



GÜNEŞ PİLLERİ (FOTOVOLTAİK PİLLER)

I. BÖLÜM

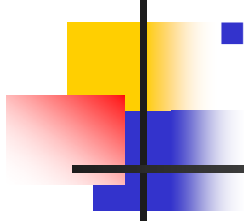


Prof. Dr. Olcay KINCAY
Y. Doç. Dr. Nur BEKİROĞLU
Y. Doç. Dr. Zehra YUMURTACI

İçerik

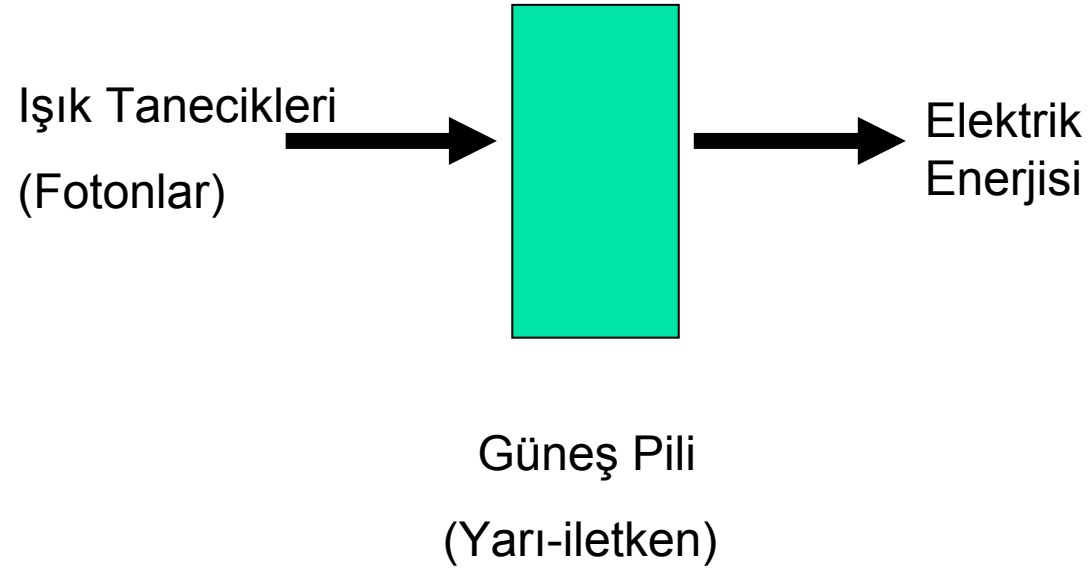
- Genel bilgi ve çalışma ilkesi
- Güneş pili tipleri
- Güneş pilinin elektriksel modeli
- Güneş pilinin karakteristikleri
- Güneş pili sistemleri ve karşılaştırmalı analizi
- Maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT)
- Güneş pili sistemlerinin maliyetini etkileyen faktörler
- Güneş pili teknolojisinin önemi
- Sonuçlar

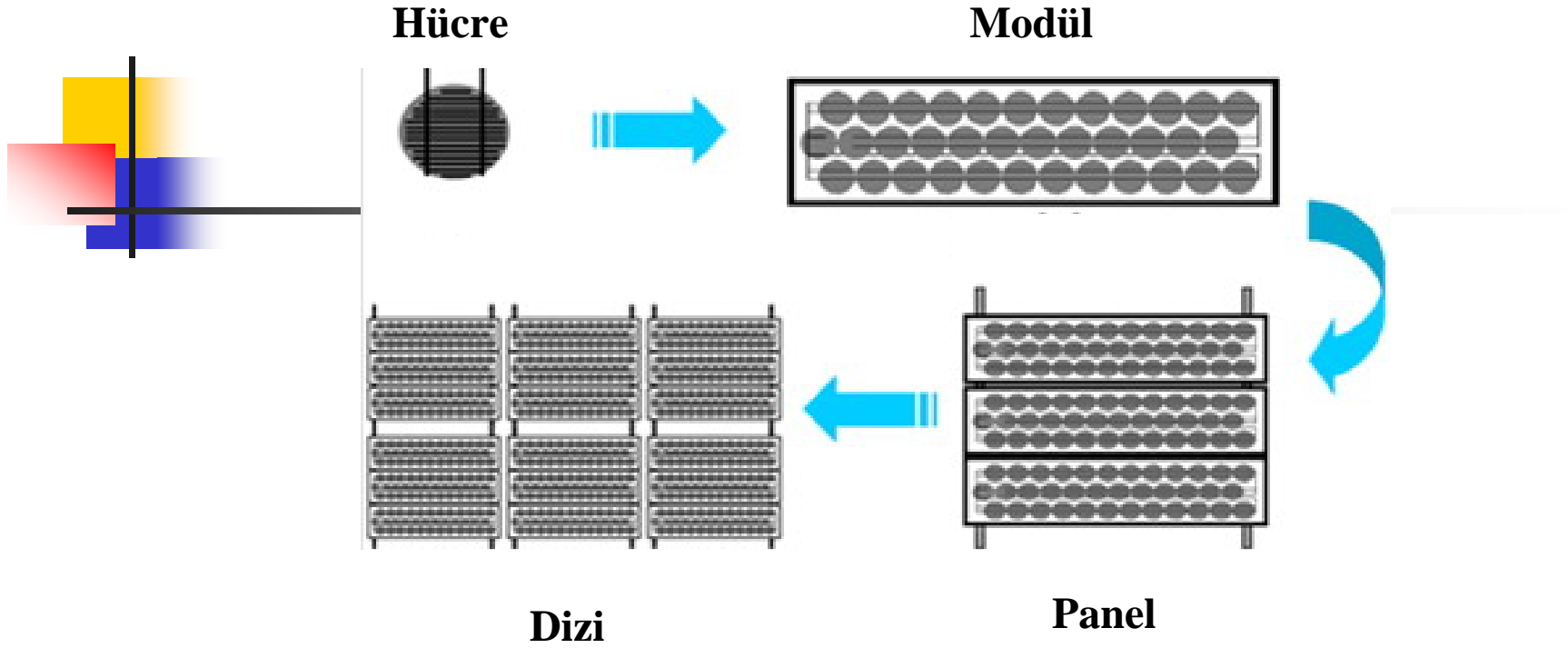




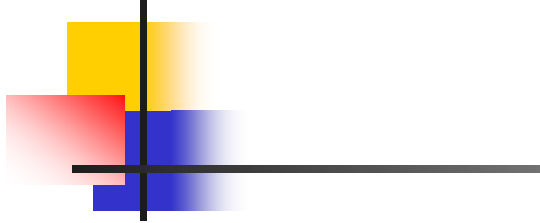
- Güneş enerjisinden ısı, ışık ve elektrik enerjisi üretiminde faydalanılmaktadır.
- Yüzeylerine gelen güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere “**fotovoltaik piller**” veya “**güneş pilleri**” adı verilir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire biçiminde olup, alanları 100 cm² civarında, kalınlıkları 0,2 veya 0,4 mm civarındadır.
- Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

Çalışma İlkesi





Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç W'tan MW'lara kadar sistem oluşturulur.



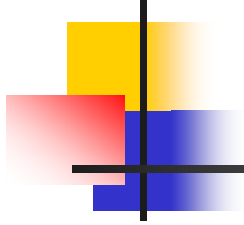
Hücre
(0.5 V)
(0.3 - 2 W)



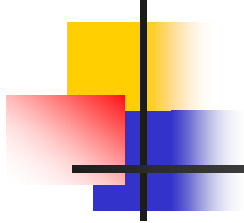
Modül
(10 - 300 W)



Dizi
(> 5 MW)



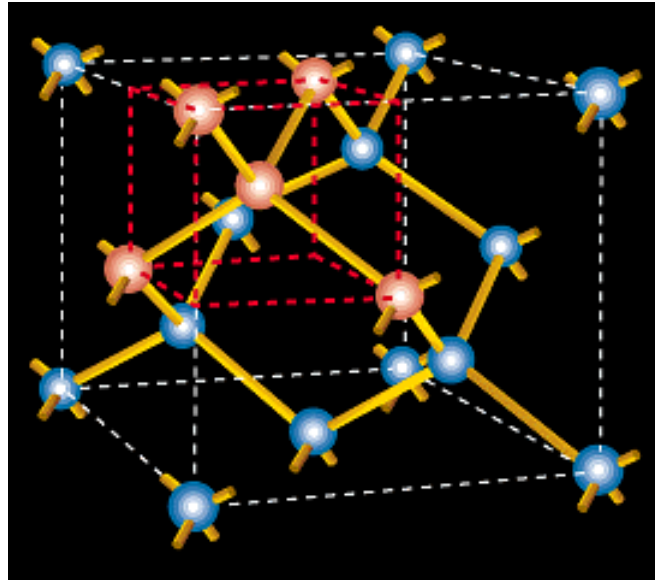
- Yapıları basitçe bir **p** ve **n** eklemden oluşan diyotlara benzer. Fotoelektrik olay prensibine dayanarak pilden fotonlar tarafından kopartılan elektronlar eklemden harekete geçer ve bir elektrik akımı oluşturur.
- Güneş pili yapımında en çok silisyum(1.1eV), galyum arsenit (GaAs – 1.43eV), kadmiyum tellür (CdTe) gibi anorganik yarı iletken malzemeler kullanılır.



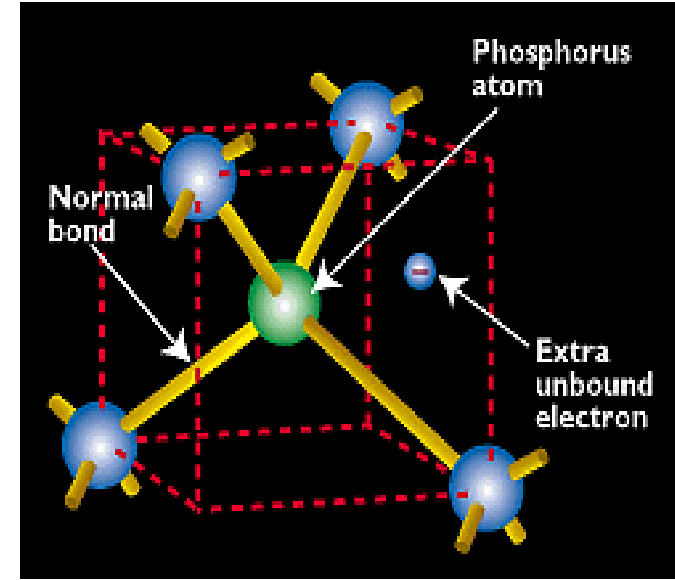
- Yarı-iletken malzemelerin güneş pili olarak kullanılabilirmeleri için **n** ya da **p** tipi katkılanmaları gereklidir.
- Katkılanma, saf yarı-iletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır.
- Elde edilen yarı-iletkenin **n** ya da **p** tipi olması katkı maddesine bağlıdır.



- En yaygın güneş pili maddesi olarak kullanılan silisyumdan **n** tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir.



Silikon Molekül

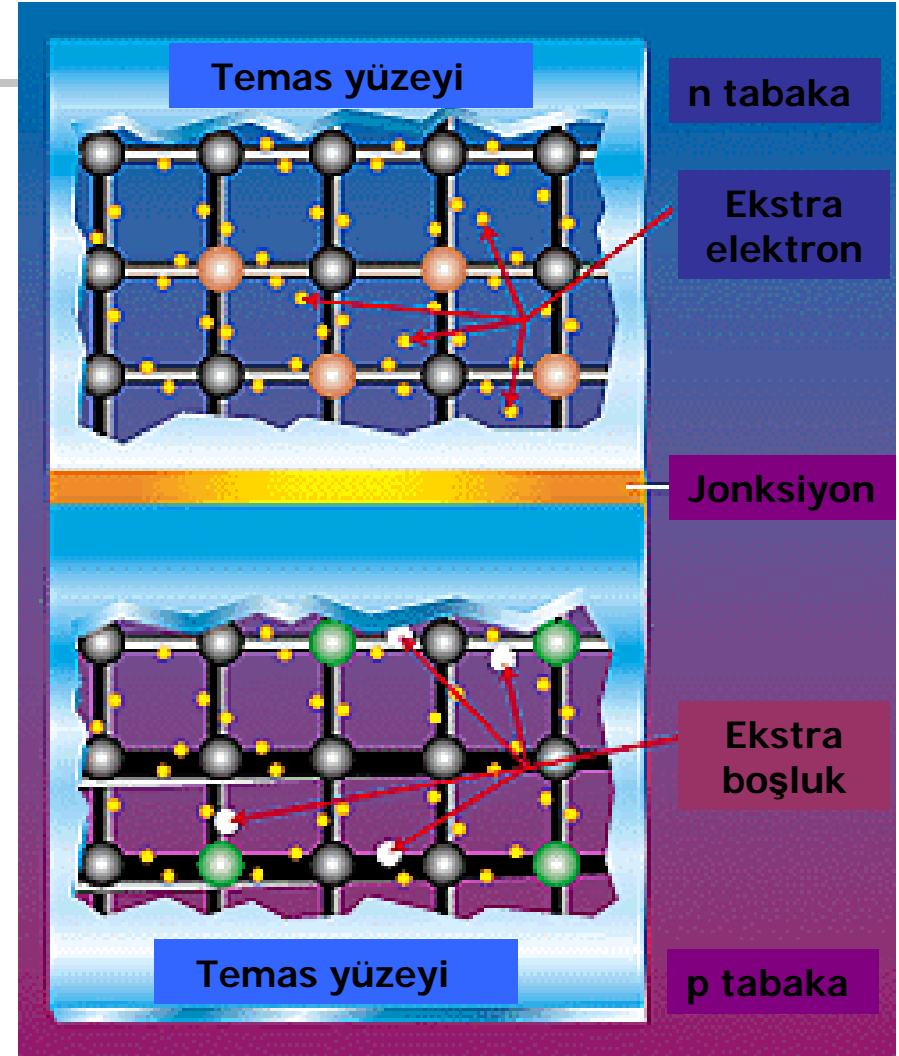


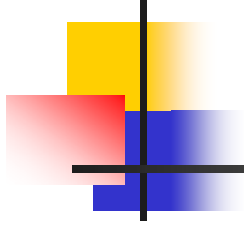
İşlenmiş Molekül



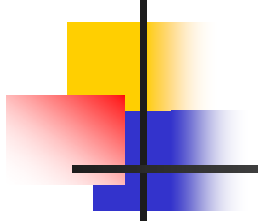
- Silisyum'un dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir.
- Bu nedenle 5. grup elementlerine “**verici**” ya da “**n tipi**” katkı maddesi denir.

- **p** tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklenir.
- Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna hol ya da boşluk denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır.
- Bu tür maddelere de “**p tipi**” ya da “**alıcı**” katkı maddeleri denir.



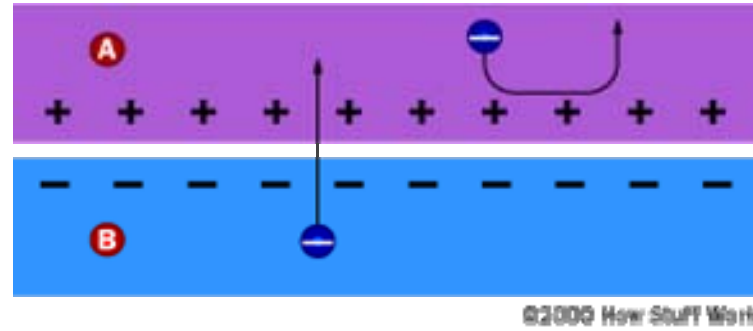


- **p** ya da **n** tipi ana malzemenin içerisine gerekli katkı maddelerinin katılması ile yarı-iletken eklemeler oluşturulur.
- **pn** eklem oluştuğunda, **n** tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, **p** tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder.



- Yarı-iletken eklemün güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaik dönüşümün sağlanması gerekir.
- Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır.
- Birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar.

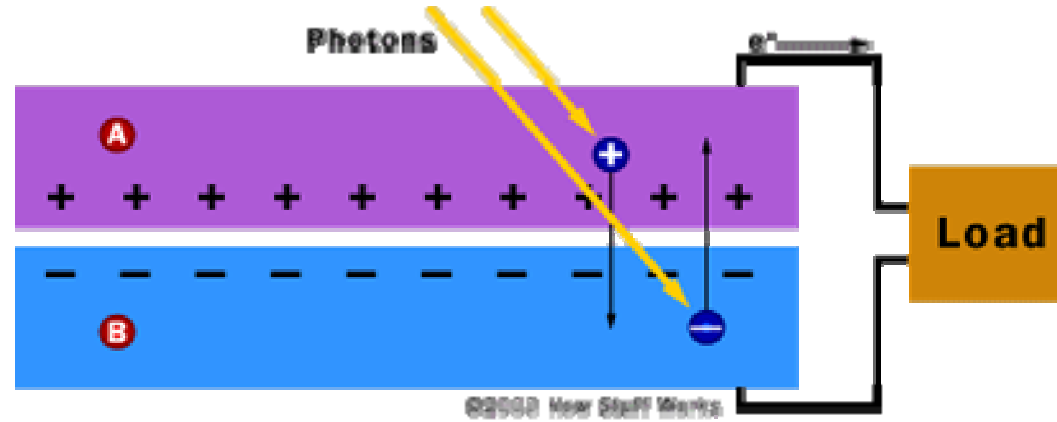
Fotovoltaik hücrede elektrik alanının etkisi



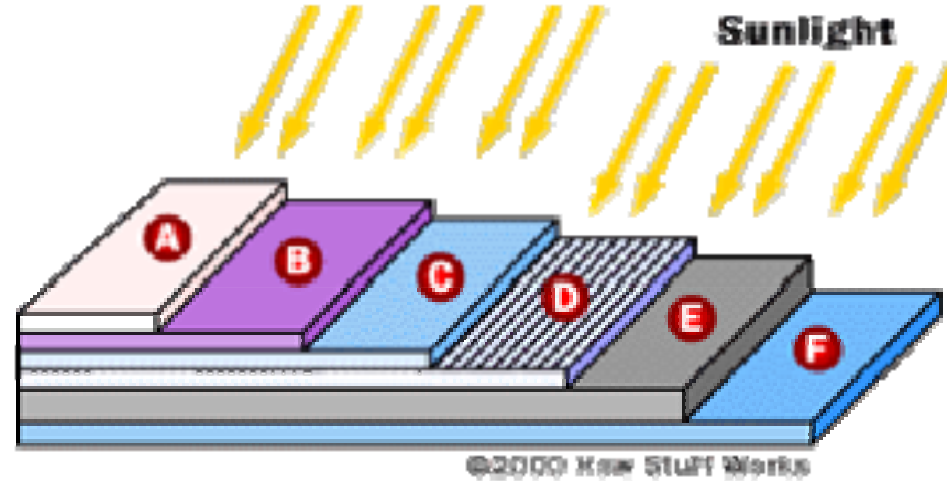
A. n tipi

B. p tipi

Fotovoltaik hücre çalışma prensibi



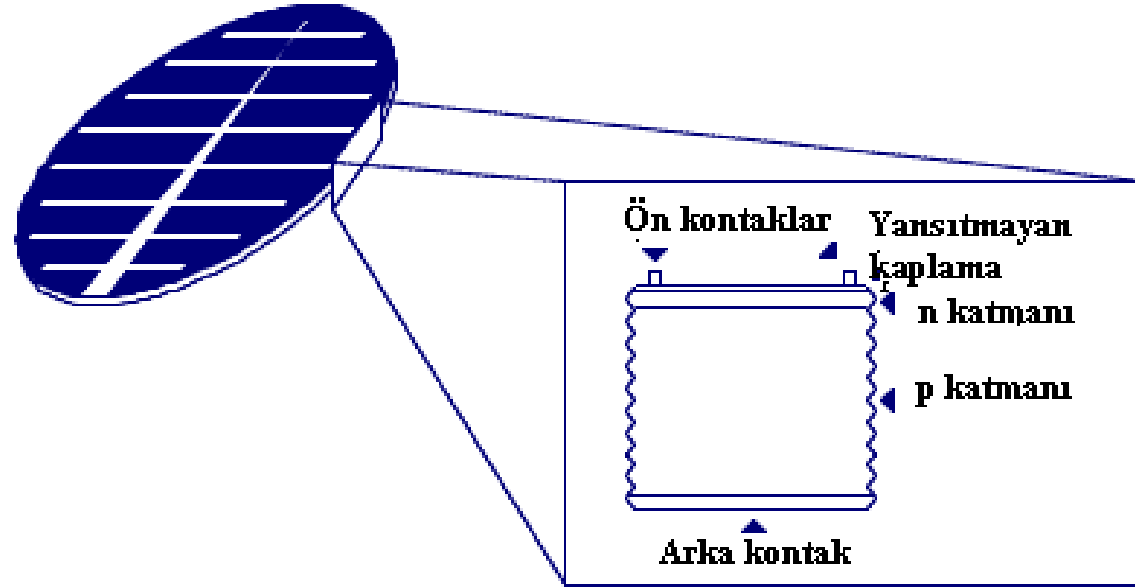
Bir fotovoltaik hücrenin yapısı

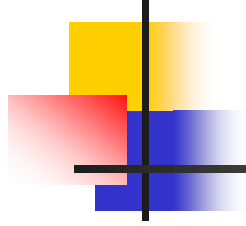


A- Koruma Camı
B- Anti-reflektif kaplama
C- Üst kontakt grid

D- n-tipi silisyum
E- p-tipi silisyum
F- Alt kontakt

Güneş pilinin yapısı





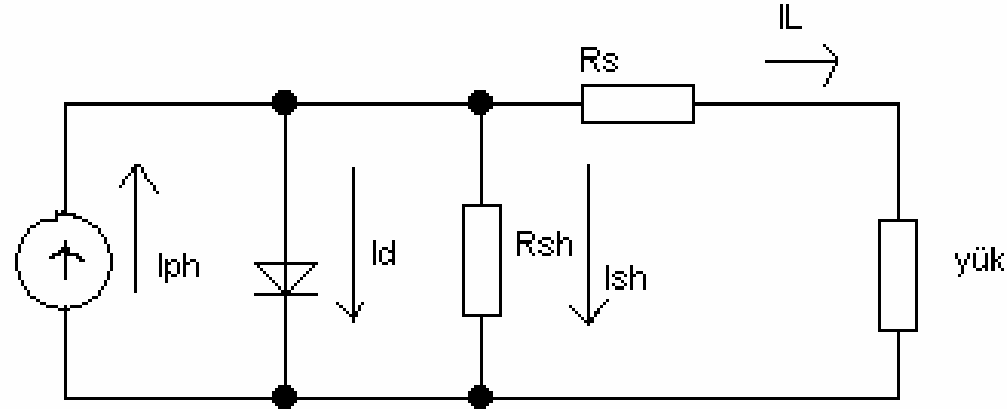
Güneş Pili Tipleri

- Tek Kristal Silisyum Güneş Pilleri
- Çok Kristalli Silisyum Güneş Pilleri
- İnce Film Güneş Pilleri
- Amorf Silisyum Güneş Pilleri
- Kadmiyum Tellür İnce film Güneş Pilleri
- Bakır İndiyum Diselenid Güneş Pilleri

Karşılaştırılması

Teknoloji Türü	Sistem Verimi %		Maks. Çıkış Sıcaklığı °C	İlk Yatırım Maliyeti \$	Enerji maliyeti	
	Elekt.	Isı			Elekt. \$/kWh	Isı \$/kWh
Düzlemsel Koll.	-	50-70	80	250-1000	-	0.0013-0.004
Parabolik Oluk	14	46	380	2800 kWe	0.15	0.0053
Parabolik Çanak	24	79	700	5000 kWe	0.28	-
Merkezi Alıcı	15	46	600-700	3000 kWe	0.16	0.004
Tek Kristal Silisyum	12	-	-	6000 kWe	0.29	-
Çok Kristal Silisyum	10	-	-	6000 kWe	0.29	-
Tek İnce Film	4	-	-	5000 kWe	0.25	-
Çoklu İnce Film	7	-	-	5000 kWe	0.24	-

Güneş Pilinin Elektriksel Modeli



Elektriksel eşdeğer devrede;

I_{ph} : Güneş ışığı tarafından üretilen elektrik akımı

I_d : Diyot akımı

I_{sh} : Paralel direnç akımı

I_L : Yük akımı

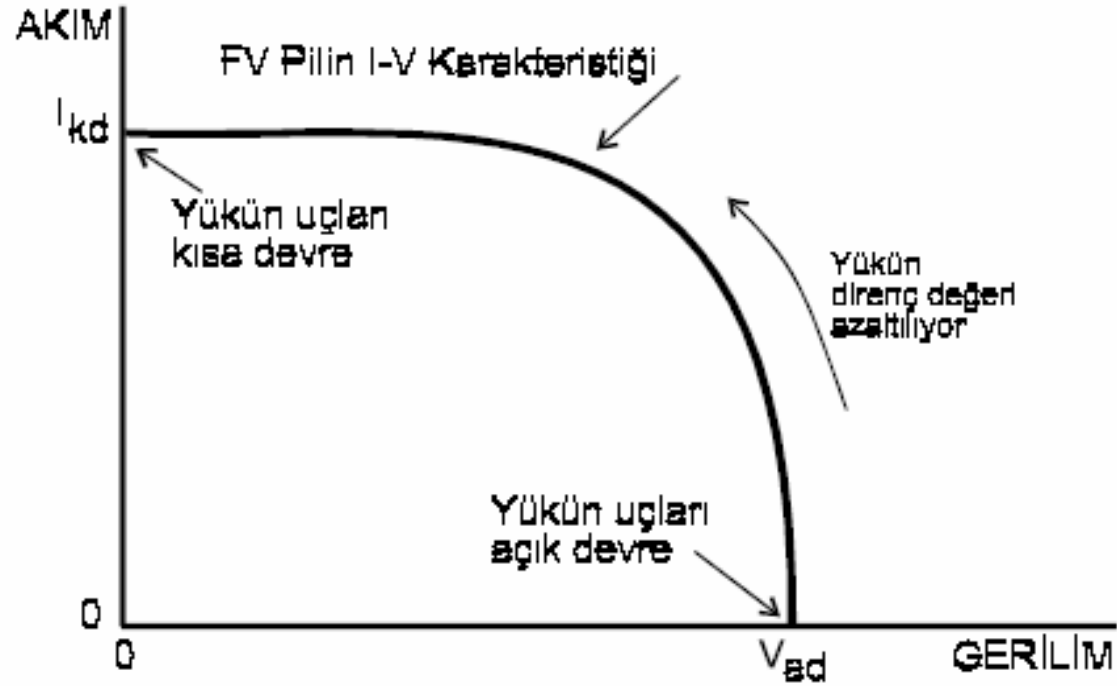
R_s : Seri direnç

R_{sh} : Paralel direnç

- 
- Güneş pilinin elektrik üretimi bir akım kaynağı olarak sembolize edilir.
-

- Hücre üzerine düşen ışınımlar artıkça elektrik akımı da artmaktadır.
- Güneş hücresinin gövdesi yarı iletken malzeme olması sebebiyle diyotla modellenmiştir.
- Jonksiyonda üretilen enerjinin kutuplara iletilmesi sırasında oluşan kayıplar, seri direnç ile gösterilir.
- Bu seri direnç hücre verimini doğrudan etkiler.

Güneş Pilinin Karakteristikleri



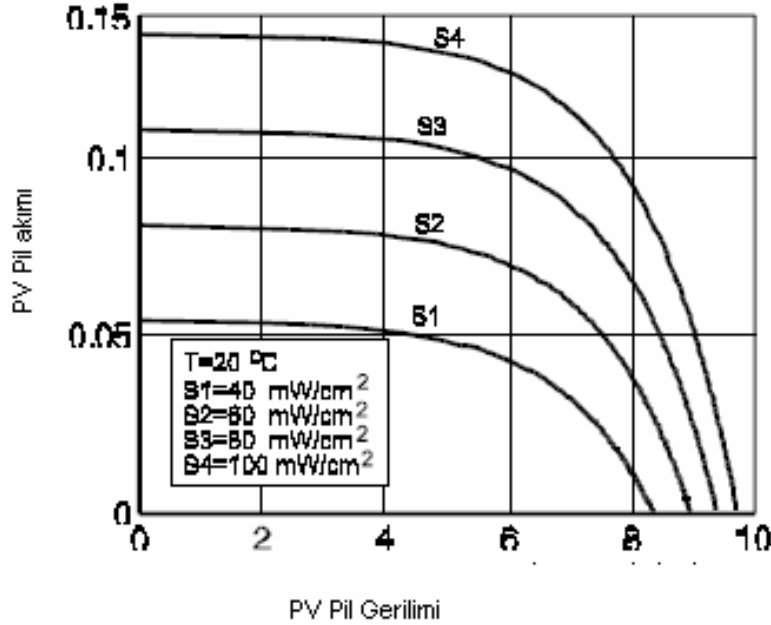
PV panelinin akım gerilim karakteristiğinin yükü değişimi



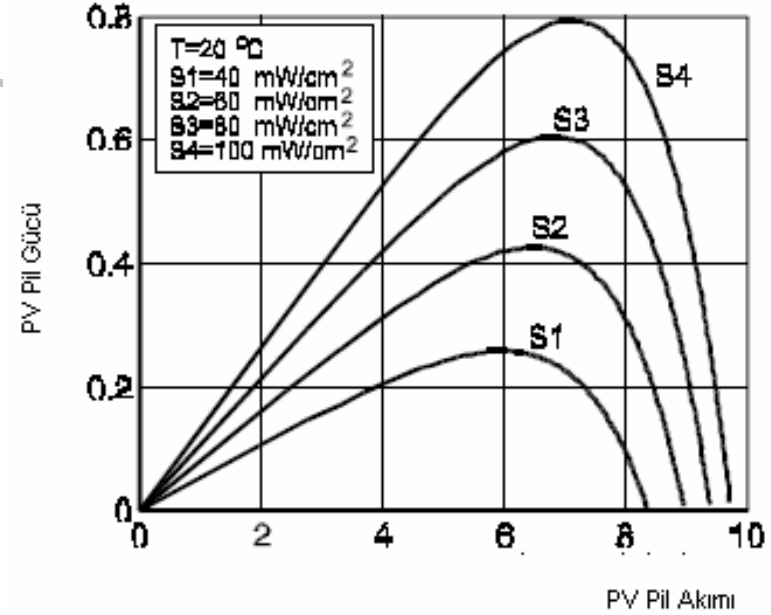
Güneş Pilinin Karakteristikleri

- Çıkış gücü, akım ve gerilimin belirli değerlerinde maksimum olmaktadır.
- PV pili ya da panelinin maksimum çıkış gücü, üzerine gelen güneş ışığı seviyesi ve çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişir.
- Dolayısıyla kurulan ve işletilen bir PV pil panelinden daha verimli bir şekilde faydalanmak için, o panelin çıkış gücünü mümkün olan maksimum değerinde tutmak gerekir.

Güneş Işığının PV paneline Etkisi



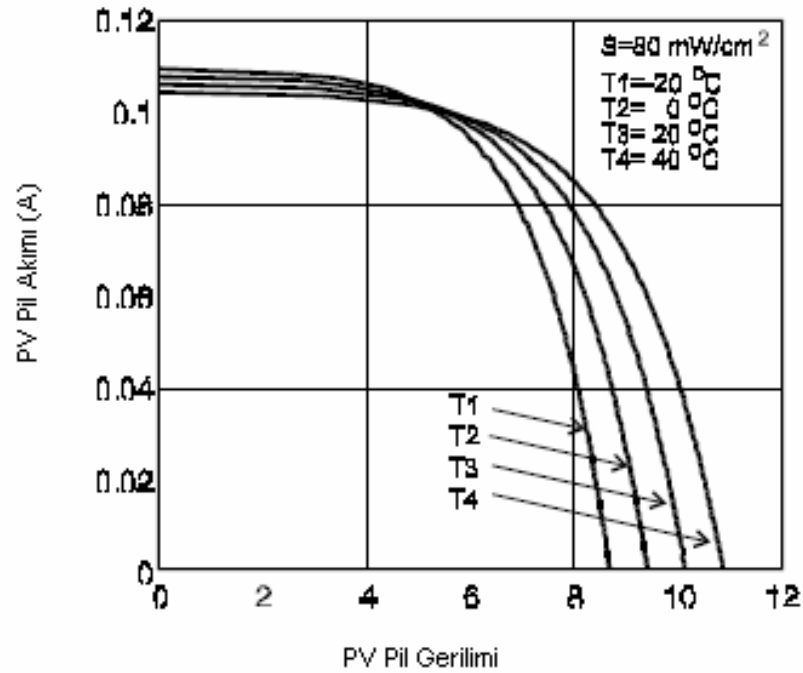
PV pilinin I-V karakteristiğinin ışık şiddetine bağlı değişimi



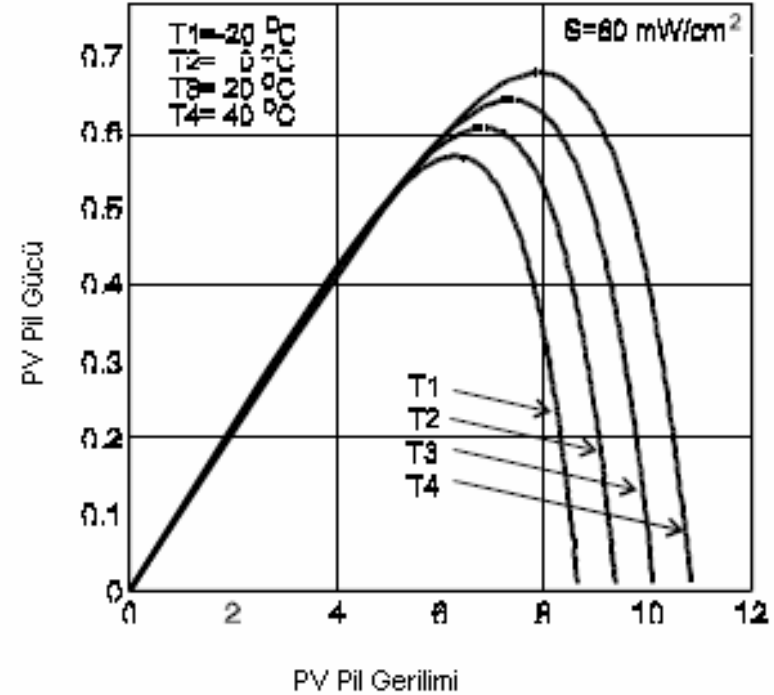
PV pilinin P-V karakteristiğinin ışık şiddetine bağlı değişimi

Şekillerden görüldüğü gibi ışık şiddetindeki artış PV pilinin çıkış gücünü de artırmaktadır. Güçteki bu artış hem gerilimdeki hem de akımdaki artıştan kaynaklanmaktadır.

Çalışma Sıcaklığının PV paneline etkisi



PV pilinin I-V karakteristiklerinin sıcaklıkla değişimi

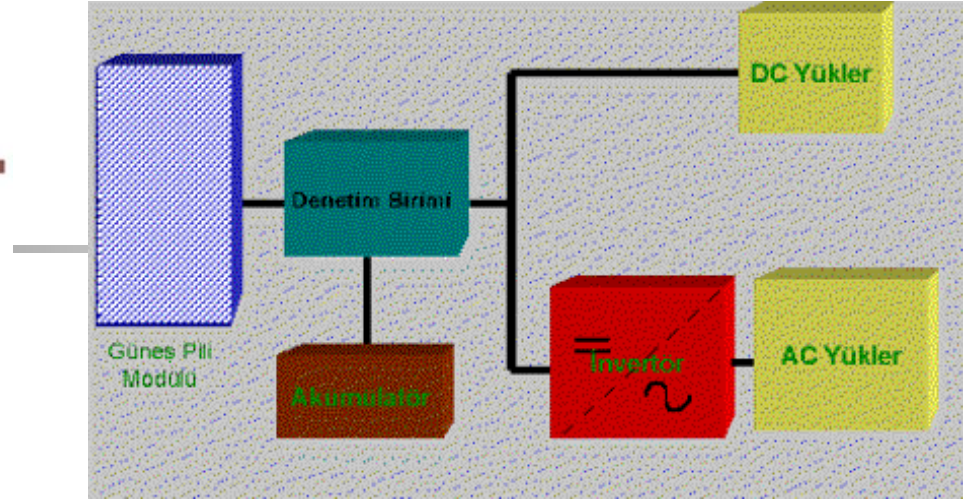
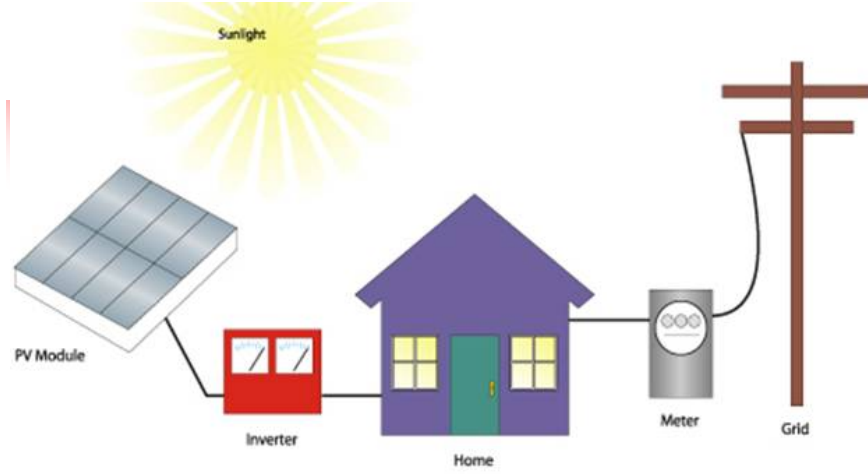


PV pilin P-V karakteristiğinin sıcaklıkla değişimi



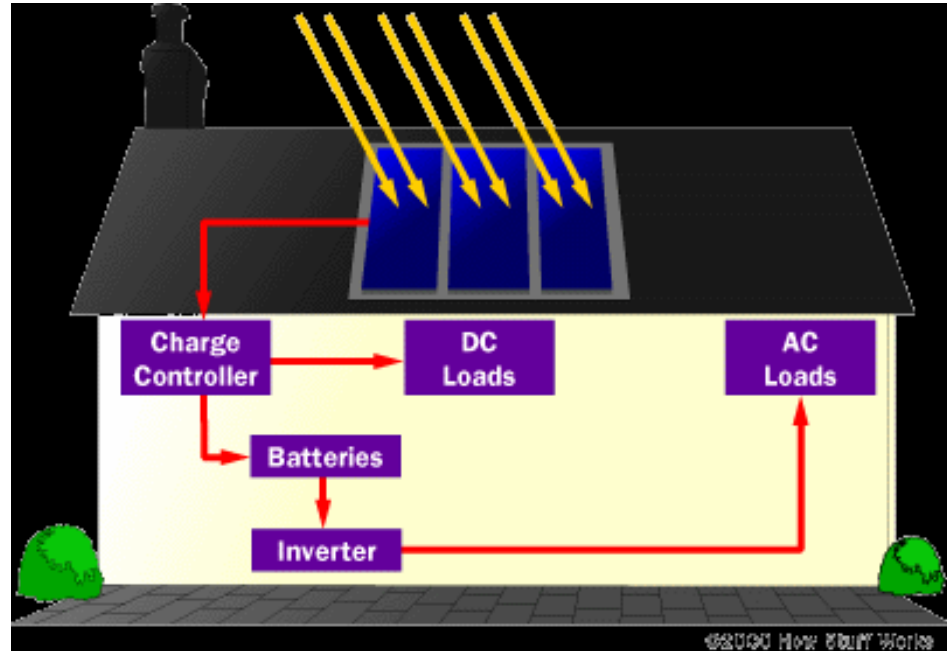
Güneş Pili Sistemleri

- Güneş enerjisinden faydalanılan sistemler sabit ve hareketli olmak üzere iki grupta incelenir. Sabit bir yüzeye nazaran güneşi takip eden bir yüzey güneşten gelen enerjiyi ortalama %43 daha fazla almaktadır.
- Güneş takibi yapan sistemler alan darlığı olan; güneş enerjisi ile su ısıtma sistemlerinde, panel maliyetinin çok yüksek olduğu güneş enerjisi ile elektrik üreten sistemlerde ve hem elektrik hem de ısı üreten parabolik aynalı sistemlerde maliyetin azaltılması ve kullanılabilirlik açısından oldukça önem taşımaktadır.



Güneş Pili Sistemleri

O. Kincay – N. Bekiroğlu - Z. Yumurtacı





Güneş Pili Sistemleri

Güneş pili sistemi uygulamaları iki ana gruba ayrılabilir.

- Şebeke bağlantılı güneş pili sistemleri
- Bağımsız güneş pili sistemleri

Şebeke Bağlantılı Güneş Pili Sistemleri



Bu tür sistemler, iki ana gruba ayrılır.

O. Kincay – N. Bekiroğlu - Z. Yumurtacı



Şebeke Bağlantılı Güneş Pili Sistemleri

- İlk tür sistem, temelde bir yerleşim biriminin elektrik ihtiyacını karşılar.
- Bu sistemlerde, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine satılır.
- Yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda şebekeden enerji satın alınır.
- Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC gerilimin, AC'ye çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir.



Şebeke Bağlantılı Güneş Pili Sistemleri

- İkinci tür şebekeye bağlı güneş pili sistemleri kendi başına elektrik üretip, bunu şebekeye satan büyük güç üretim merkezleri şeklindedir.
- Bunların büyüklüğü 600-700 kW'tan MW'lara kadar değişir.
- Depolama maliyetini ortadan kaldırdığı için bu sistemlerden üretilen enerji nispeten daha ucuzdur. Fakat konvansiyonel kaynaklarla karşılaştırıldığında halen pahalıdır.



Şebekeyle bütünleşik güneş pili panelleri



Çatılarda güneş pili panelleri





O. Kincay – N. Bekiroğlu - Z. Yumurtacı



YTÜ - Barracuda



O. Kincay – N. Bekiroğlu - Z. Yumurtacı



Bağımsız Güneş Pili Sistemleri

- Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır.
- Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere sistemde akü bulundurulur.
- Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu aküde depolar, yüke gerekli olan enerji aküden alınır.
- Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan regülatör ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser.



Bağımsız Güneş Pili Sistemleri

- Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir inverter eklenerek aküdeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz.'lik sinüs dalgasına dönüştürülür.
- Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir.
- Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur.