ifadesiyle fotosentez benzeri bir mantık ile çalışan güneş pilleridir. Işığı soğuran boya duyarlı güneş pilleri, boyarmaddeler vesilesiyle enerji üretimini gerçekleştirirler (Akman et al., 2013).

#### **2.4.1.3.2 Organik Güneş Pilleri**

İki metal elektrot arasına yerleştirilen organik malzemeler ile üretilen organik güneş pilleri, üçüncü nesil güneş pili olarak sınıflandırılmaktadır. Yapısında organik malzeme olarak yarıiletken polimerler kullanılıyor olması bu tür pillerin gelişmesine önemli ölçüde katkı sağlamıştır. Organik güneş pilleri hakkında ayrıntılı bilgiye 3.Bölüm'de ulaşılabilir.

#### **2.4.2. Şarj Regülatörleri**

Güneş enerjisinden elde edilen gerilimi istenen gerilim değerine çevirmek için kullanılan bir malzemedir. Genellikle şebekeden bağımsız sistemlerde kullanılır. Şarj regülatörü seçiminde en önemli etken verimdir. İki ana gruba ayrılır.

##### **2.4.2.1. Darbe Genişlik Modülasyonlu (PWM) Şarj Regülatörü**

Şarj kontrolleri bağımsız güneş enerjisi sistemleri için en uygun çözümdür. Üzerlerinde bulunan LCD ekran veya LED'ler sayesinde akü ve şarj durumu gibi bilgilere ulaşılabilir. Açık ve kapalı kurşun aküleri optimum derecede şarj edebilir. 12V ve 24V akü veya akü gruplarını şarj edebilir. Verimleri maksimum güç noktası izleyicilere (MPPT) göre düşüktür.

##### **2.4.2.2. Maksimum Güç Noktası İzleyicili (MPPT) Şarj Regülatörleri**

Profesyonel şarj denetleyicileri MPPT tekniğine göre çalışmaktadır. Gerilim aralıklarında %98 verimdedir. Akü özelliklerine göre uygun şekilde şarj sağladığı için akü ömrünü %50 oranında arttırır. Bu artışla sistem ömrü uzar ve maliyet düşer.

#### **2.4.3. İnverter**

Üretilen DC gerilimi AC gerilime çevirir. İki gruba ayrılır.

##### **2.4.3.1. Şebekeye Bağlı (On-Grid) İnverterler**

DC gerilimi AC gerilime çevirir ve AC kullanıma uygun hale getirir. AC'ye çevirdiği fazla elektrik enerjisini şebekeye verebilen tiptir.

### **2.4.3.2. Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) İnverterler**

DC gerilimi AC gerilime çevirir. Şebeke ile bir bağlantısı yoktur.

### **2.4.4. Aküler**

Elektrik enerjisini kimyasal olarak depo ederler. Elektriğe ihtiyaç duyulduğu zaman elektrik enerjisi olarak verirler.

#### **2.4.4.1. OPzS Aküler**

Sistemlerin kesintisiz enerji kaynağı olarak bağlanması için tasarlanmış sabit tesis aküleridir. Minimum bakım gerektirir ve enerji maliyeti düşüktür.

#### **2.4.4.2. Jel Aküler**

Ortam sıcaklığı düşük olduğunda kullanım ömrü uzundur. İyi performans sağlayan silikon jel teknolojisi ile üretilmişlerdir. Yüksek kalite ve güvenilirliğe sahiptir.

#### **2.4.4.3. Kuru Aküler**

Tamamı kapalı, bakım gerektirmeyen bir akü çeşididir. Çalışma ısı aralığı çok geniştir. Uzun ömürlü, sağlam ve uygun dizayna sahiptir. Herhangi bir pozisyonda çalışabilir. Ters çevrilse bile asit sızdırmaz.

## **2.5. Fotovoltaik Sistem Modelleri**

Bu sistemlerin kullanım amaçlarına göre farklı kurulum uygulamaları vardır. Temelde şebekeye bağlı (on-grid) ve şebekeden bağımsız (off-grid) olarak ikiye ayrılırlar.

### **2.5.1. Şebekeye Bağlı (On-Grid) Sistemler**

Şebekeye bağlı sistem türüdür. Çift yönlü sayaç veya çift sayaç kullanılarak şebekeye karşılıklı elektrik alışverişi gerçekleştirilir.

### **2.5.2. Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Sistemler**

Şebekeden bağımsız bu sistemlerde depolama için aküler ve günlük kullanımda ihtiyaç duyulan AC gerilimi sağlayacak inverterler bulunmaktadır.

### **2.5.3. Hibrit Sistemler**

PV sistem dışında elektrik üreten bir sistemin daha kullanıldığı sistemlerdir. Kullanılan bu sistem yenilenebilir enerji kaynağı olabileceği gibi yenilenebilir



olmayan bir enerji kaynağı da olabilir. İkinci bir üretçten doğrudan üretilen alternatif akımı akülerde depolayabilmek için doğru akıma çevirmek gerekmektedir. Bu çevrim işlemini yapan cihazlara redresör denmektedir.



### 3.BÖLÜM

## ORGANİK GÜNEŞ PİLLERİ

Geçmişten günümüze üretimi yapılan güneş pilleri arasında üçüncü nesil güneş pilleri olarak geçmektedir. 1839 yılında Becquerelin çalışmalarında fotovoltaiik etkinin elektrik gücüne dönüştürülmesi incelenmiştir. Organik moleküler ve polimerik yarıiletkenler, çeşitli kovalent olmayan etkileşimlerin etkileşimi yoluyla karmaşık morfolojilere ve değişen derecelerde düzen ve paketleme modlarına sahip filmler oluşturabilirler (Kippelen & Brédas, 2009). Yapımında kullanılan iletken polimerler ile organik güneş pillerinin gelişimi önemli ölçüde etkilenmiştir. Organik güneş pilleri alanında yapılan çalışmalar sadece akademik değil, aynı zamanda maliyeti düşüren roll-to-roll çözüm işlemi ile, uygun fiyatlı bir enerji teknolojisi olarak da ilerlemiştir ve güncel teknolojilerle rekabet edebilme noktasına gelmiştir (Su et al., 2012) .

İnorganik fotovoltaiiklerde foton soğurulması sonucu serbest yükler meydana gelirken organik fotovoltaiiklerde foton soğurulması sonucu elektron-boşluk çiftleri yani eksitonlar oluşmaktadır. Organik güneş pillerinin çıkışında gerilim oluşabilmesi için oluşan eksitonların yüklerine ayrışması ve elektrotlar tarafından toplanması gerekmektedir.

Düşük maliyetli üretim teknikleri, düşük miktarlarda organik yarıiletken ile birlikte, modüllerin maliyetini 1€/Wp'den (Watt pik) (Nielsen, Cruickshank, Foged, Thorsen, & Krebs, 2010) daha düşük bir seviyeye indirebilir ve böylece karbon yoğun kaynakların yerini alan fotovoltaiik elektrik üretimini hızlandırabilir. Doğal ışık, esneklik ve organik fotovoltaiiklerin (OPV) rengini ve şeffaflığını ayarlama potansiyeli, fotovoltaiikin bina bileşenlerine veya diğer cihazlara entegrasyonu için çekici özelliklerdir.

İnorganik güneş pillerinin verimi organik güneş pillerine göre daha iyidir ancak üretimleri pahalı olduğundan araştırmalar organik güneş pili üretimine kaymıştır. Organik moleküllerin sayısı milyonları bulduğundan üretimleri inorganik güneş pillerinde olduğu gibi sınırlı olmayacaktır. Malzeme çokluğu ise organik güneş pillerinin verimliliğini ve kararlılığını arttırabilmeye yönelik bir avantajdır. Günümüzde yapılan çalışmalarda organik güneş pillerinin verimi araştırılmakta ve

verim arttırmaya yönelik olarak yeni organik materyaller geliştirilmekte artı olarak inorganik materyallerle de karıştırılarak hibrit oluşumlar meydana getirilmeye çalışılmaktadır.

Organik güneş pillerinde verim düşüklüğünün pek çok nedeni bulunmaktadır. Bunlardan biri elektron-boşluk çiftinin ayrışma mekanizmasından kaynaklanmaktadır. Organik yarı iletkenlerde elektron-boşluk çifti arasındaki bağlanma enerjisi inorganik güneş pillerine kıyasla oldukça yüksektir. Bir başka verimsizlik nedeni ise yeniden birleşme yani rekombinasyondan kaynaklanmaktadır. Ayrışan elektron boşluk çiftinin uygun elektrota gitmesi gerekirken yeniden birleşme durumu söz konusu olursa kaçak akımlar oluşacaktır ancak pil mimarisinde kusur olmasa bile bant aralığı içerisinde banttan banda rekombinasyon olabileceğinden güneş pillerindeki rekombinasyon olayı doğal bir süreç olarak kabul edilmelidir (Petritsch, 2000). Bunların yanı sıra organik güneş pillerinin ömrünü, oksijen, nem, yüksek sıcaklık ve ışığa karşı duyarlılık gibi etmenler de etkilemektedir.

Organik güneş pillerinde bozulma mekanizması üzerine araştırmalar yapılmaktadır (Hauch et al., 2008) , (Reese et al., 2008) . Bazı nedenler bozulma hızını arttırırken bazı nedenler bozulmaya daha yavaş etki ederler. Oksijen, nem ve ışığa maruz kalma durumları organik fotovoltaiğin ömürlerini azaltan doğal süreçler olarak karşımıza çıkmaktadır (Turkovic et al., 2014).

Literatürde organik güneş pillerinin çalışma prensibi teorik olarak açıklanamadığından inorganik güneş pillerinin p-n eklem tipi çalışma prensibi baz alınmaktadır. Bu yapıda bir alıcı (donör) yani p, bir verici (akseptör) yani n malzemelerin bir arada kullanılmasından oluşmaktadır. Konjuge polimerler uygun katkılandırma (doplama) ile iletken hale getirilebilirler yani yükseltgenerek p-tipi ekleme sahip polimer ve indirgenerek de n-tipi ekleme sahip polimer elde edilebilir (Zafer, 2006) . Eksitonların ayrışması donör-akseptör malzemenin ara yüzeyinde gerçekleşmektedir. İdeal olarak donör malzeme yüksek fonksiyonlu ITO (Indium Tin Oxide) gibi bir elektrota, akseptör malzeme ise daha düşük fonksiyonlu Al veya Ag gibi bir elektrota temas eder (Petritsch, 2000). Organik tabakalar, farklı çalışma fonksiyonlarına sahip elektrotlar arasında sıkıştırıldığı için, yerleşik bir potansiyel ortaya çıkar ve yüklerin taşınmasına yardımcı olan bir elektrik alanıyla sonuçlanır (Campbell, Hagler, Smith, & Ferraris,

1996) . Böylece sürüklenme ve yayılma etkileşimi ile eksiton ayrışmasından sonra, cihazdaki elektron ve boşluk akımları yönetilir (Kippelen & Brédas, 2009).

Bir organik donör-akseptör cihazdaki fotovoltaiik dönüşüm şu şekilde ifade edilebilir:

- Çözünür ışık verici ya da alıcı malzemede veya her ikisinde emilmelidir.
- Donör veya akseptör malzeme alanının genişliği, eksitonun yaşam süresinde ayrışabilmesi için difüzyon mesafesinden daha kısa olmalıdır.
- Çoğu fotojenli eksitonun ayrışması için, yani iki bileşenin yeterince iyi bir şekilde karıştırılmış olması gerekir. Her iki faz da filmin kütlesini elektrotlara bağlayan sürekli kaplama ağları oluşturmaktadır.
- Elektrotlar elektronik olarak farklı olmalıdır, böylelikle elektronlar tercihen birinde akım birinde boşluklar halinde toplanır, böylece foto-akım için bir yön temin edilir. Bu seçicilik, bir yüksek ve bir düşük çalışma fonksiyonu elektrotu kullanılarak elde edilebilir (Nelson, 2011).

### 3.1 Organik Yarı İletkenler

Organik yarıiletken teknolojisinin henüz keşfedilmediği zamanlarda iletken olmayan polimerler elektronik teknolojisinde kullanılmamaktaydı. Sonrasında 1976 yılında Alan McDiarmid, Hideki Shirakawa, Alan J.Heeger ve ekibi elektrik iletkenliği bulunan polimerleri keşfettiler. Elektrik iletkenliği bulunan polimerlere konjuge polimerler denmektedir (Chiang, Louis, Heeger, MacDiarmid, & Shirakawa, 1997). Konjuge polimerlerin kimyasal bağlarında eşleşmemiş elektron bulunmaktadır ve bu elektron polimer içerisinde yer değiştirip yük hareketi sağlayarak polimeri iletken hale getirmektedir (Heeger, 2001).

Organik fotovoltaiiklerde kullanılacak konjuge polimerlerin veya küçük moleküllerin şu şekilde olması beklenmektedir:

- Emilim aralığını genişletmek için düşük bant genişlikleri
- İyi hareket sağlayabilmek için kristal özellikler
- Voc değerini arttırabilmek için düşük HOMO enerji seviyeleri
- Fulleren kısımlarına verimli elektron transferi için uygun LUMO enerji seviyeleri (Su et al., 2012)

İletken polimerlerde yani konjuge polimerlerde elektrik iletkenliği için bant aralığı önemli bir husustur. Bant aralığı kavramı iletken polimerdeki en yüksek dolu moleküler orbital ile en düşük boş moleküler orbital arasındaki farka denmektedir.

Bant aralığı olarak adlandırılan bu kavram, pilin üretebileceği enerjiyi tanımlamaktadır. Açık devre gerilimi ile bant aralığı doğrudan ilgilidir. Açık devre gerilimini arttırabilmek için akseptör malzemenin LUMO seviyesi ile donör malzemenin HOMO seviyesi arasındaki fark arttırılır ve pilin verimi yükseltilebilmektedir.

Konjuge polimerlerin enerji seviyelerinin ayarlanması yoluyla daha fazla fotonun toplanması için en başarılı strateji, konjuge ana zincire itme ve çekme molekülü birimlerinin dahil edilmesidir. Konjuge zincir boyunca dahili yük transfer işlemine izin veren alternatif itme ve çekme üniteleri, elektronların etkin rezonans uzunluğunu arttırır, bu da kolaylaştırılmış elektron delokalizasyonu sonucu olarak daha küçük bant aralıklarına yol açar. İtme ve çekme moleküler birimlerinin dikkatli tasarımı ve seçimi sayesinde HOMO ve LUMO enerji seviyelerini büyük ölçüde lokalize edildiği için sentezlenmiş bir konjuge polimerin HOMO ve LUMO enerji seviyeleri ve bant genişliği ayarlanabilir. Bu nedenle, güçlü elektron çeken bir birime konjuge edilen zayıf elektron veren bir ünite, HOMO enerji seviyesini ve bir itme/çekme polimerinin bant boşluğu eş zamanlı olarak azaltmak ve dolayısıyla polimerin karıştırılması sırasında (fullerenler ile) eş zamanlı olarak cihazın Voc ve Isc'sini arttırmak için gereklidir (Su et al., 2012).

Organik malzemelerde fotouyarılma sonucu serbest yük taşıyıcıları değİ 0,4eV civarında bağlanma enerjisine sahip olan eksitonlar meydana gelmektedir. İnorganik güneş pillerinde bağlanma enerjisi 16meV iken organik güneş pillerinde 0,4 eV-0,95eV arasında değişmektedir. Meydana gelmiş eksitonlar direkt olarak malzeme içerisinde taşınmazlar. Tabaka içerisinde taşınıp elektrotlar tarafından toplanabilmeleri için yüklerine ayrışmaları gerekmektedir. Gerçekleşmesi gereken ayrışma işlemi yarıiletken malzemenin ara yüzeyinde meydana gelmektedir. Eksitonlar donör-akseptör ara yüzeyinde ayrışarak serbest yükleri meydana getirir ve bu yüklerin elektrotlara taşınması ile de elektrik enerjisi oluşup fotovoltaik dönüşüm tamamlanmaktadır. Donör-akseptör ara yüzeyinde ne kadar çok eksiton ayrışması meydana gelirse akım yoğunluğu da o kadar iyi olacaktır. Yani akım yoğunluğu oranı soğurulabilen foton miktarı ile de doğru orantılıdır. Bu durumda organik güneş pili yapımında kullanılan yarıiletken film, ışığı soğurabilme özelliği bakımından iyi olmalıdır.

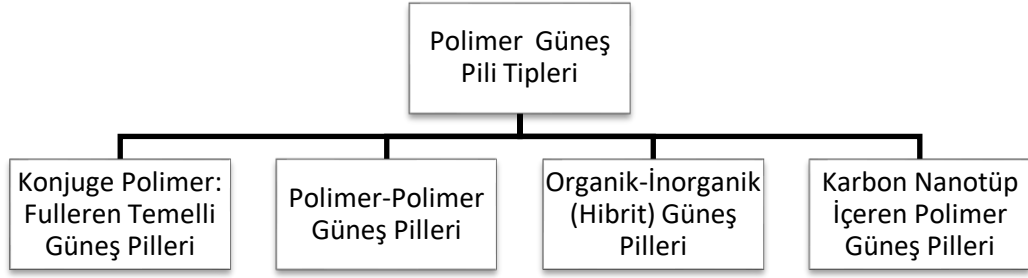
Organik güneş pillerinde foton soğurulmasından ve optik kayıplardan kaynaklanan iki temel verimsizlik söz konusudur.

Organik materyaller kullanılarak üretilen güneş pillerinde, yapımda kullanılan yarıiletken filmin foton soğurma özelliğinin iyi olması gerekmektedir ama fotonların geri yansıma durumu söz konusu olabilmektedir. Bu durum neticesinde meydana gelen verim düşüşünün önüne geçebilmek için ışık emiliminin artırılmasına yönelik olarak çalışmalar yapılmalıdır (Zhang et al., 2008). Emilen bütün fotonların elektrotlara taşınmak üzere yük taşıyıcılarına ayrışamayacağını da belirtilmek gerekir. Bu noktada donör-akseptör ara yüzeyinin eksiton difüzyon uzunluğu mesafesinde bulunması önem kazanmaktadır. Ara yüzeyin eksiton difüzyon uzunluğu mesafesinde bulunmasının önemli olmasının sebebi, eğer durum bu şekilde olmazsa eksiton kayıplarının meydana gelecek olmasıdır.

Organik güneş pili yüzeyinde soğurulan fotonlar sonucu oluşan eksitonlar donör-akseptör ara yüzeyinde ayrışmaktadır. Oluşan bütün eksitonların ara yüzeye ulaşamayıp ayrışmaması gibi bir durum söz konusudur çünkü eksitonun belirli bir difüzyon uzunluğu bulunmaktadır. Eğer ayrışma işlemi meydana gelmezse daha önce de bahsedilen eksiton kayıpları oluşur (Günes, Neugebauer, & Sariciftci, 2007).

Bir diğer kaybın meydana geliş sebebi ise eksitonların ayrıştığı serbest yük taşıyıcılarının tekrar birleşmesi yani rekombinasyon olayı neticesinde oluşmaktadır (Kirchartz, Taretto, & Rau, 2009). Önceki yazılanlarda da yazıldığı üzere eksitonların ara yüzeyde ayrışıp ilgili elektrotlarda toplanması gerekmektedir. Eksitonlar ayrıştıktan sonra yeniden birleşmesi durumunda ilgili iş fonksiyonuna sahip elektrota taşınmaz ve sonuç olarak kayıplar oluşur.

Meydana gelen kayıpları en aza indirgeyip organik güneş pili verimini arttırabilmek için foton soğurumunu arttırıcı, daha iyi bir şekilde yük ayrışmasının gerçekleşip ilgili elektrotlara taşınabilmesi için ise enerji seviyeleri hususunda daha uygun malzeme seçilebilir veya bu duruma yönelik olarak yeni malzemeler üretilir.



Şekil 3.1 Polimer güneş pili tipleri

### 3.1.1 Konjuge Polimer Güneş Pilleri

1977 yılında poliasetilenin elektrik iletkenliği keşfedilerek iletken polimerler ortaya çıkmış oldu. En basit konjuge polimer poliasetilendir. Donör tipli yarı iletken polimerden akseptör tipli polimere veya moleküle, fotoindirgeme ile oluşan elektron transferi bu organik güneş pillerinde kullanılır. Fulleren kullanılarak tek tabakalı güneş pili üretilmiştir ancak verimli değildir (Cakmak, 2015).

### 3.1.2 Polimer-Polimer Güneş Pilleri

Organik güneş pillerinde donör ve akseptör malzemelerin farklı polimerler kullanılarak yapılmasıyla elde edilmiş organik güneş pili tipidir. Kullanılan bu farklı iki polimer ile fotovoltaj dönüşümün tamamlanabilmesi için kendi HOMO ve LUMO seviyeleri arasında moleküler enerji dengesi olmalıdır. Polimer-polimer güneş pillerinin ucuz ve kullanım kolaylığı gibi avantajları vardır ancak düşük verimli olmasından dolayı çok fazla ilgi görmemiştir.

Polimer-polimer yani iki konjuge polimer ile yapılan hacim heteroeklem yapıların yüksek soğurma kat sayısı göstermesi avantajlı yönlerinden biridir ama bu yapıların oluşturulmasında uygun p-tipi eklem bulunamaması sorunu mevcuttur ve kararlı yapıda değildirler (Cakmak, 2015).

### 3.1.3 Organik-İnorganik (Hibrit) Güneş Pilleri

Yapımında organik ve inorganik malzemelerin kullanıldığı hibrit yapıları güneş pilleridir. Bu şekilde güneş pili üretiminin önemli nedenleri bulunmaktadır:

1. İnorganik yarı iletkenler, organik olanlara kıyasla güneş ışığını daha iyi soğurmaktadırlar. Fotoiletkenlik bakımından da organik güneş pillerine göre daha iyidirler.
2. Nanokristallerin n-tipi veya p-tipi özellikleri sentezlenme metoduyla değiştirilebilir.
3. İnorganik yarı iletkenlerin bant genişliği, nanoparçacıkların boyutlarıyla ilgilidir.

Hacim heteroeklem güneş pillerinde de sıklıkla kullanılan hibrit güneş pilleri, boyaya duyarlı güneş pilleri gibi farklı alanlarda da kullanılabilirler (Hoppe et al., 2004).

### **3.1.4 Karbon Nanotüp İçeren Polimer Güneş Pilleri**

Organik güneş pillerindeki performans sıkıntılarına yönelik olarak geliştirilen karbon nanotüp kullanılmış organik güneş pillerinde karbon nanotüpler (CNT) fulleren ve fulleren türevlerine verimli alternatif olarak önerilmiştir (Freitag, Martin, Misewich, Martel, & Avouris, 2003).

Daha önce de belirtildiği gibi verimli enerji üretimi için foton soğurulması sonucu meydana gelen elektron-boşluk çiftinin ayrışabilmesi için donör malzemenin yani konjuge (iletken) polimerin LUMO'sunun, akseptör malzemenin yani karbon nanotüplerin (CNT) LUMO'sunun üstünde olması ve akseptörün HOMO'sunun da donörün HOMO'sunun altında olması gerekir (Gomes Da Costa & Conwell, 1993).

C<sub>60</sub> ve türevleri gibi endüstriyel olarak kullanılabilen iletken polimerler arasındaki ara yüzeyde bant yükseklikleri oluşabilirken, karbon nanotüplerin enerji seviyelerinin çaplarına ve tiplerine olan bağlılığından dolayı elektronik karakteristiklerinde farklılaşmalar meydana gelebilmektedir. Bundan dolayı organik güneş pillerinde kullanılabilirliği sınırlanmıştır (Cakmak, 2015).

CNT'ler ile yapılan deneylerde görülmüştür ki CNT'ler sadece akseptör olarak değil aynı zamanda polimer/CNT arasında eksitonun ayrışması için gerekli olan elektrik alanı da sağlamışlardır (Pradhan, Batabyal, & Pal, 2006). Karbon nanotüplerin dezavantajı çözünür olmayışlarıdır. Çözünür olmadıkları için film kaplamaları homojen olamamaktadır ama fonksiyonlaştırılmış karbon nanotüpler ile düzgün film elde edilebilmektedir (Hoppe & Sariciftci, 2008).



### 3.2 Organik Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi

Organik güneş pillerinde, inorganik güneş pillerindeki gibi foton soğurulması sonucu serbest yükler değil elektron-boşluk çiftleri yani eksitonlar meydana gelmektedir. Eksitonlar elektron-boşluk çiftine denmektedir. Foto uyarılma sonucu oluşan eksitonlar serbest yük taşıyıcılarına ayrışmalıdır. Yüksüz ancak enerji taşıyan eksitonlar, malzemenin ara yüzeyinde ayrışarak farklı iş fonksiyonlarına sahip elektronlara taşınırlar. Valans ve iletim bandı arasında yasak enerji aralığı bulunmaktadır. Bu enerji aralığından daha büyük bir enerji ile gelen foton soğurulursa, aktif malzemenin HOMO'sundan LUMO'suna elektron geçişi olur. Eğer ortaya çıkan eksiton, LUMO'su soğuran malzemeninkinden daha düşük başka bir malzemeye geçerse, elektron alıcı birime geçer. Bu olay göz önüne alındığında eksitonların serbest yüklere ayrışmasını tetiklemede en etkili yollardan biri akseptör kullanımınıdır (Yazmacıyan, 2013). Yani soğurulan fotonlardan meydana gelen eksitonların tamamı materyal ara yüzeyine ulaşır, ayrışır, ayrıştıktan sonra yeniden birleşme olmadan ilgili elektrota ulaşabilmelidir ki üretilen güneş pili verimli olabilsin.

Organik güneş pillerinde ışığın elektrik enerjisine dönüşmesi kısaca, foton emilimi ve elektron-boşluk çifti yani eksiton oluşumu, ara yüzeye eksiton difüzyonu, eksiton ayrışmasının olduğu yerde yük ayırma gerçekleşmesi ve yüklerin organik yarıiletken içerisinde ilgili elektrotlara taşınması olarak açıklanabilir.

Ayrışma işlemi sonucunda boşluklar anoda, elektronlar ise katoda taşınarak akım meydana gelir. Organik güneş pillerinin çalışma prensibinin açıklamasında inorganik güneş pillerinde ki p-n eklem modeli dikkate alınmaktadır çünkü literatürde henüz organik güneş pillerini teorik olarak açıklayan bir model bulunmamaktadır.

Organik güneş pillerinde akım dört adımda oluşmaktadır: (Akman et al., 2013)

- Foton soğurulması sonucu eksiton oluşumu
- Alıcı- verici ara yüzeyine eksiton difüzyonu
- Ara yüzeyde yük ayrışması
- Yüklerin taşınması

### 3.2.1 Fotonların Soğurulması

Organik yarı iletkenlerde pek çok sebepten dolayı güneş ışığının bir kısmı soğurulabilmektedir. Dünya üzerine güneş ışığının %77'si gelmektedir ve gelen ışığın bant aralığı 1.1eV(1100nm)'dur. Dünya üzerine gelen %77'lik ışığın tamamının soğurulabilmesi için organik güneş pillerinin bant genişliği 1.1eV olmalıdır ancak 2eV(620nm)'dan yüksek olduğu için gelen ışığın sadece %30'luk kısmı soğurulabilmektedir (Nunzi, 2002).

### 3.2.2 Eksiton Difüzyonu

Eksiton difüzyonunda ideal olan, materyal yüzeyinde soğurulan fotonlardan oluşan bütün eksitonların malzeme ara yüzeyine ulaşip elektron ve boşluklara ayrışmasıdır. Ara yüzey bölgesi iletkenin diğer ucunda bulunduğu için ara yüzeyin bulunduğu konumun eksiton difüzyon mesafesi için uygun olması gerekmektedir. Durum istenenin tersi olursa eksitonlar yaşam süreleri içerisinde ara yüzeye ulaşamazlar.

### 3.2.3 Yük Ayrışması

Yük ayrışmasının organik materyalin ara yüzeyinde, elektron afinitesi ve iyonizasyon potansiyelleri farklı malzemeler arasında gerçekleştiği bilinmektedir (Petritsch, 2000). Eksiton, donör-akseptör ara yüzeyine geldiğinde ayrışması 45 femtosaniye gibi çok yüksek bir hızda gerçekleşir (Yazmacıyan, 2013). Işık oluşturduğu eksitonları ayırmak için hetero bağlantı gerekmektedir (Nelson, 2011). Verimli yük ayrışması için güçlü elektrik alan gereklidir çünkü organik güneş pillerindeki eksiton bağlanma enerjisi çok yüksektir. Bu gibi elektrik alanlar ara yüzeyde meydana gelebileceği gibi harici olarak da kullanılabilir. Bir ara yüzeyde, potansiyel enerjinin ani değişimlerinin meydana geldiği yerlerde güçlü yerel elektrik alanları bulmak mümkündür. Elektron-boşluk çifti arasında bağın koparılabilmesi için Colomb çekim kuvvetinden daha güçlü bir elektrik alana ihtiyaç vardır (Yoshino, Tada, Fujii, Conwell, & Zakhidov, 1997). Donör-akseptör ara yüzeyi ile eksiton difüzyon uzunluğu aynı sırada olmalıdır. Eksiton difüzyon uzunlukları polimerler ve organik yarı iletkenlerde genellikle 10-20 nm'dir (Nunzi, 2002).

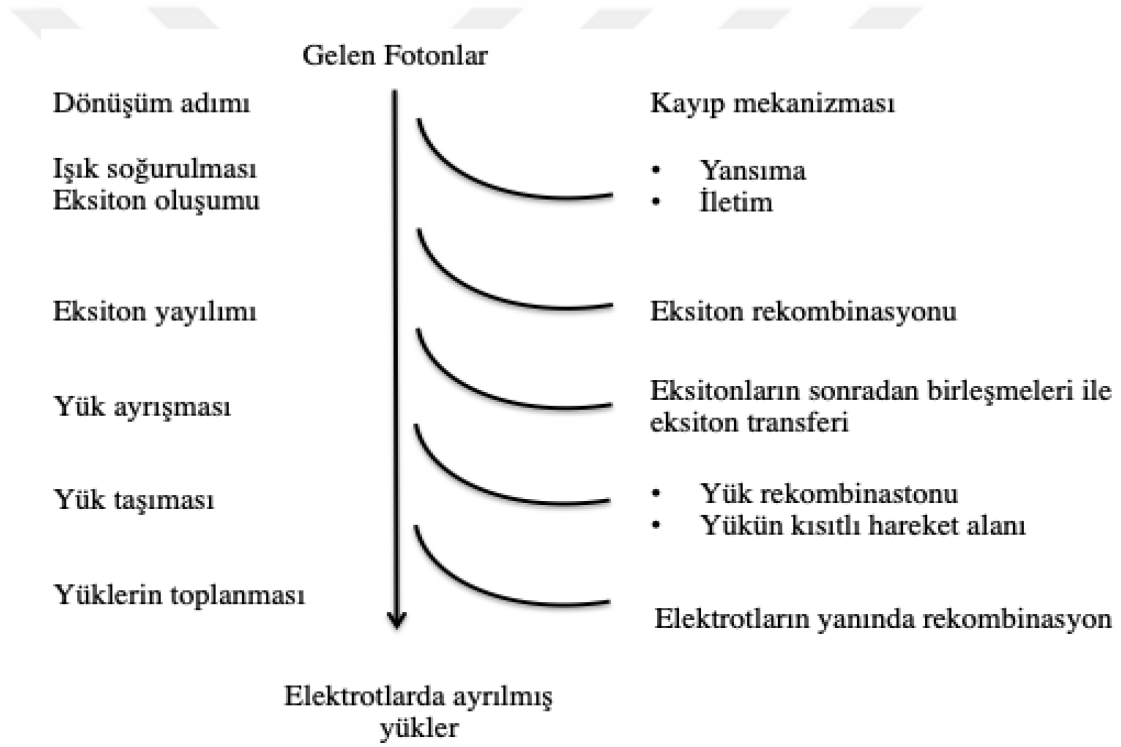
### 3.2.4 Yüklerin Taşınması

Oluşan elektron ve elektron boşlukları farklı iş fonksiyonlarına sahip kutuplara taşınmaktadır ve nano-mikro saniyeden bir zaman aralığında gerçekleşmektedir (Su et

al., 2012). Taşınma işlemi elektrotların sahip olduğu iş fonksiyonları veya uygulanan potansiyel ile oluşan elektrik alanda gerçekleşmektedir (Yoshino et al., 1997).

Geri yük transferinin önlenmesi amacıyla elektron ve boşluklar farklı malzemelerle veya fazlarda taşınmalıdır. Yük taşınmasının ve elektrotlar tarafından verimli bir şekilde gerçekleşmesi isteniyorsa iletken malzeme ile elektrot arasında enerji bariyeri bulunmamasına dikkat edilmelidir. Eğer iki malzeme arasında enerji bariyeri bulunuyorsa ekstra malzeme eklenmesiyle bu durum giderilebilmektedir (Zafer, 2006).

Malzeme yüzeyinde toplanan fotonların ayrışıp elektrotlarda toplanmasına kadar geçen süreçte meydana gelen kayıplar şu şekilde açıklanabilir:



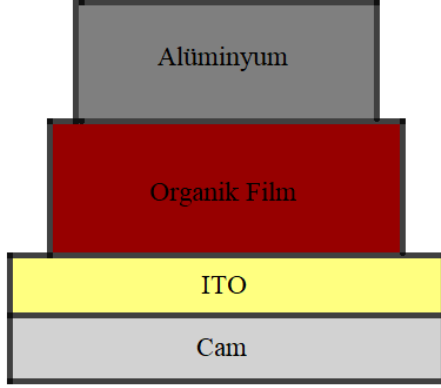
Şekil 3.2 Malzeme yüzeyinde toplanan fotonların elektrotlarda toplanmasına kadar olan süreçte meydana gelen kayıplar (Petritsch, 2000).

### 3.3 Yapısına Göre Organik Güneş Pilleri

Yapısına göre organik güneş pilleri üçe ayrılmaktadır:

- Tek katmanlı fotovoltaiik hücreler
- İki katlı heteroeklem fotovoltaiik hücreler
- Hacim heteroeklem fotovoltaiik hücreler

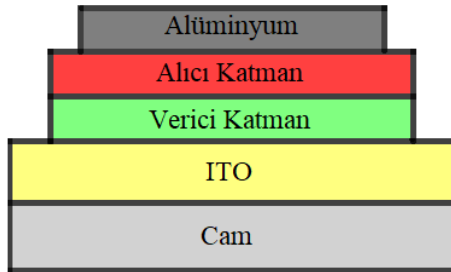
### 3.3.1 Tek Katmanlı Fotovoltaik Hücreler



Şekil 3.3 Organik güneş pillerinde tek katmanlı yapı

İki farklı elektrot arasında tek katlı polimer bulunduran fotovoltaik hücre tipidir. Schottky eklemde olduğundan Schottky tipi aygıtlar olarak da adlandırılmaktadırlar (Tanenbaum & Li, 2016). Organik yarı iletkenlerde foton soğurulması sonucu meydana gelen eksitonların yani elektron-boşluk çiftlerinin arasındaki bağlanma enerjisi, inorganiktekilere göre daha fazladır. Aradaki bağı koparıp elektron- boşluk çiftlerini ayırmanın yolu elektrik alan kullanmaktır ancak bu bağlanma enerjisi o kadar büyüktür ki eksitonun yaşam süresi içerisinde ayrışması mümkün olmayabilir. Tüm bunlar göz önüne alındığında meydana gelen eksitonların serbest yük taşıyıcılarına ayrışması amaçlanan çalışma prensibine göre tek katmanlı fotovoltaik pillerde foto-akım kısıtlı bir alanda meydana geldiği için verimleri çok iyi değildir. Foto-aktif malzeme çok ince olduğundan bütün yükler aynı malzemede taşınmaktadır (Karg, Riess, Meier, & Schwoerer, 1993) ve bu durum rekombinasyon riskini arttırmaktadır.

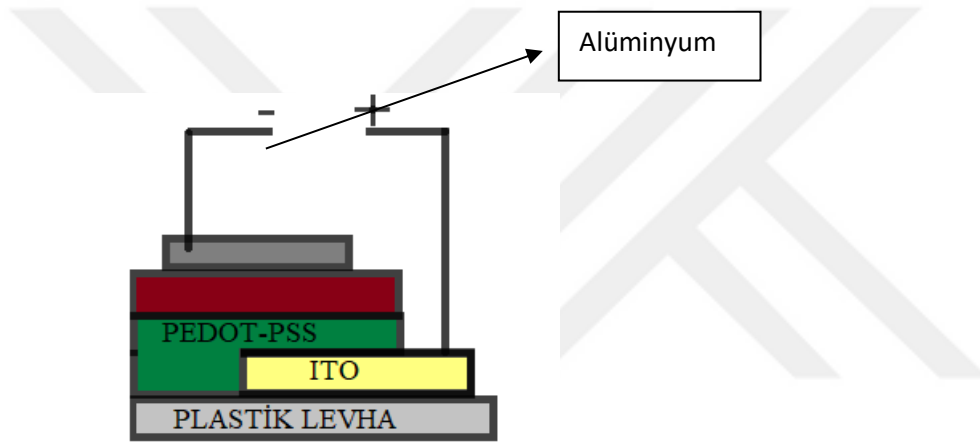
### 3.3.2 İki Katlı Heteroeklem Fotovoltaik Hücreler



Şekil 3.4 Organik güneş pillerinde iki katlı heteroeklem yapı

Verici ve alıcı katmanların üst üste konup sıkıştırılması ile oluşturulan fotovoltaik hücre tipidir. Tek tabakalı fotovoltaik hücelere kıyasla daha verimlidir çünkü eksitonlar alıcı (donör) ve verici (akseptör) ara yüzeyinde ayrışır ve akseptör elektronları, donör ise elektron boşluklarını alır. Bu sayede eksitonu meydana getiren elektron ve elektron boşlukları birbirinden ayrılmış, elektrotlara taşınmış ve fotovoltaik dönüşüm tamamlanmış olur ancak ara yüzey eksiton difüzyonu mesafesinde değil ise eksitonlar buraya ulaşamaz, ayrışamaz ve akım oluşamayacağından verim düşmesi problemi ortaya çıkar. Bu tip güneş pillerinde verimin ne kadar iyi olduğunun ölçütü, ara yüzeyde ne kadar yük oluşabildiğidir.

### 3.3.3 Hacim Heteroeklem Fotovoltaik Hücreler

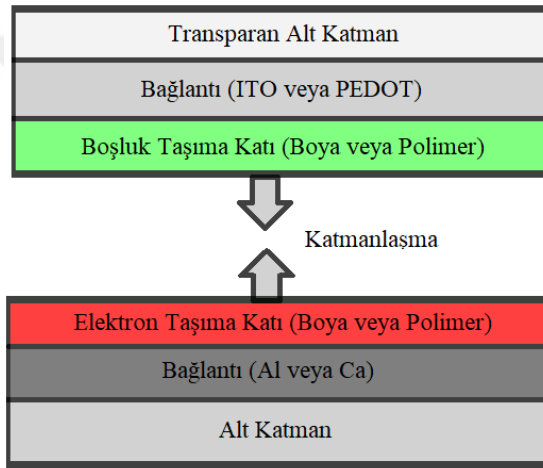


Şekil 3.5 Organik güneş pillerinde hacim heteroeklem yapısı

Alıcı ve verici malzemeler iki katlı güneş pillerindeki gibi sıkıştırılmış katmanlar halinde değil, birbirine karıştırılmış halde, eksitonun yayılma mesafesinden daha az bir mesafe içerisinde bulunmaktadır. Yük ayrışmasının meydana geldiği alan hacimsel boyutta olduğu için iki katlı güneş pillerinde ayrışan eksiton sayısından daha fazla eksiton ayrışabilmektedir. Çünkü eksiton ayrışması materyalin her noktasında meydana gelebilmektedir. Hacim heteroeklem fotovoltaik pillerde donör-akseptör yüzey alanı artırılarak verim de artırılmıştır (Hoppe & Sariciftci, 2008). Karışım halinde bulunan bu yapıda herhangi bir simetri bozulması bulunmamaktadır. Yani karışım içerisinde önceliğe sahip bir simetri bulunmamaktadır. İç alanlarda tercih edilen bir hareket yönü yoktur yani oluşturulan elektron ve boşluklar için hacim içerisinde net bir hareket yönü yoktur. Bu nedenle simetri kırılma durumu (farklı iş fonksiyonlu elektrotların kullanımı gibi) hacim heteroeklem cihazlarda esas önemli

özelliğidir. Aksi halde sadece difüzyon olayı itici güç olarak hareket edebilir. Ayrıca, ayrılan yüklerin elektrotlara taşınması için filtrelenmiş yollar gerekmektedir. Başka bir deyişle, alıcı ve verici fazlar, biyosürekli bir nano ölçek ve geçişimli ağ gerektirmektedir. Bu nedenle, hacim heteroeklem cihazlar nano ölçekli olduklarından daha duyarlıdır. Hacim heteroeklem yapılar donör-akseptör pigmentleri kaplamasıyla , polimer/polimer, polimer/molekül , molekül /molekül donör-akseptör karışımların çözelti halinde kaplanmasıyla elde edilebilirler (Hoppe et al., 2004). Bu zamana kadar geliştirilmiş olan en iyi organik güneş pili yapısıdır.

### 3.4 Çok Eklemlili Güneş Pilleri



Şekil 3.6 Organik güneş pillerinde çok eklemlili yapı

Organik güneş pillerinde yaygın olarak kullanılan p-n eklem tipi metotta yüksek enerjili fotonlarda meydana gelen enerji fazlalıklarının ısıya dönüşmesi ve düşük enerjili fotonlarında soğurulamamasından kaynaklanan sıkıntılar mevcuttur. Bu problemler neticesinde de güneş pilinin verimi düşmektedir. Bahsi geçen kayıpları azaltıp verimi yükseltmeye yönelik olarak çok eklemlili güneş pili metotları geliştirilmektedir.

Geliştirilen çok eklemlili güneş pili metodunda güneş spektrumu farklı enerji aralıklarına bölünerek her bir enerji aralığında yasak bant aralığına sahip p-n eklem modeli oluşturulmuştur. Bu model sayesinde kayıplardaki bahsedilen ilk kayıp yani yüksek enerjiye sahip fotonların ısıya dönüşmesinden kaynaklanan kayıpların önüne geçilebilmekte, yüksek enerjili fotonlar daha fazla elektron-boşluk çifti oluşturabilmektedir. Bahsedilen bir diğer kayıp nedeni yani düşük enerjili fotonların

soğurulamamasından kaynaklanan kayıpların da bu model sayesinde düşük enerjili fotonların da fotovoltaiik dönüşümlerde kullanılabilmesi neticesinde önüne geçilebilmiştir. Geliştirilmiş olan çok eklemli yapı ile bahsi geçen problemler çözülmüş, kayıpların da önüne geçildiğinden güneş pilinin verimi arttırılmıştır (Yazmaciyan, 2013). Çok eklemli organik güneş pili yapıları şu şekildedir:

- Yığılmış piller (stacked cells)
- Tandem güneş pilleri

### 3.4.1 Yığılmış Piller (Stacked Cells)

Yapımında aynı malzemeler kullanılmıştır ve bu şekilde pillerdeki verimin arttırılması amaçlanmıştır. Kullanılan her bir pil arasına optik filtreler yerleştirilerek piller birbirinden izole edilir (Yazmaciyan, 2013).

### 3.4.2 Tandem Güneş Pilleri

Yapımında farklı malzemeler kullanılmıştır ve farklı soğurma aralıkları meydana gelmektedir. Bu yöntemle elde edilmiş olan güneş pillerinde kullanılan her bir pilin optik soğurması dengelenerek pil verimi ayarlanabilmektedir (Yazmaciyan, 2013).

Yasak bant aralığı düşük olanın altta, yüksek olanın üstte bulunduğu bir modele sahiptir. Yüksek enerjili fotonlar en üstte bulunan bant aralığı yüksek olan p-n eklemi tarafından soğurulurken, düşük enerjili fotonlar alt kısımda bulunan bant aralığı düşük p-n eklemi tarafından soğurulmaktadır. Orta kısımda da p-n eklem mevcut ise bu kısımda da yayılan ya da soğurulamayan fotonlar soğurulmaktadır. Çift katlı heteroeklem güneş pilleri ile hacim heteroeklem güneş pillerinin avantajları göz önüne alınarak üretilmişlerdir.



Şekil 3.7 Organik güneş pillerinde tandem yapı

### 3.5 Organik Güneş Pili Yapımında Kullanılan Malzemeler

Organik güneş pili yapımında genelde boya bazlı hücreler ve çok iletkenli hücreler içerir. Bu tip pillerde fotouyarıtıyı arttırmak için polimerler veya küçük moleküller kullanılmaktadır. Güneş spektrumuna mükemmel şekilde uyan Shockley ve Queisser'in teorik olarak verim sınırı %66 seviyesine ulaşmaktadır (Tanenbaum & Li, 2016).

Organik fotovoltaik hücre yapımında kullanılan malzemeler iki başlık altında incelenebilirler:

- Organik malzemeler
- Elektrot malzemeleri

#### 3.5.1 Organik Malzemeler

Organik güneş pili yapımında elektriği iletme özelliğine sahip konjuge polimerler kullanılmaktadır. Konjuge polimerlerde tek ve çift karbon-karbon bağları bulunmaktadır. Tek bağlar  $\sigma$  sigma bağıdır, çift bağlarda ise biri  $\sigma$  sigma diğeri  $\pi$  bağıdır.  $\pi$  bağında bulunan elektronlar  $\sigma$  bağında ki elektronlara göre daha hareketlidir ve delokalize olmuşlardır. Bu durum neticesinde molekül zincirinden oluşan sistem boyunca kolayca hareket edebilirler (Cakmak, 2015). Bu şekilde delokalize olmuş  $\pi$  elektron sistemine sahip materyaller güneş ışığını soğurabilir, fotonlar ile uyarılarak elektron-boşluk çiftlerini ayırabilir ve ilgili elektrotlara taşıyabilir. Organik güneş pili yapımında kullanılan organik malzemeler iletken polimerler, pigmentler ve sıvı kristallerdir ancak içlerinde en iyi seviyede olan iletken polimerlerdir (Sariciftci, Smilowitz, Heeger, & Wudl, 1992).

Organik yarıiletkenler, mekanik işlemlerine, yani işleme özelliklerine göre üç farklı kategoriye ayrılabilir: çözünmez, çözünür ve sıvı kristalli (Petritsch, 2000).

#### 3.5.2 Elektrot Malzemeleri

Organik malzemelerle üretilmiş cihazlarda elektrot üretiminde kullanılan materyalin çalışma özellikleri, elektrotların yük taşıyıcıları için ohmik engelleyici kontak oluşturup oluşturmadığını LUMO/HOMO seviyeleri ile beraber tanımlandığı için önemli olmuştur. Buna ek olarak kullanılan elektrot malzemesinin iş fonksiyonları arasındaki farklılıklar da Voc'yi artırabilmektedir (Cakmak, 2015). Genel olarak kullanılan elektrot malzemeleri şu şekildedir:



- PANI
- PEDOT
- ITO
- FTO
- TO

ITO hem iletken hem de ışığı geçiren bir materyal olduğu için organik güneş pili yapımında sıkça kullanılmaktadır. PET ve cam yüzeylere püskürtülen ITO'nun yüksek yüzey direnci, güneş pili kullanımında genelde ortaya çıkan seri bağlı modüllerde önemli güç kayıplarına neden olmaktadır. BUMEMS Laboratuvarı'nda ITO'nun yüzey direncini azaltmaya yönelik olarak her bir güneş pilinin ITO elektrotu üzerine ince altın film kaplanıp birbiri ile bağlantılı ince yollar halinde şekillendirilmiştir. Bu çalışma neticesinde ITO katmanının uç noktalarından toplanan boşluklar düşük dirençli altın yollar üzerinden taşınarak seri bağlı hücrelerin toplam seri direnci büyük oranda azaltılabilmektedir (Mert & Mutlu, 2008).

Donör malzeme olarak genellikle MDMO-PPV(poli[2-metoksi-5-(3,7-dimetiloksi)]-1, 4-feniviniylen) ve P3HT (poli(3-hekziltiophen) kullanılırken akseptör malzeme olarak genellikle PCBM (1-(3-metoksikarbonil) propil-1-fenil C<sub>61</sub>), C<sub>60</sub>, C<sub>70</sub> ve türevleri kullanılmaktadır.

Yeni fotoaktif materyallerin geliştirilmesi, yeni elektrot ve ara katman malzemelerle ilgili araştırmaların artmasına eşlik etmiştir. Organik fotovoltaiiklerde çalışılan alternatif elektrot ara tabakaları, NiO (Irwin, Buchholz, Hains, Chang, & Marks, 2008), WO<sub>3</sub>, MoO<sub>3</sub> (Shrotriya, Li, Yao, Chu, & Yang, 2006) gibi yüksek çalışma fonksiyonlu, TiO<sub>2</sub>, ZnO (Steim, Choulis, Schilinsky, & Brabec, 2008), (White, Olson, Shaheen, Kopidakis, & Ginley, 2006) gibi kararlı düşük fonksiyonlu oksitler, polimer ara katmanlar (Seo et al., 2011) ve yüksek iletkenlik PEDOT (Na, Kim, Jo, & Kim, 2008) buhar fazı polimerize PEDOT (Levermore, Chen, Wang, Das, & Bradley, 2007), karbon nanotüp gibi organik iletken tabakalar (Kim et al., 2010) ve metal nanotel bazlı tabakalar.

Büyük ölçekli işleme için çözelti işlenebilir oksit tabakaları ve iletken polimer tabakaları tercih edilir.

### 3.6 Organik Güneş Pillerinin Üretim Teknikleri

Organik güneş pillerinde buharlaştırma ve ıslak işlem yani çözelti işleme teknikleri ince film hazırlama teknikleri arasında en çok tercih edilen yöntemlerdir. Polimerler aşırı ısı altında ve çok büyük molar kütleli buharlaşma ile ayrışır. Bu nedenle çoğu polimer bazlı fotovoltaiik malzeme düşük sıcaklıkta işlenir. Buharlaştırma yönteminde termal kararlılık geçerliiyken ıslak işlem yönteminde malzemenin çözünür olması önemlidir. Küçük moleküllerde termal kararlılık mevcutken, polimerler fazla ısı altında bozulabildiklerinden dolayı buharlaştırma yöntemi için uygun değildir. Öte yandan polimerlerin çözünürlüğü daha iyiyken, küçük moleküller polimerlere kıyasla çözünürlük bakımından iyi değildir. Bütün bu anlatılanlar neticesinde küçük moleküller için buharlaştırma, polimerler için ise ıslak işlem yöntemi kullanılmaktadır.

Yarıiletken polimerlerde konjuge depolamak için baskı/kaplama teknikleri kullanılır (Hoppe & Sariciftci, 2008).

Qinye Bao ve arkadaşları çözelti ile işlenmiş konjuge polimerleri incelemiştir ve ara yüzeylerinde enerji seviyesi hizalamasında yer alan temel fizik konularını tartışılmıştır (Bao, Braun, Wang, Liu, & Fahlman, 2019).

Literatürde kullanılan tekniklere örnek olarak, spin kaplama, doktor blading, serigrafı ve mürekkep püskürtmeli baskı örnek verilebilir (Hoppe et al., 2004).

Ortak bir çözücü içerisinde donör-akseptör bileşenleri veya karışımları çözümlenerek hazırlanabilir (Hoppe et al., 2004).

Oksijen ve su gibi kirletici maddeleri azaltmak için  $<10^{-5}$  mbar vakum uygulanır.

Organik güneş hücrelerinde kullanılan yapı organik ışık yayan diyotlara yani LED'lere benzemektedir. Alt tabaka olarak, şeffaf, örneğin cam veya ITO ile kaplanmış iletken polimerler kullanılır. ITO (indiyum kalay oksit) elektrotlar şeffaf ve iletkendir ancak pahalıdır. ITO için alternatifler aranmaktadır (Rowell et al., 2006).

### 3.7 Organik Güneş Pillerinin Karakteristiği

Organik fotovoltaiiklerin karakteristiklerini belirleyen pek çok parametre bulunmaktadır. Bunlar şu şekildedir:

- Açık devre gerilimi ( $V_{oc}$ )
- Kısa devre akımı ( $I_{sc}$ )

- Dolgu faktörü (Fill factor- FF)
- Maksimum güç noktası (MPP)
- Güç dönüşüm verimliliği
- Hava kütlesi (Air mass- AM)

### 3.7.1 Açık Devre Gerilimi (Voc)

Bir güneş pilinden elde edilebilecek en büyük gerilim değeridir ve akım sıfır olduğu an devrede ölçülen gerilime denmektedir. Metal kontaklar (arka elektrot) ve kullanılan aktif malzemenin özelliklerine göre değişiklik gösterir. Heteroeklem cihazlarda, donör materyalin HOMO'su ile akseptör materyalin LUMO'su arasındaki enerji farkının açık devre gerilimini kısıtladığı düşünülmektedir (Yazmacıyan, 2013).

### 3.7.2 Kısa Devre Akımı (Isc)

Organik güneş piline herhangi bir dış alanın etki etmediği, yüklerin sadece iç alan etkisi ile çekildiği durumdaki akım değerine kısa devre akımı denmektedir. Organik yapıda kullanılan farklı iş fonksiyonlarına sahip elektrotlar ile belirlenir. Güneş pilindeki yük ayrışması ve kullanılan malzemelerin taşıma işlemi özelliklerine dair bilgi veren, güneş pili tasarımında önemli bir parametredir (Sace & An, 2004).

### 3.7.3 Dolgu Faktörü (Fill Factor-FF)

Güneş pilinin ne kadar iyi bir diyot davranışı gösterdiğinin göstergesidir (Yazmacıyan, 2013). Dolgu faktörü 1'e ne kadar yakınsa güneş pili o kadar verimli demektir (Ballıpınar, 2012) .

$$FF = (V_{mpp} \times I_{mpp}) / (V_{oc} \times I_{sc}) \quad (\text{Yazmacıyan, 2013})$$

### 3.7.4 Maksimum Güç Noktası

Gerilim ve akım çarpımının maksimum olduğu noktaya denmektedir.  $V_{mpp}$  ve  $I_{mpp}$  cihazın karakteristik akım ve gerilim değeridir. Cihazın bu noktada çalışması beklenmektedir (Yazmacıyan, 2013). İleri bölümlerde maksimum güç noktası hakkında daha ayrıntılı bilgi verilecektir.

### 3.7.5 Güç Dönüşüm Verimliliği

Maksimum noktadaki elektriksel gücün optik güce oranı olarak ifade edilir (Ballıpınar, 2012). Şu şekilde hesaplanır:

$$\eta_{(AM\ 1.5)} = P_{out}/P_{in} = (I_{sc} \times V_{oc} \times FF)/P_{in}$$

Gelen ışığın gücü genelde AM 1.5 spektrumu ile standartize edilir (Yazmacıyan, 2013).

### 3.7.6 Hava Kütlesi (Air Mass-AM)

Yeryüzüne gelmekte olan güneş ışınlarının güneş pili yüzeyine varıncaya dek aldığı yola hava kütlesi denmektedir. Işık ilerlerken hava ve havadaki tozlardan etkilenmektedir. Hava kütlesi parametresi ışığın gücünde meydana gelen azalmayı ölçer ve şu şekilde ifade edilir (Akçay, 2012) :

$$AM = 1/\cos \theta$$

Burada  $\theta$  yeryüzüne dik gelen açıdır ve zenith açısı olarak adlandırılır.

## 3.8 Organik Güneş Pillerinde Kararlılık, Verim ve Yaşam Süresini Etkileyen Bozulma Mekanizmaları

Genel olarak organik güneş pillerinin verimi inorganik güneş pillerine göre düşüktür ve verim düşüklüğü organik güneş pillerinin en büyük dezavantajıdır.

Organik güneş pilleri oksijen, nem, sıcaklık ve basınç gibi çevresel faktörlerden etkilenmektedirler. Bu faktörlerden dolayı güneş pilinde bozulma meydana gelmemesi için kapsülleme işlemi yapılmaktadır (Madogni et al., 2015). Kapsülleme işlemi yapılmaz ve organik güneş pili, oksijen, nem, sıcaklık ve basınç gibi çevresel faktörlere maruz kalırsa, güneş pilinin ömrü kısılacaktır.

Organik güneş pilleri üretimleri ve kullanımları sırasında çeşitli şekillerde bozulmalara maruz kalmaktadırlar. Bozulma mekanizmaları organik güneş pillerinin ömrünü kısaltmakta ve verimini de düşürmektedir. Cihaz içerisine oksijen veya su girmesi, materyal ara yüzeyinin deforme olması, organik materyaller ile sistemde kullanılan elektrotların reaksiyon vermesi, organik fotovoltaiik hücre oluşturmada kullanılan materyaller arası difüzyon ve elektrot difüzyonu, kullanılan tabakaların ayrışması,

kabarcık ve çatlakların oluşması gibi nedenlerden dolayı güneş pilinin ömrü kısalmakta ve verimi düşmektedir. Söz edilen bozulma mekanizmaları güneş pili üretilirken, güneş pili kullanılırken, bazıları ise hem üretim hem de kullanım sırasında gerçekleşmektedir. Bozulma mekanizmaları birbirinden net bir şekilde ayrılıp nicel olarak ifade edilememektedir.

Verimliliğin artırılması gereği dışında, organik güneş hücreleri için kararlılık başka bir problemdir. Özellikle ışık altında ve oksijen veya su buharına aynı anda maruz kalma, hızlı fotooksidasyon yani bozulmalar oluşturur. Cihaz ömürlerini uzatabilmek için cihazın hava ve nemden yalıtılması gerekmektedir (Hoppe et al., 2004).

Polimer-fulleren alıcı ve verici karışımı güneş pillerinin kararlılığı ışık yayan diyotlardaki konjuge polimer bileşiminden daha fazladır (Hoppe et al., 2004).

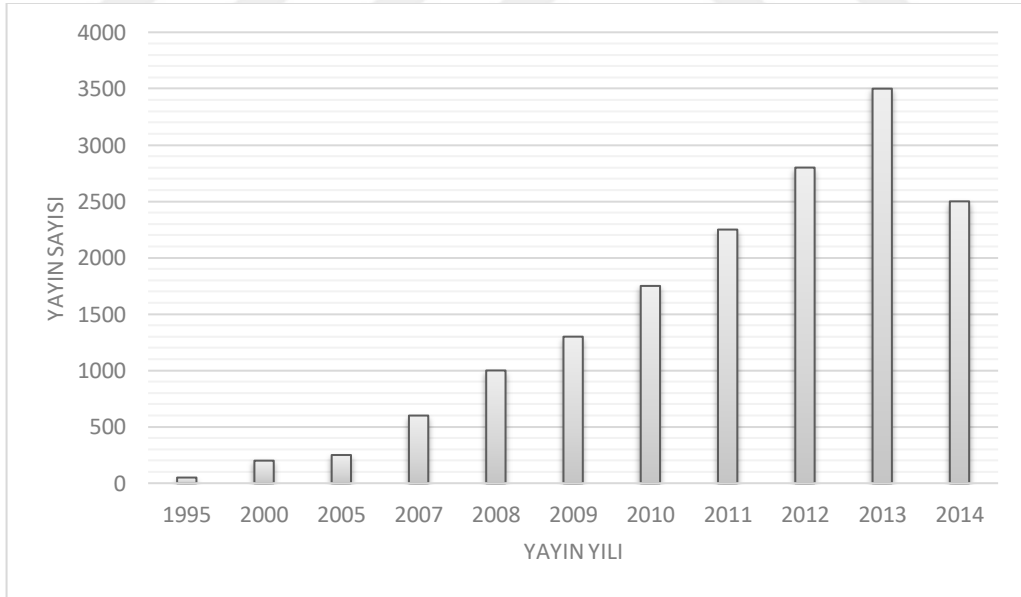
Xiaomin Xu ve arkadaşları, termal olarak kararlı organik fotovoltaiik üretmişlerdir. Üretilen fotovoltaiik 100 derecenin üzerindeki sıcaklıklara dayanabilen, %500'e varan randımanla, ultra verimli organik güneş hücreler başarılı bir şekilde üretilerek, 500 saatin üzerinde havada hızlandırılmış test koşulları altında başlangıç verimliliğinin %80'i korunmuştur. İyi termal kapasiteye ve düşük gaz geçirgenliğine sahip ultra ince polimer madde ve bariyer kaplamalar, hücrelerin ve bunların depolanmasının havada veya zor şartlar altında uzun bir süre boyunca çalışmasını sağlar (Xu et al., 2018).

Hacim heteroeklem polimer:fulleren güneş pilleri gibi organik fotovoltaiiklerden elde edilen en yüksek verim %2.5'den %11'e yükselmiştir. Organik fotovoltaiik hücrelerin verim artırılma çalışmaları, foton-elektron dönüşüm mekanizmasının daha iyi anlaşılması, özel enerji seviyeleri ve çözünürlük ile yeni malzemeler, aktif tabakada optimal mikro yapıları indüklemek için yeni işlem yaklaşımları, yeni ara yüz tabakalı yeni cihaz mimarileri üzerine yoğunlaşmıştır.

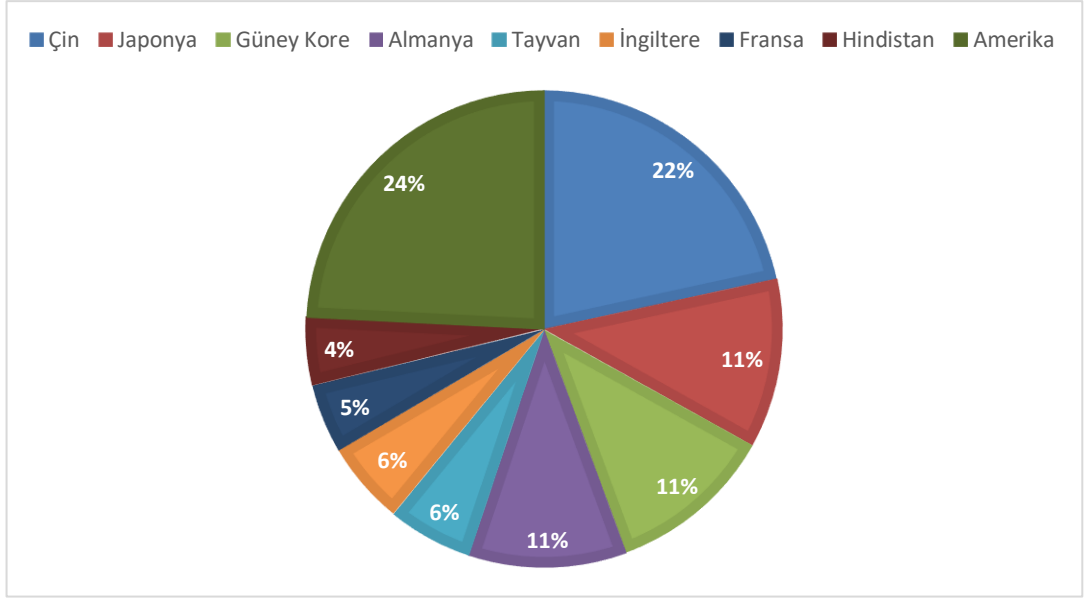
Taşınabilir güneş enerjisi için yaygın bir teknoloji olarak organik pilinin geleceği, verimlilik ve sürdürülebilir üretim gibi faktörlere bağlıdır. Bu noktada iki ana üretim tekniği öngörülebilir, vakum işleme ve ıslak işleme. Vakum işlemi bir yandan iyi kontrol edilebilen kalınlıktaki yüksek derecede saflaştırılmış malzemelerden yüksek kaliteli ince filmlerin ve diğer yandan karmaşık çok katmanlı mimarilere sahip cihazların nispeten kolay bir şekilde imal edilmesinin avantajlarını sunar. Sınırlayıcı faktörler, çökme oranları ve vakum teknikleriyle ilişkili takım maliyetleridir. Islak

işlem ise çeşitli baskı teknikleri kullanılarak yüksek verim sağlar ve en düşük üretim maliyetlerinin uzun vadeli kullanımını sunar. Organik yarıiletkenleri zaman içinde kararlılıklarını sınırlayan foto-oksidatif reaksiyonlara maruz kalmaktan korumak için oksijen ve neme kadar küçük iletim hızlarına sahip kaplamalar gereklidir. Ambalajlama teknikleri substrat ve aktif malzemelerle uyumlu olmalı ve genel üretim maliyeti düşük tutulmalıdır (Kippelen & Brédas, 2009). Organik fotovoltaiklerin önündeki en büyük engel ise çevresel koşullara uygun, aynı zamanda da düşük maliyetli güneş pili üretimidir.

Organik güneş hücrelerinde kararlılık, hızlı gelişmekte olan teknolojiye ve enerji ihtiyacı bulunan günümüzde sürdürülebilir olarak kullanılacak yeni nesil bir teknolojidir. Bu alanda pek çok araştırma yapılmaktadır ve yapılan araştırmalarda da verimlilik ve kararlılık üzerine yoğunlaşmıştır. Bu araştırmalar neticesinde de verimlilik ve kararlılık giderek artmaktadır. Güç dönüşüm verimliliği artmış ve %15'lere ulaşmıştır. Organik fotovoltaik cihazların uygulanabilirliğinin artmasında en önemli faktör bir kaç bin saat boyunca doğal koşullar altındaki yüksek kararlılığıdır (Kushwaha, 2014)



Şekil 3.8 Organik fotovoltaiklerde ilerleme (son 25 yıldaki yayın sayısının yansıttığı üzere) (Kushwaha, 2014)



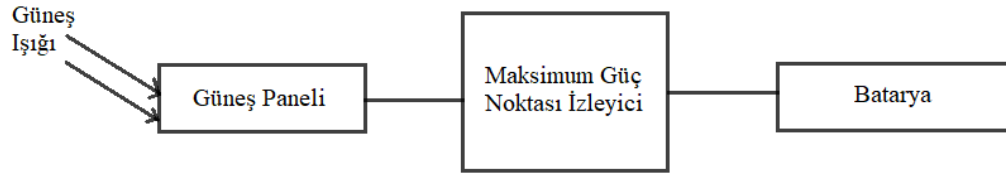
Şekil 3.9 Organik fotovoltaik araştırmalarına en çok katkıda bulunan ülkeler (son 25 yıldaki yayınların kümülatif yüzdesi) (Kushwaha, 2014)

## 4. BÖLÜM

### MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİ

Geçmişten günümüze kadar son 20-30 sene içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarında özellikle güneş enerjisine yönelim olmuştur. Güneş enerjisi kaynağı güneş gibi sınırsız bir kaynak olduğu için en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir. Temiz, sınırsız bir kaynağa sahip olan güneş enerjisinin avantajlarının yanında dezavantajları da mevcuttur. Kullanıcılar için güneş enerjisi sistemlerinin önemli dezavantajlarından biri yüksek kurulum maliyetidir. Bundan dolayı sistemin kurulum aşamasında seçilecek olan güneş panelinin çalışma koşulları ve özellikle ne kadar verimli çalışıyor olduğu çok önemlidir (Onat & Ersoz, 2009). Kurulum maliyeti yüksek olduğu için yatırımcılar, kurdurdukları güneş enerjisi sisteminden yüksek verim ve yükün talep ettiği gücün karşılanmasını istemektedirler. Sistemde var olan panel sayısını artırmak bu duruma bir çözüm olabileceksede maliyeti artırdığı için tercih edilmemektedir. Başka bir çözüm olarak ise maksimum güç noktası izleyici metotları önerilmiştir.

Güneş enerjisi sisteminin temel yapısı olan güneş pilleri, doğrusal olmayan akım-gerilim karakteristiklerine sahip olduğu için yük ile uyumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Güneş enerjisi sisteminde bulunan fotovoltaik paneller direkt olarak yüke bağlanırsa meydana gelecek uyumsuzluktan dolayı fotovoltaik panel ile yük arasında DC-DC dönüştürücüler bağlanmaktadır. DC-DC dönüştürücülerin kontrolü ise maksimum güç noktası izleyici algoritmaları ile yapılmaktadır.



Şekil 4.1 Maksimum güç noktası izleyici içeren güneş enerjisi sisteminin blok diyagramı

Güneş pillerinden elde edilecek çıkış değerlerinin verimli olabilmesi için güneş pillerinden gelen akım ve gerilimin maksimum noktada olması ve dolayısıyla maksimum güç elde edilmesi gerekmektedir. Teknolojinin ilerlemesi ve yenilenebilir



enerjiye özellikle de güneş enerjisine yönelimin artmasıyla akım ve gerilimin maksimum noktada tutulabilmesine yönelik olarak çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Bu metotlara maksimum güç noktası izleyici algoritmaları denmektedir. Maksimum güç noktaları ile bahsi geçen DC-DC konvertörlerin kontrolü yapılmaktadır.

Güneş enerjisine yönelimin artması ile maksimum güç noktası izleyici yöntemleri üzerine yapılan çalışmalar artmış, çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir.

#### **4.1 Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmaları**

Daha önce de belirtildiği üzere gelişen teknoloji ile birlikte güneş enerjisine yönelimin artmasıyla maksimum güç noktası izleyici yöntemleri üzerine de araştırmalar artırılmıştır.

Güneş enerjisi sistemlerinde, maksimum noktada voltaj ve akım dolayısıyla da güç elde edebilmek için maksimum güç noktası izleyici algoritmaları kullanılmaktadır. Kullanılan fotovoltaik panelin karakteristiğine göre üretilen gücün fotovoltaik sisteme uygun olması gerekmekte ve elde edilen enerjinin en verimli şekilde kullanılması veya depolanabilmesi için maksimum güç noktası izleyiciler kullanılmaktadır.

Yapılan araştırmalar ve geliştirilen yöntemler ya daha önceden var olan bir algoritmanın iyileştirilmesi üzerine ya da sıfırdan yeni bir algoritma geliştirme üzerine olmuştur.

Maksimum güç noktası izleyici algoritmaları üzerine yapılan araştırmalardan biri de Saravana Selvan'ın yaptığı maksimum güç noktası izleme yöntemlerinin sınıflandırılması çalışmasıdır. Gerçekleştirilen bu çalışmaya göre maksimum güç noktası izleyici tekniklerini şu şekilde sınıflandırabiliriz:(Selvan et al., 2016)

- Çevrimdışı teknik
- Çevrimiçi teknik
- Akıllı teknik

##### **4.1.1 Çevrimdışı Teknik**

Dolaylı teknik ismi ile de bilinen çevrimdışı teknik, adı gibi çevrimdışı çalışmaktadır yani gerçek zamanlı olarak çalışmamaktadır. Kısacası fotovoltaik sistemin çıkışı sürekli olarak hesaplanmamaktadır. Bu tekniği kullanarak algoritma yazabilmek için güneş pilinin akım-gerilim ve güç-gerilim eğrisi gibi eğrilerin bilinmesi

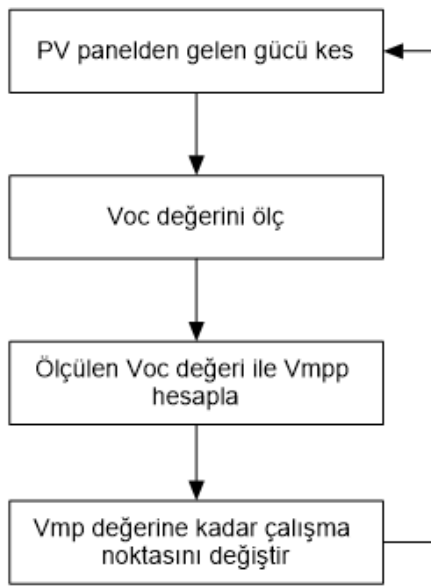
gerekmektedir. Dolaylı teknik ile güç noktası takibi kısa devre akımı ve açık devre gerilimi değerlerine bağlı olarak değişmektedir.

#### 4.1.1.1 Açık Devre Gerilimi Tekniği

Bu teknik ile maksimum güç noktasındaki gerilim ( $V_{mpp}$ ), farklı güneş ışınımı ve sıcaklığı altındaki değeri yaklaşık olarak:

$$V_{mpp} = k_1 \cdot V_{oc}$$

denklemini ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde  $V_{oc}$  açık devre voltajını,  $k_1$  ise panelin özelliklerine bağlı kat sayı değeridir ve genelde 0,71-0,9 değerleri arasında değişmektedir. Açık devre gerilimi yönteminde  $V_{mpp}$  değeri,  $V_{oc}$  değerinin periyodik olarak ölçülmesiyle hesaplanmaktadır. Bu yöntemin basit, kolay uygulanabilir olması ve düşük maliyetli olması gibi avantajlarının yanı sıra tam olarak maksimum noktada çalışmama ihtimali gibi dezavantajı bulunmaktadır.



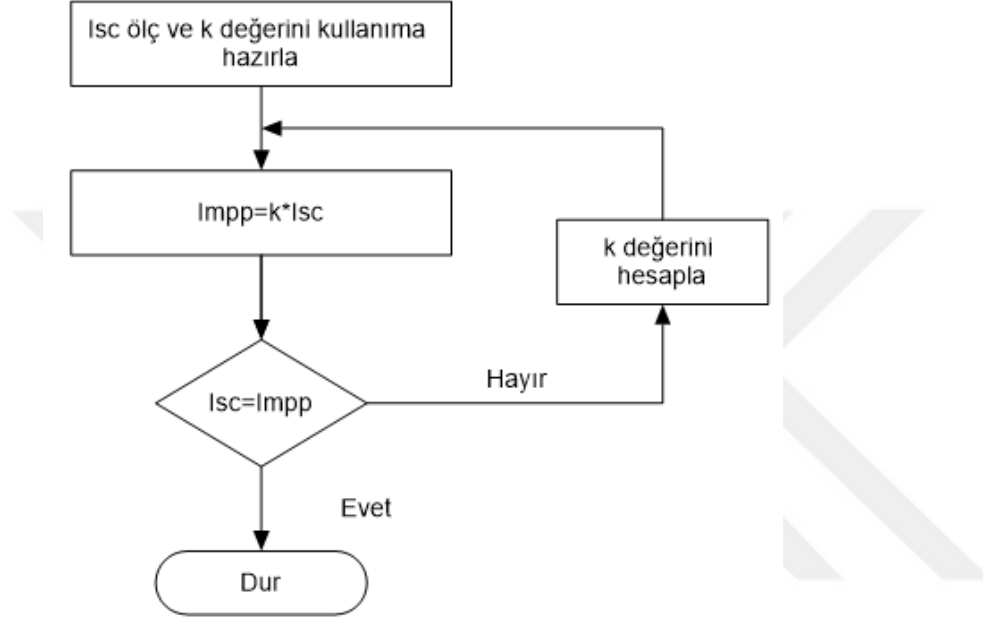
Şekil 4.2 Açık devre gerilimi tekniği akış diyagramı

#### 4.1.1.2 Kısa Devre Akımı Tekniği

4.1.1.1’de bahsedilen açık devre gerilimi yöntemi ile benzerdir ancak kısa devre akımı yönteminde maksimum güç noktasındaki akım ( $I_{mpp}$ ), kısa devre akımı  $I_{sc}$  değerine bağlıdır yani

$$I_{mpp} = k_2 \cdot I_{sc}$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Mevcut denklemde  $k_2$  değeri panelin özelliklerine bağlı olarak değişen katsayı değeridir ve 0,73-0,95 değerleri arasında değişmektedir. Bu yöntemde DC-DC dönüştürücünün görev döngüsü, çıkıştan ölçülen akım  $I_{mpp}$  olacak şekilde artırıp azalmaktadır. Ucuz maliyetli bir yöntemdir ancak farklı ışınım ve sıcaklık koşullarında verimli çalışmamaktadır.



Şekil 4.3 Kısa devre akımı tekniği akış diyagramı

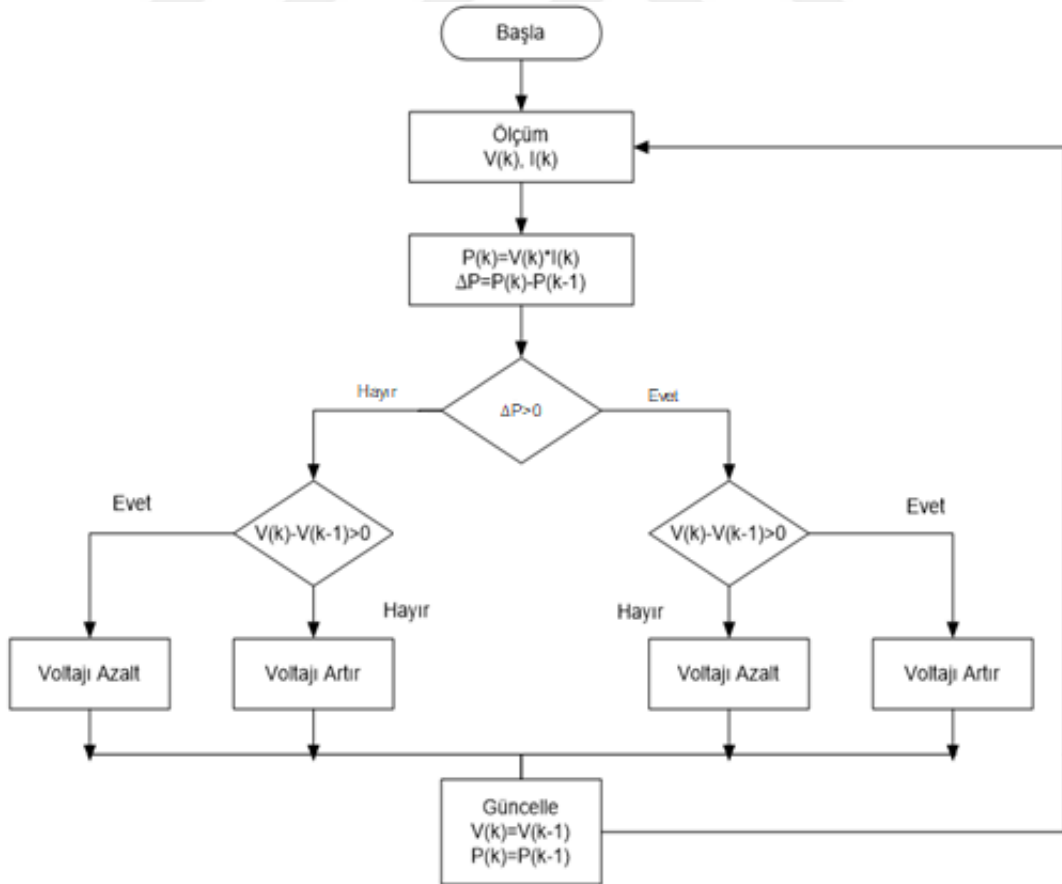
#### 4.1.2 Çevrimiçi Teknik

Doğrudan teknik olarak da bilinmekte ve bu türde en çok kullanılan yöntemler değiştir ve gözle metodu ile artan iletkenlik metodudur. Çevrimiçi teknikte çevrimdışı tekniğin aksine maksimum güç noktasının izlenebilmesi için sürekli olarak güneş panelinin çevrimiçi voltaj ölçümü yapılmaktadır. Çevrimdışı yöntemle göre yavaştır ancak sistemde kullanılan fotovoltaik panelden bağımsızdır.

##### 4.1.2.1 Değiştir ve Gözle Metodu (Perturb&Observe Algorithm- P&O)

Günümüzde, az maliyetli ve kolay bir mantığa sahip olduğu için, en çok kullanılan maksimum güç noktası izleyici algoritmalarından biridir. Uygulamada sistemde kullanılan güneş panelinin akım-gerilim karakteristiği baz alınmaktadır. Algoritmanın güç değişimine bağlı olarak maksimum noktaya yaklaşım yaklaşmaması durumuna göre gerilimi artırıp azaltmaya yönelik bir mantığı bulunmaktadır. Değiştir ve gözle

algoritmasının uygulandığı güneş enerjisi sisteminde üretilen güç, gerilime bağlı olarak değişmektedir (Onat, Ersöz, 2009). Kısacası güneş paneli akımı ve gerilimi ölçülüp anlık olarak güç hesaplanır. Ardından güneş paneli çalışma gerilimi değiştirilerek çıkışta okunan değerler incelenir (Bendib, Belmili, & Krim, 2015). Değiştir ve gözle algoritması sürekli olarak sıcaklık ve güneş ışınımı parametrelerini sürekli olarak takip etmek zorundadır (Kangal, 2008). Eğer güç değişimi  $\Delta P$  pozitif ise, maksimum noktaya yaklaşmıştır ve gerilim değişimi aynı yönde yapılmaya devam edilir. Yani gerilim artırılırken  $\Delta P$  pozitif çıktıysa gerilim artırılmaya devam edilir veya tam tersi, gerilim azaltılırken  $\Delta P$  pozitif çıktıysa gerilim azaltılmaya devam edilir. Bir başka durum ise eğer güç değişimi  $\Delta P$ ' nin negatif olması durumudur. Güç değişiminin negatif çıkması durumunda ise gerilim değişimi tersi yönde yapılmaya devam edilir. Yani gerilim artırılırken  $\Delta P$  negatif çıktıysa gerilim azaltılmaya başlanır veya tam tersi olarak eğer gerilim azaltılırken  $\Delta P$  negatif çıktıysa, gerilim artırılarak devam edilmektedir (Caliskan, 2011).



Şekil 4.4 Değiştir ve gözle metodu akış diyagramı

Bahsi geçen güç ve voltaj değişimleri esnasında maksimum güç noktasında salınım meydana gelmektedir. Maksimum güç noktası değeri tam olarak bulunamamaktadır. Çünkü sisteme etki eden sıcaklık ve ışıınım değerleri değıştikçe algoritmanın mantığı gereği gecikme artarak sistemin kararlılığını olumsuz yönde etkilemekte ve maksimum güç noktasının bulunması zorlaşmaktadır. Algoritma mantığı gereği meydana gelen salınım neticesinde, sistem sabit ışıınım ve sıcaklık altında çalışsa dahi elde edilen enerjide kayıplar olacaktır çünkü hiçbir zaman maksimum güç noktasına ulaşamayacaktır. Bu durumdan dolayı değıştir ve gözle metodu üzerine en çok araştırma yapılan ve üzerinde çeşitli iyileştirmeler yapılan maksimum güç noktası izleyici yöntemlerinden biridir. Mevcut olumsuzları iyileştirmek adına, maksimum güç noktasında salınması, yapılan araştırmalar neticesinde ulaşılan sonuçlardan biri algoritmanın geçmiş döngülerdeki verileri kontrol etmesi çözümdür. Bu çözüm uygulandığı takdirde algoritmanın maksimum güç noktasına ulaşabilmesi durumunda, algoritmanın değışim kısmı atlanmaktadır. Değıştir ve gözle algoritmasının kullanılması durumunda meydana gelen güç kaybını önlemenin bir diğeri yolu ise değışim aralığını azaltmaktır. Ancak bu çözüm uygulandığı takdirde algoritmanın maksimum güç noktasına ulaşma hızı yavaşlayacaktır (Esrām & Chapman, 2007).

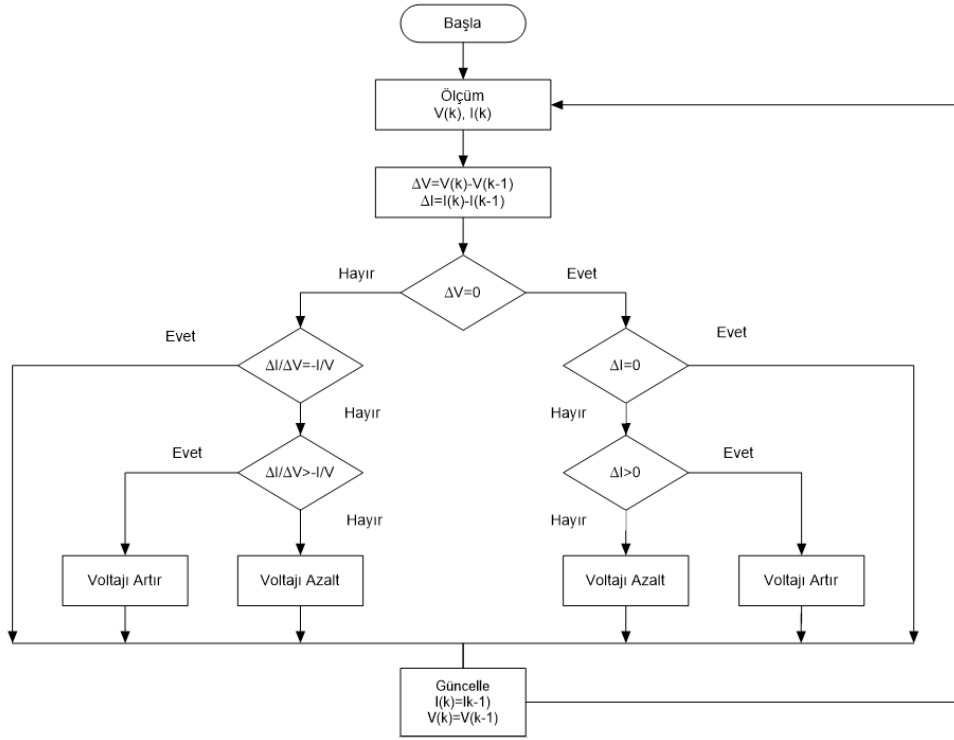
Değıştir ve gözle algoritması üzerinde yapılan iyileştirme araştırmalarında Sabın Popescu, değıştir ve gözle algoritmasına değışen adım yöntemi uygulamıştır. Popescu bu çalışmasında değışen hava koşullarına hızlı tepki verilebilmesi ve maksimum güç noktasında meydana gelen salınımdan kaynaklı olarak meydana gelen güç kaybının önüne geçebilmek adına, kullanılan adımın değışken olduğu ancak P-V karakteristiğine orantılı olan gelişmiş bir değıştir ve gözle algoritması önermiştir. Modellediği güneş enerjisi sisteminde değıştir ve gözle, artan iletkenlik ile değışken adımlı değıştir ve gözle algoritmasını uygulamıştır. Araştırması sonucunda artan iletkenlik algoritmasının, değıştir ve gözle algoritmasından yaklaşık %1,60, değışken adımlı değıştir ve gözlem algoritmasının ise artan iletkenlik metodundan yaklaşık olarak %0,20-0,34 daha fazla güç ürettiği sonucuna ulaşmıştır. Bu şekilde değıştir ve gözle algoritmasının sınırları azaltılmış ve değıştirilmiş bir değıştir ve gözle algoritması sunulmuştur. Değışken adımlı değıştir ve gözlem algoritması kullanılarak, maksimum güç noktasına ulaşım süresi hızlanmış ve bu noktadaki salınım probleminin de kısmen önüne geçilmiştir. Ancak öneri olarak sunulan bu geliştirilmiş algoritma

birden fazla maksimum güç noktası olduğu takdirde algoritmanın verimli çalışacağını garanti etmemektedir (Popescu, 2018).

Daha önce de belirtildiği üzere değiştir ve gözle algoritmasının iyileştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan bir diğeri ise Sahar Kaddah ve arkadaşlarının sunduğu gelişmiş değiştir ve gözle algoritması çalışmasıdır. Klasik değiştir ve gözle algoritmasının dezavantajlarına çözüm niteliğinde olarak maksimum güç noktası etrafındaki salınımlar için küçük adım büyüklüğü uygulanmış ancak algoritma yavaşlamıştır. Sabit yerine değişken adım kullanılmış ve gerilimdeki sapma güç ile doğru orantılı olarak seçilmiştir (Harrag & Messalti, 2015), (Liu et al., 2014). Sunulan bu gelişmiş değiştir ve gözle algoritması  $V_{ref} = V_{ref} + C \cdot \Delta I / \Delta V$  denklemi baz alınmıştır. Burada  $V_{ref}$  referans voltajı ve  $C$  ise sabittir. Ayrıca Sahar Kaddah ve arkadaşları yaptıkları bu çalışmada izleme hızını artırmak ve klasik değiştir ve gözle algoritmasında meydana gelen hızlı ışınım değişimleri durumunda arızaların meydana gelmesinin önüne geçebilmek için, sıcaklık ve ışınım değişiminden etkilenen açık devre voltajını ( $V_{oc}$ ) ışınımdaki değişimi periyodik olarak kontrol etmek için kullanmışlardır. Sahar Kaddah ve arkadaşlarının önerdikleri bu ikinci yöntem ise  $V_{ref} = K_{oc} \cdot V_{oc}$  denklemini esas almaktadır. Burada  $K_{oc}$ , açık devre gerilimi için ortalık sabiti olup 0.71-0.78 arasında değer almaktadır. Üçüncü olarak ise önerileri, değiştir ve gözle algoritmasının başarısızlığını kısmi gölgelenme koşulu (PSC) altında çözmenin önemli olduğudur. Tüm bu öneriler neticesinde yapılan karşılaştırmalar önerilen modelin doğru olduğunu göstermiştir. Önerilen yöntem ile klasik değiştir ve gözle metodunda olan maksimum güç noktası etrafında salınımın, hızlı ışınım değişimleri altında algoritmadaki güç noktası izleme başarısızlığının ve kısmi gölgelenme koşulu altında hatalı çalışmanın önüne geçilmiştir (Kaddah, Abo-AL-EZ, & Diab, 2015)

Düşük maliyeti ve basit mantığı bu yöntemin en büyük avantajlarından olsa da maksimum güç noktasını tam olarak saptayamayıp bu nokta etrafında salınması, hızlı değişen atmosferik koşullara hızlı bir şekilde uyum sağlayamaması gibi dezavantajları mevcuttur. Hızlı değişen hava şartlarına uyum sağlayamamasının sebebi ise algoritma mantığı gereği güç eğrisindeki ani değişimlerde algoritmanın hareket yönü bir önceki duruma göre seçilmesidir. (Keskin, Y.E. , Başoğlu, M.E, Tekdemir, İ.G, Çakır, B., 2014)

#### 4.1.2.2 Artan İletkenlik Metodu (Incremental Conductance-INC)



Şekil 4.5 Artan iletkenlik metodu akış diyagramı

Değiştir ve gözle metodu gibi sık başvurulan yöntemlerden biridir ve değiştir gözle metodunun dezavantajlarının iyileştirilmiş hali olarak geliştirilmiştir. İyileştirilmeler yapılarak elde edilen bu yöntem, değiştir ve gözle metodunun aksine değişen atmosferik koşullar altında verimli çalışmaktadır ancak maliyeti yüksek ve karmaşık bir mantığa sahiptir. Artan iletkenlik metodu, maksimum güç noktasını sürekli takip ederek, maksimum güç noktasında salınım yapan değiştir ve gözle metodundan daha iyi performans sergilemekte ve maksimum güç noktasına ulaşma hızı daha hızlıdır. Değiştir ve gözle metodundan farklı olarak, ne yönde gerilim değişimi yapması gerektiğini hesaplamaktadır (Hohm & Ropp, 2003). Güneş paneline gelen ışınım değeri düşse dahi artan iletkenlik algoritması, maksimum güç noktasını takip etmeye devam etmektedir. Işınım değeri yüksek olduğunda değiştir ve gözle algoritması ile aynı yüksek performansa sahiptir (Keskin et al., 2014).

Bu yöntem, güneş paneli çıkışından okunan gücün değişiminin  $dP$ , panel gerilimi değişimine  $dV$  oranının sıfıra eşit olduğu yerin maksimum güç noktası olduğu esasına dayalı bir mantık ile çalışmaktadır. Yöntemin temel denklemleri şu şekildedir:

$dP/dV=0$  ise maksimum güç noktasında

$dP/dV > 0$  ise maksimum güç noktasının solunda

$dP/dV < 0$  ise maksimum güç noktasının sağında

Buna göre, çıkış gücünün gerilime göre türevi:

$dP/dV = d(VI)/d(V) = I + V \cdot dI/dV$  (Selvan ve diğerleri, 2016) olmaktadır. Burada  $dI/dV$  artan iletkenlik değerini göstermektedir.

Yukarıdaki denklemi baz alarak şu sonuçlara ulaşılır:

Eğer,

$\Delta I/\Delta V = -I/V$  ise maksimum güç noktasında,

$\Delta I/\Delta V > -I/V$  ise maksimum güç noktasının solunda,

$\Delta I/\Delta V < -I/V$  ise maksimum güç noktasının sağında olmaktadır. Burada  $-I/V$  güneş panelinin ani iletkenlik değerinin tersini göstermektedir. Denklemlerde de görüldüğü üzere maksimum güç noktasında ifadeler eşit ama zıt işaretli olmalıdır. Eşitsizlik olduğu durumlarda sistemin çalışma geriliminin maksimum güç noktasında olmadığı, maksimum güç değerinden yüksek veya düşük olduğu anlaşılmaktadır (Onat, Ersöz, 2009).

#### **4.1.2.3 Kayan Kipli Kontrol (Slide Mode Control)**

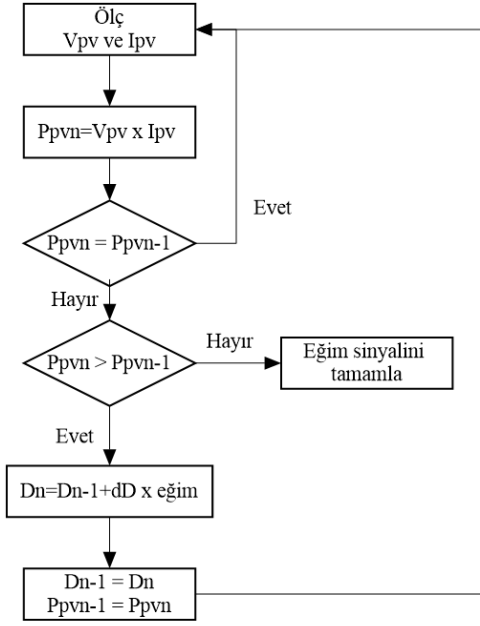
Maksimum güç noktasını değişen ışınlanma koşulları altında izleyen güç dönüştürücünün kontrolünü yapan, doğrusal olmayan sistemlerde kullanılan bir kontrol tekniğidir.

DC-DC konverterin güç anahtarını aç/kapa yaparak maksimum güç noktası takibini yaptığı için etkinliği çok yüksek bir algoritmadır. Kayma yüzeyi artan iletkenlik algoritmasına göre tanımlanır.

#### **4.1.2.4 Tepe Tırmanma Algoritması**

Tepe tırmanma algoritması, doğrudan yani çevrimiçi tekniklerden biridir (Duman, Altaş, Yorukeren, & Alboyacı, 2014). Çalışma noktasını anlık güç, güneş panelinin gücünün yükseldiği yönde  $I=f(V)$  karakteristiği boyunca hareket etmeyi içerir. Bozunum, dönüştürücünün görev döngüsüne uygulanır (Tourqui et al., 2019).





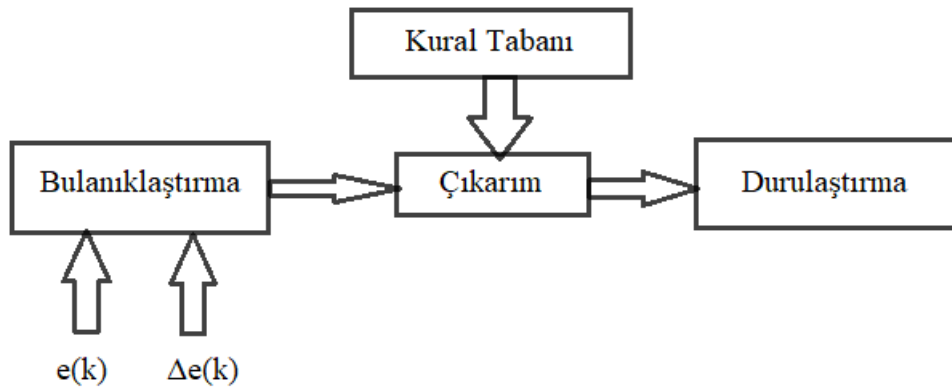
Şekil 4.6 Tepe tırmanma algoritması akış diyagramı

#### 4.1.3 Akıllı MPPT Denetleyicileri

Günümüzde kullanılmakta olan geleneksel maksimum güç noktası izleyici algoritmalarına kıyasla performansları çok iyidir. Fotovoltaik sistemlerin dinamik tepkisini ve sabit durum performansını etkili bir şekilde iyileştirebilmektelerdir. Bu yöntemde genel olarak bulanık mantık kontrol, yapay sinir ağları ve parçacık sürü optimizasyonu kullanılmaktadır

##### 4.1.3.1 Bulanık Mantık Kontrol (Fuzzy Logic Control)

Bu yöntemde karar verilmesi ve denetleyici çıktısının denetlenmesi süreci bulanık mantık ile kontrol edilmektedir. Bulanıklaştırma, kural tabanı, çıkarım ve hata giderme gibi ana bileşenlere sahiptir.

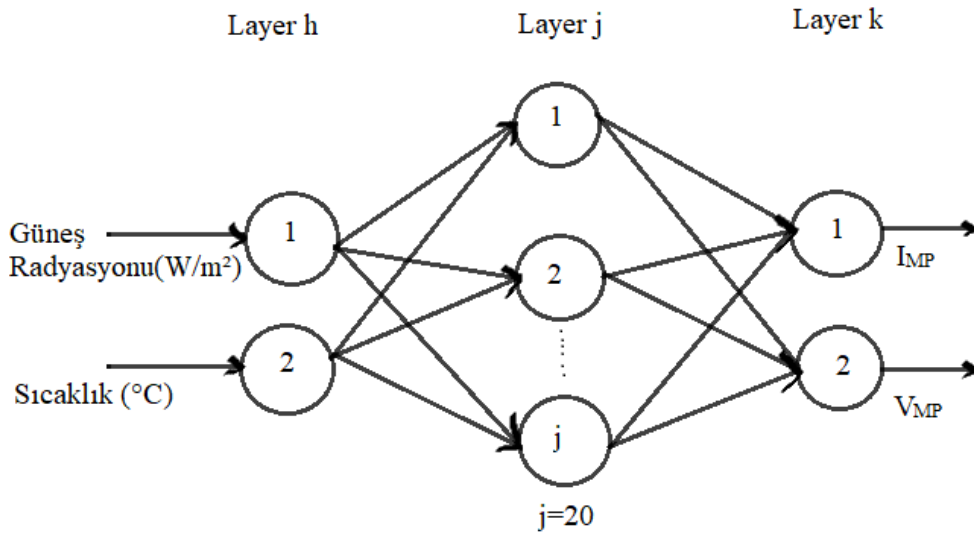


Şekil 4.7 Bulanık mantık blok diyagramı

Blok diyagramında belirtildiği üzere ilk olarak hata  $e(k)$  ve hatada değişim  $\Delta e(k)$  olmak üzere net iki giriş, bulanıklaştırma bloğu ile bulanık girişlere dönüştürülür. Kurallar, kural tabanında oluşturulur ve çıkarım bloğunda uygulanır. Durulaştırma ile de bulanık çıktı, net çıktıya dönüştürülür. Bulanık çıkarım Mamdani'nin metodu (Mamdani, 1974) kullanılarak gerçekleştirilir.

#### 4.1.3.2 Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network)

Doğrusal olmayan sistemlerin yaklaşıklığı için en uygun olan yöntemdir. Biyolojik beyne benzeyen, yapay nöronların birbirine bağlanması ile meydana gelmektedir. Girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanından oluşmaktadır. Her bir katmanda bulunan düğüm sayısı kullanıcı tarafından belirlenir ve gereksinime göre değişir.



Şekil 4.8 Yapay sinir ağları diyagramı

#### 4.1.3.3 Parçacık Sürü Algoritması (Particle Swarm Optimization)

Kuş sürüsünün davranışlarını simüle eden stokastik, popülasyon temelli evrimsel bir algoritmadır (Ngan & Tan, 2011), (Eberhart & Kennedy, 1995).

#### 4.1.4 Diğer Teknikler

Buraya kadar olan kısımlarda literatürde yaygın olarak kullanılan maksimum güç noktası izleyici algoritmalarına değinildi. Bu bölümde ise literatürde yaygın kullanımı olmayan maksimum güç noktası izleyici algoritmalarına kısa değinilecektir.

#### 4.1.4.1 Parazit Kapasite Metodu

Artan iletkenlik metodu ile benzerlik gösteren bu yöntemde farklı olarak güneş pillerinin yapısında ki p-n eklemelerin birleşim bölgesinde oluşan yük birimi sonucu ortaya çıkan parazit birleşim kapasitesinin değişimi dikkate alınmaktadır (Onat & Ersoz, 2009).

$$I = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{q \cdot V}{k \cdot T \cdot c}} - 1 \right) + C \frac{dV}{dt} = F(v) + C \frac{dV}{dt}$$

Bu denklemin panel gerilimi ile çarpımının türevi alınır;

$$\frac{dF(v)}{dv} = C \left( \frac{V^{II}}{V} + \frac{V^{II}}{V^I} \right) + \frac{F(v)}{V} = 0$$

olur.

Elde edilen denklemde:

$\frac{dF(v)}{dv} =$  Ani iletkenlik,  $C \left( \frac{V^{II}}{V} + \frac{V^{II}}{V^I} \right) =$  Parazit kapasite nedeniyle gerilimde oluşan titreşimler

$\frac{F(v)}{V} =$  Artan iletkenlik değeri

#### 4.1.4.2 Tablodan Okuma Yöntemi

Güneş panelinden okunan her bir akım ve gerilim değeri kaydedilir. Bir sonraki ölçüm ile daha önce kaydedilen değerler karşılaştırılır ve maksimum güç noktası tahmin edilir. Tüm atmosferik koşullar için veri bulundurulmalıdır ve her bir panel türü için yeniden oluşturulmalıdır (Özdemir, 2007).

#### 4.1.4.3 Eğri Uydurma Metodu

Güneş pili eş değer devresi ve sistem modeli, üretici verilerinden yararlanılarak matematiksel denklem veya yakınsama metotları ile oluşturulur. Meydana gelen yapı oldukça karmaşık olduğu için analog veya sıradan dijital devrelerle gerçekleştirilmesi zordur (Özdemir, 2007).

#### 4.1.4.3 Sadece Akım Metodu

Kısa devre akımı metodundan farklı olarak sadece güneş paneli akımı ölçülerek maksimum güç noktası saptanmaya çalışılır.

$$I_{mpp} = f(P_{mpp})$$

Burada  $I_{mpp}$ , gücün bir fonksiyonudur. Bu metodun olumlu yönü, hızlı değişen atmosferik şartlara uyum sağlayabilmesidir (Özdemir, 2007).



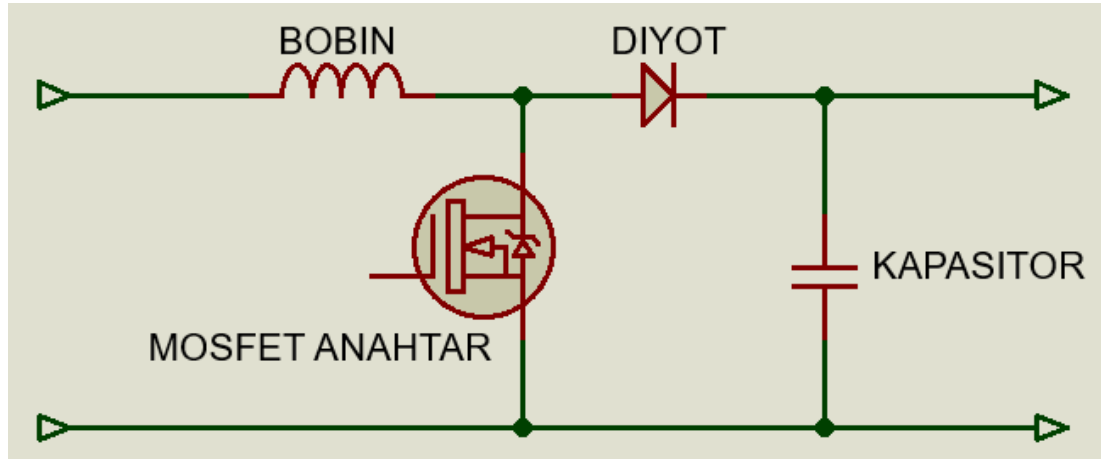
## 5. BÖLÜM

### DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

DC-DC dönüştürücüler regüle edilmemiş girişi istenen voltaj seviyesinde kontrollü bir DC çıkışına dönüştürmek için kullanılır. Maksimum güç noktası izleyici sisteminin çok önemli bir bölümüdür. Maksimum güç noktası izleyicinin DC-DC dönüştürücüsü kullanmasının nedeni güneş panelinden gelen voltajı düzenlemek ve maksimum güç aktarımı için yük eşleştirmesini sağlamaktır (Dutta et al., 2016). Genel olarak boost (yukarı) dönüştürücü, buck (aşağı) dönüştürücü, buck-boost (aşağı-yukarı) dönüştürücü ve SEPIC (single ended primary inductor- tek uçlu birincil indüktör) dönüştürücü olmak üzere farklı topolojilere sahip dönüştürücüler bulunmaktadır.

#### 5.1 Boost (Yukarı) Dönüştürücü

Bağlandığı sisteminin girişinden sistemin çıkışına doğru gerilim yükselten bir dönüştürücüdür. Kullanılmasının nedeni ise DC gerilim üreten mevcut güç kaynağının ürettiği gerilimin yeterli olmamasıdır. İstenen yüksek gerilim değerinin elde edilebilmesi amacıyla boost (yukarı) dönüştürücü kullanılmaktadır. Bu tip dönüştürücüler, DC dönüştürücüler arasında önemli bir yere sahiptir. Aşağıda yükseltici dönüştürücünün şeması verilmiştir.



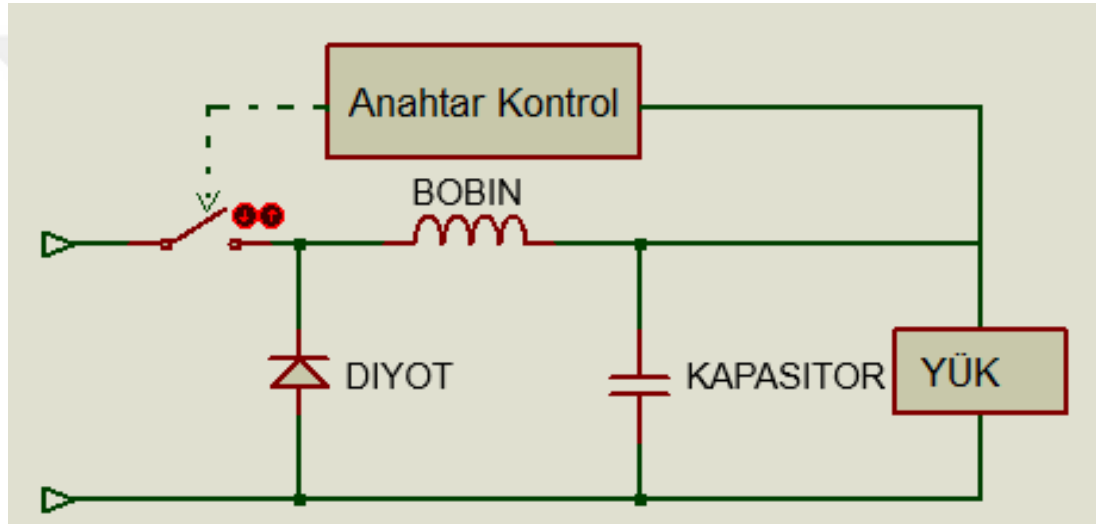
Şekil 5.1 Boost (yukarı) dönüştürücü devre şeması

Şemada görüldüğü üzere yükseltici (yukarı) dönüştürücü bobin, kapasitör, diyot ve bir anahtarlama elemanından (mosfet) oluşmaktadır. Bu devrenin anahtarın iletimde veya kesimde olma durumuna göre iki tip çalışma şekli vardır. Anahtarlama elemanı iletimde iken enerji bobin üzerinden akmaktadır. Bu esnada kapasitör, devreye

bağlanan bir yük üzerinden boşaltılmaktadır. Yani yükü sadece kapasitör beslemektedir. Anahtar elemanı kesim durumunda iken bir önceki durumda bobinde depolanan enerji, diyot ve kapasitör üzerinden akarak yüke iletilmektedir. Aynı zamanda önceki adımda boşaltılmış olan kapasitör bu aşamada yeniden enerjilenir.

## 5.2 Buck (Aşağı) Dönüştürücü

Sistemdeki akımı yükseltirken, girişten çıkışa doğru voltajı düşüren bir DC-DC dönüştürücüdür. Gerilimde meydana gelebilecek dalgalanmaları minimize edebilmek için kapasitörlerden veya bobinlerden meydana gelen filtreler kullanılır ve bu tip dönüştürücülerin çıkışına eklenir. %90 civarında verimlidir (Dutta et al., 2016). Devre şeması aşağıdaki gibidir.



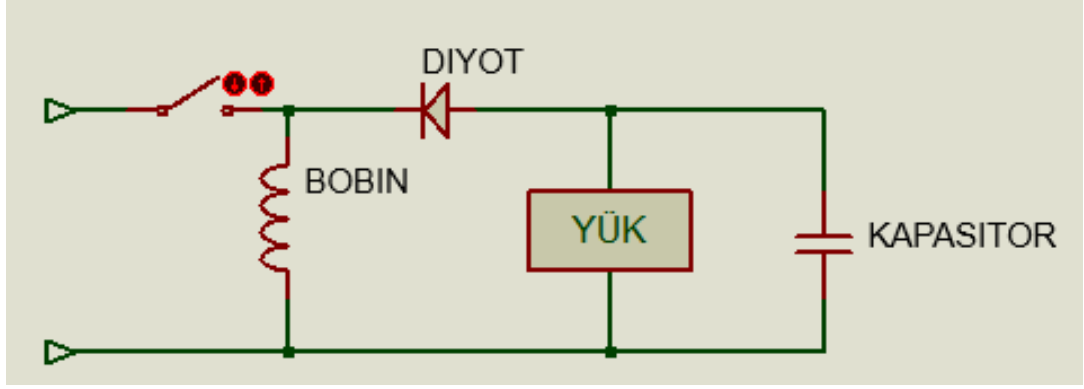
Şekil 5.2 Buck (aşağı) dönüştürücü devre şeması

Şemada da görüldüğü üzere diyot, bobin ve kapasitörden oluşmaktadır.

## 5.3 Buck- Boost (Alçaltıcı- Yükseltici) Dönüştürücü

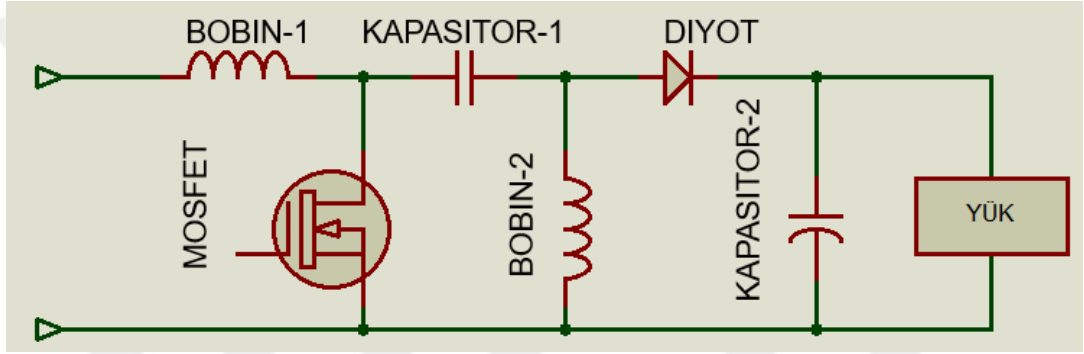
Güneş enerjisi sistemleri gibi düşük giriş kaynaklarından yüksek verimlilik ve minimum dalganın istendiği kararlı işleyiş için DC-DC dönüştürücü gereklidir.

Bu tip dönüştürücüler voltajı yükseltilmesi ve düşürülmesi gerekli olduğu sistemlerde kullanılmaktadır. Güneş panellerine maksimum güç noktası izleme amacıyla bağlandıkları zaman, yükün türü fark etmeksizin daima mümkün olan maksimum gücü çekmektedirler. Yükseltici (boost) ve düşürücü (buck) konvertörlerin birbirine bağlanması ile oluşmaktadır. Yüksek verimlilik için iyidir ancak girişte bulunan anahtardan dolayı giriş akımı süreksizdir (Dutta et al., 2016).



Şekil 5.3 Buck- boost (aşağı-yukarı) dönüştürücü devre şeması

#### 5.4 SEPIC (Single Ended Primary Inductor Converter- Tek Uçlu Birincil İndüktör Konvertörü)



Şekil 5.4 SEPIC dönüştürücü devre şeması

Bağlandığı sistemin çıkış voltajını giriş voltajından büyük, eşit veya düşük olmasını sağlayan bir DC-DC dönüştürücüdür. Güneş enerjisi sistemlerinde maksimum güç noktasını doğru olarak izlemede önemlidir (Kircioglu, Ünlü, & Camur, 2016). Bir gerilim değerinden diğerine geçiş durumunda, kullanılan kapasitörler ve bobinler arasındaki enerjiyi değiştirmektedir. Batarya geriliminin, regülatör tarafından tasarlanan çıktının üstünde veya altında olması istendiği durumlarda kullanılmaktadır. Örneğin lityum iyon piller 4,2Volttan 3Volta akmakta, eğer 3,5 gibi bir değer istenmekteyse SEPIC dönüştürücü kullanılmalıdır. Bu tip dönüştürücüler tüm enerjisini seri kapasitörden iletmediği için yüksek kapasitans ve akım idare kapasitesine sahip bir kapasitör kullanılmalıdır (Dutta et al., 2016).

## 6. BÖLÜM

### TASARIM

Organik güneş panelinin performansını incelemek ve doğru bir kıyaslama yapabilmek için inorganik güneş paneli de kullanılacaktır. Her iki panel ayrı ancak tasarım olarak aynı sistemde çalıştırılacaktır. Bu iki sisteme de aynı maksimum güç noktası izleyici algoritması yazılacaktır. Bu sayede sistem tasarımı ve bu tasarımı çalıştıran maksimum güç noktası izleyici algoritması aynı iken, organik güneş paneli ve inorganik güneş paneli, akım, gerilim, güç ve verim açısından karşılaştırılacaktır.

#### 6.1 Güneş Paneli Seçimi

Daha önce de belirtildiği gibi, iki tane güneş enerjisi sistemi kurulacaktır. Bunlardan birinde organik güneş paneli bağlı iken diğerinde inorganik güneş paneli bağlı olacaktır.

##### 6.1.1 Organik Güneş Paneli Seçimi

Organik güneş paneli ticari olarak inorganik güneş panellerine kıyasla bulunması biraz daha zor bir panel türüdür. Kullanımı henüz inorganik olanlarına göre yaygın olmadığı için, üretici firmalar genellikle sipariş doğrultusunda ve geniş kapsamlı güneş enerjisi sistemlerine yönelik üretim yapmaktadırlar. Küçük yatırımcılara ve öğrencilere organik güneş paneli sağlayan tek firmanın ürettiği organik güneş paneli özelliklerine göre kurulacak enerji sistemine güneş paneli seçilebilmekte ancak seçim olanağı firmanın üretimi ile kısıtlı olduğu için seçim olanakları sınırlı kalmaktadır. Ayrıca mevcut durumdan dolayı maliyeti inorganik güneş panellerine kıyasla oldukça yüksektir.

Organik güneş paneli ile çalışacak sisteme seçilen panel organik güneş filmi olarak isimlendirilen, esnek yapılı güneş panelidir. Esnek yapısı sayesinde kolayca istenen zemine entegre edilebilmekte ve plastik film üzerine basılarak üretilmektedir. Teslim edilen hali seri bağlantılıdır ancak istendiği takdirde kesilerek de kullanılabilir. İstek doğrultusunda filmin ön veya arka yüzeyine yapıştırıcı bir yüzey eklenerek mevcut güneş filmi güneş bandı olarak da kullanılabilir. Toksik veya az bulunan element içermemekte yani ITO bulunmamaktadır.





Şekil 6.1 İnce film organik güneş filmi

Sistemde kullanılmak üzere alınan güneş panelinin katalog bilgileri şu şekildedir:

- Uzunluk: 1 m
- Genişlik: 152 mm
- Kalınlık: 1 mikron
- Elektrot materyali: Gümüş
- Gerilim: 33 V
- Akım: 60 mA
- Güç: 2 W

### 6.1.2 İnorganik Güneş Paneli Seçimi

Organik güneş paneli inorganik güneş paneline kıyasla oldukça maliyetli olduğu için önce organik güneş paneli seçilip ardından seçilen bu panellerle aynı/benzer özelliklere sahip inorganik güneş paneli seçimine karar verildi.

Daha önce de belirtildiği gibi organik güneş pilleri kullanımını inorganik güneş pillerine kıyasla daha az olduğundan organik güneş pili edinmek zor iken inorganik güneş pillerinde böyle bir durum söz konusu değildir, bulunması daha kolaydır.

Alınan organik güneş pilinin gücü kadar düşük güçte ve aynı formda bir inorganik pili bulunamamıştır, mevcut inorganik güneş pilleri arasında organik güneş piline en yakın olabilecek inorganik güneş pili seçilmiştir.



Şekil 6.2 İnorganik güneş paneli

İnorganik güneş paneli ile kurulacak sistem için alınan güneş paneli özellikleri şu şekildedir:

- Uzunluk: 115 mm
- Genişlik: 85 mm
- Maksimum akım: 125 mA
- Gerilim: 12 V
- Güç: 1.5 W

## 6.2 Algoritma Seçimi

Algoritma seçiminde günümüzde yaygın olarak kullanılan bir algoritma seçilmek istenmiş olup, değiştir ve gözle algoritmasının kullanılmasında karar kılınmıştır.

Değiştir ve gözle algoritması Bölüm 4.1.2.1’de ayrıntılı olarak açıklandı. Kısacası seçilme nedeni, yaygın kullanımı, güneş paneli akım-gerilim karakteristiklerinden bağımsız oluşu, az maliyetli ve kolay bir mantığa sahip olmasıdır.

Mevcut akış diyagramı baz alınarak oluşturulan algoritma, Arduino yazılımında programlanmış ve Arduino kartı ile güneş enerjisi sistemine dahil edilecektir. Organik ve inorganik güneş paneli içeren farklı ancak tasarımları aynı olan iki sistem kurulacağı için çalışmada iki Arduino kartı kullanılacak, daha önce de vurgulandığı üzere her iki sistem de değiştir ve gözle algoritması ile kontrol edilecektir.

5.bölümde anlatıldığı üzere DC-DC dönüştürücüler maksimum güç noktası izleyici sisteminin çok önemli bir bölümüdür. Bir sonraki başlıkta kullanılacak DC-DC dönüştürücüden bahsedilmiştir.

### 6.3 DC-DC Dönüştürücü Seçimi

5.Bölüm’de belirtildiği üzere DC-DC dönüştürücüler maksimum güç noktası izleyici sistemlerinin önemli bölümlerinden biridir. Maksimum güç noktası izleyicinin DC-DC dönüştürücüsü kullanmasının nedeni güneş panelinden gelen voltajı düzenlemek ve maksimum güç aktarımı için yük eşleştirmesini sağlamaktır (Dutta et al., 2016).

Yaygın kullanımları boost (yukarı) dönüştürücü, buck (aşağı) dönüştürücü, buck-boost (aşağı-yukarı) dönüştürücü ve SEPIC (single ended primary inductor- tek uçlu birincil indüktör) dönüştürücü olduğu daha önceki bölümlerde belirtildi ve her birine dair ayrıntılı açıklama paylaşıldı.

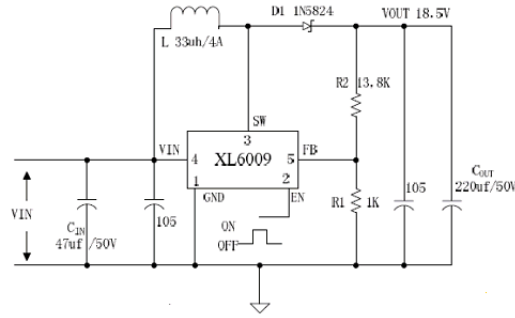
Kısaca algoritmanın mantığı, güç değişimine bağlı olarak maksimum noktaya yaklaşım yaklaşamaması durumuna göre voltajın artırılıp azaltılacağı şeklindedir. Oluşturulacak güneş enerjisi sistemlerine bağlanmak üzere boost (yukarı) dönüştürücü ve buck (aşağı) dönüştürücünün kullanımına karar verildi. 5.3. bölümde anlatıldığı üzere buck-boost (düşürücü-yükseltici) dönüştürücüler yükün türü fark etmeksizin daima mümkün olan maksimum gücü çekmektedirler. Yükseltici (boost) ve düşürücü (buck) konvertörlerin birbirine bağlanması ile oluşmaktadır.

Kullanılacak dönüştürücüler hazır olarak alınmış olup, şu şekildedir:

- Boost (yukarı) dönüştürücü:



(a)



(b)

Şekil 6.3 Boost (yukarı) dönüştürücü (a) XL6009E1 entegresi ile modül olarak (b) XL6009E1 tipik kullanımı

XL6009E1 entegresi ile oluşturulmuş boost (yukarı) dönüştürücü modülü.

Teknik özellikleri şu şekildedir:

Giriş voltajı: 5V- 32V

Maksimum çıkış voltajı: 50V

Maksimum çıkış akımı: 5A

Güç dağılımı: Dahili olarak sınırlı

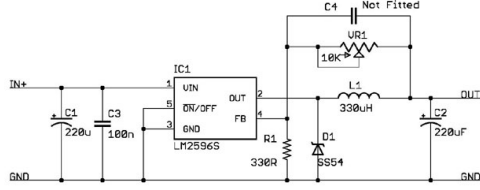
Ayarlama: 25 turlu trimpot

Verimlilik: %94' e kadar

- Buck (aşağı) dönüştürücü



(a)



(b)

Şekil 6.4 Buck (aşağı) dönüştürücü (a) LM259S entegresi ile modül olarak, (b) LM259S tipik kullanımı

LM2596S entegresi ile oluşturulan buck (aşağı) dönüştürücü modülü.

Teknik özellikleri şu şekildedir:

Giriş voltajı: 3V – 40V

Çıkış voltajı aralığı: 1.23V – 37V

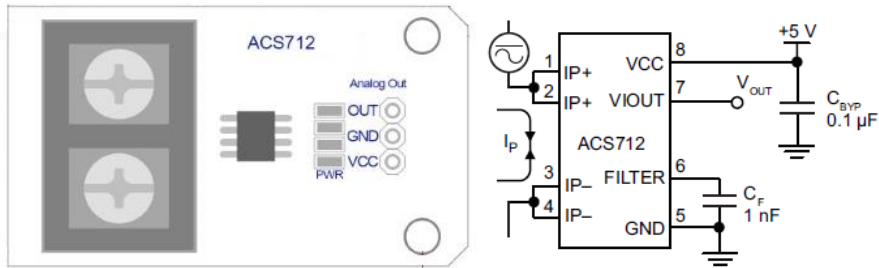
Maksimum çıkış akımı: 3A

Ayarlama: 25 turlu trimpot

Verimlilik: %93'e kadar

### 6.3 Akım Sensörü

Devreye akım sensörü olarak ACS712 seri olarak bağlanmıştır.



Şekil 6.5 Akım sensörünün bağlantısı

Yukarıda ACS712 modülüne ve tipik uygulamasına dair görseller verildi. ACS712 modülü belirtilen şemaya göre enerji sistemine bağlanacaktır. Teknik özellikleri şu şekildedir:

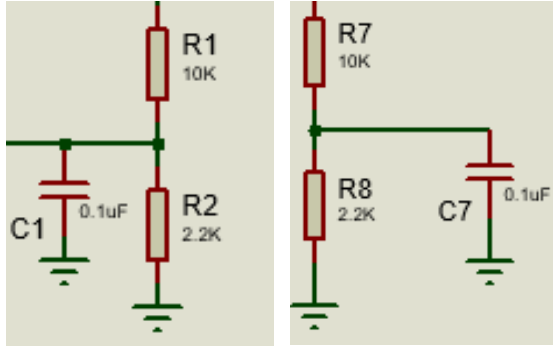
Hassasiyet: 186mV/A'dir.

Sensör pozitif ve negatif akımları ölçebilir: -5A ile +5A arası

Güç kaynağı: 5V

Akım olmadığında ortalama voltajı 2,5V'tur.

#### 6.4 Gerilim Sensörü

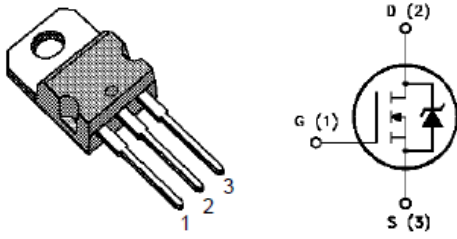


Şekil 6.6 Gerilim sensörü

Şarj regülatörünün ana görevi, istenen voltaj seviyesini sağlamak ve aküyü şarj etmektir. Bunu da maksimum güç noktası izleyici algoritması yazılmış Arduino gerçekleştirecektir. Kurulacak güneş enerjisi sistemlerinde algoritmanın yazılacağı yazılımın Arduino olacağı daha önce belirtildi. Arduino mikro denetleyicisi, dahili analog- dijital dönüştürücülerden oluşmaktadır. Bu dönüştürücüler sayesinde analog AC giriş, sayısal dijital değerlere dönüştürülür. Sayısal değerlere dönüştürülmüş dijital veri, voltaj seviyesini önceki voltaj seviyesi ile karşılaştırılmak üzere algoritmaya iletilir. Arduino girişleri 0-5V arası DC voltajı ölçmek için kullanılabilir. Bu aralık ise voltaj bölücü ile artırılabilir. Bu yöntem ile güneş paneli ve bataryanın gerilim değerleri ölçülebilir. Gerilim bölücüler ile algılanan gerilim seviyesi, Arduino analog pinlerine bağlanarak dijital nicel değerlere dönüştürülür. Sonuç olarak batarya ve güneş panelinin gerilimi ölçülmüş olur.

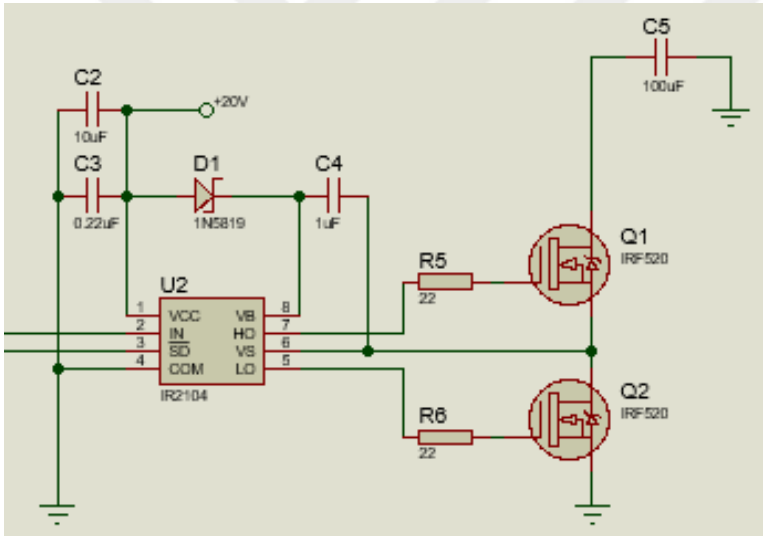
#### 6.5 MOSFET Sürücü

Kurulacak devrede kullanılacak MOSFET IRF520'dir. IRF520'nin bağlantısı aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.7 MOSFET sürücü

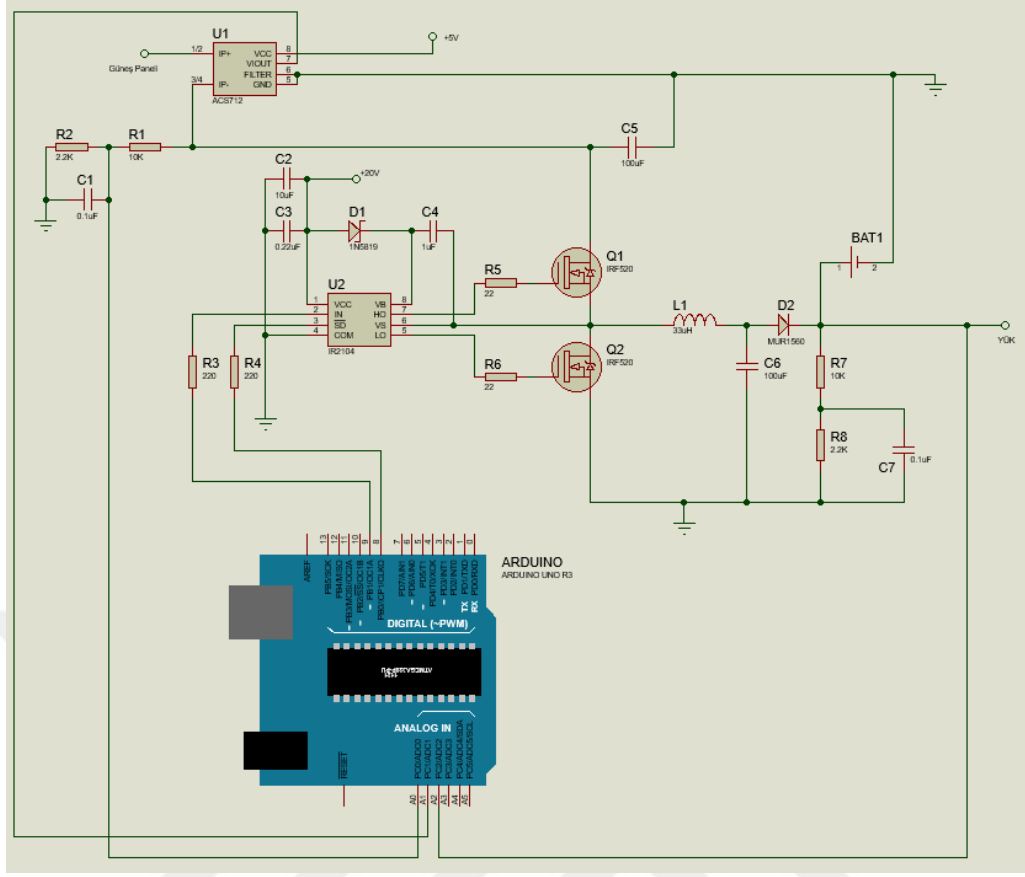
MOSFET sürücü olarak ise IR2104 kullanılacaktır. MOSFET sürücünün kullanım nedeni, MOSFET'in kapısını sürmek için bir mikrodenetleyiciden düşük akımlı bir dijital çıkışa izin vermesidir. Normal şartlarda MOSFET'in açıp kapatılabilmesi için fazladan akım gereklidir ancak MOSFET sürücü kullanıldığı takdirde MOSFET'i açıp kapatmak daha kolay olmaktadır. IR2104, IRF520'yi sürecektir. İkisinin bağlantısı IR2104 kataloğunda izah edildiği üzere aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.8 MOSFET sürücü ile IRF520 bağlantısı

## 6.6 Şema

6.bölüm başlangıcından buraya kadar oluşturulacak sistemdeki başlıca elemanların özelliklerine ve neden seçildiklerine değinildi. Tüm bunların ışığında Proteus 8 ortamında çizilen devre aşağıdaki gibidir:



Şekil 6.9 MPPT kontrol devresi çizimi

Tasarlanan şema şu şekilde açıklanabilir:

ACS712 akım sensörü modülünün pozitif giriş vidasına (+IP) güneş panelinin pozitif ucu bağlanacaktır. Şemada da görüldüğü üzere akım sensörünün negatif vidasına (-IP) öncelikle Bölüm 6.4'te anlatılan gerilim bölücü eklenmiştir.

IR2104, bağlı olduğu Arduino pin-D9'dan aldığı PWM sinyalini kullanarak MOSFET'leri çalıştırır. Ayrıca Bölüm 6.5'te eklenen veri kataloğu baz alınarak IR2104'ün 3.pinine Arduino pin-D8 bağlanarak MOSFET kapatılabilir. Arduino ile yazılan değiştir ve gözlem algoritması PWM görev döngüsünü izleyecek ve asla açık kalmasına izin vermeyecektir. Şarjı çalışır durumda tutmak adına PWM çalışma oranını %99.9 ile sınırlamaktadır. Kullanılan DC-DC dönüştürücünün anahtarlama sistemi denetleyici aşaması ve güç aşaması olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Güç kaynağının hassasiyetini, denetleyici aşaması voltajı düzenleyerek denetler (Steven Keeping, 2014). Bundan dolayı voltaj regülasyonu için darbe genişlik modülasyonu (PWM) kullanılacaktır. Kısacası dijital araçlarla analog değer elde edilmesine PWM denmektedir. PWM, sabit çıkış voltajı elde etmek için anahtarın görev oranını değiştirerek çalışmaktadır.

Güneş panelinden gelen gerilimin ölçülebilmesi için gerilim bölücüler kullanılacağı Bölüm 6.4'te söylendi. Bahsedildiği R1, R2 ve R7, R8 dirençleri gerilim bölücü olarak devre uygulamasına eklenecektir. R7 ve R8 gerilim bölücüsü ise batarya geriliminin ölçülebilmesi için eklenmiştir. Batarya olarak lityum iyon pil kullanılacaktır. Lityum iyon piller şarj olduktan sonra deşarj edilip tekrar şarj edilebilen pillerdir. Çabuk şarj olup çabuk deşarj olması, uzun ömrü ve yüksek verimi gibi avantajları bulunmaktadır. Bölüm 5.1'de bahsedilen boost (yukarı) dönüştürücü, ayarlı çıkışından elde edilen 20V gerilim ile IR2104 MOSFET sürücüsünü beslerken, 5.2'de bahsedilen buck (aşağı) dönüştürücünün ayarlı çıkışı ise Arduino kartını besleyecektir.

Oluşturulan devre şemasının uygulaması breadboard üzerinde yapılacaktır. Ölçüm yapılacak tarihlerdeki hava durumu göz önüne alınarak, belirli aralıklarla ölçüm gerçekleştirilecek ve değiştir gözle algoritması ile kontrol edilen inorganik ve organik güneş panelli sistemlerin çıkış akım, gerilim, güç değerleri analiz edilecektir.

## 6.7 Yazılım

Daha önce de vurgulandığı üzere yazılım olarak Arduino kullanımına karar verildi. Yazılım ise Arduino Uno kartı ile çalıştırılacaktır. Yani değiştir ve gözle algoritması Arduino'da hem programlanacak hem de uygulanacak. Uygulama ve hata ayıklama kolaylığından dolayı Arduino kullanımına karar verildi.

Arduino kartları üzerinde kartın modeline göre Atmel mikrodenetleyicileri bulunmaktadır. Vurgulandığı gibi, tasarımda Arduino Uno kartı kullanılacaktır. Bu kart 14 dijital giriş çıkış pinine (6 tanesi darbe genlik modülasyonu için kullanılabilir), 6 analog giriş, adaptör girişi, USB programlama arayüzü, ICSP programlama soketi, kısa devre koruması, durum ledleri ve Atmega328P mikrodenetkeyici bulundurmaktadır. 5V çalışma gerilimine sahiptir. Tavsiye edilen giriş gerilimi 7V ile 12V arasındadır. Maksimum 6V- 20V arasındadır.

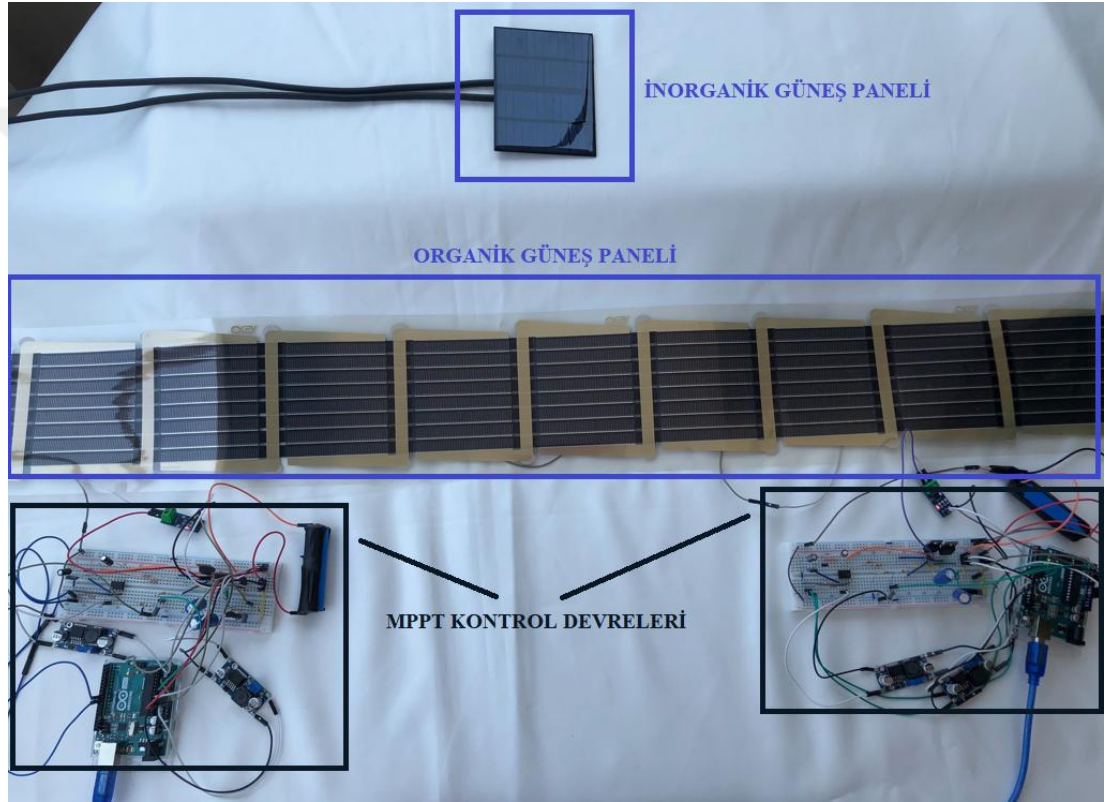


## 7. BÖLÜM

### UYGULAMA

6.Bölüm’de projenin gerçekleştirilmesinde kullanılacak güneş panelleri ve devre elemanları belirtildi. Kullanılacak yazılıma dair açıklamalar ise Bölüm 6.7’de açıklandı. Tüm bu alınan kararlar neticesinde karar verilen tasarımın uygulaması gerçekleştirildi.

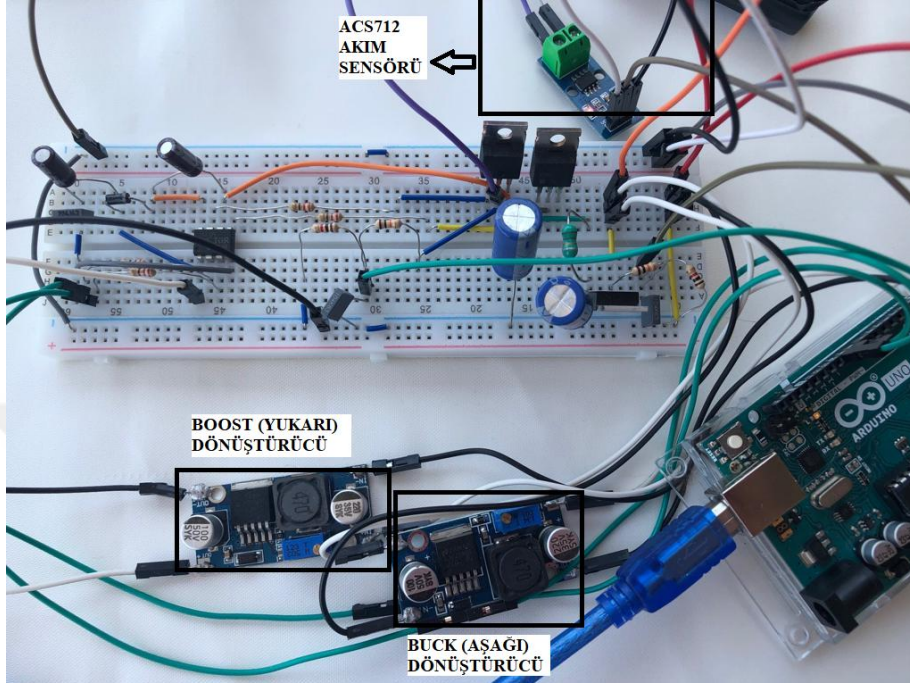
İki adet maksimum güç noktası izleyici devresi kuruldu (Şekil 7.1). Kurulan bu devrelerden birine organik diğereine ise inorganik güneş paneli bağlandı.



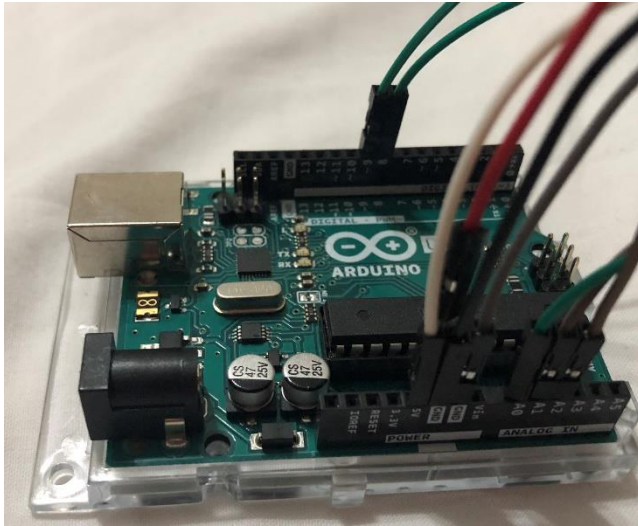
Şekil 7.1 Maksimum güç noktası izleyici uygulaması

Bölüm 6.6’da Proteus 8 çizimi verilen mppt kontrol devresi, kurulan sistemin kontrolü ve sistemi maksimum güç noktasında çalıştırabilmesi için gerçekleştirildi (Şekil 7.2). Kullanılan güneş panellerinin bağlantıları, ACS712 akım sensörünün IP+ girişinden yapıldı. Maksimum güç noktası izleyici yöntemi olarak yaygın kullanımı ve basit mantığından dolayı değiştir ve gözlem algoritması kullanıldı. Algoritma, Arduino ortamında yazıldı ve aynı yazılıma ait olan Arduino Uno ile maksimum güç noktası izleyici algoritmasının kontrolü sağlandı (Şekil 7.3). Arduino Uno’nun 5V girişine

buck (aşağı) dönüştürücünün çıkışı bağlandı. Boost (aşağı) dönüştürücünün çıkışı ile ise IR2104 MOSFET sürücü entegresinin girişi beslendi.



Şekil 7.2 MPPT kontrol devresi uygulaması



Şekil 7.3 Arduino Uno bağlantısı

Tasarımda da bahsedildiği üzere batarya olarak lityum iyon pil kullanıldı (Şekil 7.4). Uygulamada, lityum iyon pilin her iki devre ile şarj edilebildiği gözlemlendi.



Şekil 7.4 Lityum iyon pil

Tasarımı yapılan devrenin uygulamasında, ölçümler havanın güneşli olduğu günlerde, gün içerisinde ölçümün gerçekleştirildiği ortamın güneş alma durumuna bağlı olarak, yarım saatlik periyotlarla yapıldı. Yarım saatte bir yapılan her ölçümde multimetre ile okunan akım ve gerilim değerleri not edildi ve bu işlem, ölçüm yapılan her gün tekrarlandı.

Yarım saat aralıklarla yapılan ölçümler neticesinde okunan akım ve gerilim değerleri yazının devamında bulunan tablolarda gösterildi.

08.07.2019 Pazartesi yapılan ölçümler:

**Tablo 7.1. Birinci Gün Ölçüm Değerleri**

İnorganik Güneş Paneli	Organik Güneş Paneli	Saat
2.98 V, 0.24 A	3.13 V, 0.30 A	09.30
3.00 V, 0.25 A	3.15 V, 0.32 A	10.00
3.01 V, 0.26 A	3.17 V, 0.32 A	10.30
3.03 V, 0.27 A	3.25 V, 0.33 A	11.00
3.04 V, 0.29 A	3.30 V, 0.36 A	11.30
3.04 V, 0.30 A	3.32 V, 0.38 A	12.00
3.05 V, 0.26 A	3.36 V, 0.39 A	12.30
3.07 V, 0.29 A	3.32 V, 0.40 A	13.00
3.07 V, 0.27 A	3.34 V, 0.39 A	13.30
3.08 V, 0.28 A	3.34 V, 0.39 A	14.00
3.08 V, 0.28 A	3.35 V, 0.38 A	14.30
3.09 V, 0.26 A	3.34 V, 0.38 A	15.00
3.08 V, 0.27 A	3.34 V, 0.39 A	15.30
3.07 V, 0.26 A	3.33 V, 0.38 A	16.00
3.08 V, 0.26 A	3.33 V, 0.39 A	16.30
3.07 V, 0.27 A	3.32 V, 0.39 A	17.00
3.02 V, 0.26 A	3.33 V, 0.39 A	17.30
3.02 V, 0.24 A	3.32 V, 0.38 A	18.00
3.05 V, 0.26 A	3.32 V, 0.38 A	18.30
3.08 V, 0.27 A	3.33 V, 0.39 A	19.00
3.09 V, 0.279 A	3.32 V, 0.37 A	19.30

09.07.2019 Salı yapılan ölçümler:

**Tablo 7.2. İkinci Gün Ölçüm Değerleri**

İnorganik Güneş Paneli	Organik Güneş Paneli	Saat
2.78 V, 0.24 A	3.12 V, 0.32 A	09.30
2.99 V, 0.25 A	3.14 V, 0.33 A	10.00
3.00 V, 0.26 A	3.18 V, 0.35 A	10.30
3.03 V, 0.27 A	3.25 V, 0.34 A	11.00
3.03 V, 0.27 A	3.28 V, 0.37 A	11.30
3.03 V, 0.29 A	3.32 V, 0.38 A	12.00
3.05 V, 0.30 A	3.37 V, 0.40 A	12.30
3.07 V, 0.29 A	3.33 V, 0.39 A	13.00
3.07 V, 0.28 A	3.34 V, 0.39 A	13.30
3.08 V, 0.28 A	3.35 V, 0.39 A	14.00
3.08 V, 0.29 A	3.35 V, 0.39 A	14.30
3.09 V, 0.27 A	3.34 V, 0.38 A	15.00
3.08 V, 0.28 A	3.34 V, 0.39 A	15.30
3.07 V, 0.27 A	3.34 V, 0.38 A	16.00
3.08 V, 0.27 A	3.33 V, 0.39 A	16.30
3.07 V, 0.28 A	3.33 V, 0.39 A	17.00
3.02 V, 0.25 A	3.32 V, 0.39 A	17.30
3.02 V, 0.24 A	3.32 V, 0.38 A	18.00
3.05 V, 0.25 A	3.33 V, 0.38 A	18.30
3.08 V, 0.27 A	3.33 V, 0.39 A	19.00
3.09 V, 0.26 A	3.32 V, 0.37 A	19.30

10.07.2019 Çarşamba günü yapılan ölçümler:

**Tablo 7.3. Üçüncü Gün Ölçüm Değerleri**

İnorganik Güneş Paneli	Organik Güneş Paneli	Saat
2.80 V, 0.24 A	3.16 V, 0.30 A	09.30
2.86 V, 0.25 A	3.18 V, 0.30 A	10.00
3.02 V, 0.26 A	3.20 V, 0.29 A	10.30
3.03 V, 0.27 A	3.20 V, 0.31 A	11.00
3.03 V, 0.27 A	3.25 V, 0.34 A	11.30
3.04 V, 0.29 A	3.28 V, 0.38 A	12.00
3.07 V, 0.30 A	3.30 V, 0.39 A	12.30
3.08 V, 0.29 A	3.31 V, 0.38 A	13.00
3.07 V, 0.28 A	3.30 V, 0.38 A	13.30
3.08 V, 0.28 A	3.32 V, 0.39 A	14.00
3.09 V, 0.29 A	3.35 V, 0.38 A	14.30
3.09 V, 0.27 A	3.34 V, 0.38 A	15.00
3.07 V, 0.28 A	3.33 V, 0.39 A	15.30
3.07 V, 0.27 A	3.34 V, 0.37 A	16.00
3.08 V, 0.27 A	3.33 V, 0.38 A	16.30
3.07 V, 0.28 A	3.31 V, 0.37 A	17.00
3.05 V, 0.25 A	3.32 V, 0.37 A	17.30
3.02 V, 0.24 A	3.32 V, 0.37 A	18.00
3.05 V, 0.25 A	3.31 V, 0.36 A	18.30
3.08 V, 0.27 A	3.32 V, 0.37 A	19.00
3.08 V, 0.26 A	3.32 V, 0.36 A	19.30

11.07.2019 Perşembe günü hava şartlarından dolayı ölçüm alınmamış, 12.07.2019 Cuma günü ölçümlere devam edilmiştir.

12.07.2019 Cuma günü yapılan ölçümler:

**Tablo 7.4. Dördüncü Gün Ölçüm Değerleri**

İnorganik Güneş Paneli	Organik Güneş Paneli	Saat
2.79 V, 0.23 A	3.16 V, 0.30 A	09.30
2.84 V, 0.27 A	3.17 V, 0.30 A	10.00
3.00 V, 0.26 A	3.21 V, 0.29 A	10.30
3.02 V, 0.25 A	3.21 V, 0.31 A	11.00
3.03 V, 0.28 A	3.20 V, 0.34 A	11.30
3.04 V, 0.29 A	3.22 V, 0.38 A	12.00
3.06 V, 0.29 A	3.23 V, 0.39 A	12.30
3.07 V, 0.30 A	3.20 V, 0.38 A	13.00
3.08 V, 0.30 A	3.22 V, 0.38 A	13.30
3.08 V, 0.29 A	3.25 V, 0.39 A	14.00
3.09 V, 0.28 A	3.25 V, 0.38 A	14.30
3.09 V, 0.28 A	3.25 V, 0.38 A	15.00
3.08 V, 0.28 A	3.24 V, 0.39 A	15.30
3.08 V, 0.27 A	3.24 V, 0.37 A	16.00
3.07 V, 0.27 A	3.23 V, 0.38 A	16.30
3.07 V, 0.26 A	3.24 V, 0.37 A	17.00
3.05 V, 0.25 A	3.22 V, 0.37 A	17.30
3.03 V, 0.24 A	3.22 V, 0.37 A	18.00
3.05 V, 0.25 A	3.21 V, 0.36 A	18.30
3.06 V, 0.26 A	3.22 V, 0.37 A	19.00
3.07 V, 0.26 A	3.22 V, 0.36 A	19.30

13.07.2019 Cumartesi günü yapılan ölçümler:

**Tablo 7.5. Beşinci Gün Ölçüm Değerleri**

İnorganik Güneş Paneli	Organik Güneş Paneli	Saat
2.97 V, 0.26 A	3.18 V, 0.30 A	09.30
3.00 V, 0.26 A	3.18 V, 0.30 A	10.00
3.00 V, 0.27 A	3.18 V, 0.30 A	10.30
3.03 V, 0.30 A	3.22 V, 0.30 A	11.00
3.05 V, 0.28 A	3.20 V, 0.31 A	11.30
3.04 V, 0.29 A	3.21 V, 0.31 A	12.00
3.07 V, 0.29 A	3.21 V, 0.30 A	12.30
3.08 V, 0.30 A	3.23 V, 0.32 A	13.00
3.08 V, 0.29 A	3.23 V, 0.32 A	13.30
3.09 V, 0.29 A	3.22 V, 0.31 A	14.00
3.09 V, 0.29 A	3.22 V, 0.31 A	14.30
3.09 V, 0.28 A	3.20 V, 0.31 A	15.00
3.07 V, 0.28 A	3.21 V, 0.32 A	15.30
3.08 V, 0.28 A	3.20 V, 0.32 A	16.00
3.07 V, 0.27 A	3.22 V, 0.32 A	16.30
3.07 V, 0.28 A	3.22 V, 0.30 A	17.00
3.06 V, 0.27 A	3.21 V, 0.30 A	17.30
3.05 V, 0.29 A	3.20 V, 0.32 A	18.00
3.06 V, 0.28 A	3.20 V, 0.30 A	18.30
3.06 V, 0.28 A	3.21 V, 0.32 A	19.00
3.05 V, 0.27 A	3.21 V, 0.30 A	19.30

14.07.2019 Pazar günü hava şartlarından dolayı ölçüm alınmamış, 15.07.2019 Pazartesi günü ölçüme devam edilmiştir.



15.07.2019 Pazartesi günü yapılan ölçümler:

**Tablo 7.6. Altıncı Gün Ölçüm Değerleri**

İnorganik Güneş Paneli	Organik Güneş Paneli	Saat
2.76 V, 0.25 A	3.15 V, 0.31 A	09.30
2.80 V, 0.26 A	3.15 V, 0.31 A	10.00
2.87 V, 0.26 A	3.18 V, 0.30 A	10.30
3.00 V, 0.27 A	3.20 V, 0.32 A	11.00
3.03 V, 0.27 A	3.20 V, 0.34 A	11.30
3.04 V, 0.29 A	3.22 V, 0.35 A	12.00
3.05 V, 0.29 A	3.23 V, 0.38 A	12.30
3.06 V, 0.30 A	3.23 V, 0.38 A	13.00
3.07 V, 0.30 A	3.22 V, 0.38 A	13.30
3.07 V, 0.30 A	3.23 V, 0.39 A	14.00
3.09 V, 0.31 A	3.24 V, 0.39 A	14.30
3.09 V, 0.29 A	3.25 V, 0.38 A	15.00
3.08 V, 0.28 A	3.24 V, 0.39 A	15.30
3.08 V, 0.27 A	3.23 V, 0.37 A	16.00
3.08 V, 0.27 A	3.23 V, 0.38 A	16.30
3.07 V, 0.27 A	3.24 V, 0.37 A	17.00
3.07 V, 0.26 A	3.23 V, 0.36 A	17.30
3.05 V, 0.24 A	3.22 V, 0.37 A	18.00
3.05 V, 0.25 A	3.23 V, 0.36 A	18.30
3.04 V, 0.26 A	3.22 V, 0.37 A	19.00
3.03 V, 0.24 A	3.21 V, 0.35 A	19.30

16.07.2019 Salı günü yapılan ölçümler:

**Tablo 7.7. Yedinci Gün Ölçüm Değerleri**

İnorganik Güneş Paneli	Organik Güneş Paneli	Saat
2.78 V, 0.26 A	3.13 V, 0.35 A	09.30
2.95 V, 0.26 A	3.13 V, 0.35 A	10.00
2.99 V, 0.26 A	3.15 V, 0.35 A	10.30
3.01 V, 0.27 A	3.19 V, 0.37 A	11.00
3.03 V, 0.28 A	3.24 V, 0.37 A	11.30
3.04 V, 0.29 A	3.28 V, 0.39 A	12.00
3.04 V, 0.30 A	3.32 V, 0.40 A	12.30
3.06 V, 0.30 A	3.33 V, 0.40 A	13.00
3.08 V, 0.30 A	3.34 V, 0.39 A	13.30
3.09 V, 0.28 A	3.35 V, 0.39 A	14.00
3.09 V, 0.29 A	3.35 V, 0.39 A	14.30
3.08 V, 0.28 A	3.35 V, 0.38 A	15.00
3.07 V, 0.28 A	3.34 V, 0.37 A	15.30
3.07 V, 0.27 A	3.34 V, 0.38 A	16.00
3.06 V, 0.27 A	3.34 V, 0.37 A	16.30
3.07 V, 0.26 A	3.33 V, 0.39 A	17.00
3.04 V, 0.25 A	3.32 V, 0.37 A	17.30
3.06 V, 0.25 A	3.32 V, 0.37 A	18.00
3.05 V, 0.25 A	3.32 V, 0.37 A	18.30
3.07 V, 0.24 A	3.33 V, 0.36 A	19.00
3.03 V, 0.23 A	3.32 V, 0.36 A	19.30

17.07.2019 Çarşamba ve 18.07.2019 Perşembe günleri, hava şartlarından dolayı ölçüm alınamamış, 19.07.2019 Cuma günü ölçüme devam edilmiştir.

19.07.2019 Cuma günü yapılan ölçümler:

**Tablo 7.8. Sekizinci Gün Ölçüm Değerleri**

İnorganik Güneş Paneli	Organik Güneş Paneli	Saat
2.95 V, 0.24 A	3.19 V, 0.35 A	09.30
2.99 V, 0.24 A	3.20 V, 0.35 A	10.00
3.04 V, 0.25 A	3.25 V, 0.35 A	10.30
3.07 V, 0.27 A	3.28 V, 0.37 A	11.00
3.10 V, 0.27 A	3.30 V, 0.37 A	11.30
3.13 V, 0.28 A	3.33 V, 0.40 A	12.00
3.11 V, 0.28 A	3.33 V, 0.39 A	12.30
3.07 V, 0.29 A	3.34 V, 0.40 A	13.00
3.07 V, 0.29 A	3.34 V, 0.39 A	13.30
3.08 V, 0.28 A	3.34 V, 0.39 A	14.00
3.08 V, 0.28 A	3.35 V, 0.39 A	14.30
3.09 V, 0.29 A	3.35 V, 0.38 A	15.00
3.08 V, 0.28 A	3.34 V, 0.39 A	15.30
3.07 V, 0.27 A	3.32 V, 0.39 A	16.00
3.07 V, 0.26 A	3.33 V, 0.38 A	16.30
3.05 V, 0.26 A	3.32 V, 0.38 A	17.00
3.04 V, 0.26 A	3.33 V, 0.39 A	17.30
3.05 V, 0.25 A	3.32 V, 0.39 A	18.00
3.05 V, 0.25 A	3.32 V, 0.38 A	18.30
3.04 V, 0.24 A	3.34 V, 0.39 A	19.00
3.04 V, 0.24 A	3.34 V, 0.37 A	19.30

## 8. BÖLÜM

### SONUÇLAR

Güneş panellerini iyileştirmeye yönelik yapılan çalışmalar ile üretilen üçüncü nesil güneş pillerinden olan ve inorganik olanlarından daha düşük maliyette üretilip, üretim yöntemleri de kolay olan organik güneş paneli ile inorganik güneş paneli kıyaslaması yapıldı. Kıyaslama için iki aynı maksimum güç noktası kontrol devresi tasarlandı ve gerçekleştirildi. Devrelerin kontrolü, yaygın kullanılmakta olan değiştir ve gözle isimli maksimum güç noktası izleyici algoritması ile yapıldı.

Algoritma, Arduino yazılımı ile programlanıp, Arduino Uno ile devreye aktarıldı. Uygulama sırasında alınan ölçümler 7.bölümde verildi. Uygulama sonucunda alınan veriler ile günlük ve toplamda ölçüm yapılan gün sayısına göre ortalama güç hesabı yapıldı.

Ölçüm düzenekleri kurulduktan sonra sekiz gün boyunca her gün yirmi bir ölçüm yapılarak elde edilen akım ve gerilim verilerinin günlük ortalamaları aşağıda verilen Tablo 8.1’de gösterilmiştir.

**Tablo 8.1. Akım ve Gerilim Değerleri**

Tablo numarası	İnorganik güneş paneli		Organik güneş paneli	
	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım (A)	Gerilim (V)
Tablo 7.1	0.26 A	3.05 V	0.37 A	3.30 V
Tablo 7.2	0.26 A	3.04 V	0.37 A	3.30 V
Tablo 7.3	0.26 A	3.04 V	0.36 A	3.29 V
Tablo 7.4	0.27 A	3.035 V	0.36 A	3.22 V
Tablo 7.5	0.28 A	3.055 V	0.31 A	3.20 V
Tablo 7.6	0.27 A	3.03 V	0.36 A	3.216 V
Tablo 7.7	0.27 A	3.036 V	0.37 A	3.30 V
Tablo 7.8	0.26 A	3.06 V	0.38 A	3.31 V

Tablo 8.1’de görüldüğü üzere, günlük ışımaya miktarına bağlı olarak akım ve gerilim değerleri değişti ancak değerler yine de birbirine yakındır. Çünkü her iki panelde

mevcut ışığa altında üretebilecekleri en yüksek akım ve gerilim değerini üreterek olabilecek en yüksek maksimum güce değerine ulaştılar. Olabilecek en yüksek maksimum güç noktasında çalışma, kullanılan değiştir ve gözle algoritması ile sağlandı.

Tablo 8.1’de mevcut olan akım ve gerilim değerleri kullanılarak veriler güç cinsinden ifade edilerek Tablo 8.2’de gösterilmiştir.

**Tablo 8.2. Akım ve Gerilim Ölçüm Sonucu Elde Edilen Güç**

Tablo numarası	İnorganik güneş paneli	Organik güneş paneli
Tablo 7.1	0.80 W	1.22 W
Tablo 7.2	0.80 W	1.22 W
Tablo 7.3	0.80 W	1.18 W
Tablo 7.4	0.82 W	1.16 W
Tablo 7.5	0.85 W	1.00 W
Tablo 7.6	0.82 W	1.16 W
Tablo 7.7	0.88 W	1.22 W
Tablo 7.8	0.81 W	1.25 W

Tablo 8.2’de görüldüğü üzere ölçüm yapılan günde ki mevcut ışığa değerine bağlı olarak akım ve gerilim değerleri; akım ve gerilim değerlerine bağlı olarak ise güç değerleri değişti. Fark edilebileceği gibi güç değerleri farklı da olsa birbirlerine yakın değerlerdir.

Bölüm 6.1’de verilen inorganik ve organik panel karakteristik değerleri göz önüne alındığında, inorganik güneş panelinin gücü 1.5 W, organik güneş panelinin gücü ise 2 W’dır. Yapılan ölçümler neticesinde inorganik güneş panelinin Tablo 8.2’deki güç değerlerine göre ortalama ürettiği güç 0.82 W iken organik güneş panelinin Tablo 8.2’deki güç değerlerine göre ortalama ürettiği güç 1.18 W’tır.

Yedinci bölümde belirtildiği üzere, sadece güneşli günlerde ölçüm alındı. Bunun nedeni sadece tek bir panele ait değil iki panelin de verilerine; olabilecek en yüksek noktada çalışmaları verilere ihtiyaç olmasıdır. Kısacası, verim kıyaslamasının en iyi şekilde yapılabilmesi için panellerin maksimum çıkış verebileceği hava koşulu seçilmiştir.

Tez çalışmasında kullanılan “Değiştir ve Gözle Algoritması”, Bölüm 4.1.2.1’de açıklandığı gibi dezavantajları olan bir yöntem olsa da maksimum güç noktası izleyici algoritmaları arasında en yaygın kullanılan algoritmadır. Bu nedenle çalışmada “Değiştir ve Gözle Algoritması” kullanılmıştır.



## KAYNAKÇA

- Akçay, E. M. (2012). *Sol-Gel Yöntemiyle Hazırlanmış Titanyum Oksit (TiO<sub>2</sub>) ve Çinko Oksit (ZnO) Kompakt Tabakalarının Tersine Çevrilmiş Fotovoltaik Hücrelerin Verimine Etkilerinin İncelenmesi*. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Akman, E., Akin, S., Karanfil, G., & Sonmezoglu, S. (2013). Organik Güneş Pilleri. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 1–30.
- Ballıpınar, F. (2012). *Çinko oksit (ZnO) nanoyapıların organik güneş pillerinde uygulaması*.
- Bao, Q., Braun, S., Wang, C., Liu, X., & Fahlman, M. (2019). Interfaces of (Ultra)thin Polymer Films in Organic Electronics. *Advanced Materials Interfaces*, 6(1).  
<https://doi.org/10.1002/admi.201800897>
- Bendib, B., Belmili, H., & Krim, F. (2015). A survey of the most used MPPT methods: Conventional and advanced algorithms applied for photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 637–648.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.009>
- Cakmak, G. (2015). *Karbon Nanotüplerin Organik Güneş Pillerine Uygulanması*. Kocaeli Üniversitesi.
- Caliskan, E. (2011). *Fotovoltaik Sistemler İçin Dsp Temelli Güç Çeviricisi Tasarımı Ve Uygulaması*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Campbell, I. H., Hagler, T. W., Smith, D. L., & Ferraris, J. P. (1996). Direct measurement of conjugated polymer electronic excitation energies using metal/polymer/metal structures. *Physical Review Letters*, 76(11), 1900–1903.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.76.1900>
- Chiang, C. K., Louis, E. J., Heeger, A. J., MacDiarmid, A. G., & Shirakawa, H. (1997). Synthesis of electrically conducting organic polymers: halogen derivatives of polyacetylene, (CH)<sub>x</sub>. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*, (16), 578–580.  
<https://doi.org/10.1039/c39770000578>
- Das, S. K., & Morris, G. C. (1993). Preparation and characterisation of electrodeposited n-CdS/p-CdTe thin film solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 28(4), 305–316. [https://doi.org/10.1016/0927-0248\(93\)90118-M](https://doi.org/10.1016/0927-0248(93)90118-M)
- Duman, S., Altaş, İ. H., Yorukeren, N., & Alboyacı, B. (2014). *Fotovoltaik Enerji Sistemleri için Maksimum Güç Noktası Takip Algoritmalarının Karşılaştırılması*.
- Dutta, A., Barua, N., & Saha, A. (2016). *Design of an arduino based maximum power point tracking ( MPPT ) solar charge controller*. Brac University.
- Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995). A New Optimizer Using Particle Swarm Theory. In

*MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science.*

- Esrām, T., & Chapman, P. L. (2007). Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 22(2), 439–449. <https://doi.org/10.1109/TEC.2006.874230>
- Freitag, M., Martin, Y., Misewich, J. A., Martel, R., & Avouris, P. (2003). Photoconductivity of single carbon nanotubes. *Nano Letters*, 3(8), 1067–1071. <https://doi.org/10.1021/nl034313e>
- Gomes Da Costa, P., & Conwell, E. M. (1993). Excitons and the band gap in poly(phenylene vinylene). *Physical Review B Condens Matter*, 48(3), 1993–1996. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.48.1993>
- Günes, S., Neugebauer, H., & Sariciftci, N. S. (2007). Conjugated Polymer-Based Organic Solar Cells. *Chemical Reviews*, 107(4), 1324–1338. <https://doi.org/10.1021/cr050149z>
- Hall, N. (2003). Twenty-five years of conducting polymers. *Chemical Communications*, (1), 1–4. <https://doi.org/10.1039/b210718j>
- Harrag, A., & Messalti, S. (2015). Variable step size modified P&O MPPT algorithm using GA-based hybrid offline/online PID controller. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49(C), 1247–1260. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.003>
- Hauch, J. A., Schilinsky, P., Choulis, S. A., Childers, R., Biele, M., & Brabec, C. J. (2008). Flexible organic P3HT:PCBM bulk-heterojunction modules with more than 1 year outdoor lifetime. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92(7), 727–731. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2008.01.004>
- Heeger, A. J. (2001). Semiconducting and Metallic Polymers: The Fourth Generation of Polymeric Materials (Nobel Lecture). *Angewandte Chemie International Edition*, 40(14), 2591–2611. [https://doi.org/10.1002/1521-3773\(20010716\)40:14<2591::AID-ANIE2591>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/1521-3773(20010716)40:14<2591::AID-ANIE2591>3.0.CO;2-0)
- Hiramoto, M., & Shinmura, Y. (2017). Organic Solar Cells. In *Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials* (pp. 1329–1338). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48933-9\\_54](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48933-9_54)
- Hohm, D. P., & Ropp, M. E. (2003). Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 11, 47–62. <https://doi.org/10.1002/pip.459>
- Hoppe, H., Niggemann, M., Winder, C., Kraut, J., Hiesgen, R., Hinsch, A., ... Sariciftci, N. S. (2004). Nanoscale morphology of conjugated polymer/fullerene-based bulk-heterojunction solar cells. *Advanced Functional Materials*, 14(10), 1005–1011.



<https://doi.org/10.1002/adfm.200305026>

- Hoppe, H., & Sariciftci, N. S. (2008). Photoresponsive Polymers II: Polymer Solar Cells. In *Advances in Polymer Science*. [https://doi.org/10.1007/12\\_2007\\_121](https://doi.org/10.1007/12_2007_121)
- Hussein Ali, A., & Abdulwahhab Abdulrazzaq, A. (2018). Evaluating the performance and efficiency of MPPT algorithm for PV systems. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4), 2122–2126. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.13508>
- Irwin, M. D., Buchholz, D. B., Hains, A. W., Chang, R. P. H., & Marks, T. J. (2008). p-Type semiconducting nickel oxide as an efficiency-enhancing anode interfacial layer in polymer bulk-heterojunction solar cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(8), 2783–2787. <https://doi.org/10.1073/pnas.0711990105>
- Kaddah, S., Abo-AL-EZ, K. M., & Diab, E.-H. A.-R. S. A. (2015). *Improved MPPT Algorithm Using a Modified PV Model* (Vol. 15–17).
- Kangal, H. (2008). *Fotovoltaik Sistem Analizi ve Labview Tabanlı MPPT Simülasyonu*.
- Karg, S., Riess, W., Meier, M., & Schwoerer, M. (1993). Characterization of light emitting diodes and solar cells based on poly-phenylene-vinylene. *Synthetic Metals*, 57(1), 4186–4191. [https://doi.org/10.1016/0379-6779\(93\)90579-L](https://doi.org/10.1016/0379-6779(93)90579-L)
- Kelzenberg, M. D., Turner-Evans, D. B., Kayes, B. M., Filier, M. A., Putnam, M. C., Lewis, N. S., & Atwater, H. A. (2008). Photovoltaic measurements in single-nanowire silicon solar cells. *Nano Letters*, 8(2), 710–714. <https://doi.org/10.1021/nl072622p>
- Keskin, Y. E., Basoglu, M. E., Tekdemir, İ. G., & Cakır, B. (2014). *Fotovoltaik Sistemlerde Değişir Gözle ve Artan İletkenlik Algoritmalarının Karşılaştırılması Comparison of P & O and Incremental Conductance Algorithms for Photovoltaic Systems*.
- Kim, S., Yim, J., Wang, X., Bradley, D. D. C., Lee, S., & DeMello, J. C. (2010). Spin-and spray-deposited single-walled carbon-nanotube electrodes for organic solar cells. *Advanced Functional Materials*, 20(14), 2310–2316. <https://doi.org/10.1002/adfm.200902369>
- Kippelen, B., & Brédas, J.-L. (2009). Organic Photovoltaics. *Energy and Environmental Science*, 2(3), 251–261. <https://doi.org/10.1039/b812502n>
- Kirchartz, T., Taretto, K., & Rau, U. (2009). Efficiency limits of organic bulk heterojunction solar cells. *Journal of Physical Chemistry C*, 113(41), 17958–17966. <https://doi.org/10.1021/jp906292h>
- Kircioglu, O., Ünlü, M., & Camur, S. (2016). Modeling and analysis of DC-DC SEPIC converter with coupled inductors. *2016 International Symposium on Industrial Electronics (INDEL)*. <https://doi.org/10.1109/INDEL.2016.7797807>
- Kushwaha, O. S. (2014). *Stability of Organic Photovoltaic Cells*.
- Levermore, P. A., Chen, L., Wang, X., Das, R., & Bradley, D. D. C. (2007). Fabrication of highly

- conductive poly(3,4-ethylenedioxythiophene) films by vapor phase polymerization for application in efficient organic light-emitting diodes. *Advanced Materials*, 19(17), 2379–2385. <https://doi.org/10.1002/adma.200700614>
- Liu, Y., Li, M., Ji, X., Luo, X., Wang, M., & Zhang, Y. (2014). A comparative study of the maximum power point tracking methods for PV systems. *Energy Conversion and Management*, 85, 809–816. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.01.049>
- Madogni, V. I., Kounouhéwa, B., Akpo, A., Agbomahéna, M., Hounkpatin, S. A., & Awanou, C. N. (2015). Comparison of degradation mechanisms in organic photovoltaic devices upon exposure to a temperate and a subequatorial climate. *Chemical Physics Letters*, 640, 201–214. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2015.09.023>
- Mamdani, E. H. (1974). Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 121, 1585–1588. <https://doi.org/10.1049/piee.1974.0328>
- Matsumoto, Y., Hirata, G., Takakura, H., Okamoto, H., & Hamakawa, Y. (1990). A new type of high efficiency with a low-cost solar cell having the structure of a  $\mu\text{-SiC}$ /polycrystalline silicon heterojunction. *Journal of Applied Physics*, 67. <https://doi.org/10.1063/1.345131>
- Mert, O., & Mutlu, S. (2008). Organik Elektronik. *Endüstri ve Otomasyon*, (145), 35–40.
- Na, S.-I., Kim, S.-S., Jo, J., & Kim, D.-Y. (2008). Efficient and Flexible ITO-Free Organic Solar Cells Using Highly Conductive Polymer Anodes. *Advanced Materials*, 20(21), 4061–4067. <https://doi.org/10.1002/adma.200800338>
- Nelson, J. (2011). Polymer: Fullerene bulk heterojunction solar cells. *Materials Today*, 14(10), 462–470. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(11\)70210-3](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(11)70210-3)
- Ngan, M. S., & Tan, C. W. (2011). Multiple Peaks Tracking Using Particle Swarm Optimization Incorporated with Artificial Neural Network. *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, 5(10), 1325–1331. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-50521-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-662-50521-2_5)
- Nielsen, T. D., Cruickshank, C., Foged, S., Thorsen, J., & Krebs, F. C. (2010). Business, market and intellectual property analysis of polymer solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94(10), 1553–1571. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.04.074>
- Nunzi, J. M. (2002). Organic photovoltaic materials and devices. *Comptes Rendus Physique*, 3(4), 523–542. [https://doi.org/10.1016/S1631-0705\(02\)01335-X](https://doi.org/10.1016/S1631-0705(02)01335-X)
- Onat, N., & Ersoz, S. (2009). Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Karşılaştırılması. *V.Yenilenebilir Enerji Kaynaklar Sempozyumu*, 50–57.
- Ort, M. İ. (2016). *Fv Sistemlerde Güneş Takip Eden Sistem Tasarımı Ve Mppt Kontrolü İle*

- Enerjinin Yüke Maksimum Olarak Aktarılması*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Özdemir, Ş. (2007). *Fotovoltaik Sistemler için Mikrodenetleyicili En Yüksek Güç Noktasını İzleyen Bir Konvertörün Gerçekleştirilmesi*. Gazi Üniversitesi.
- Petritsch, K. (2000). *Organic Solar Cell Architectures*.
- Popescu, S. (2018). An Improved Perturb and Observe Mppt Algorithm With Variable Step. *The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty*, 18(1), 1–4.  
<https://doi.org/10.1515/sbeef-2017-0014>
- Pradhan, B., Batabyal, S. K., & Pal, A. J. (2006). Functionalized carbon nanotubes in donor/acceptor-type photovoltaic devices. *Applied Physics Letters*, 88(9).  
<https://doi.org/10.1063/1.2179372>
- Rebhi, M., Benatiallah, A., & Sellam, M. (2017). Low-cost implementation of P&O MPPT based on microcontroller PIC16F877A. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(13), 3622–3630.
- Reese, M. O., Morfa, A. J., White, M. S., Kopidakis, N., Shaheen, S. E., Rumbles, G., & Ginley, D. S. (2008). Pathways for the degradation of organic photovoltaic P3HT:PCBM based devices. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92(77), 746–752.  
<https://doi.org/10.1016/j.solmat.2008.01.020>
- Rowell, M. W., Topinka, M. A., McGehee, M. D., Prall, H.-J., Dennler, G., Sariciftci, N. S., ... Gruner, G. (2006). Organic solar cells with carbon nanotube network electrodes. *APPLIED PHYSICS LETTERS*, 88. <https://doi.org/10.1063/1.2209887>
- Sace, A., & An, S. P. A. (2004). *Electrical installation handbook Volume 2 Electrical devices (SECOND)*. Retrieved from <http://www.abb.com>
- Sariciftci, N. S., Smilowitz, L., Heeger, A. J., & Wudl, F. (1992). Photoinduced electron transfer from a conducting polymer to buckminsterfullerene. In *Science* (Vol. 258).  
<https://doi.org/10.1126/science.258.5087.1474>
- Scanlon, W. (2014). 45.7% Efficiency for Concentrator Solar Cell. Retrieved from NREL website: <https://www.nrel.gov/news/press/2014/15436.html>
- Selvan, S., Nair, P., & Umayal. (2016). A review on photo voltaic MPPT algorithms. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 6(2), 567–582.  
<https://doi.org/10.11591/ijece.v6i2.9204>
- Seo, J. H., Gutacker, A., Sun, Y., Wu, H., Huang, F., Cao, Y., ... Bazan, G. C. (2011). Improved high-efficiency organic solar cells via incorporation of a conjugated polyelectrolyte interlayer. *Journal of the American Chemical Society*, 133(22), 8416–8419.  
<https://doi.org/10.1021/ja2037673>
- Shrotriya, V., Li, G., Yao, Y., Chu, C.-W., & Yang, Y. (2006). Transition metal oxides as the

- buffer layer for polymer photovoltaic cells. *APPLIED PHYSICS LETTERS*, 88.  
<https://doi.org/10.1063/1.2174093>
- Singh, O. P., Singh, S. K., & Gaur, A. (1997). Performance of amorphous silicon solar cell module and solar lantern. *Renewable Energy*, 11(4), 421–426.  
[https://doi.org/10.1016/s0960-1481\(97\)00010-4](https://doi.org/10.1016/s0960-1481(97)00010-4)
- Steim, R., Choulis, S. A., Schilinsky, P., & Brabec, C. J. (2008). Interface modification for highly efficient organic photovoltaics. *APL: Organic Electronics and Photonics*, 1(3).  
<https://doi.org/10.1063/1.2885724>
- Steven Keeping. (2014). Voltage- and Current-Mode Control for PWM Signal Generation in DC-to-DC Switching Regulators. Retrieved from Electronic Products website:  
<https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2014/oct/voltage-and-current-mode-control-for-pwm-signal-generation-in-dc-to-dc-switching-regulators>
- Su, Y. W., Lan, S. C., & Wei, K. H. (2012). Organic photovoltaics. *Materials Today*, 15(12), 554–562. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(13\)70013-0](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(13)70013-0)
- Takahashi, K., Kuraya, N., Yamaguchi, T., Komura, T., & Murata, K. (2000). Three-layer organic solar cell with high-power conversion efficiency of 3.5%. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 61(4), 403–416. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(99\)00163-4](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(99)00163-4)
- Tanenbaum, D., & Li, S. (2016). Physics Professor David Tanenbaum Works to Develop Less Expensive Solar Cell Technology. *Pomona College*.
- Tang, C. W. (1986). Two-layer organic photovoltaic cell. *Applied Physics Letters*, 48(183).  
<https://doi.org/10.1063/1.96937>
- Tolentino, L. K. S., Abacco, D. F. P., & Siquihod, M. J. M. (2019). Efficiency Improvement Of Commercially Available MPPT Controllers Using Boost Converter. *29th ASEMEP National Technical Symposium*, (June).
- Tourqui, D. E., Betka, A., Smaili, A., & Allaoui, T. (2019). Improved Performance of a Photovoltaic Panel by MPPT Algorithms. In *Recent Developments in Photovoltaic Materials and Devices* (pp. 66–82). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/57353>
- Turkovic, V., Engmann, S., Egbe, D. A. M., Himmerlich, M., Krischok, S., Gobsch, G., & Hoppe, H. (2014). Multiple stress degradation analysis of the active layer in organic photovoltaics. *Solar Energy Materials and Solar Cells*.  
<https://doi.org/10.1016/j.solmat.2013.10.016>
- Vijay, P., & Sumaria, V. (2014). Advancement in P3HT PCBM solar cells, the most efficient polymer photovoltaic cell. *10th Annual Session of Students' Chemical Engineering Congress*.

- White, M. S., Olson, D. C., Shaheen, S. E., Kopidakis, N., & Ginley, D. S. (2006). Inverted bulk-heterojunction organic photovoltaic device using a solution-derived ZnO underlayer. *Applied Physics Letters*, 89(14). <https://doi.org/10.1063/1.2359579>
- Xu, X., Fukuda, K., Karki, A., Park, S., Kimura, H., Jinno, H., ... Someya, T. (2018). Thermally stable, highly efficient, ultraflexible organic photovoltaics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(18), 4589–4594. <https://doi.org/10.1073/pnas.1801187115>
- Yazmacıyan, A. (2013). *Yarıiletken Polimerler Kullanılarak Çift Eklemlı Organik Güneş Pillerinin Hazırlanması*.
- YEGM. (2012). YEGM.
- Yoshino, K., Tada, K., Fujii, A., Conwell, E. M., & Zakhidov, A. A. (1997). Novel photovoltaic devices based on donor-acceptor molecular and conducting polymer systems. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 44(8), 1315–1324. <https://doi.org/10.1109/16.605474>
- Zafer, C. (2006). *Organik Boya Esaslı Nanokristal Yapılı İnce Film Güneş Pili Üretimi*. Ege Üniversitesi.
- Zhang, C., Tong, S. W., Jiang, C., Kang, E. T., Chan, D. S. H., & Zhu, C. (2008). Efficient multilayer organic solar cells using the optical interference peak. *APL: Organic Electronics and Photonics*, 1(8). <https://doi.org/10.1063/1.2962986>

## ÖZGEÇMİŞ

### **KİŞİSEL BİLGİLER**

ADI VE SOYADI: GÖZDE KUŞTEPE

DOĞUM YERİ VE TARİHİ: 17.06.1995

E-MAIL: gozdekstpe@gmail.com

### **EĞİTİM DURUMU**

Lisans: İstanbul Arel Üniversitesi

Yüksek Lisans: İstanbul Arel Üniversitesi

### **YABANCI DİL**

İngilizce: İleri seviye

Almanca: Başlangıç seviyesi

Portekizce: Başlangıç seviyesi