

Muğla İklim Koşullarına AS1206 Tek Kristal Silisyum (m-Si) Fotovoltaik Modülün Seri ve Paralel Direnç Değerlerinin Mevsimsel Olarak Değişimi

Rüştü EKE¹, Şener OKTİK²

ÖZET

Fotovoltaik güneş gözelerinin (güneş pillerinin) ve fotovoltaik modüllerin akım-gerilim eğrileri kullanılarak gözelerin veya modüllerin güç çıktılarının değişimini açıklayan seri direnç, paralel direnç, düzeltilmiş idealite faktörü, karanlık doyma akımı ve ışıkla üreyen akım gibi iç parametrelerinin işletme koşullarındaki değerleri belirlenebilir. Güneş gözeleri ve fotovoltaik modüller üretici firmalar tarafından Standart Test Koşulları (STC: AM 1.5 koşullarında 1000W/m² güneş ışığı şiddeti altında, 25°C göze veya modül sıcaklığı) altında ürettikleri güçlere göre piyasaya sürülürler. Elektriksel güç üretimi için güneş gözelerinin veya fotovoltaik modüllerinin dış ortama bırakıldıklarında (işletme koşullarında) ise STC'den farklı ışık şiddeti ve çalışma sıcaklığı değerleri görülmektedir. Ayrıca güneş gözelerinin veya fotovoltaik modüllerin sadece STC altındaki çalışma parametreleri verilmektedir. Çalışma koşullarında bu parametrelerdeki değişim, güneş gözelerinin ve fotovoltaik modüllerin performansını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada; Muğla Üniversitesi Merkez Kütüphanesi Çatısındaki Fotovoltaik Test Alanında bulunan AS1206 tek kristal silisyum (m-Si) fotovoltaik modülde Nisan 2005-Mayıs 2006 tarihleri arasında alınan akım-gerilim ölçümlerden yola çıkarak hesaplanan seri ve paralel direnç değerlerinin bir yıllık süre içerisinde işletme koşullarındaki değişimi incelenmiştir. Analitik çözümden yola çıkarak güneş gözesi ve modül davranışını açıklayan tek diyot modelinde bulunan değişkenler, bazı basit yaklaşımlarla hesaplanmıştır. Parametre tahmininde kullanılan basit yöntemler ile hesaplamalarda kullanılan yöntemlerin karşılaştırması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş gözesi, Modül, Fotovoltaik, Seri direnç, Paralel direnç, Tek diyot modeli

ABSTRACT

Internal parameters of Photovoltaic Solar cell or module namely series resistance, shunt resistance, modified ideality factor, diode saturation current and light generated current can be determined

¹ Muğla Üniversitesi Temiz Enerji Kaynakları Ar&Ge Merkezi, 48170, Muğla, e-mail:erustu@mu.edu.tr

² Muğla Üniversitesi Temiz Enerji Kaynakları Ar&Ge Merkezi, 48170, Muğla, email: mutek@mu.edu.tr

using their current voltage curves measured under operating conditions. Manufacturers of Solar cells or modules commonly use the parameters measured under Standard Test Conditions (STC:1000W/m² global irradiation at AM1.5 spectrum and 25°C cell temperature). In actual operating conditions characteristics of incident solar irradiation and module temperature differs from STC values, which in turn affect the values of PV parameters and the performance of solar cell or module. This study investigates the variation of the series and parallel resistance values of AS1206 m-Si modules in the Photovoltaic Test Site on the top of Muğla University Central Library during a period of a year from April 2005 to May 2006. Series and parallel resistance values are calculated using the current-voltage curves measured under actual operating conditions. Internal parameters describing solar cell and module behaviour in single diode model are calculated with common assumptions. Common methods used in parameter estimation are compared with methods used in calculation.

Key Words: Photovoltaic solar cell, Module, Series resistance, Parallel resistance, Single diode model

1. GİRİŞ

Güneş gözeleri, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik (PV) aygıtlardır. Fotovoltaik sistemlerle enerji üretimi, mevcut elektrik enerjisi üretim yöntemlerinin beraberinde getirdikleri olumsuz çevresel etkilerin azaltılmasında yardımcı olmaktadır. Güneş gözeleri, çok geniş bir uygulama sahası için çok geniş bir coğrafi alanda elektrik üretilebileceğini göstermektedir.

Güneş gözesi sektörü 2005 yılında, 2004 yılına göre %45 oranında büyüme göstererek 1727MWp güneş gözesi üretilmiştir. Üretilen güneş gözelerinin yarısından fazlası Almanya'da şebeke bağlantılı sistemlerde kullanılmıştır (Epiea 2005; Tuille F. and Fovez G. 2006). 2005 yılında üretilen güneş gözelerinin %94'ünü tek kristal ve çok kristalli silisyum (c-Si) güneş gözeleri oluşturmaktadır (PV News 2006).

Bir güneş gözesinden elde edilebilecek akım ve gerilim değerleri sadece küçük bir elektronik aygıtı çalıştırmak için yeterli olacağından daha büyük akım ve gerilim gerektiren cihazları çalıştırabilmek için birden çok gözenin elektriksel olarak seri/paralel bağlanarak paketlenmesi ile fotovoltaik modül oluşturulur. Güneş gözesinden veya fotovoltaik modülden elde edilebilecek güç, yüzeye gelen ışık şiddeti ve çalışma sıcaklığına bağlıdır. Güneş gözesi ve modüller üretici firmalar tarafından Standart Test Koşulları (STC: AM 1,5 koşullarında 1000W/m² güneş ışığı şiddeti altında ve 25°C göze veya modül sıcaklığı) altında ürettikleri güçlere göre piyasaya sürülürler. Ayrıca, güneş gözelerinin ve modüllerin test edildiği STC olarak ifade edilen şartlar; açık bir yaz günündeki güneş ışığı şiddetini, açık bir kış günündeki göze veya modül sıcaklığını ve açık bir bahar günündeki güneş ışığı spektrumunu bir araya getirmektedir. İşletme koşullarında ise bu standartların oluşumu mümkün değildir. Üretici firmalar tarafından güneş gözelerinin veya fotovoltaik modüllerin bu koşullardaki, açık devre gerilimi (V_{OC}), kısa devre akımı (I_{SC}), maksimum güç

noktasındaki akım (I_{MPP}) ve gerilim (V_{MPP}) değerleri verilir. İşletme koşullarında, STC'den daha farklı ışık şiddeti ve çalışma sıcaklığı değerleri görülmektedir. Değişen koşullar nedeniyle göze veya modülün özelliklerini belirleyen seri ve paralel direnç gibi parametrelerin değerleri değişmektedir.

Bu çalışmada, güneş gözelerinin ve fotovoltaik modüllerin modellenmesinde çokça kullanılan ve basit bir yöntem olan tek diyot modeli kullanılmıştır. Analitik yöntemden yola çıkarak bazı yaklaşımlar yapılarak işletme koşullarındaki seri ve paralel direnç değerleri hesaplanarak bu değerlerin mevsimsel olarak değişimleri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Güneş gözelerinin veya fotovoltaik modüllerin seri ve paralel direnç değerlerinin belirlenebilmesi için akım-gerilim eğrilerinin işletme koşullarında ölçülmesi gerekmektedir. Bu amaçla Muğla Üniversitesi Temiz Enerji Kaynakları Araştırma Geliştirme Merkezi (MUTEK Ar&Ge) bünyesinde Aescusoft tarafından hazırlanan çok kanallı ölçüm sistemi ile bir güneş gözesinin veya fotovoltaik modülün akım-gerilim eğrisi 20s içerisinde elde edilebilmektedir (Spinner 2000). Test edilen güneş gözesinin veya fotovoltaik modülün gerilimi, (0V) kısa devre durumundaki değerden (V_{OC}) açık devre durumundaki değere kadar 80 noktada taranarak her bir gerilime karşı gelen akım değerleri ölçülerek bir dosyaya kaydedilmektedir. 2 dakikada bir gerçekleştirilen bu ölçümler ile gün boyunca sürekli olarak ölçümler alınabilmektedir. Elde edilen akım-gerilim eğrileri kullanılarak güneş gözesi veya fotovoltaik modüle ait iç parametrelerin gün içerisindeki veya mevsimler arasındaki değişimi incelenebilmektedir.

Üretici firma tarafından STC'deki özellikleri Tablo 1'de verilen, 120Wp güce sahip AS1206 tek kristal silisyum (m-Si) fotovoltaik modülün akım-gerilim değişimleri bir yıl boyunca ölçülmüştür. Testlerin gerçekleştiği süre içerisinde her ayı temsil eden bir açık gün seçilmiş ve 200-1000W/m² ışık şiddeti aralığında alınan akım-gerilim eğrileri incelenmiştir.

Tablo 1 AS1206 m-Si fotovoltaik modülün STC'deki elektriksel özellikleri (PVSYST).

I_{SC} (A)	V_{OC} (V)	I_{MPP} (A)	V_{MPP} (V)	R_S (Ω)	R_{SH} (Ω)
7,70	21,0	7,14	16,8	0,111	140,0

Bir güneş gözesi veya modülün akım-gerilim karakteristiği için seçilen tek diyot modeli,

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + I.R_S}{a}\right) - 1 \right] - \frac{V + I.R_S}{R_p} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir (Duffie and Backman 1981). Burada I (A) elektrik akımının, I_0 (A) karanlık doyma akımının, I_L (A) ışıkla üreyen akımın, V (V) gerilimin, R_S (Ω) seri direncin, R_p (Ω) paralel direncin değerini ve $a = Ns.nk_B T_C / q$ olmak üzere düzeltilmiş idealite faktörünün değerini ifade etmektedir. Burada, Ns , modül içerisindeki seri bağlı güneş gözesi sayısını, n gözenin idealite faktörünü, k_B Boltzmann sabitini, T_C (K) göze veya modül çalışma sıcaklığını, q , elektron yükünü göstermektedir.

Açık devre ve kısa devre durumlarında akım ve gerilim değerleri (1) denkleminde yerine koyularak iki denklem ve bu iki denklemden I_L yok edilerek,

$$I_0 \left[\exp\left(\frac{V_{oc}}{a}\right) - \exp\left(\frac{I_{sc} R_S}{a}\right) \right] = I_{sc} \left(1 + \frac{R_S}{R_p} \right) + \frac{V_{oc}}{R_p} \quad (2)$$

İfadesi elde edilir. Ayrıca güneş gözesinin veya modülün akım-gerilim eğrisinin;

kısa devre akımı civarındaki eğimi $\left(\frac{dI}{dV} \right)_{I=I_{sc}} = -\frac{1}{R_{po}}$ ve açık devre gerilimi

civarındaki eğimi; $\left(\frac{dI}{dV} \right)_{V=V_{oc}} = -\frac{1}{R_{so}}$ şeklinde tanımlanarak, (1) denkleminde yerine koyulacak olursa;

$$(R_{so} - R_S) \left[\frac{1}{R_p} + \frac{I_0}{a} \exp\left(\frac{V_{oc}}{a}\right) \right] - 1 = 0 \quad (3)$$

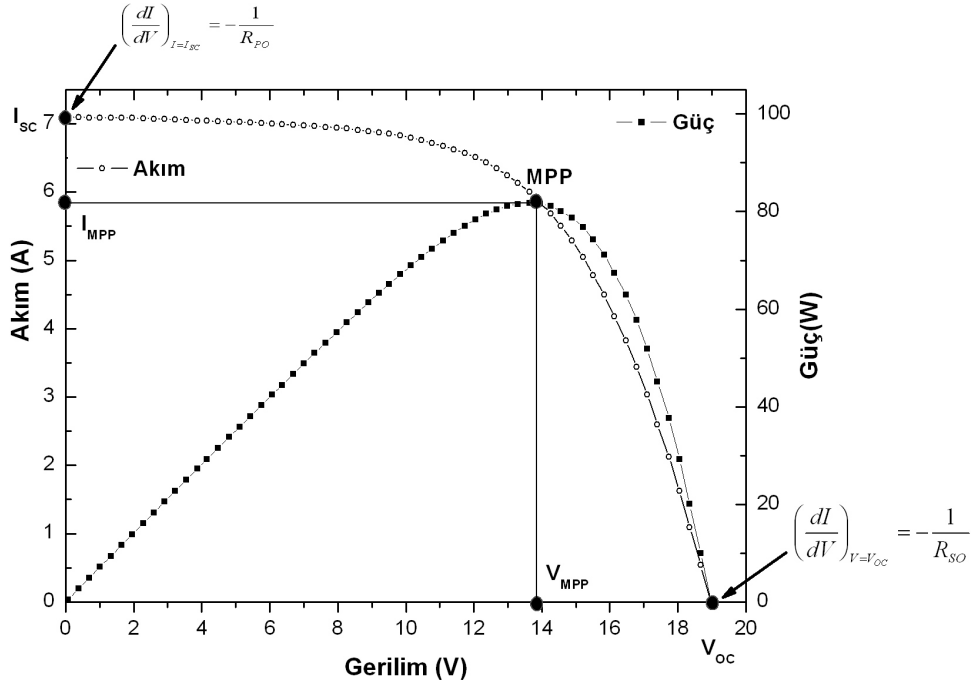
$$\frac{1}{R_p} + \frac{I_0}{a} \exp\left(\frac{I_{sc} R_S}{a}\right) - \frac{1}{R_{po} - R_S} = 0 \quad (4)$$

denklemleri elde edilir.

Bir güneş gözesinde veya modülde en yüksek gücün elde edildiği nokta olan maksimum güç noktasındaki akım ve gerilim değerleri, (1) ile verilen akım-gerilim denkleminde yazılır ve I_L yok edilirse serinin son denklemini (5) elde edilmiş olur.

$$0 = I_o \exp\left(\frac{V_{OC}}{a}\right) + \frac{V_{OC} - V_{MPP}}{R_p} - \left(1 + \frac{R_s}{R_p}\right) I_{MPP} - I_o \exp\left(\frac{V_{MPP} + I_{MPP} R_s}{a}\right) \quad (5)$$

Burada I_{MPP} ve V_{MPP} , maksimum güç noktasındaki akım ve gerilim değerlerini temsil etmektedir. Şekil 1'de 14 Mayıs 2006'da 11.31'de tek kristal silisyum güneş gözelerinden oluşan AS1206 m-Si fotovoltaik modülünün deneysel olarak elde edilen akım-gerilim ve güç-gerilim eğrisi üzerinde, MPP noktası, I_{SC} , V_{OC} , I_{MPP} ve V_{MPP} değerleri gösterilmektedir.



Şekil 1. AS1206 m-Si fotovoltaik modüle ait akım-gerilim ve güç-gerilim eğrisi üzerinde MPP noktası ile R_{SO} ve R_{PO} değerleri.

(3) ve (4) numaralı denklemler (2) numaralı denklemde birleştirir ve paralel direnç değeri için,

$$R_p = R_{PO} - R_s \quad (6)$$

alınacak olursa,

$$a \left(\frac{1}{R_{SO} - R_S} - \frac{1}{R_{PO} - R_S} \right) = \frac{I_{SC} R_{PO} - V_{OC}}{R_{PO} - R_S} \quad (7)$$

elde edilir. Akım-gerilim eğrisinin kısa devre akımı civarındaki ve açık devre gerilimi civarındaki eğimleri yeniden düzenlenen denklemde yerine koyulacak olursa seri direnç için,

$$R_S = \frac{R_{SO} \left(\frac{V_{oc}}{a} - 1 \right) + R_{PO} \left(1 - \frac{I_{sc} R_{so}}{a} \right)}{\frac{V_{OC} - I_{SC} R_{PO}}{a}} \quad (8)$$

ifadesi elde edilir.

Güneş gözelerinin veya fotovoltaik modüllerin güç üretiminde kullanıldıkları dış ortamda veya işletme koşullarında (2) denklemindeki üstel terimlerin alacağı

değerler karşılaştırılacak olursa $\exp\left(\frac{V_{OC}}{a}\right) \gg \exp\left(\frac{I_{SC} R_S}{a}\right)$ olduğundan (2) ve

(5) denklemleri sıcaklığı da içerisine alan a , düzeltilmiş idealite faktörünü hesaplayabilmek için yeniden düzenlenecek olursa,

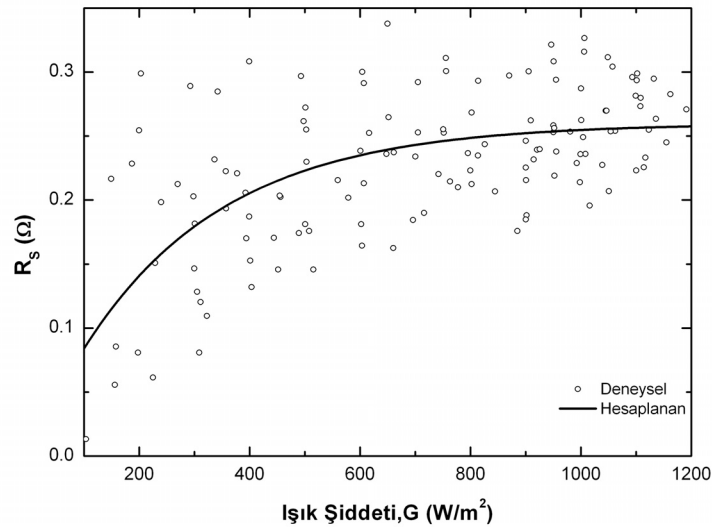
$$a = \frac{V_{MPP} + I_{MPP} R_S - V_{OC}}{\ln \left\{ \frac{\left(I_{SC} - I_{MPP} \right) \left(1 + \frac{R_S}{R_{SH}} \right) - \frac{V_{MPP}}{R_{SH}}}{I_{SC} \left(1 + \frac{R_S}{R_{SH}} \right) - \frac{V_{OC}}{R_{SH}}} \right\}} \quad (9)$$

ifadesi bulunur. Böylece seri direnç için bir başlangıç değeri belirlenerek bir güneş gözesi veya modülünün iç parametrelerinden seri direnç (R_S), paralel direnç (R_p) ve düzeltilmiş idealite faktörünün (a) işletme koşullarındaki değerleri akım-gerilim eğrisi kullanılarak bulunabilir (Phang et al. 1984; de Blas et al. 2002; van Dyk and Meyer 2004).

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Muğla Üniversitesi Merkez Kütüphanesi çatısında bulunan ve kurulu gücü 2280Wp olan şebekeye bağlı sistemde kullanılan tek kristal silisyum (m-Si) güneş gözelerinden oluşan 120Wp güce sahip, Tablo 1’de elektriksel özellikleri verilen AS1206 m-Si modülün seri ve paralel direnç değerlerinin bir yıl içerisindeki ışık şiddeti ve çalışma sıcaklığıyla değişimi incelenmiştir. (6), (8) ve (9) denklemleri kullanılarak seri ve paralel direnç değerleri 200 W/m² ile 1000 W/m² güneş ışığı şiddeti altında hesaplanmıştır.

Farklı koşullarda yapılan hesaplamalardan R_s seri direnç değerinin ışık şiddeti G ve güneş gözesi veya modül sıcaklığı T_C değerlerine bağlı olduğu görülmektedir (modülün arka yüzeyinde ölçülen sıcaklığın göze sıcaklığına eşit olduğu kabul edilmiştir). AS1206 m-Si modülde yapılan hesaplamalardan seri direnç değerinin ışık şiddetiyle üstel olarak değiştiği görülmektedir. Şekil 2’de AS1206 m-Si modül için bir yıl içerisinde her ayı temsil etmek üzere seçilmiş bir açık günde farklı ışık şiddetlerinde hesaplanan seri direnç değerleri gösterilmektedir.



Şekil 2. AS1206 m-Si fotovoltaik modülde bir yıl boyunca ölçülen ve hesaplanan seri direnç değerlerinin karşılaştırılması.

AS1206 m-Si fotovoltaik modülde 200W/m² ışık şiddeti değerinde 0,1Ω civarında olan seri direnç değerinin artan ışık şiddetiyle;

$$R_s = r_{s1} (1 - e^{-r_{s2}G}) \quad (10)$$

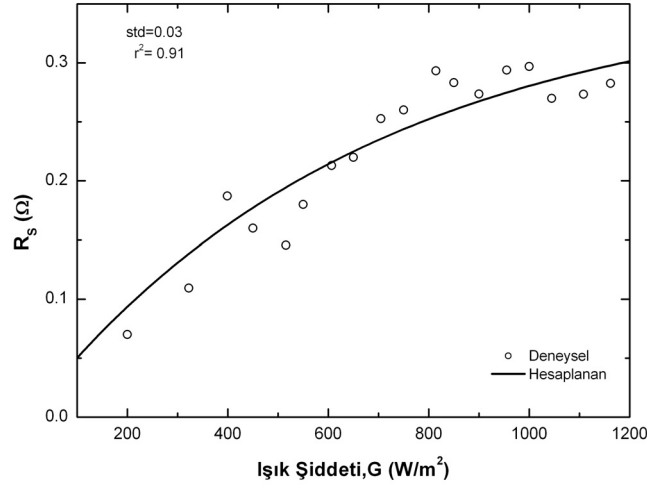
ifadesine uyan üstel bir değişim ile 1.000W/m² ışık şiddetine gelindiğinde seri direnç değerinin 0,25-0,30Ω’a yükseldiği gözlenmektedir. AS1206 m-Si modül dü-

zenli bir kristal yapısında olduğundan hesaplanan seri direnç değeri $0,10\Omega$ ile $0,32\Omega$ arasında değişmektedir. Yaz ve kış mevsimlerinde günün birçok bölümünde $300W/m^2$ 'den daha yüksek ışık şiddetinin görüldüğü Muğla'da, AS1206 m-Si fotovoltaik modül için hesaplanan seri direnç değerleri üretici firma tarafından $0,111\Omega$ (Tablo1) olarak verilen değerden daha yüksektir. Yaz aylarında ortam sıcaklığı ve modülün çalışma sıcaklığı da yüksek olduğundan, seri direnç değerindeki artış, $600W/m^2$ ışık şiddetine kadar hızlı olmakta daha sonra yavaşlamaktadır. Kış aylarında ise seri direnç değeri, artan ışık şiddetiyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Seri direnç değerinin daha kolay hesaplanması için yıl içerisinde elde edilen tüm değerler kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucunda genel ifadenin,

$$R_s = 0,260 \times (1 - e^{-0,0039 \times G}) \quad (11)$$

şeklinde olduğu belirlenmiştir.

Bunun nedeni, yüzeye gelen toplam güneş ışığının şiddetinin aynı değerde olmasına rağmen, güneş ışığının spektrumunda ve çevre sıcaklığında oluşan farklılıklardır. Mevsimsel olarak görülen farklılıklar nedeniyle her ay için seçilen açık bir günde yapılan hesaplamalar sonucunda, (10) ifadesinde yer alan katsayılar tespit edilmiştir. Şekil 3'te 14 Mayıs 2006'da alınan ölçüm sonuçları ve bu sonuçlara uyan fonksiyonun değişimi görülmektedir.



Şekil 3. AS1206 m-Si fotovoltaik modülde 14 Mayıs 2005'te ölçülen ve hesaplanan seri direnç değerlerinin karşılaştırılması.

14 Mayıs 2006'da alınan ölçümlerle yapılan hesaplamalar sonucunda seri direnç değişiminin,

$$R_s = 0,361 \times (1 - e^{-0,0015 \times G}) \quad (12)$$

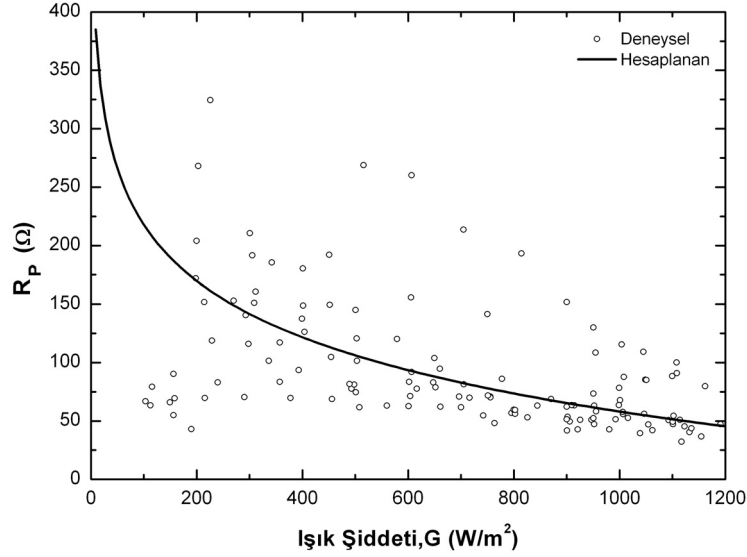
şeklinde olduğu belirlenmiştir. Şekil 3'ten de görüleceği üzere seçilen bir gün için yapılan hesaplamalar sonucunda seri direnç değerinin ışık şiddetiyle değişimini ifade eden fonksiyon için belirleme katsayısı oldukça yüksektir (0,91). Şekil 2'deki gibi bir yıl boyunca yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen seri direncin ışık şiddetiyle değişimini veren fonksiyon için belirleme katsayısı (0,59) düşük olup fonksiyon ile hesaplanan değerler ile deneysel olarak hesaplanan seri direnç değerleri arasında bazı aylar için %50'ye ulaşabilen farklar ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni de yaz ve kış mevsimlerinde ölçülen modül sıcaklıkları arasında çok büyük fark olmasıdır. Şubat'ta 980W/m^2 ışık şiddetinde ölçülen en yüksek modül sıcaklığı Ağustos'ta sabah 100W/m^2 ışık şiddetinde ölçülen en düşük modül sıcaklığına ancak yaklaşmaktadır. Üretici firma tarafından AS1206 m-Si fotovoltaik modül için seri direncin katalog değeri STC'de $0,159\Omega$ olarak verilmektedir. Hesaplanan seri direnç değeri ise bu değer üzerinde olmakla birlikte daha düşük modül sıcaklıklarında de Blas tarafından $0,30\Omega$ ile $0,32\Omega$ arasında hesaplanan seri direnç değerinden daha düşüktür (de Blas et al. 2002).

Paralel direnç (R_p), bir güneş gözesinde kaçak akımları ifade etmekte olup performansı etkileyen parametrelerdendir. Akım-gerilim eğrisinin kısa devre akımı civarındaki eğiminden yola çıkarak paralel direnç değeri (6) ifadesi ile hesaplanabilir.

AS1206 m-Si fotovoltaik modül için STC'de 140Ω olarak verilen R_p değerinin 10Ω olması durumunda (ışık şiddeti ve çalışma sıcaklığı gibi diğer parametreler sabit tutularak) V_{MPP} ve I_{MPP} değerlerinin STC'de verilen değerlere göre %15 daha düşük olacağı hesaplanmıştır.

AS1206 m-Si fotovoltaik modülde farklı koşullarda yapılan hesaplamalardan üretici firma tarafından STC'de verilen R_p değerinin altında değerler hesaplanmıştır. İşletme koşullarında hesaplanan paralel direnç değerinin ışık şiddeti G ve göze sıcaklığı T_C değerlerine logaritmik olarak Denklem 13'e uyan bir ifade ile bağlı olduğu görülmektedir.

Şekil 4'de AS1206 m-Si modül için bir yıl içerisinde farklı ışık şiddetlerinde hesaplanan paralel direnç değerleri gösterilmektedir. Bir yıl içerisinde hesaplanan değerlerin büyük bölümü $50-125\Omega$ aralığındadır.



Şekil 4. AS1206 m-Si fotovoltaik modülde bir yıl boyunca ölçülen ve hesaplanan paralel direnç değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5’de 14 Mayıs 2006’da alınan ölçüm sonuçları ve bu sonuçlara uyan fonksiyonun değişimi görülmektedir. Mayıs ayını temsilen seçilen 14 Mayıs 2006 günü 500W/m² ışık şiddetine kadar hesaplanan paralel direnç değerleri, 250Ω değerinden yüksek olup diğer tüm zamanlar için hesaplanan değerler üretici firma tarafından STC’de 140Ω (Tablo 1) olarak verilen değerden daha düşüktür. Şekil 4’deki paralel direncin ışık şiddetiyle olan değişimi;

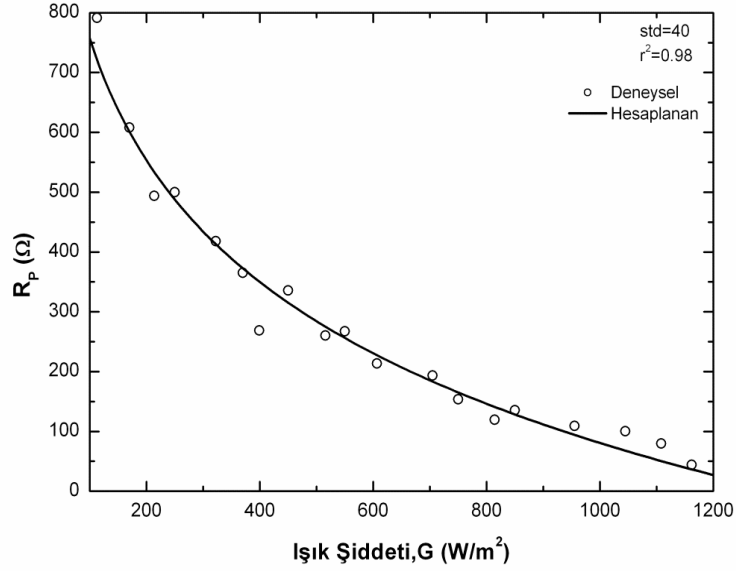
$$R_p = r_{p1} + r_{p2} \times \ln(G) \quad (13)$$

ifadesine uygundur. Şekil 5’de hesaplanan paralel direnç değerlerinin Denklem 14 ile ifade edilen fonksiyon ile ne kadar uyum içerisinde temsil edilebileceği gösterilmektedir.

AS1206 m-Si fotovoltaik modül için bir yıl içerisinde farklı ışık şiddetlerinde hesaplanan paralel direnç değerleri kullanılarak yapılan regresyon sonucunda genel ifadenin;

$$R_p = 537,54 - 69,41 \times \ln(G) \quad (14)$$

şeklinde olduğu belirlenmiştir. Şekil 5’den de görüleceği üzere seçilen bir gün için yapılan hesaplamalar sonucunda paralel direnç değerinin ışık şiddetiyle değişimini ifade eden fonksiyon için belirleme katsayısı 0,98 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. AS1206 m-Si fotovoltaik modülde 14 Mayıs 2005'te ölçülen ve hesaplanan paralel direnç değerlerinin karşılaştırılması.

Üretici firma tarafından AS1206 m-Si fotovoltaik modül için paralel direncin katalog değeri STC'de 140Ω olarak verilmektedir. İşletme koşullarında hesaplanan paralel direnç değeri ise bu değerden daha düşüktür. Bir yıl içerisinde farklı ışık şiddetlerinde hesaplanan paralel direnç değerlerinin büyük bölümü 50Ω ile 125Ω aralığındadır.

Düşük ışık şiddetlerinde modülde üretilen akım da düşük olduğundan kaçak akımlar azdır. Bu nedenle de kaçak akımları temsil eden paralel direncin değeri de büyüktür. Yüksek ışık şiddetlerinde yüksek çalışma sıcaklıklarına ulaşılmakta ve modülde üretilen akım da artmaktadır. Kaçak akımların da artması nedeniyle paralel direncin değeri küçülmektedir.

Referanslar

- Spinner D. M., 2000, Solar Measuring System for Characterisation of Solar Cells (V2.0 1/2003) manual, Aecusoft, Fraunhofer Institute, Freiburg, Germany. www.aecusoft.de
- de Blas M.A., Torres J.L., Prieto E. and Garcia A., 2002, Renew. En. 25, 371
- Duffie J.A. and Beckman W.A., 1981, Solar Engineering and Thermal Processes, John Wiley&Sons Inc., New York, USA.
- Epia 2005, "Capacity and Market Potential for Grid-connected Systems by 2010" Workshop. 22 Dec. 2005. Frankfurt.
- Phang J.C.H., Chan D.S.H. and Philips J.R. 1984, El. Lett. 20 (10), 406.

PV News 2006. The Future of Thin Film PV. August 2006, Prometheus Institute.

PVSYST, www.pvsyst.com

Tuile F. and Fovez G., Photovoltaic Barometer 2006. April 2006. <http://www.energies-renouvelables.org>

van Dyk E.E. and Meyer E.L., 2004, Renew. En. 29, 333.