

## Bölüm 9

# GÜNEŞ ENERJİSİ VE GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ FOTOVOLTAİK (PV) PİLLER

Mehmet ÖZATA<sup>1</sup>  
Tamer ALTINBAŞ<sup>2</sup>

### 1. GİRİŞ

Son yıllarda enerji, dünyada en önemli ve en çok ihtiyaç duyulan bir konuma gelmiştir. Günlük hayatımızda her aşamada kullanılan enerji; yenilenebilir enerji kaynakları başta olmak üzere, kimyasal, nükleer, mekanik (potansiyel ve kinetik), termal (ısı), jeotermal, hidrolik, güneş, rüzgâr, elektrik enerjisi gibi, var olan bir enerjinin elektrik enerjisine dönüşümü ile değişik şekillerde bulunabilmekte, üretilmektedir. Enerji uygun yöntemlerle birbirine dönüştürülebilmektedir. Üretim şekline göre enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır. Enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynakları şeklinde inceleyebiliriz.

Yenilenemez kaynaklar, yakın bir gelecekte tükenebileceği öngörülmekte olup, enerji kaynakları fosil kaynaklılar ve çekirdek kaynaklılar olmak üzere iki farklı şekilde değerlendirilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise; oldukça uzun sayılabilen bir gelecekte tükenmeden kalabilecek ve tekrar kendisini yenileyebilen kaynakları ifade etmektedir. Yenilenemez enerji kaynaklarının kullanımının ciddi bir ölçüde artmasıyla birlikte bu enerji kaynaklarının hızla azalması bütün dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının önemine dikkat çekerek daha çok ön plana çıkarmaktadır. Ayrıca üretim yapılan yenilenemez enerji kaynakları doğada onarılması imkânsız zararlara yol açtığı ve karbon emisyonunu artırdığı bilinmektedir. Temiz hava, temiz enerji ve kirliliğe kesin çözüm rüzgâr, güneş, jeotermal, gel-git dalga enerjisi biyogaz vb. gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını en yaygın olarak kullanılanlarıdır.

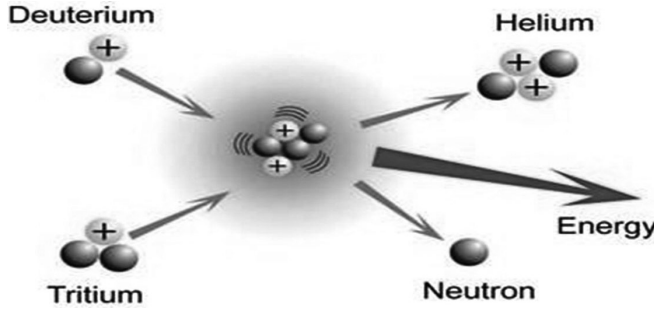
<sup>1</sup> Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Y. Lisans Öğrencisi, mozata\_46@hotmail.com

<sup>2</sup> Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Y. Lisans Öğrencisi, tamer.altinbas@gmail.com

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en fazla potansiyele sahip olan güneş enerjisinden üretilen enerjidir. Yeryüzündeki ortalama güneş enerjisi kaynağı 36 MilyarWatt'tır ( $3,6 \times 10^6$  TW), rüzgâr enerjisi kaynağı potansiyeli 72 TW, jeotermal enerji kaynağı potansiyeli 9,7 TW ve insan gücü kullanımı enerji potansiyeli 15 TW olarak saptanmıştır [1, 2].

## 2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş sistemi evrende reaktör olarak kesintisiz güç kaynağıdır. Bu güç kaynağı füzyon enerjisini açığa çıkarmaktadır. Füzyon tepkimelerinin güneş üzerinde her zaman anlık olarak doğal gerçekleşmektedir. Güneş üzerinden yayılan ışık ve ısı, hidrojen çekirdeklerinden birleşerek helyum elementine dönüşmesi ve bu dönüşüm sırasında kütle kaybı yaşanmaktadır. Bu kayıp kütleinin Enerjisini ortaya çıkarması ile meydana gelmektedir.



Şekil 1: Güneş Sistemindeki Füzyon Enerjisi Tepkimesi [1]

Güneşte 1 saniye içinde oluşan  $10^{38}$  tane füzyon tepkime sonucu  $3.86 \times 10^{26}$  J' luk enerji ortaya çıkar. Bu tepkime bir saniye içerisinde çok büyük bir enerji miktarı olan, 564 milyonton/saniye H (Hidrojen), 560 milyonton/saniye He (Helyum) dönüştüğü esnada açıkta kalan 4 milyonton/saniye Hidrojenin enerjisi açığa çıkar. Güneşten yayılan enerji külesinden sadece 2.2 milyarda bir tanesi Dünya'ya gelmektedir. Gezegimizin temel olan enerji kaynağını oluşturur [6, 7].



Şekil 2: Dünyadan Güneşin Görünüşü ve Güneş Işıklarının Görünümü [2]

Güneş ışığını atmosferimiz ile etkileşime girmesinden dolayı yerküreye gelen toplam güneş enerjisi yansıma şiddeti, hava küremiz dışına gelen şiddetinin yarısından fazladır. Yerküremize ulaşan toplam güneş enerji ışığı yansıması, doğrudan yansıyan ışık ve yaygın ışık olarak iki farklı şekildedir [2].



Şekil 3: Güneşten Dünyaya Gelen Güneş Işıklarını Yansıması [6, 7]

## Güneş Işıklarının Dalga Boyları

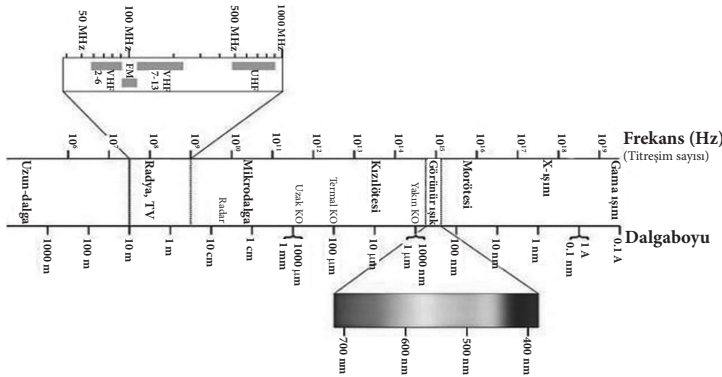
Güneşten yansıyan ışıkların enerji dalga boyları 0.1-3  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir [7, 8].

Güneşten yansıyan ışıklar;

%9'u mor ötesi (ultraviyole) bölgesinde,

% 45'i görünür ışık (visible) bölgede, geri kalan

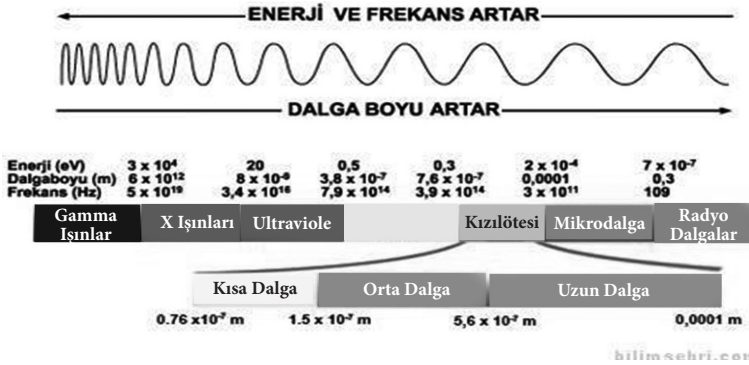
%46'sı kırmızı altı (infrared) bölgede yer almaktadır.



Şekil 4: Güneş Enerjisi Işınlarnın Dağılımı [7, 8]

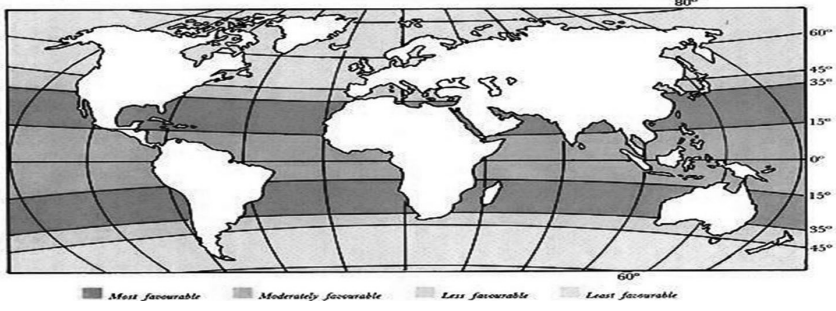
### 2.3 Güneş Işınım Dalga Boyları ve Dünyada Işınım Dağılımı

Işık, insan gözünün hassaslığına dayanan ve elektromanyetik spektrum içerisinde yaklaşık olarak 380-720 nm dalga boyları arasında görünür ışınım enerjisine denir. Işınımın enerjisi dalga boyu arttıkça frekansı ve enerjisi azalmaktadır [7, 8].



Şekil 5: Güneş Işığı Dalga Boyları [7, 8]

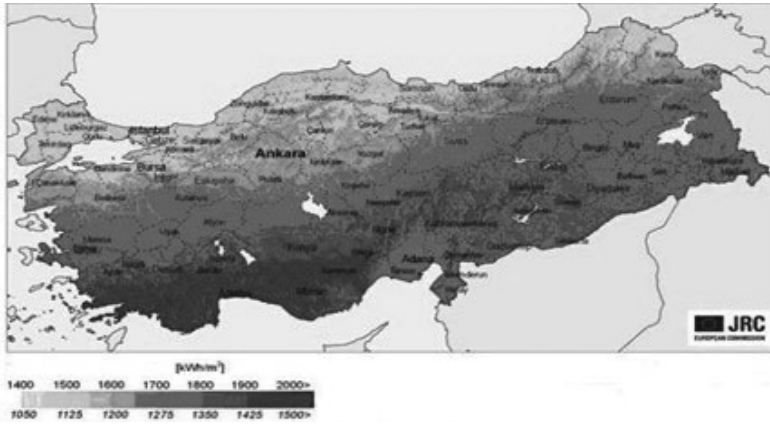
Dünyaya gelen güneş enerji ışınlarının dağılım şekli homojen değildir. Geliş açısı ve zaman bakımından değişkenlik gösterir. Şekil 6' de verilen Dünya haritasında kırmızı bölge 3000 saat/yıl güneşlenme süresi olduğunu, turuncu bölgede ise 2500 saat/yıl güneşlenme süresinin olduğunu belirtmektedir. [6, 9]



Şekil 6: Dünyada Güneş Işınımı Dağılımı [6, 9]

### 2.4 Güneş Işınımlarının Türkiye’de Dağılımı

Güney Avrupa ülkeleri ile Türkiye’nin güney bölgeleri fotovoltaik ısı sistemler açısından çok daha verimlidir. Güneş enerjisi ısı sistemleri için daha çok güney bölgeleri önerilir.



Şekil 7: Türkiye Güneşlilik Haritası [5]

## 3. GÜNEŞ IŞINIM ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ

Güneş ışınım enerjisinden termal ve fotovoltaik yöntemlerle elektrik üretimi yapılmaktadır.



Şekil - 3 Güneş Işınım Enerjisinden Elektrik Üretimi [1]

### 3.1 Yoğunlaştırılmış Güneş Işınımı Enerji Santrali nedir?

Güneş ışınım enerjisi üretiminde kullanılan birçok sistem ve teknolojiden biri de yoğunlaştırılmış güneş ışınım enerji ve güç santralidir (Concentrated Solar Power). Bu tip enerji santrallerin çalışma mantığı temel ilkelere dayanmaktadır. Güneşten gelen ışınlar özel olarak imal edilmiş kompozit ve ayna karakterli düzlemsel kolektöre yansıtılır. Burada meydana gelen büyük ısılar sisteme yerleştirilen borulardaki sıvı veya suyu yüksek sıcaklıklara ulaşmasını sağlar. Yüksek ısının sonucunda kızgın buhar elde edilir, bu buhar, buhar türbinlerine gönderilerek mekanik enerjiye, daha sonra buhar türbinine bağlı jeneratörlere gönderilerek elektrik üretilmektedir. Bu şekilde elektrik üretiminin çok çeşitli sistemleri vardır. Türkiye’de kurulan tesisin tipi ise güneş enerji kulesi şeklindedir (Güç kulesi) [1]

### 3.2 Güneş Enerjisi Kulesi (Güç Kulesi) Nasıl Çalışır?

Güç kulesi yâda güneş enerji kulesi birbirinden farklı açılar ile güneş ışığını bir noktaya (Güç Kulesine) yansıtmasını, aynalar vasıtası ile güneş ışınlarını yüksek bir kulenin tepesindeki tek bir noktaya odaklanır. Kulenin tepesindeki alıcıya bağlı tüplerin yoğunlaştırılmış güneş ışınlarını toplayarak içerideki sıvıyı büyük bir sıcaklığa ulaşmasını sağlar. Güneş ışığını tek bir nokta odaklayan prototip santrallerin güneşin yoğunluğunu yaklaşık olarak 1000 kat artırır. Bu da daha fazla ısı edilmesini ve daha fazla elektrik üretilmesini sağlar [1].

### 3.3 Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik Sistemler

Yoğunlaştırılmış gün ışığını fotovoltaik yüzeylere düşürülmesi ile üretim sağlamayı amaçlar. Güneş yoğunlaştırıcı sistemin tüm çeşitleri bu sistemde kullanı-

labilmektedir. Yanı sıra bu sisteme ek olarak güneşi gün içerisinde takip eden bir güneş takip sistem mekanizması da yerleştirilerek verimlilik artırılmaktadır. [1]

### 3.4 Fotovoltaik Piller (Güneş Pilleri)

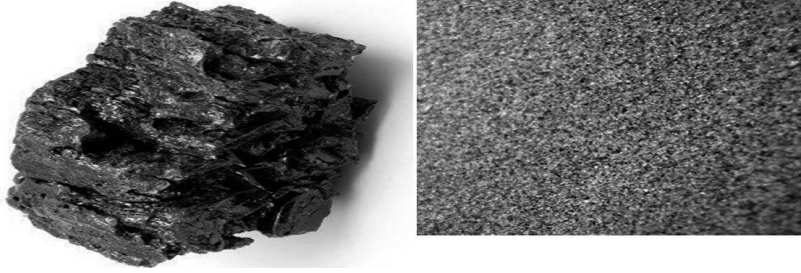
Fotovoltaik pilleri, yenilenebilir enerji teknolojilerinin arasında en çok gelişen ve en büyük uygulama alanına sahiptir. Yenilebilir enerji kaynaklarının en başında gelmektedir. Fotovoltaik piller sınırsız enerji kaynağından dolayı gelecekte çok fazla kullanım alanına sahip olacaktır. Bilindiği üzere dünyanın büyük çevre felaketleri ile karşı karşıya gelmesi sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi zamanla daha da artmaktadır. Bu yüzden de elektriğin güneşten üretilip depolanabilen sistemlere ihtiyaç bulunmaktadır. Doğrudan güneş elektrik üretmek için “Fotovoltaik Pil” sistemleri önerilir [1, 2, 3].

ÜLKELERE GÖRE DÜNYADA GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ KURULU GÜCÜ LİSTESİ			
	Ülke	Güncelleme	Kurulu Güç (MW)
1	Çin	Aralık 2020	254.355
2	Amerika Birleşik Devletleri	Aralık 2020	75.572
3	Japonya	Aralık 2020	67.000
4	Almanya	Aralık 2020	57.783
5	Hindistan	Aralık 2020	39.211
6	İtalya	Aralık 2020	21.600
7	Avustralya	Aralık 2020	17.627
8	Vietnam	Aralık 2020	16.504
9	Güney Kore	Aralık 2020	14.575
10	İspanya	Aralık 2020	14.089
11	Birleşik Krallık	Aralık 2020	13.563
12	Fransa	Aralık 2020	11.733
13	Hollanda	Aralık 2020	10.213
14	Brezilya	Aralık 2020	
15	Türkiye	Mayıs 2021	7.170

Şekil 8: Dünya genelinde 2020 yılı Güneş Işınım Enerjisinden Elektrik üretimi kurulu güçlerin kapasite tablosu [3]

### 3.5 Kristal silikon PV hücreler

Silisyum, yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir. Fotovoltaik bir hücre yapısında en çok kullanılan, materyallerin başında gelmektedir. Oksijen elementinden sonra yerkürede en fazla bulunan element silisyumun elementidir. Doğada en yaygın bulunan biçimi kuartz ve kum şeklindedir ( $\text{SiO}_2$ ) [6, 7].



Şekil 9: Kuartz ve Kum [6, 7]

### 3.6 Monokristal Silikon Fotovoltaik hücreler

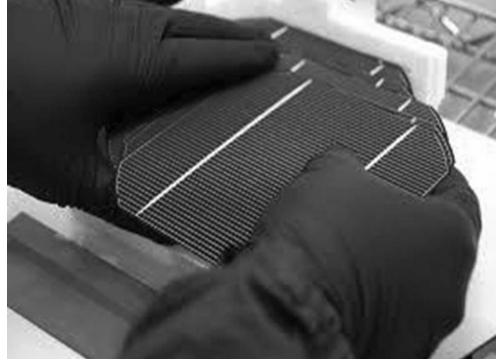
Önce büyütülerek daha sonra 200 mikron kalınlığa indirgenerek ince kesitler halinde dilimlenerek Monokristal Silisyum bloklardan elde edilen güneş pillerinde laboratuvar koşullarında %26, ticari üretilen ürünlerin ise %18 üzerinde verim elde edildiği görülmüştür [6].



Şekil 10: Monokristal Silikon yapısı [6, 7]

Solar hücreler, wafer; kristal silikon dilimlerden meydana gelir. Ne kadar ince olursa o kadar az malzeme tüketimi olacaktır ve maliyet de bir o kadar azalacaktır.

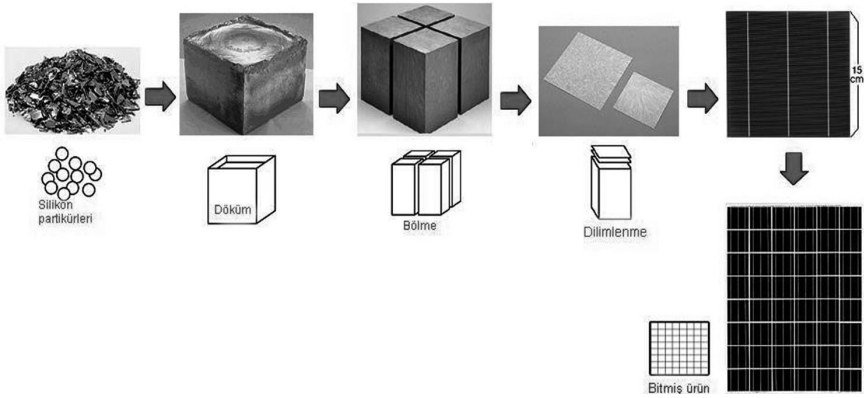




Şekil 11: Monokristal Hücre yapısı [8]

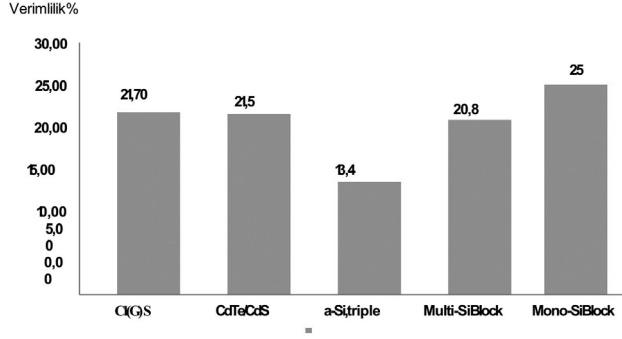
### 3.7 Multi-kristal (Polikristal) PV hücreler (mc-Si)

Dökme silisyum blokların dilimler halinde elde edilen, Polikristal silisyumdan üretilmiş güneş pilli daha ucuza üretilerek, verimleri de daha az olmaktadır. Verimleri, laboratuvar koşullarında %21, ticari üretilenlerde ise %14 civarındır. [9]



Şekil 12: Polikristal Hücre ve Hücre Yapısı [8]

## Fotovoltaik (PV) Çeşitleri

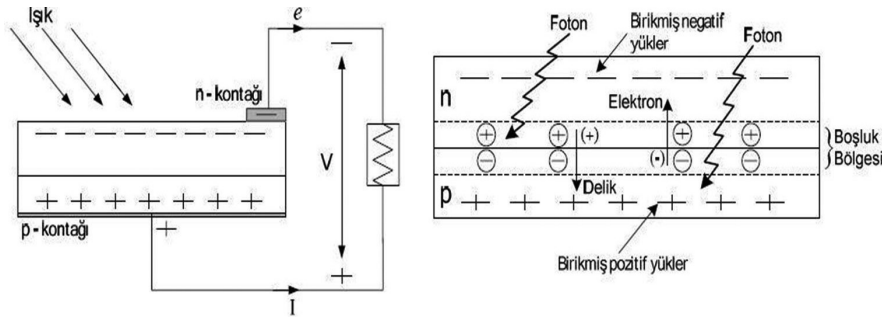


Şekil 13: Fotovoltaik Hücre Verimlilik Karşılaştırması [9]

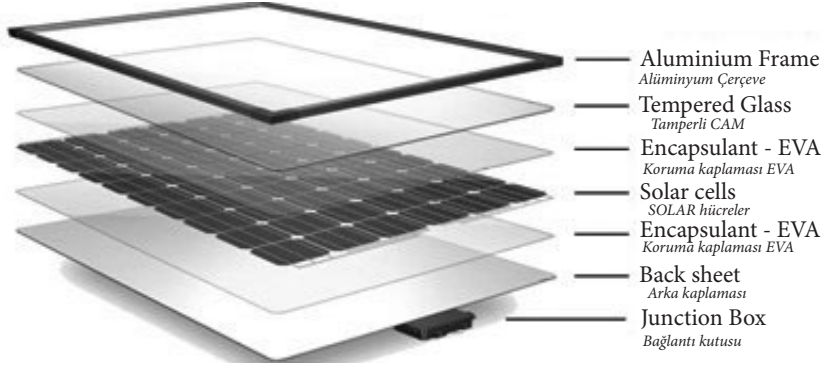
### 4.1 FOTOVOLTAİK (PV) HÜCRENİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bir Fotovoltaik hücrenin çalışması klasik olarak p-n jonksiyonlu diyot gibi benzer yapıdadır. Işık jonksiyon tarafından absorbe edilerek, absorbe edilen foton güneş enerjisi malzemenin elektron yapısına aktarır ve jonksiyonun çevresinde oluşan boşluk bölgesinde ayrılmış yükler, taşıyıcıların oluşmasını sağlar.

Jonksiyon çevresindeki elektrik yükü taşıyıcıları potansiyel bir yük oluşturur ve ayrı bir devre üzerinde akım akmasına neden olur.

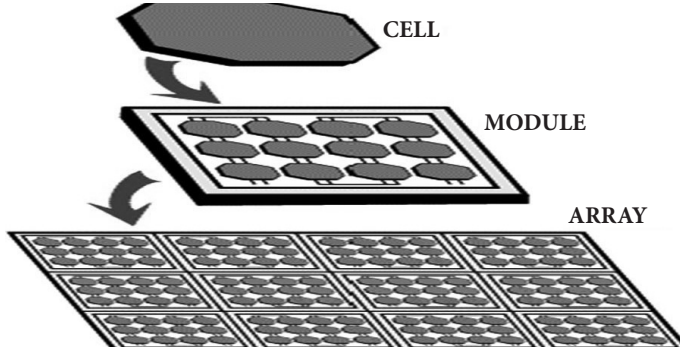


Şekil 14: PV Hücrenin Çalışma Prensibi ve Şeması [8, 9]



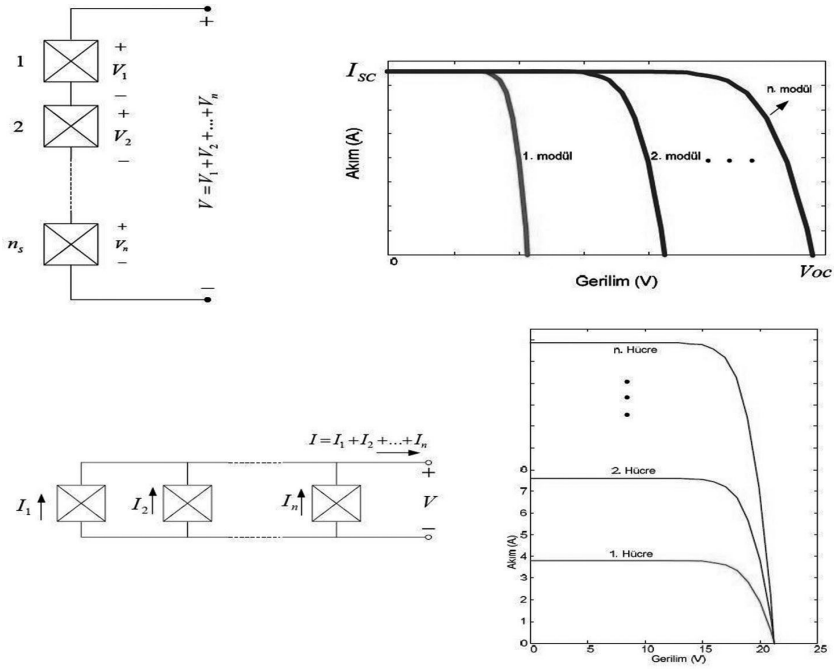
Şekil 15: PV Panel Yapısı ve Görsel Şekli [9]

Fotovoltaik hücre 0,25-0,30 m<sup>2</sup> kare bir alana sahip, 1W güce yakın bir güç üretir. Daha büyük güçler için birçok Fotovoltaik hücrelerin seri ve paralel bağlanarak, büyük bir alana sahip bir parça elde edilmesiyle istenilen güç elde edilir. Seri-paralel parça bağlantıları ile istenilen güç seviyesi elde edilir.



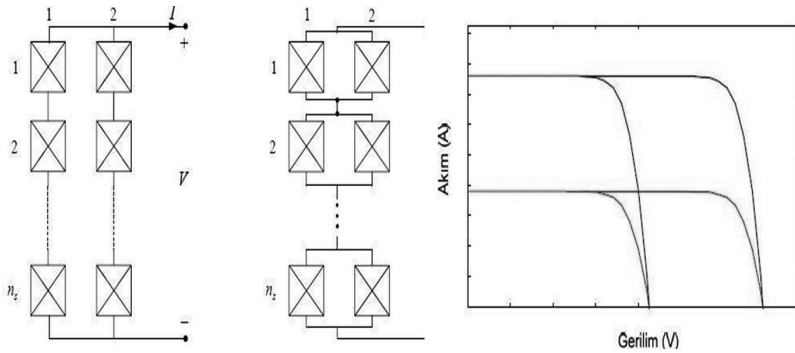
Şekil 16: PV Panelin Oluşumu [8, 9]

Hücrelerin seri bağlanmasıyla gerilimi artırılmış olur. Hücrelerin paralel bağlanmasıyla da modülün akım miktarı ayarlanmaktadır.



Şekil 17: PV Panel Seri ve Paralel Bağlanma Şekilleri [9]

Modüllerin hem seri hemde paralel bağlanması ile de arzu edilen güç seviyesi elde edilir.



Şekil 18: PV Panel Seri ve Paralel Bağlanması [9]

## 4.2 Fotovoltaik Pillerin Elektrik Üretimini Etkileyen Parametreler [10]

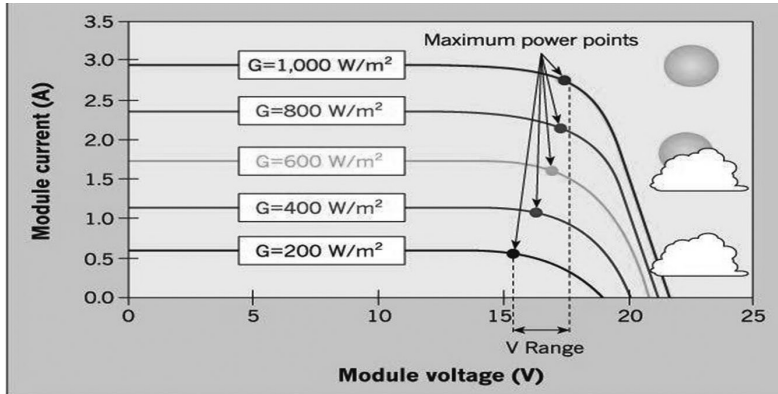
### 1. Güneş Işıma Faktörü

#### a) Modülün Düzlem Açısı

- b) Yansıma Kaybı
- c) Gölge-Gölgelenme Kaybı
- 2. Nem ve Sıcaklık
- 3. Rüzgâr Hızı ve Rüzgâr yönü
- 4. Güneş panel yüzeyi temizliği, Havanın Kirliliği
- 5. PV verimlilik oranı ve PV Panel yapısı
- 6. Sistemsel Kayıplar
  - a) Uyumsuzluk kayıpları
  - b) İnvörtör-Kablo kayıpları

### 4.3 Güneş Işıma Faktörü

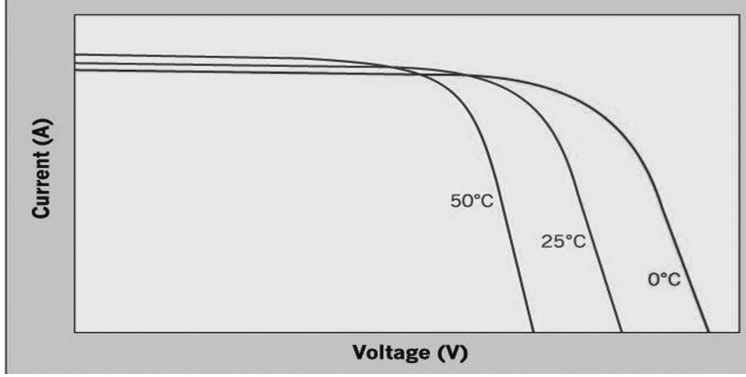
Fotovoltaik sistemlerde güneş radyasyonu güç üretimi için en büyük etkiye sahiptir. Fotovoltaik panellerde üretilen akım Güneş ışısı ile doğrudan etkilidir. Güneş ışısının önemli oranda değişimi, akımı da önemli derecede değiştirmesine rağmen gerilimde çok bir değişiklik gözlenmez ve neredeyse sabit gerilim olarak seyrederek.



Şekil 19: Güneş Işıma Faktörü Diyagramı [9]

### 4.4 Sıcaklık ve Nem

Kristal silikon hücreli fotovoltaik ürünlerde her 1°C sıcaklık artışında, elde edilen gücün %0,5 miktarı azaltmasına sebep olmaktadır. Amorphous silikon hücrelerinde ise 1 °C artış, gücü %0,2 kadar azaltmakta olduğu bilinmektedir [10].



Şekil 20: Fotovoltaik piller için tipik bir I-V eğrisi görseli [9]

#### 4.5 PV Verimlilik Oranı ve PV Panel Yapısı

Deniz seviyesinde, güneşli bir havada güneş ışınımı  $1000\text{W}/\text{m}^2$  civarında olup, Bölgeye bağlı olarak  $1\text{m}^2$  ye düşen enerjinin miktarı yılda 800-2600 kWh arasında değişkenlik göstermektedir. Bu enerji PV pilin yapısına bağlı %5-%30 arasında bir verimlilikle elektrik enerjisine dönüştürülmektedir [1, 2, 4, 6, 10].

#### 4.6 Güneş Enerjisi Avantajları/Faydaları

- Güneş tükenmeyen enerji kaynakları arasında ve Yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bu yüzden güneş enerjisinin kullanımı için herhangi bir yakıtı ihtiyaç duyulmaz.
- Güneşten elektrik üreten tesislerde amortisman süreleri büyüklüklerine göre değişmekte olup yaklaşık 5-6 yıl arasındadır. Bu durum diğer enerji üretim yöntemlerinden daha çok ön plana çıkmasını sağlamaktadır.
- Güneş enerji santrallerinin bakımları çok daha az olduğundan diğer enerji tesislerine göre çok daha kolaydır. Bakım ve işletme maliyetleri hareketli parçaları olmadığından daha düşüktür.
- Temiz bir enerji türü olduğundan; çevreyi kirletmez, duman, gaz, karbon monoksit, kükürt ve radyasyon gibi zararlı etkileri yoktur.

#### 4.7 Güneş Enerjisinin Dezavantajları/Zararları

- Güneş enerjisinden elektrik üretmek için kurulan, güneş enerji santrallerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması dezavantajlarındandır.
- Küçük ölçekli ve akü destekli güneş enerji üretim sistemlerinde kullanılan akülerin ömürleri kısa veya dayanıksız olduğundan, çok çabuk akü sistemi

bozulabilmektedir.

- Güneş kuleleri dediğimiz yapılarda elektrik üretim yöntemi, özellikle göç eden kuşlar için büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bu PV sistemler için de geçerli bir durumdur.
- Güneş kulelerinde, aynalarının güneş ışınlarını büyük bir ısı ile güneş kulelerine yansıtması ile birçok kuş ve hayvan telef olmaktadır. Güneş kuleleri kurulurken göçmen kuşların, göç güzergâhından uzakta olmalı ve kurulmalıdır. Aksi halde bu hayvanlar için büyük bir risk oluşturmaktadır. Bu PV sistemler için de geçerli bir durumdur.
- Enerji ihtiyacının çok olduğu kış aylarında (Bölgesel olarak değişiklik gösterebilir) gündüzleri güneş ışınımı az olacağından ve ayrıca ışınım geceleri yok denecek kadar az olmasından bir dezavantajdır.

#### **4.8. PV Hücrelerin Kullanım Alanları**

4.8.1 Tarımda sulama, ısıtma, soğutma

4.8.2 Trafik işaret lambaları

4.8.3 Cep telefonları şarj edilmesi

4.8.4 Sokak - Bahçe aydınlatmaları

4.8.5 Araçlarda

4.8.6 Hesap makineleri ve saatlerde

4.8.7 Yapay uydu ve uzay araçlarında



Şekil 21: PV Pillerin Tarımda Kullanımı [2, 10]

#### 4.8.1 Tarımda sulama, ısıtma, soğutma

Tarımsal üretimde enerji ihtiyacının ve teknolojik cihaz kullanımının artmasıyla her geçen yıl biraz daha enerji ihtiyacı artmaktadır. Otomatik sistemlerin devreye alınması, akıllı teknolojilerin geliştirilmesinde birçok getirisi olsa da, enerji kaynaklarının kullanımı artmıştır. Bu büyük bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin, elektrik enerjisi ile otomatik tarımsal sulama yapılması, her ay çiftçilerin yüksek faturalar ödemesine neden olmaktadır. Benzer bir şekilde örtü altı yetiştiriciliğinde, serayı ısıtan çiftçilerin elektrik giderini karşılayabilmeleri için alternatifler oluşturmaktadır. Çevre dostu ve uzun vadede tasarruflu enerji sağladığından güneş enerjisi, verimli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Tarımda güneş enerjisi kullanımı, düzenli elektrik maliyeti olmaksızın sulama yapabilmeyi, seraların ısıtılabilmesini ve soğutma deposu kullanmaya imkan sağlamaktadır [2, 3, 10].

#### KAYNAKLAR

1. Kıncay, O. , Güneş Enerjisi, <http://www.solar-academy.com/menus/GunesEnerjisi.021720.pdf> Erişim Tarihi: 01.05.2022
2. Kamil B. Varınca ve M. Talha Gönüllü, Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, UGHEK’2006: I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi 21-23 Haziran 2006, ESOGÜ, Eskişehir.
3. Anonim (2022), Enerji ve tabii kaynaklar bakanlığı, Güneş Enerjisi, web: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>, Erişim Tarihi: 19.05.2022
4. Şahin A. D., İstanbul Teknik Üniversitesi Güneş Enerjisi Ölçümleri ve Fizibilite Çalışmaları
5. Anonim, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA). Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara web: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> Erişim Tarihi: 19.05.2022
6. G. Wirth, G. T. Weigl, J. Weizenbeck, M. Zehner, M. SchroedterHomscheidt, G. Becker. Mapping of snow cover periods for yield assessment and dimensioning of PV systems. “24. European Photovoltaic Solar Energy Conference. Hamburg, Germany, 2009.
7. M. Piliouline, J. Carretero, M. Sidrachde-Cardona, D. Montiel, P. Sánchez-Friera. “Comparative analysis of the dust losses in photovoltaic modules with different cover glasses”, Proceedings of 23rd European Solar Energy Conference, 2008.
8. R. Mayfield, The Highs and Lows of Photovoltaic System Calculations, Renewable Energy Consultants Electrical Construction and Maintenance, 2012.
9. J. K. Kaldellis, M. Kapsali, K. A. Kavadias, Temperature and wind speed impact on the efficiency of PV installations. Experience obtained from outdoor measurements in Greece, 2014.
10. Anonim, Güneş Pilleri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, 1992.