

1. SOLAR RADYASYONUN ÖLÇÜLMESİ

Bir alanda herhangi bir solar uygulama yapılmadan önce o alandaki solar radyasyon yoğunluğunun bilinmesi çok önemlidir. Solar radyasyon bilgisi, tasarım ve onarım masraflarını minimuma indirmek amacıyla olabildiğince doğru ve kapsamlı olmalıdır. Birçok mühendislik tasarımında kesinlik çok önemli olmasa da bilimsel çalışmalarda kesinliğin çok önemli bir yeri bulunmaktadır. Diğer araştırmacılara göre, solar datalardaki %20'lik bir hata payı, solar enerjiyi elektrik enerjisine çeviren sistemlerin uygulamalarında %4 ile %20 arasında bir değişime sebep olur.

Solar radyasyon genellikle $\text{Watt/m}^2 (\text{W/m}^2)$ cinsinden verilir. Diğer birimler ise aşağıdaki gibi kullanılır.

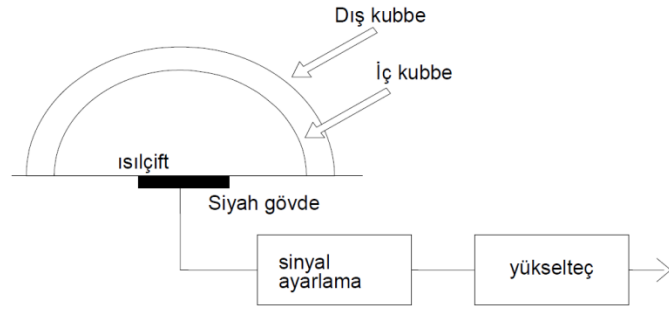
$$1 \text{ Langley/hr} = 1 \text{ cal/cm}^2\text{-hr} = 11.63 \text{ W/m}^2$$

3.1 Piranometre

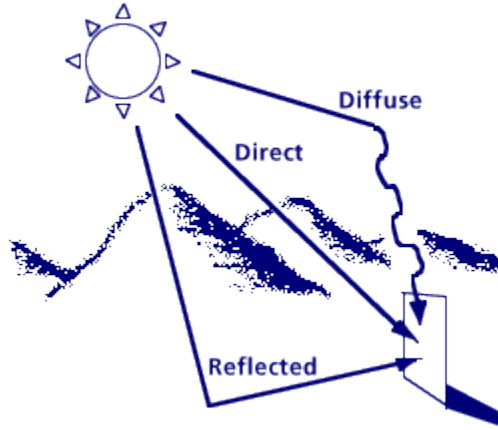


Global ya da dağılma radyasyonunu ölçen sensördür. Sensör, çift katlı camdan yarım kürenin altına yerleştirilmiş ve bakır-konstantan (%55 bakır, %45 nikel alaşımı). ısı çiftleri içeren siyah bir metalden oluşmaktadır. Bu ısı çiftlerinin sıcak eklemeleri siyah metal yüzeyin alt tarafına yerleştirilmiştir, soğuk eklemeleri ise radyasyon almayacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Buradaki temel fikir, siyah yüzeyin gelen ışığı emerek oluşan elektrik hareket gücü sayesinde soğuk eklemenden daha yüksek bir sıcaklığa ulaşmasıdır. Oluşan bu elektrik hareket gücünün (10 ile 20 mV arasında), belli bir zaman aralığında integrali alınır ve buradan elde edilen sonuç global radyasyonun bir ölçümüdür. Tek bir ısı çiftinin çıktısı yaklaşık olarak $22 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 'dir ve bu yüzden birçok ısı çifti (50 veya daha fazla) kullanılabilir bir voltaj elde edebilmek ve hassasiyeti arttırabilmek için birbirine seri olarak bağlanmıştır. Sensör, yatay bir yüzeye düşen toplam radyasyonu (ışın ve dağılma) ölçebilmek için yatay olarak yerleştirilir.

Piranometreler vasıtasıyla ölçülen ışımayı gözlemlemek için bir voltmetre ya da volt ölçümü yapan datalogger kullanılmalıdır. Her piranometrenin üzerinde ya da kitapçığında Hassasiyet değeri yazmaktadır. Hassasiyet değeri genel olarak $\mu\text{V/W} \cdot \text{m}^2$ olarak gösterilir. Piranometre voltmetreye bağlandıktan sonra okunan volt değeri piranometre Hassasiyet değerine bölünür. Çıkan sonuç piranometre üzerine düşen ısıma(radyasyon) değeridir.



Global Radyasyon piranometre üzerine düşen bütün radyasyonların toplamıdır.
Dağılma(Difuse) radyasyonu ise direkt ve yansıyan ışımların engellenmesi ile ölçülmektedir.
Direkt radyasyon piranometre üzerine düşen direkt ışımadır.



3.2 Anemometre



Rüzgar/hava hızını ölçen sensördür. Havalandırma sistemlerinde ve meteoroloji istasyonlarında kullanılır. Özellikle rüzgarın bilimsel araştırmalar sonucunda camsız termal kollektörler ve hybrid kollektörler üzerinde etkisi gözlenmiştir. Anemometreler rüzgar hızına bağlı olarak her dönmede elektriksel bir sinyal üretmektedir. Bu elektriksel sinyal dataloggerlar vasıtası ile kayıt altında tutulup gösterilmektedir.

Her anemometrenin belli bir aralıkta ölçüm aralık değeri bulunmaktadır. Ayrıca her anemometrenin üzerinde ya da kullanım kitapçığında çıkış sinyali yazmaktadır. Ölçüm aralık değeri ile çıkış sinyali arasında birbirlerine bölünerek bir oran bulunur bu oran ölçülen çıkış sinyali ile çarpılarak m/s olarak rüzgar hızı bulunur.

Anemometrenin çıkış sinyalini ölçmek için voltmetre ya da volt ölçer bir datalogger kullanılmalıdır.

Deney sırasında kullanacağınız Nesa VV1-A anemometre 0 ile 50 m/s arasında rüzgar hızı ölçmektedir. Çıkış sinyali ise 0-2 Volt DC arasındadır. Cihaz 0 Volt çıkış sinyali gösterildiğinde rüzgar hızı 0 m/s dir. Cihaz 2 Volt çıkış sinyali verdiğinde rüzgar hızı 25 m/s dir.***Bu orantı sadece anemometre için bütün voltaj çıkış veren sensörler için kullanılmaktadır.***

3.3 Ortam Sıcaklık Ölçer



Dış ortam sıcaklığı ölçmek için kullanılmaktadır. Genellikle PT100 sıcaklık ölçerler bulunmaktadır. Bazı durumlarda termokupl da kullanılmaktadırlar. PT100 sıcaklık ölçerler dört telli direnç ölçüm methoduna göre direnç çıkışı verirler. Termokupl ise voltaj çıkışı vermektedirler. Dış saha sıcaklık ölçmeleri için sensörün beyaz havalandırılmalı radyasyon

kalkanı ile korunması gerekmektedir. Kalkan olmadan yapılan uzun süreli ölçümlerde güneş ışınının doğrudan sensöre gelmesinde dolayı hatalar meydana gelmektedir.

Ortam sıcaklığı PV Panel verimliliği için önemli bir yer tutmaktadır. Bazı durumlarda PT100 sıcaklık sensörleri direnç voltaj dönüştürücüler sayesinde voltaj çıkışı vermektedirler.

Deney sırasında kullanacağınız NESA TA-A ortam sıcaklık sensörü PT100 ile sıcaklık ölçümü yapmaktadır. Anemometre bölümünde anlatıldığı gibi bir orantı kullanılarak sıcaklık ölçümü bulunmaktadır.

1. SOLAR HÜCRELER(PİLLER) ve PANELLER

Solar hücreler, güneş ışığını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu hücreler yarı iletken maddelerden yapılmaktadırlar. Yakın geçmişe kadar hücrelerin çoğunun verimliliği %18 civarında olan tekli kristal silikondan (Si) ve çoklu kristal silikondan yapılmıyordu.

Solar hücre yapımı için uygun olan tek malzeme silikon değildir. Galyum Arsenit (GaAs) silikona benzer bir kristal yapıya sahiptir fakat daha yüksek ışık emiş katsayısı vardır ve daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilmektedir.

GaAs'den yapılan hücreler daha verimlidir fakat maliyetleri daha fazladır. Küçük tüketim mallarının (solar saat, hesap makinesi vb..) çoğunda daha az verimli ve ucuz olan Amorfus Silikon (a-Si) ince filmleri kullanılmaktadır. Bu aletler düşük sıcaklıkta ve yüksek miktarlarda üretilmektedirler. Solar hücreler ayrıca yarı iletken olan bir çok bileşenden oluşmaktadır. Bakır İndiyum Selenit (CIS), Bakır, İndiyum ve Selenyumdan oluşan bir yarı iletken bileşendir. Bu hücreler a-Si'ye benzerdir fakat biraz daha pahalıdır.

Tek bir solar hücre, bulunduğu alana ve solar parlamaya bağlı olarak 0.6 volt gibi bir voltaj üretmektedir. Tekli hücreler, daha yüksek miktarda güç üretebilen modüller oluşturmak için seriler halinde bağlanmaktadır. Daha sonra bu modüller seri ve paralel kombinasyonlar halinde bağlanarak solar panelleri oluşturur ve güç ihtiyacını karşılar.

Tek bir hücrenin voltajı 0.6 voltur ve bu voltaj pratik uygulamalarda kullanılmayacak kadar küçük olduğu için hücreler seri bağlanarak daha yüksek voltajlar elde edilir. Tipik bir fotovoltaiik modülde 60 tane hücre vardır ve bu modüllerde açık devre voltajı yaklaşık 40 volt'tur, kısa devre akımı 10 Amper'dir.

Tek bir solar hücrenin verdiği güç küçüktür. (15cm x 15cm boyutlarındaki tipik bir hücre yaklaşık 4.2 W verir)



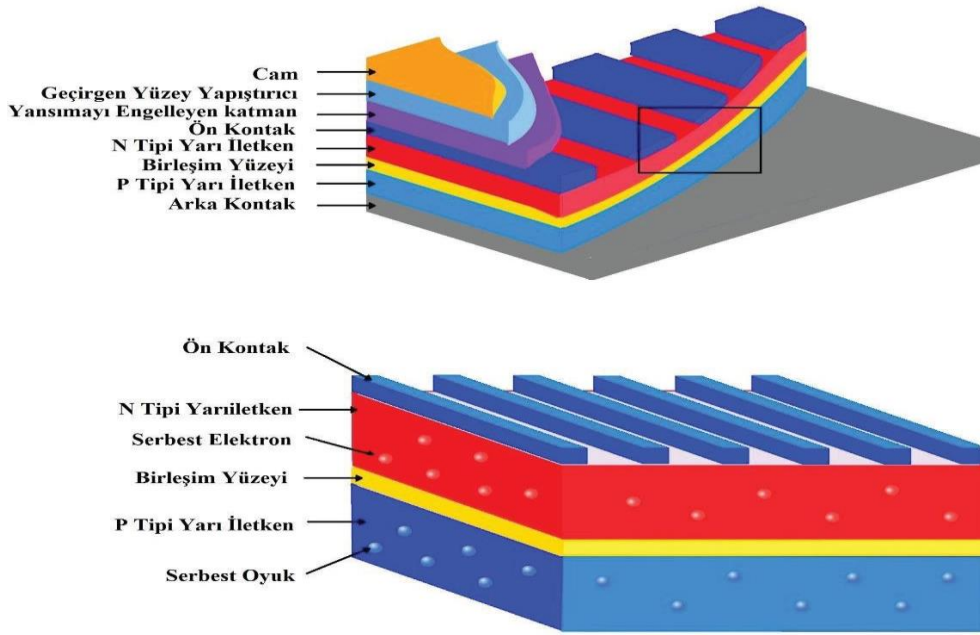
Güneş Hücresi



Güneş Paneli / PV Panel

4.1 Güneş Panelleri

Piyasada bir çok güneş paneli markası ve çeşidi bulunmaktadır. Bir panel almadan önce dikkat edilecek hususlardan en önemlisi panelin uluslararası standartlara uygunluğunu bilmektedir. Paneller TS EN / IEC 61215 standartlarına göre uygun olması dikkat edilecek en büyük unsurlardan biridir. PV Panel üreticileri PV Panellere 20 senelik kullanım ömrü verilmektedir. Fakat kullanım ömrü çevresel şartlara bağlı olarak düşmektedir. PV Paneller aşırı nem ve sıcak altında verimlilikleri düşmekte ve kullanım ömürleri de azalmaktadır. Verilen ömür değerleri de laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucunda verilmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan 2 tip güneş paneli tipi mevcuttur Kristal Tabanlı ve Yarı İletken güneş panelleri olarak ikiye ayrılırlar. Bunun yanı sıra esnek güneş panelleri üzerinde de çalışmalar yürütülmektedir.



4.2 Kristal PV Panelleri

Monokristal ve polikristal olarak vardır. Endüstriyel olarak kullanılan en yaygın panellerdir. Yaklaşık 90 yıl ömürleri vardır. Fakat dış sahada kullanım ömürleri 20 seneye kadar düşmektedir.

Monokristalin güneş pilleri 20% verimlilik kapasitesindedir. Kalite ve verimlilik açısından monokristalin güneş pilleri en iyileridir ama üretimi teknik ve zaman açısından uzun sürdüğü için fiyat olarak pahalıdır. Monokristalin güneş pilleri uzun vadeli yatırım için en iyi seçenektir.

Güneş pilinin monokristalin olması demek tüm maddenin sadece kristalinden oluşması ve materyalin atomar yapısının homojen olması demektir. Doğada bulunan tüm kristalin bileşimler aslında polikristalındır, sadece elmas neredeyse mükemmel monokristalin özelliğe sahiptir.

Polikristalin güneş pilleri 16% verimlilik kapasitesindedir. Kalite ve verimlilik açısından polikristalin güneş pilleri monokristalin olanlar kadar iyi olmasa bile en fazla üretilen türlerdir, nedeni ise maliyetinin daha düşük ve verimlilik/maliyet oranının hayli yüksek olmasıdır.

Polikristalin demek materyalin monokristaline göre tek kristalinden oluşmaması, yani materyalin tam olarak homojen olmamasıdır.

4.3 İnce Film Güneş Panelleri

Kristal silikon devrelerin yüksek maliyetleri güneş hücresi üreticilerini daha ucuz materyallerin araştırılmasına yönlendirmiştir. Bu doğrultuda seçilen materyallerin tamamı güçlü ışık absorbe edicileridir ve sadece 1 μ kalınlıkta olmaları yeterlidir. Bu sayede kullanılan materyal maliyetleri önemli ölçüde düşmektedir. En sık kullanılan materyaller amorf silikon (a-Si), kadmiyum tellürid (CdTe) ve Bakır indiyum (galyum) diselenit (CIS ya da CIGS) polikristal materyalleridir. İnce film paneller üretim bandının sonunda direk olarak panel olarak çıkarlar, kristal panellerdeki gibi hücrelerin birleştirilmesini gerektiren ikinci bir proses (laminasyon) gerekmemektedir.

İnce Film panellerin kristal panellere göre 2 temel avantajı bulunmaktadır;

- * Düşük maliyet
- * Ortalama sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde sıcaklığa bağlı verim kayıplarının daha düşük olması

Buna karşılık dezavantajları ise şöyledir;

- * Düşük verim
- * Düşük verime bağlı olarak daha fazla alan ihtiyacı (MW başına 30-40 dönüm)

Ticari olarak kullanılmakta olan ince film paneleler aşağıda sıralanmıştır;

- * Amorphous silicon (a-Si)
- * Kadmiyum Tellürid (CdTe)
- * Bakır İndiyum / Galyum Diselenid / Disülfür (CIS, CIGS)
- * Çok Eklemlili Hücreler(a-Si/m-Si) / Amorf Silisyum (a-Si)

Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %6-9 mertebesinde. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum güneş pilinin bir başka önemli uygulama sahasının, binalara entegre yarı saydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabilmesidir.

Kadmiyum Tellürid (CdTe)

Kadmiyum Tellürid (CdTe) ile güneş pili maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %19, ticari tip modüllerde ise %7-11 civarında verim elde edilmektedir. Özellikle sıcaklığın yüksek olduğu ve arazi kısıtının bulunmadığı bölgelerde saha kurulumları için oldukça uygun bir panel teknolojisidir. Günümüzde en düşük panel maliyetini sağlayabilecek en önemli teknolojidir.

Bakır İndiyum Galyum Diselenid (CIGS)

Bu çok kristal pilde laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

Sıcaklığın Güneş Hücreleri Üzerindeki Etkisi

Güneş panelleri ideal sayılan 25 °C sıcaklık, 1.000 W/m² güneş radyasyonu ve 1,5 AM (Air Mass, hava kütlesi) ortamda test edilir. Bu ortama göre panellerin verimleri ve gösterdikleri etkiler hesaplanır. Panelin güneş ışığını alması ile birlikte elektrik üretimi başlar fakat verimlerin %100 olmamasından dolayı güneşten gelen enerjinin bir kısmı elektrik enerjisine dönüşürken bir kısmı da ısı enerjisi olarak ortaya çıkar. Bu olay panellerin ısınmasına neden olur, güneş hücrelerinin ısınması ile akım (I) artarken, gerilim (V, Volt) değeri düşer. Gerilimde ki düşüşün fazla olması nedeni ile çıkış gücünde de düşüş olur ve bu verim kaybına neden olur.

Polikristal hücreleri ve 280W güç çıkışı olan bir modül %14,5 verim ile çalışmaktadır (1,95 m² modül alanı).

Verilen değerlerde;

Çalışma sıcaklığı: 45 °C

Sıcaklığın akım üzerinde ki etkisi (I_{sc}): + 0,0006 1/°C

Sıcaklığın gerilim üzerinde ki etkisi (V_{oc}): - 0,0037 1/°C

Sıcaklığın çıkış gücü üzerinde ki etkisi ((P_m): -0,0045 1/°C

Panel 25 °C ortam sıcaklığı için 280W verirken, 25 °C'lık bir ortamda panel sıcaklığı 45 °C olmakta, bu yüzden;

panel çıkış gücü x (1 - (panel sıcaklığı - 25) x P_m)

280 x (1 - (45-25) x 0,0045) = 254,8 W olacaktır çıkış gücümüz ve verim %13'e düşecektir.

Tabi ki sıcak yaz günlerinde ortam sıcaklığının 30 °C olması durumunda panel sıcaklığı daha da artacak ve verim %13'ün de altına inecektir. Aynı hesaplama gerilim ve akım için de yapılabilir.

Aynı durum sıcaklığın düşük olması durumunda ise tam tersi geçerli ve panelde verim artışı olur, tabi kışın - 10 °C sıcaklıkta 1.000 W/m² güneş radyasyonunun bulunması durumunda.

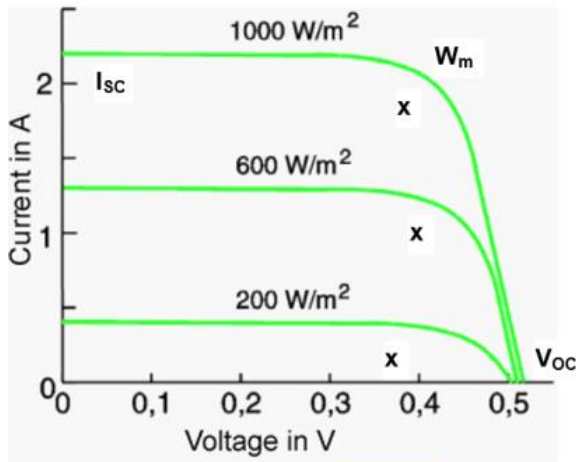
İşte bu nedenden dolayı güneş panelleri güneşli fakat soğuk yere ihtiyaç duyarlar. Panel seçimi yaparken, sıcaklığın panel üzerinde ki etkisi de değerlendirilmeli.

ÖLÇÜM 1: PV Panellerde Voc Açık Devre Voltajı, Isc Kısa Devre Akımı, PV Panel Maksimum Güç Ölçümü , PV Panel Maksimum Tepe Noktası Güç Ölçümü , PV Panel doyma noktası ölçümü ve IV Grafiklerinin çizimi

Panellerde Açık Devre Voltajı :

Açık devre voltajı noktası OC V ile gösterilir ve her farklı ışık miktarı altında farklı bir açık devre voltajı vardır. Silikon bir pil için açık devre voltajı 0.6 volt'tur

Işık miktarının 1.50 kW/m² olduğu bir durumdaki OC V , Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Böylece, 5.6'daki denklemde I=0 koyarsak açık devre voltajını aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz



ekil 5.11 Kısa devre akımı(I_{sc}), açık devre voltajı(V_{oc}) ve maksimum güç noktası(W_m)

$$0 = I_p - I_s \left[\exp \left(\frac{qV_{oc}}{Ak_B T} \right) - 1 \right] - \frac{V_{oc}}{R_{SH}}$$

Paralel direnç genellikle ihmal edilebilecek kadar küçüktür ve,

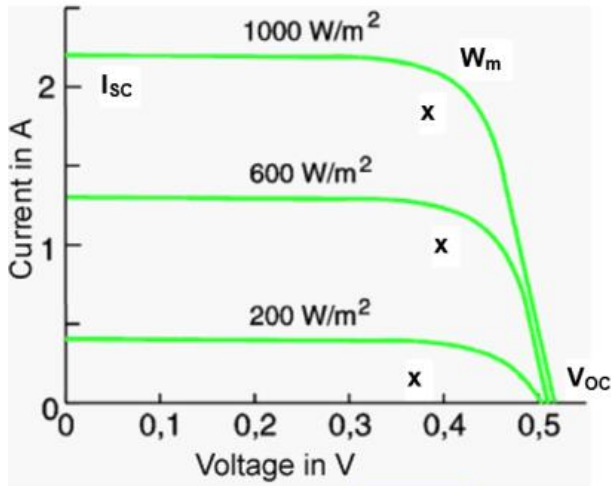
$$V_{oc} = \frac{Ak_B T}{q} \ln \left(\frac{I_p + I_s}{I_s} \right)$$

Açık devre voltajı, parlaklığın artmasıyla logaritmik olarak artar.

Panellerde Kısa Devre Akımı

Kısa devre akımı I_{SC} ile gösterilir. Her ışık miktarı için farklı kısa devre akımı vardır ve 1.50 kW/m^2 için I_{SC} şekil 5.11’de gösterilmiştir. I_{SC} ’de pilin uçları arasındaki voltaj sıfırdır. Böylece, 5.6’daki denklemde $V=0$ alırsak kısa devre akımı aşağıdaki gibi bulunur

$$I_{SC} = I_P - I_S \left[\exp\left(\frac{qR_S I_{SC}}{Ak_B T}\right) - 1 \right]$$



ekil 5.11 Kısa devre akımı(I_{SC}), açık devre voltajı(V_{OC}) ve maksimum güç noktası(W_m)

Normal ışık miktarı altında, seri direnç R_S çok küçüktür ve pratik amaçlı olarak hesaplamalarda ihmal edilebilir. Böylece kısa devre akımı aşağıdaki gibi sadeleşir.

$$I_{SC} = I_P$$

Sonuç olarak; kısa devre akımı, parlaklığa bağlı olan fotovoltaik akıma eşittir. Bu, radyasyon ölçümüne bağlı solar pil tasarımında kullanılan en önemli prensiptir. Solar pili kısa devre akımına yakın bir akımda çalıştırarak, pilin üzerine düşen solar radyasyon ile doğru orantılı olan akım ölçülebilir.

Maksimum güç noktası

MW ile gösterilir ve farklı ışık miktarı için farklı bir maksimum güç değeri vardır. Maksimum güç noktasında, belli ışık miktarı altında yükteki akım ve voltaj çarpımı maksimumdur. Yüke aktarılan güç, sadece yükün direncine bağlıdır ve solar pil maksimum güç noktası dışında bir yerde çalışırsa, yüke maksimum güç aktarılmamış olur.

Tepe Noktası Gücü

Tepe noktası gücü (MP ile gösterilir); solar pil maksimum güç noktasında MW çalışırken, yüke aktarılan güç miktarıdır. Bu noktada, yükün üzerinden geçen akım I_M ve yükün uçları arasındaki voltaj V_M ise:

$$P_m = I_m \times V_m$$

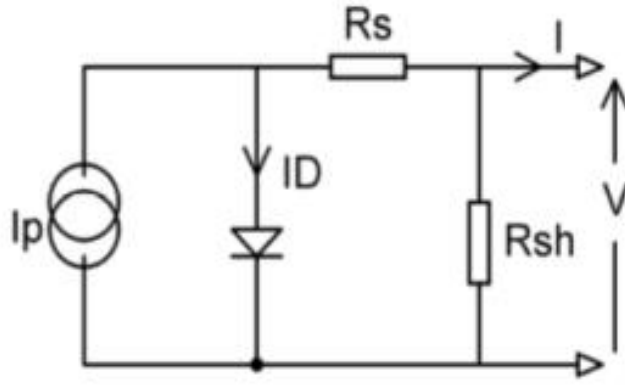
Doyma Faktörü

Solar bir pilin doyma noktası (FF ile gösterilir), tepe noktası gücünün $I_{SC} V_{OC}$ çarpımına oranıdır.

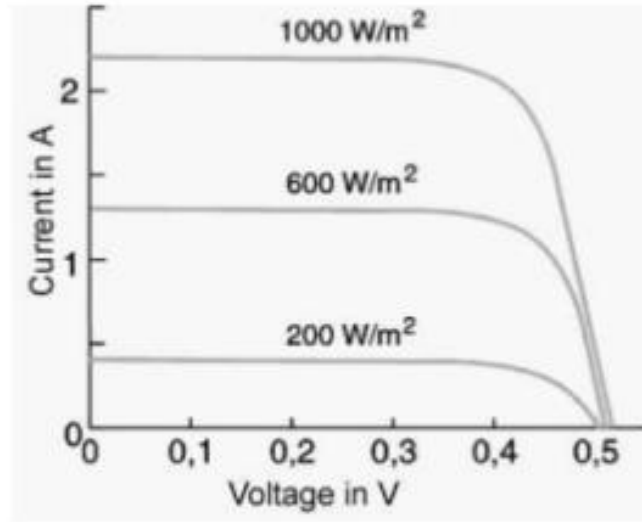
$$FF = \frac{I_M V_M}{I_{SC} V_{OC}}$$

PV Panellerde IV Grafiği

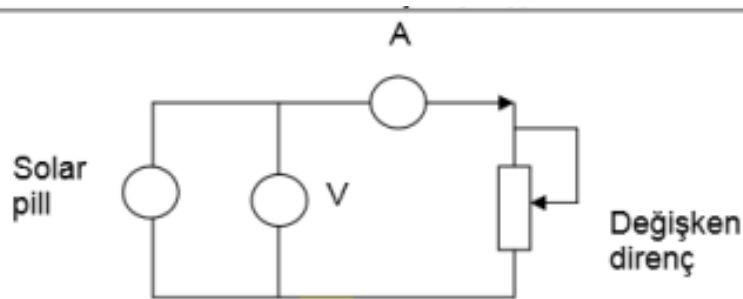
Akım-voltaj (I-V) karakteristiği genellikle iki boyutlu bir grafikte; dikey eksen akımı (Amper cinsinden), yatay eksen ise voltajı (Volt cinsinden) gösterecek şekilde gösterilir. Tipik bir solar pilin akım-voltaj karakteristiği Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Bu şekiller, solar pilin uçlarına test direnci takılıp, açık devreden kısa devreye kadar değeri değiştirilir ve bu sırada direncin üzerindeki voltajı ve akımı ölçülerek elde edilir. Şekil 5.7'de solar bir pilin I-V karakteristiğinin ölçülebilmesi ve grafiğinin çizilebilmesi için örnek bir düzenek gösterilmiştir. Bir I-V grafiği, belli güneş ışığı miktarı altında çizilir ve farklı güneş ışığı miktarı altında ölçümler tekrarlanır; böylece Şekil 5.6'da gösterilen şekildeki gibi bir eğriler ailesi elde edilir.



Şekil 5.5 Solar pilin eşdeğer devresi



Şekil 5.6 Solar pilin I-V eğrisi



Şekil 5.7 Solar pilin I-V karakteristiğinin ölçülmesi

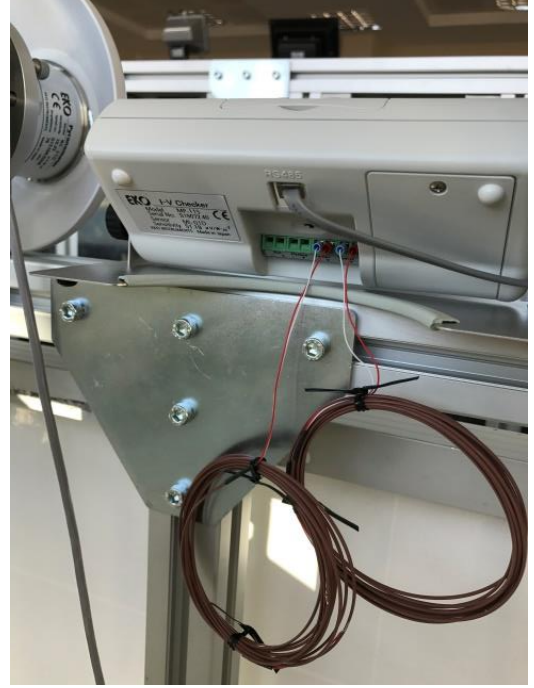
Düzenneğin Hazırlanışı;



Yukarıda resmi görülen PV kablosunun ilgili uçlarını deney seti panosu üzerindeki Soket-1 ucuna ve PV panel kablosuna bağlayınız.



Panodaki Soket-1 ucundan gelen kırmızı ve siyah test kablolarının uçlarını EKO MP11 I-V Cihazının ilgili girişlerine bağlayınız.



EKO MP11 I-V Cihazının Portatif Sensör Ünitesi PV panel üzerine yerleştirilip panel sıcaklık sensörü ile ortam sıcaklık sensörünü portatif sensör ünitesine bağlayınız.

Tüm bağlantılar yapıldıktan sonra lamba grubu enerjilendirilir. EKO MP11 I-V Ölçüm cihazı üzerindeki 'START' tuşuyla test I-V testi yapılır.

- EKO MP11 I-V Ölçüm cihazı üzerindeki 'START' tuşuyla testi başlatıp V_{oc} , I_{sc} , P_{max} , FF değerlerinin sonucunu yazınız.
- Işıma şiddetini azaltınız ve Deney 1.a daki test adımlarını uygulayarak V_{oc} , I_{sc} , P_{max} , FF değerlerini tekrardan hesaplayınız.
- Panel üzerinde gölgelenme yapınız ve Deney 1.a daki test adımlarını uygulayarak V_{oc} , I_{sc} , P_{max} , FF değerlerini tekrardan hesaplayınız.
- Rüzgâr Hızını 1m/s, 2 m/s ve 4m/s getiriniz ve Deney 1.a daki test adımlarını uygulayarak V_{oc} , I_{sc} , P_{max} , FF değerlerini tekrardan hesaplayınız.
- Panel açısını değiştiriniz ve Deney 1.a daki test adımlarını uygulayarak V_{oc} , I_{sc} , P_{max} , FF değerlerini tekrardan hesaplayınız. Panel açısını belirtiniz.
- EKO MP11 IV Ölçüm cihazının ilgili menüsüne gelerek I-V Grafiğini çiziniz.
- Farklı ışıma, rüzgâr hızı, panel açısı ve gölgelendirme altında IV Grafiklerini çiziniz.

	Açık Devre Gerilimi (V_{OC}) Volt	Kısa Devre Akımı, (I_{SC}) Amper	Işıma Miktarı (W/m^2)	Maks. Gerilim (V_m)	Maks. Akım (I_m)	Doyma Faktörü (FF)	Verim (%)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Soru 1- Işıma değeri değışiminin Açık devre voltajına bir etkisine var mıdır?

Soru 2- PV Panel Verimlilik değeri nedir? Nasıl hesaplanır? Araştırınız...

Soru 3- Sıcaklık değerin değışiminin V_{oc} , I_{sc} , P_{max} ve FF değerlerine etkisini açıklayınız.

Soru 4- Rüzgâr hızı değışiminin V_{oc} , I_{sc} , P_{max} ve FF değerlerine etkisini açıklayınız.

Soru 5- Gölgelemenin V_{oc} , I_{sc} , P_{max} ve FF değerlerine etkisini açıklayınız.

Soru 6- Panel açısı değışiminin V_{oc} , I_{sc} , P_{max} ve FF değerlerine etkisini açıklayınız.

Soru 7- Farklı ışıma, rüzgâr hızı, panel açısı ve gölgelendirmenin I-V grafiğı üzerindeki etkisini açıklayınız.