

## GÜNEŞ PİLLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Batur BEKİROĞLU

Dr. Vatan TUĞAL

Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi

Elektrik Eğitimi Bölümü

Göztepe, İstanbul

### Özet:

Bu çalışmada güneş ışığının güneş pilleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca güneş pillerinde temel yapıtaşlarını oluşturan kısa-devre akımı ( $I_{sc}$ ), açık-devre gerilimi ( $V_{oc}$ ) ve dolun faktörü (FF) incelenmiştir. Son olarak da sıcaklığın panel üzerindeki etkisine yer verilmiştir.

### Giriş:

Güneş pillerinin temelde iki önemli kısmını şöyle sayabiliriz.

1. Fotonları absorplayıp elektron-delik çiftlerini üreten yarı iletken tabaka,
2. Üretilen taşıyıcıları toplayıp elektronların hareketlerini yönlendiren bir gerilim bölgesi.

Absorblayıcı bölge, üretilen akımın büyüklüğünü, engel geriliminin yüksekliği ise pilin üretebileceği gerilimi belirler. Gerilim ve akımın çarpımı gücü verir.

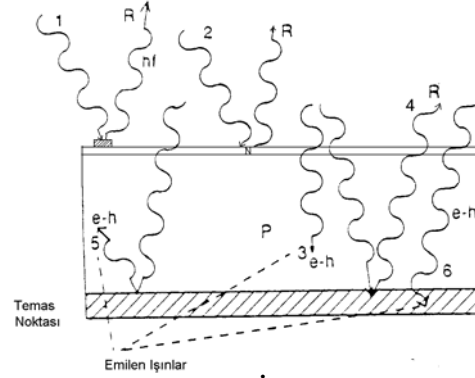
Absorblayıcı-üretici tabaka en önemli kısım olduğu için toplayıcı-çevirici ve diğer sistemler bu tabakanın özelliğine uygun olarak seçilir. Bu özellikler ise, örgü sabiti, ısıl genleşme katsayısı ve elektron afinitesidir.

Bir güneş pili toplam beş kısımdan oluşmaktadır.

1. Kaplama.
2. Saydam Kontak.
3. Absorblayıcı/Üretici
4. Toplayıcı-Çevirici
5. Opak Kontak

### 1.1. Işığın Etkisi:

Silikon güneş pilleri p-tipi (bor formu) ve n-tipi (fosfor formu) diyot formunda dizayn edilmiştir. Böyle dizayn edilen bir pilin üzerine düşen ışınımın nasıl hareket edeceği Şekil-1'de gösterilmiştir.



ŞEKİL-1

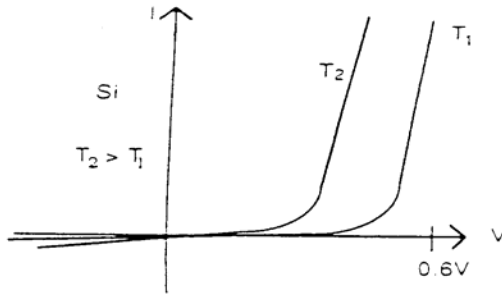
Panel üzerine düşen ışınımın emilme ve yansımaları.

1. Üst noktada yansıma ve emilme.
2. Pil yüzeyinde yansıma.
3. İstenilen emilme.
4. Pilin arkasından yansıma-sadece zayıf ışık emilir.
5. Yansımadan sonra emilme.
6. Arka temasta emilme.

Güneş pilinin güç oranını artırmak için pilin absorbe edebilme özelliğini (Şekil-1'deki 3 numaralı ışın) ve absorbe edildikten sonra geri yansıma sırasındaki absorbe edebilme oranlarını (Şekil-1'deki 5 numaralı ışın) artırmaktır.

Gerilimin sıfıra eşit olduğu zaman sınırlı akımı üreten kısımlara "toplayıcı taşıyıcıları" denir.

Diyodun karakteristik grafiği, akım (I) - gerilim (V) grafiğinin çizilmesi sonucunda elde edilir. Hücrenin üzerine ışık düşmediği andaki  $I_0$  için çizilen I-V grafiğini Şekil-2'de görebilirsiniz.



**ŞEKİL-2**

Hücrenin üzerine ışık düşmediği andaki  $I_0$  için çizilen I-V grafiği.

Şekil-2’de verilen grafiğe göre eğri yaklaşık olarak  $2mV/^{\circ}C$  kaymaktadır. Hücredeki aydınlatma, normal “karanlık” akımına eklendiği zaman bilinen diyot kanunu;

$$I = I_o \left( e^{\frac{q*V}{n*k*T}} - 1 \right) - I_L \quad (1)$$

olarak karşımıza çıkar. Bu formül içerisinde;

$I_0$  = “Dark Saturation Current”; ışık olmadığı zaman diyodun sızma akımının yoğunluğu. (Amper)

$q$  = Elektrik yükü ( $1.602*10^{-19}$  Coulomb)

$V$  = Uygulanan gerilim.(Volts)

$n$  = İdeallik faktörü; akım düştükçe değeri 1’den 2’ye doğru artmaktadır.

$k$  = Boltzman Sabiti =  $1.380*10^{-23}$  Joule/K.

$T$  = Hava sıcaklığı.( $^{\circ}C$ )

$I_L$  = Işıktan oluşan akım.(Amper)

Yukarıda verilen bilgiler arasında ise bazı ilişkiler var.

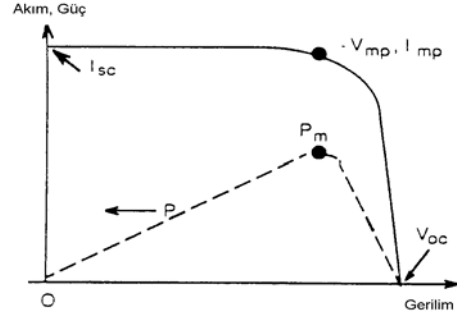
$T$  arttıkça  $I_0$  artar.

Malzeme kalitesi arttıkça  $I_0$  azalır.

$T=300K$  olduğunda  $k*T/q=25.85$  mV (Termal gerilim) olmaktadır.

I-V grafiğinde genellikle çıkış grafiği dairenin birinci bölgesinde yer aldığından dolayı formülü şöyle düzenleyebiliriz.

$$I = I_L - I_o \left( e^{\frac{q*V}{n*k*T}} - 1 \right) \quad (2)$$



**ŞEKİL-3**

Kısa devre akımının açık devre gerilime oranı.

Güneş panellerinin çıkışının karakteristiğini, verilen ışın, işlem sıcaklığı ve alana göre sınırlayan iki temel parametre vardır. Bunlar;

### 1.2. Kısa-Devre Akımı ( $I_{sc}$ ):

Gerilim sıfır olduğu zaman elde edilen azami akımdır. İdeal olarak  $V=0$  olursa  $I_{sc} = I_L$  olmaktadır. Burada  $I_{sc}$  ‘in mevcut güneş ışınımı ile doğru orantılı olduğunu hatırlatmakta fayda vardır.

### 1.3. Açık-Devre Gerilimi ( $V_{oc}$ ):

Akımın sıfır olduğu zaman elde edilen azami gerilimdir. Artan güneş ışınımına bağlı olarak  $V_{oc}$  logaritmik olarak artmaktadır. Bu karakteristik, güneş pillerini akümülatörün yükünün doldurulmasında ideal bir rol oynar.

Not edilmelidir ki  $I=0$  olduğu zaman;

$$V_{oc} = \frac{n*k*T}{q} * \ln \left( \frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad (3)$$

formülü elde edilir.

I-V grafiği üzerindeki her nokta, akım ve gerilimin çarpımı, sistemin çıkış gücünü vermektedir. Güneş pilleri “azami güç noktasına” göre de karakteristik özelliğe sahiptirler. Azami gerilim noktası ( $V_{mp}$ ) ile azami akım noktasının ( $I_{mp}$ ) çarpımı, ulaşılacak azami rakamı vermektedir. Azami çıkış gücü, grafiksel olarak I-V grafiğinin altına sığabilen en büyük kare olarak gösterilebilir. Başka bir deyişle;

$$\frac{d(I * V)}{dV} = 0 \quad (4)$$

formülü bize;

$$V_{mp} = V_{oc} - \left( \frac{n * k * T}{q} \right) * \ln \left[ \frac{V_{mp}}{\left( \frac{n * k * T}{q} \right)} + 1 \right] \quad (5)$$

formülünü vermektedir.

Örnek olarak  $n=1.3$   $V_{oc}=600$  mV olarak kabul edilirse (bu değerler silikon paneller için gerçek değerlerdir),  $V_{mp}$  yaklaşık olarak 93 mV olarak çıkar. Bu değer de  $V_{oc}$  - açık devre geriliminden küçüktür.

Güçlü bir günışığında (1 kW/m<sup>2</sup>), azami güç noktasındaki güç çıkışı “Tepe Gücü” olarak bilinir. Bu nedenle fotovoltaik paneller “Tepe” Watt ( $W_p$ ) değerlerine göre oranlanırlar.

#### 1.4. Dolum Faktörü (FF):

Bağlantının kalitesinin ve pilin seri dirençlerinin ölçümüdür. Tanım olarak azami gücün, kısa devre akım ile açık devre gerilimin çarpımına oranı olarak belirtilir. Dolayısıyla;

$$DolumFaktörü = FF = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{V_{oc} * I_{sc}} \quad (6)$$

olarak tanımlanır.

Dolum oranı açık devre gerilimine bağlı bir fonksiyondur ve deneysel denklemlerle de hesaplanabilir (1).

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0.72)}{V_{oc} + 1} \quad (7)$$

$V_{oc}$  burada normalleştirilmiş açık devre gerilimi  $V_{oc}$  olarak tanımlanmıştır. Diğer taraftan aşağıdaki formül ise yalnızca ideal durumlar için geçerlidir.

$$V_{oc} = \frac{V_{oc}}{\left( \frac{n * k * T}{q} \right)} \quad (8)$$

Buna bağlı olarak sistemden elde edilecek güç de açık-devre gerilimle ( $V_{oc}$ ), kısa-devre akım ( $I_{sc}$ ) ve dolun faktörünün (FF) çarpımına eşittir.

$$P_m = V_{oc} * I_{sc} * FF \quad (9)$$

Bu noktada, sistemden elde edilecek olan enerji miktarını hesaplamak da mümkündür. Gücün zamana göre integralini aldığımızda sistemden elde edilen enerji miktarını buluruz. Bu olayı şöyle formülize edebiliriz.

$$Enerji = W = \int_{t_0}^t P * dt \quad (10)$$

#### 1.5. Sıcaklığın Panel Üzerindeki Etkisi:

Güneş pillerinin işletim sistemi olan sıcaklık, geniş değişim oranı gösterdiğinden dolayı, sıcaklığın performans üzerindeki etkilerini anlamak gerekir.

Kısa devre akımı direk olarak sıcaklığa bağlı olmadığından dolayı (ışınların emilmesinden dolayı sıcaklık arttıkça, yarıiletkendeki bantların boşlukları azalır), değişimler çok küçük olacaktır, kısa devre akımındaki sıcaklığı sabit olarak kabul etmemiz, işlemlerde kolaylık sağlayacaktır. Diğer pil parametreleri ise açık devre gerilimi ve dolun faktörüdür.

Kısa devre akımı ile açık devre gerilimi arasındaki ilişki;

$$I_{sc} = I_0 * \left( e^{\frac{q * V_{oc}}{k * T}} - 1 \right) \text{ Amper} \quad (11)$$

olarak tanımlanır.

Küçük bir değer olan negatif değeri gözardı edersek formülü;

$$I_{sc} = A * T^\gamma * e^{\frac{-E_{g0}}{k * T}} * e^{\frac{q * V_{oc}}{k * T}} \text{ Amp.} \quad (12)$$

şeklini alır. Bu formüldeki A sıcaklığa bağımsız bir sabiti,  $E_{g0}$  pilin sıfır derecede bant boşluğu ile doğru orantılı bir değeri, ve  $\gamma$  ısıya bağlı olarak değişen diğer  $I_0$  karakterlerini simgelemektedir.  $\gamma$  'nın değeri genellikle 1 ile 4 arasında değişmektedir. Formülün türevini alırsak;

$$\frac{dI_{sc}}{dT} = A * \gamma * T^{\gamma-1} * e^{\frac{q * (V_{oc} - V_{g0})}{k * T}} + \quad (13)$$

$$A * T^\gamma * \left( \frac{q}{k * T} \right) * \left[ \frac{dV_{oc}}{dT} - \left( \frac{V_{oc} - V_{g0}}{T} \right) \right] * e^{\frac{q * (V_{oc} - V_{g0})}{k * T}}$$

Formüldeki  $dI_{sc} / dT$  kısmını diğer değerlere kıyasla daha küçük olmasından dolayı iptal edersek;

$$\frac{dV_{oc}}{dT} = -\frac{V_{g0} - V_{oc} + \gamma * \left(\frac{k * T}{q}\right)}{T} \quad (14)$$

olarak sonuca ulaşır. Buna bağlı olarak;

$$FF_0 = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} * 0.72)}{v_{oc} + 1} \quad (15)$$

şeklini almaktadır.

### FOTOVOLTAİK MODÜL KARAKTERİSTİĞİ

Tipik bir modül 36 adet pilin seri olarak bağlanması sonucunda elde edilir. Her bir pilin özellikleri:

$$\begin{aligned} V_{oc} &= 600 \text{ mV (25 } ^\circ\text{C)} \\ FF &= 75\% \\ V_{mp} &= 475 \text{ mV (25 } ^\circ\text{C)} \\ V_{mp} &= 430 \text{ mV (45 } ^\circ\text{C)} \\ I_{mp}/I_{sc} &= 0.95 \end{aligned}$$

Burada mp kısaltmaları azami güç noktası, oc ise açık devre anlamına gelmektedir. Her bir pil için geçerli olan formül:

$$V = \frac{n * k * T}{q} * \ln\left(I_L - \frac{I}{I_0}\right) - I * R_s \quad (16)$$

V = Uygulanan gerilim.(Volts)

I<sub>L</sub> = Işıdan oluşan akım.(Amper)

n = İdeallik faktörü; akım düştükçe değeri 1'den 2'ye doğru artmaktadır.

I = Akım(Amper)

R<sub>s</sub>=seri direnç(ohm)

q = Elektrik yükü (1.602\*10<sup>-19</sup> Coulomb)

k = Boltzman Sabiti = 1.380\*10<sup>-23</sup> Joule/K.

T = Hava sıcaklığı.(<sup>0</sup>C)

I<sub>0</sub> = "Karanlık doyum akımı"; ışık olmadığı zaman diyodun sızma akımının yoğunluğu.(Amper)

$$I_0 = \frac{I_L}{e^{\left(\frac{q * V_{oc}}{n * k * T}\right)}} = 2.17 * 10^{-7} * I_L \quad (17)$$

V<sub>oc</sub> , açık devre gerilimi 25 <sup>0</sup>C'de 600 mV olduğu biliniyor. 45 <sup>0</sup>C'de ise bu değer 555 mV olmaktadır. Seri direncin ise kısa devre akımına ters orantılı olduğunu da bilinmektedir.

$$R_s = \frac{I}{40 * I_{sc}} \quad (18)$$

I<sub>sc</sub> 100mW/cm<sup>2</sup> 'nin altında bulunan kısa devre akımıdır. Işık yoğunluğunun değişimini ayarlamak için;

$$I_L = L * I_{sc} \quad (19)$$

olmaktadır. Burada L ışık yoğunluğunu simgelemektedir. Şöyle ki L=1 olduğu zaman 100mW/cm<sup>2</sup> , L=0.5 olduğu zaman 50mW/cm<sup>2</sup> 'ye eşdeğerdir.Şimdi eşitliğimizi tekrar yazalım:

$$V = 0.0361 * \ln\left[\frac{L * I_{sc} - I}{2.17 * 10^{-7} * I_{sc}}\right] - \frac{I}{40 * I_{sc}} \quad (20)$$

(T=318 <sup>0</sup>K)

Herhangi bir akımda gerilim, sisteme bağlanan pil sayısı ile yukarıdaki gerilim formülünün çarpılması sonucun bulunabilir.Bir sonraki basamakta ise değişik L değerlerinde I-V grafiğini çizmektir.

Standart modülleri 45 <sup>0</sup>C'de birbirine bağlarsak;

Bir tek modülün (36 pil) vermesi gereken gerilim: V<sub>mp</sub>=15.5 volts

İki modülün (72 pil) seri bağlanınca vermesi gereken gerilim: V<sub>mp</sub>=31.0 volts

Üç modülün (108 pil) seri bağlanınca vermesi gereken gerilim: V<sub>mp</sub>=46.5 volts

Dört modülün (144 pil) seri bağlanınca vermesi gereken gerilim: V<sub>mp</sub>=62.0volts

Dolayısıyla, 45 <sup>0</sup>C'de bize azami güç noktasındaki gerilimi verecek en yakın pil sayısını seçmeliyiz.

Tasarım işleminin son basamağında güneş panelleri için gereken akım üretim kapasitesinin hesaplanması geliyor. Bu noktada hatırlamamız gereken şey; sistemimizin azami verimlilikte çalışmasını istiyoruz. Bu yüzden L<sub>mp</sub>=0.80\*I<sub>SA</sub> olarak alınmalıdır. Dolayısıyla, biz azami güç noktasındaki akımı istiyorsak I<sub>mp</sub>(100mW/cm<sup>2</sup>);

$$L_{mp} = I_m * 100 / (0.80 * I_{SA}) \quad (21)$$

olarak kabul edilir. Burada I<sub>m</sub> sistemdeki azami verimlilikteki motor akımını simgelemektedir. Bu noktada elde ettiğimiz bilgileri kullanarak I<sub>sc</sub> bulunabilir.

### Sonuç:

Sonuç olarak yukarıda belirtilen sistemle ilgili formül ve tanımlamalar bir güneş pilinin karakteristiğidir. Yapılan araştırmada görülüyor ki bir güneş paneline gelen her ışın bizim için yararlı olmadığı gibi zararlı da olabilir. Açık-devre gerilimi ( $V_{oc}$ ) güneş pillerinin akümülatörlerinin dolmasında etkin olarak kullanılırken, kısa-devre akımı ( $I_{sc}$ ) ise sistemdeki akımı sağlar ve direk olarak güneş ışınımına bağlıdır. Dolum faktörü bağlantının kalitesi ve pilin seri dirençlerinin ölçümüdür.

### Kaynaklar

1. Florida Solars Energy Center, 1987.
2. M.P. Thekackara, the solar constant and the Solar Spectrum Measured from a Research Aircraft, NASA Technical Report No:R-351, 1970.
3. Tanay Sıdkı Uyar, Güneş Pilleri, TÜBİTAK-Makina ve Enerji sistemleri Bölümü, Gebze, 1985.
4. Martin A. Green, Solar Cells, The University of New South Wales, 1992.
5. Stuart R. Wenham, Martin A. Green, Muriel E. Watt, Applied Photovoltaics, The university of New South Wales, 1993.