

## GÜNEŞ PİLİNİN TEK DİYOT $R_s$ MODEL PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI VE I-V İLE P-V KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

### EXTRACTION OF SOLAR CELL SINGLE DIODE $R_s$ MODEL PARAMETERS AND STUDY OF I-V AND P-V CHARACTERISTICS

Ayşegül TOPRAK<sup>1</sup>, Hamdi Şükür KILIÇ<sup>2,3</sup>, Ahmet TOPRAK<sup>4</sup>, Abdullah KEPCEOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi, Kadınhanı Faik İçil MYO, Elektronik ve Otomasyon Böl. Kadınhanı, KONYA

<sup>2</sup>Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Kampüs, KONYA

<sup>3</sup>Selçuk Üniversitesi, İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (İLTEK), Kampüs, KONYA

<sup>4</sup>Selçuk Üniversitesi, Bozkır MYO, Elektrik ve Enerji Böl. Bozkır, KONYA

aytoprak@selcuk.edu.tr, hamdisukurkili@selcuk.edu.tr, atoprak@selcuk.edu.tr, abduhahkepceoglu@gmail.com

#### ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynakları gelecekte dünyanın enerjisini karşılamada önemli bir rol oynayacaktır. Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki en temel enerjidir. Güneş enerjisi sistemlerinin popüler olduğu günümüzde, Fotovoltaik (FV) panel parametrelerini deneysel verilerden kesin olarak anlayabilmek, FV panelin tasarımında ve verimini değerlendirmede oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Farklı işletme koşullarında fotovoltaik panellere ait performans karakteristiklerinin elde edilmesi ve parametrik çalışmalarla ilgili bilimsel faaliyetler özellikle son dönemlerde ilgi çekmektedir.

Bu çalışmada, fotovoltaik panel parametrelerinin belirlenmesi için ticari amaçla satılan güneş paneli üretici firmanın katalog bilgileri kullanılarak tek diyot  $R_s$  modelin bilinmeyen parametreleri farklı iki yöntemle hesaplanmış ve farklı güneş ışınım şiddeti koşullarındaki I-V, P-V karakteristikleri MATLAB ortamında oluşturularak deneysel verilere yakınlığı karşılaştırılmıştır. Ayrıca panel parametrelerinin I-V ve P-V karakteristiklerinin farklı sıcaklıklardan nasıl etkilendiği incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Güneş Pili, Tek Diyot  $R_s$  Modeli, Parametre Hesabı

#### ABSTRACT

Renewable energy sources will play an important role in the energy supply in a near future. Solar energy is the primary energy source among renewable energy sources. The solar energy systems are became the most compelling topic, understanding the parameters of the Photovoltaic (PV) panels using the experimental data plays an important role in the design and evaluation of the PV panels and its efficiencies. Obtaining the performance characteristics of the photovoltaic panels in different operating conditions and parametric studies, have attract attention in the last decade.

In this study, we determined the unknown parameters of photovoltaic panels using the single diode  $R_s$  model via applying two different methods, by using catalog information of the commercial solar panel obtained from manufacturers. Thus, these were compared with the experimental data by plotting I-V and P-V characteristics in MATLAB at the different solar radiation conditions. Eventually, temperature dependent I-V and P-V characteristics of panel parameters were investigated.

**Keywords:** Solar Cell, Single Diode  $R_s$  Model, Parameter Extraction

# Güneş Piliin Tek Diyot Rs Model Parametrelerinin Hesaplanması Ve I-V İle P-V Karakteristiklerinin İncelenmesi

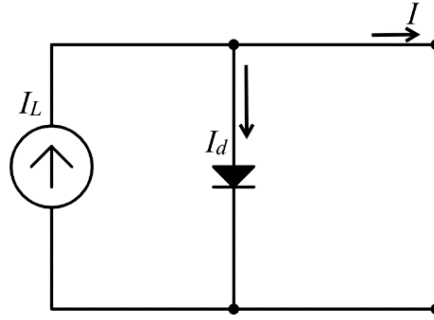
## 1. Giriş

Fotovoltaik elektrik üretimine olan küresel ilginin son yıllarda arttığı bilinmektedir. Bu artış güneş panellerinin enerji optimizasyonu için dikkate alınmış araştırmaların yeniden canlanmasını sağlar. Bu nedenle güneş pillerinin modellenmesi, güneş pilinin veriminin değerlendirilmesi ve kalite kontrolü için oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Birçok araştırmacı tarafından güneş pillerinin nonlineer elektriksel modelini tanımlayan parametrelerini bulmak için birçok yöntem önerilmiştir. Güneş pilinin karakteristiğinin anlaşılabilmesi, güneş pilinin tasarlanabilmesi ve boyutlandırılabilmesi için bir ön koşuldur [1].

Güneş Pili parametrelerini deneysel verilerden kesin olarak anlayabilmek güneş pilinin tasarımında ve verimini değerlendirmede oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Bu yüzden güneş pilinin elektriksel davranışını tanımlamak için farklı modeller geliştirilmiştir. Elektriksel eşdeğer devre çoğu simülasyon çalışmalarında yaygın ve kullanışlı bir yöntemdir [2].

## 2. İdeal Güneş Pili Modeli

Güneş pilleri p-n ekleminden oluşan ve p-n eklemi ışığa maruz kalan bir yarıiletken devre elemanıdır [3][4]. Güneş pilinin bütün karakteristiklerini ortaya koyan bir matematiksel model oldukça önemlidir [5]. Basit bir güneş pili modeli Şekil 1'deki gibi verilebilir. Güneş pilinin büyüklüğü ve şekli soğurucu yüzey alanının genişletilmesi ve kontak direncinin azaltılmasını sağlayacak şekilde tasarlanabilir.



Şekil 1. İdeal Güneş Pili Modeli

Ülkemiz için güneş bütün zamanların yarısı kadar aydınlatma yapmaktadır ve günün büyük bir diliminde parlak bir güneş yoktur. Güneş yokken pil basit bir p-n eklem diyot olarak davranmaktadır. Bu durumda karakteristik diyot akımı olarak ifade edilen Shockley eşdeğeri ile kontrol edilir [6][7][8][9].

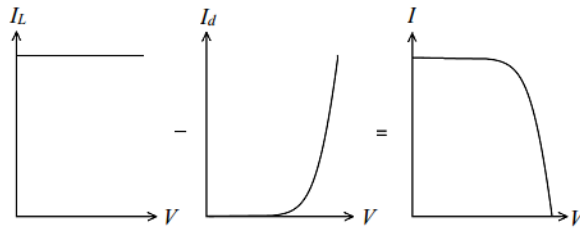
$$I_d = I_0 \left( \exp\left(\frac{qV}{AkT}\right) - 1 \right) \quad (1)$$

Denk.(1)'de  $I_d$  diyot akımı (A),  $I_0$  saturasyon akımı (A),  $V$  pil gerilimi (V),  $q$  elektron yükü ( $1,602 \times 10^{-19}$  C),  $A$  diyot idealite katsayısı,  $k$  Boltzman sabiti ( $1,38 \times 10^{-19}$  J/K) ve  $T$  p-n eklem sıcaklığıdır (K).

Diyot idealite katsayısı  $A$ 'nın sınır koşulları  $1 \leq A \leq 2$  aralığındadır [4][6][7][10][11]. Üretilen fotoakım ( $I_L$ ) ve diyot akımı ( $I_d$ ) arasındaki fark net akım "I" ya eşittir ve

$$I = I_L - I_d \quad (2)$$

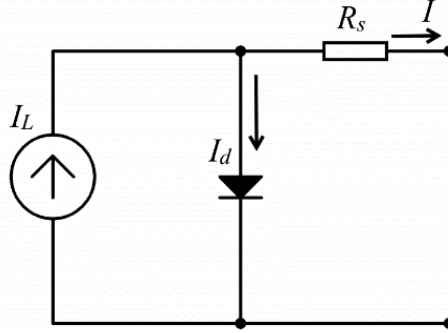
denklemi ile ifade edilmektedir.



Şekil 2. I-V Karakteristiğinin elde edilmesi

### 3. Tek Diyot $R_s$ Modeli

Gerçekte silikon ve elektrot yüzeyi arasındaki kontak direncinden dolayı oluşan kayıplar nedeniyle silikon malzeme direnci ve elektrot direncinin göz önüne alınması gerekmektedir. Bu kayıplar ideal diyot modeline seri bir direnç ( $R_s$ ) bağlanarak gösterilir. Bir akım kaynağı, bir diyot ve bir dirençten meydana gelen tek diyot  $R_s$  modeli Şekil 3 ile gösterilmektedir [6].



Şekil 3. Tek Diyot  $R_s$  Modeli

Çıkış akımı denk. (3) ile ifade edilmektedir;

$$I = I_L - I_0 \left[ \exp\left(q \frac{V + IR_s}{N_s AkT}\right) - 1 \right] \quad (3)$$

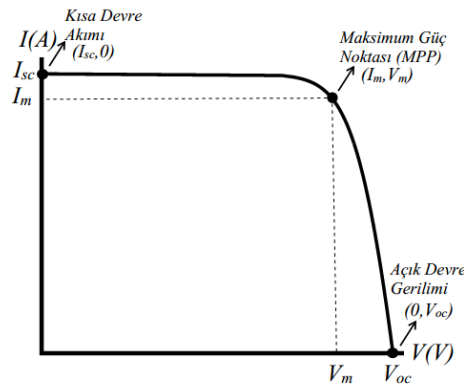
$R_s$  seri direnci temelde p yarı iletken tabaka ile metal tabakanın temasıyla oluşan eklem direncine göre değişir ve değeri çok küçüktür [3].

Dört parametre modeli olarak ta adlandırılan bu modeldeki bilinmeyen parametreler fotoakım ( $I_L$ ), saturasyon akımı ( $I_0$ ), seri direnç ( $R_s$ ) ve diyot idealite katsayısı ( $A$ ) olarak tanımlanmaktadır.

### 4. Tek Diyot $R_s$ Model Parametrelerinin Belirlenmesi

Güneş pilinin akım-gerilim ilişkisi doğrusal olmayan matematiksel bir denklemle ifade edilmektedir. Bu nedenle bu parametrelerin değerlendirilmesi oldukça yaygın bir şekilde çalışılmaktadır. Bazı araştırmacılar doğrusal olmayan denklemin çözümü için sayısal yöntemleri kullanmaktayken, bazıları da sadeleştirmeler ve yaklaşımlarla bir dizi analitik yöntemler kullanmaktadır [2]. Güneş panelleri için parametrelerin çıkarılması için literatürde çok sayıda yöntem rapor edilmiştir [12].

Çoğu pratik yaklaşıma göre bilinmeyen parametreleri belirlemek için güneş pili üreticisi firmaların katalog veri bilgileri kullanılır. I-V karakteristiğinde Şekil 4'te görüldüğü gibi kısa devre akımı  $I_{sc}$ , açık devre gerilimi  $V_{oc}$  ve maksimum güç noktası MPP olmak üzere 3 temel nokta bulunur [3].



Şekil 4. I-V Karakteristiği

## Güneş Pili'nin Tek Diyot Rs Model Parametrelerinin Hesaplanması Ve I-V İle P-V Karakteristiklerinin İncelenmesi

Bu üç temel noktadan denk.(3) kullanılarak denk.(4), (5) ve (6) elde edilir;

Kısa Devre Noktasında  $I = I_{sc}$ ,  $V = 0$

$$I_{sc} = I_L - I_0 \left[ \exp\left( q \frac{I_{sc} R_s}{N_s A k T} \right) - 1 \right] \quad (4)$$

Açık Devre Noktasında  $I = 0$ ,  $V = V_{oc}$

$$0 = I_L - I_0 \left[ \exp\left( q \frac{V_{oc}}{N_s A k T} \right) - 1 \right] \quad (5)$$

Maksimum Güç Noktasında  $I = I_M$ ,  $V = V_M$

$$I_M = I_L - I_0 \left[ \exp\left( q \frac{V_M + I_M R_s}{N_s A k T} \right) - 1 \right] \quad (6)$$

olarak ifade edilmektedir.

### 4.1. Simplified Explicit Yöntemi

Bu yöntemde  $I_{sc}=I_L$  olduğu kabul edilerek denk.(4), (5), (6) ifadelerinden denk.(7), (8), (9) ifadeleri elde edilir [13][14];

$$I_{sc} = I_L \quad (7)$$

$$0 = I_L - I_0 \exp\left( q \frac{V_{oc}}{N_s A k T} \right) \quad (8)$$

$$I_M = I_L - I_0 \exp\left( q \frac{V_M + I_M R_s}{N_s A k T} \right) \quad (9)$$

Denk.(5) ve (6) ifadelerinden doyum (saturation) akımı elde edilmektedir;

$$I_0 = I_{sc} \left[ \exp\left( - \frac{q}{N_s A k T} V_{oc} \right) \right] \quad (10)$$

Denk.(3) ifadesinden

$$I = I_{sc} \left[ 1 - \exp\left( q \frac{V - V_{oc} + I R_s}{N_s A k T} \right) \right] \quad (11)$$

sonuç ifadesi elde edilir.

Maksimum güç noktasındaki akım elde edilebilir ve Denk.(12) ile

$$I_M = I_{sc} \left[ 1 - \exp\left( q \frac{V_M - V_{oc} + I_M R_s}{N_s A k T} \right) \right] \quad (12)$$

biçiminde ifade edilir.

Buradan seri direnç değeri;

$$R_s = \frac{\frac{N_s A k T}{q} \ln\left( 1 - \frac{I_M}{I_{sc}} \right) + V_{oc} - V_M}{I_M} \quad (13)$$

ile belirlenmektedir.

## Güneş Piliin Tek Diyot $R_s$ Model Parametrelerinin Hesaplanması Ve I-V İle P-V Karakteristiklerinin İncelenmesi

İdealite katsayısı A, maksimum güç noktasında gücün türevinin sıfır olması gerçeği kullanılarak;

$$\frac{dP}{dV} = 0 = V \frac{\partial I}{\partial V} + I \frac{\partial V}{\partial V} \quad (14)$$

ve Denk.(3) ifadesi kullanılarak;

$$A = \frac{q(2V_M - V_{OC})}{N_s kT \left[ \frac{I_M}{I_{SC} - I_M} + \ln \left( 1 - \frac{I_M}{I_{SC}} \right) \right]} \quad (15)$$

biçiminde elde edilmektedir.

Farklı sıcaklık ve ışınım şiddetinde parametrelerin değişimi genel olarak [13, 14, 15, 16, 17];

Kısa devre akımı ve açık devre gerilimi;

$$I_{SC} = I_{SC(ref)} \frac{E}{E_{ref}} + \mu_{I_{sc}} (T - T_{ref}) \quad (16)$$

$$V_{OC} = V_{OC(ref)} + V_t \ln \left( \frac{E}{E_{ref}} \right) + \mu_{V_{oc}} (T - T_{ref}) \quad (17)$$

Maksimum güç noktasındaki akım ve gerilimi;

$$I_M = I_{M(ref)} \frac{E}{E_{ref}} + \mu_{I_{sc}} (T - T_{ref}) \quad (18)$$

$$V_M = V_{M(ref)} + V_t \ln \left( \frac{E}{E_{ref}} \right) + \mu_{V_{oc}} (T - T_{ref}) \quad (19)$$

denklemleri ile tanımlanır.

### 4.2. Slope Yöntemi

Bu yöntemin diğer yöntemden farkı seri direncin hesaplanması için kullanılan süreçten kaynaklanmaktadır [18]. Güneş panelinin seri direnci I-V eğrisinin  $V=V_{OC}$  noktasının eğimi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir [4].  $R_s$ 'nin artmasıyla MPP ve  $V_{OC}$  arasında I-V eğrisinin eğimi azalır ve etkin bir şekilde maksimum çıkış gücünün azalmasına neden olur [6].  $R_s$ 'yi hesaplamak için Denk.(3)'te akımın türevi alınır;

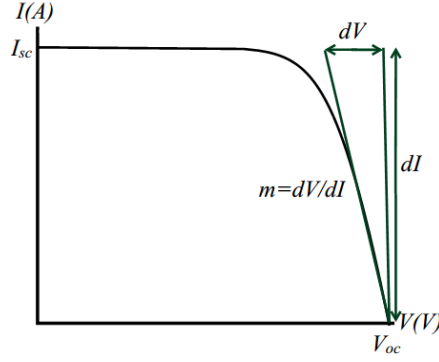
$$\frac{dI}{dV} = -I_0 \left[ \exp \left( q \frac{V + IR_s}{N_s AkT} \right) - 1 \right] \frac{q}{N_s AkT} \left( 1 + R_s \frac{dI}{dV} \right) \quad (20)$$

ve  $R_s$  değeri hesaplanır [13][14][18];

$$R_s = - \frac{dV}{dI} \Big|_{V_{OC}} - \frac{1}{\frac{I_0 q}{N_s AkT} \exp \left( \frac{q V_{OC}}{N_s AkT} \right)} \quad (21)$$

Açık devre noktasında ( $V_{OC}, 0$ ) eğim Şekil 5'te görüldüğü gibi  $m = \frac{dV}{dI}$  deneysel verilerden geometrik olarak çıkarılır [14][18].

# Güneş Piliin Tek Diyot Rs Model Parametrelerinin Hesaplanması Ve I-V İle P-V Karakteristiklerinin İncelenmesi



Şekil 5. Açık devre noktasında eğimin hesaplanması

## 5. Yapılan Çalışma

Bu çalışmada Jinko Solar firmasının Tablo1 ile verilen JKM Serisi JKM240M modülünün standart test koşullarındaki (STC) ( $E=1000 \text{ W/m}^2$ ,  $T=25^\circ\text{C}$ , AM1,5 Spektrum) teknik özellikleri [19] kullanılarak panelin bilinmeyen parametreleri iki farklı yöntem ile belirlenmiş ve akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristikleri MATLAB ortamında belirlenmiştir. Parametreler herhangi bir ölçüm yapmadan sadece üretici katalog verileri baz alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Standart Test Koşullarında JKM240M Modülün Teknik Özellikleri

Standart Işık Şiddeti	$E_{ref}$	1000 W/m <sup>2</sup>
Standart Sıcaklık	$T$	25°C
Maksimum Çıkış Gücü	$P_{MAX}$	240 W
Maksimum Güç Noktası Gerilimi	$V_M$	30,2 V
Maksimum Güç Noktası Akımı	$I_M$	7,95 A
Kısa Devre Akımı	$I_{SC}$	8,45 A
Açık Devre Gerilimi	$V_{OC}$	37,3 V
$I_{SC}$ Sıcaklık Katsayısı	$\mu I_{SC}$	0,05%/°C
$V_{OC}$ Sıcaklık Katsayısı	$\mu V_{OC}$	- 0,3%/°C
Hücre Sayısı	$N_S$	60

Tablo 2.  $E=1000 \text{ W/m}^2$ ,  $T=25^\circ\text{C}$

Parametreler	S. Explicit Yöntemi	Slope Yöntemi
$I_L$ (A)	8,45	8,45
$A$	1,14	1,5
$R_S$ ( $\Omega$ )	0,26	0,46
$I_0$ (A)	5,75E-09	6,92E-08

Tablo 3.  $E=800 \text{ W/m}^2$ ,  $T=25^\circ\text{C}$

**Güneş Pili'nin Tek Diyot Rs Model Parametrelerinin Hesaplanması Ve I-V İle P-V Karakteristiklerinin İncelenmesi**

<i>Parametreler</i>	<i>S. Explicit Yöntemi</i>	<i>Slope Yöntemi</i>
$I_{SC}$ (A)	6,76	6,76
$V_{OC}$ (V)	36,906	36,784
$I_M$ (A)	6,36	6,36
$V_M$ (V)	29,806	29,684
$I_L$ (A)	6,76	6,76
A	1,13	1,3
$R_S$ ( $\Omega$ )	0,34	0,41
$I_0$ (A)	4,00E-09	6,92E-08

*Tablo 4. E=400 W/m<sup>2</sup>, T=25°C*

<i>Parametreler</i>	<i>S. Explicit Yöntemi</i>	<i>Slope Yöntemi</i>
$I_{SC}$ (A)	3,38	3,38
$V_{OC}$ (V)	35,681	35,182
$I_M$ (A)	3,18	3,18
$V_M$ (V)	28,581	28,082
$I_L$ (A)	3,38	3,38
A	1,07	1,3
$R_S$ ( $\Omega$ )	0,77	0,14
$I_0$ (A)	1,25E-09	6,92E-08

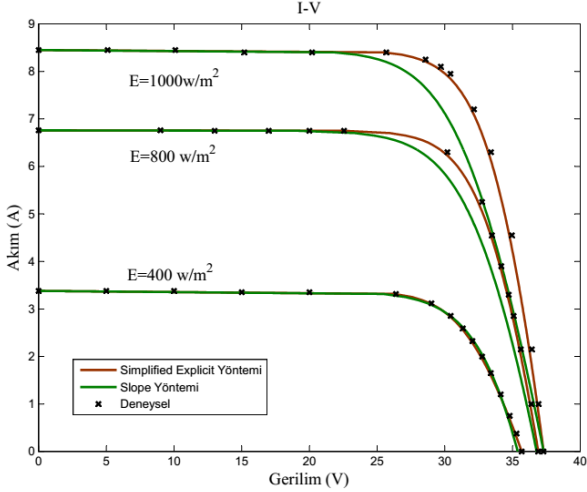
*Tablo 5. E=1000 W/m<sup>2</sup>, T=40°C*

<i>Parametreler</i>	<i>S. Explicit Yöntemi</i>	<i>Slope Yöntemi</i>
$I_L$ (A)	8,51	8,51
A	1,20	1,36
$R_S$ ( $\Omega$ )	0,19	0,17
$I_0$ (A)	6,44E-09	7,66E-08

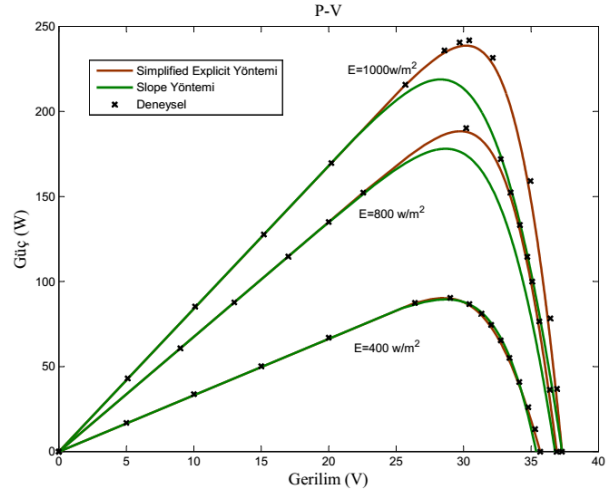
*Tablo 6. E=1000 W/m<sup>2</sup>, T=60°C*

<i>Parametreler</i>	<i>S. Explicit Yöntemi</i>	<i>Slope Yöntemi</i>
$I_L$ (A)	8,60	8,60
A	1,28	1,45
$R_S$ ( $\Omega$ )	0,10	0,13
$I_0$ (A)	7,39E-09	8,66E-08

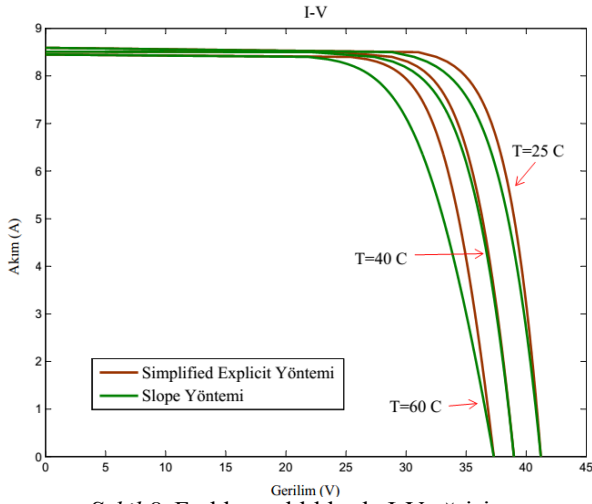
## Güneş Piliin Tek Diyot Rs Model Parametrelerinin Hesaplanması Ve I-V İle P-V Karakteristiklerinin İncelenmesi



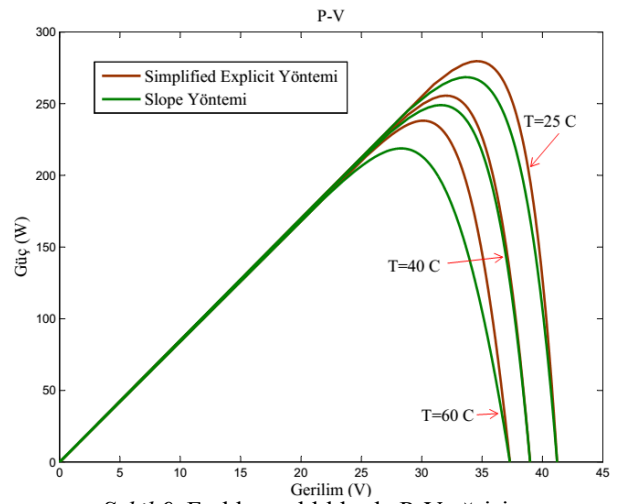
Şekil 6. Farklı ışınım şiddetinde I-V eğrisi



Şekil 7. Farklı ışınım şiddetinde P-V eğrisi



Şekil 8. Farklı sıcaklıklarda I-V eğrisi



Şekil 9. Farklı sıcaklıklarda P-V eğrisi

Tablo 2, 3 ve 4'te ışınım şiddetinin  $E=1000 \text{ W/m}^2$ ,  $800 \text{ W/m}^2$  ve  $400 \text{ W/m}^2$  olduğu durumdaki, Tablo 5 ve 6'da ise sıcaklığın  $T=40^\circ\text{C}$  ve  $T=60^\circ\text{C}$  olduğu durumdaki parametre değerleri hesaplanmıştır.

Fotovoltaik modülün üretebileceği akım olan fotoakım ( $I_L$ ), her iki yöntemle  $E=1000 \text{ W/m}^2$  ışınım şiddetinde  $8,45 \text{ A}$ ;  $E=800 \text{ W/m}^2$  ışınım şiddetinde  $6,76 \text{ A}$ ;  $E=400 \text{ W/m}^2$  ışınım şiddetinde ise  $3,38 \text{ A}$  olarak hesaplanmıştır. Farklı ışınım şiddeti koşullarında elde edilen akım terimleri; fotoakım ( $I_L$ ), kısa devre akımı ( $I_{SC}$ ) ve maksimum akımın ( $I_M$ ) artan ışınım şiddetiyle dikkate değer bir oranda arttığı belirlenmiştir.

Öte yandan Simplified Yöntemi ile  $E=1000 \text{ W/m}^2$  ışınım şiddetinde açık devre gerilimi  $37,3 \text{ V}$ ;  $E=800 \text{ W/m}^2$  ışınım şiddetinde açık devre gerilimi  $36,906 \text{ V}$ ;  $E=400 \text{ W/m}^2$  ışınım şiddetinde ise açık devre gerilimi  $35,681 \text{ V}$  olarak; Slope Yöntemiyle ise  $E=1000 \text{ W/m}^2$  ışınım şiddetinde açık devre gerilimi  $37,3 \text{ V}$ ;  $E=800 \text{ W/m}^2$  ışınım şiddetinde açık devre gerilimi  $36,784 \text{ V}$ ;  $E=400 \text{ W/m}^2$  ışınım şiddetinde ise açık devre gerilimi  $35,182 \text{ V}$  olarak hesaplanmıştır.

Açık devre gerilimi artan ışınım şiddetiyle önemli bir değişiklik göstermemektedir. Gerilim terimleri akım terimleri kadar ışınım şiddetinden etkilenmemektedir. Akım ve gerilim parametreleri, fotovoltaik sistemlerde çıkış gücünü doğrudan etkilemeleri açısından önemlidir.

Şekil 6'da I-V ve Şekil 7'de P-V karakteristiklerinde kısa devre akımının önemli ölçüde ışınım şiddetinin bir fonksiyonu olduğu, açık devre geriliminin ise ışınım şiddetinden çok fazla etkilenmediği görülür.

Şekil 8'de I-V ve Şekil 9'da P-V karakteristiklerinde hücre sıcaklığının artmasıyla kısa devre akımı çok küçük bir oranda artmakta ancak açık devre gerilimde azalmaya neden olmaktadır. Gerilimdeki düşüşün, akımdaki artışa



## Güneş Pili'nin Tek Diyot $R_s$ Model Parametrelerinin Hesaplanması Ve I-V İle P-V Karakteristiklerinin İncelenmesi

oranla daha fazla olması nedeni ile çıkış gücünde düşüş olur ve bu durum verim kaybına yol açar. Dolayısıyla ışınım şiddetinin artmasıyla akımın ve çıkış gücünün arttığı belirlenmiştir. Sıcaklığın artması, gerilimin düşmesiyle birlikte çıkış gücünün azalmasına sebep olmaktadır.

### 6. Sonuçlar

Bu çalışmada, ticari amaçla satılan güneş paneli üretici firmanın katalog bilgileri kullanılarak tek diyot  $R_s$  modelin bilinmeyen parametreleri, farklı güneş ışınım şiddeti koşullarında iki farklı yöntemle hesaplanmış ve I-V, P-V karakteristikleri MATLAB ortamında oluşturulmuştur. Her iki yöntemin I-V ve P-V karakteristikleri deneysel sonuçla kıyaslandığında simplified explicit yönteminin slope yöntemine göre deneysel sonuçlara daha yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca farklı ışınım şiddeti ve farklı hücre sıcaklıklarında, ışınım şiddetinin kısa devre akımı üzerinde; hücre sıcaklığının ise açık devre gerilimi üzerinde oldukça etkin parametreler olduğu belirlenmiştir.

### 7. Kaynaklar

- [1] Y. K. Sanusi, A. O. Ilyas, J. O. Bioku, and I. Adeyemo, "Comparative Study of Methods of Determine Amorphous Silicon Solar Cell Parameters," *Int. J. Engineerring Innov. Technol.*, vol. 2, no. 12, pp. 90–92, 2013.
- [2] D. Bonkougou, Z. Koalaga, and D. Njomo, "Modelling and Simulation of photovoltaic module considering single-diode equivalent circuit model in MATLAB," *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 493–502, 2013.
- [3] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, and E. R. Filho, "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 5, pp. 1198–1208, 2009.
- [4] G. Walker, "Evaluating Mppt Converter Topologies Using a Matlab Pv Model," *J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 21, no. 1, pp. 49–56, 2001.
- [5] R. TAMRAKAR and A. GUPTA, "A Review extraction of solar cell modelling parameters," *Ijireeice*, vol. 3, no. 1, pp. 55–60, 2015.
- [6] V. J. Chin, Z. Salam, and K. Ishaque, "Cell modelling and model parameters estimation techniques for photovoltaic simulator application: A review," *Appl. Energy*, vol. 154, pp. 500–519, 2015.
- [7] S. Lineykin, M. Averbukh, and A. Kuperman, "An improved approach to extract the single-diode equivalent circuit parameters of a photovoltaic cell/panel," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 30, pp. 282–289, 2014.
- [8] R. Chenni, M. Makhlof, T. Kerbache, and A. Bouzid, "A detailed modeling method for photovoltaic cells," *Energy*, vol. 32, no. 9, pp. 1724–1730, 2007.
- [9] V. Lo Brano, A. Orioli, G. Ciulla, and A. Di Gangi, "An improved five-parameter model for photovoltaic modules," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 94, no. 8, pp. 1358–1370, 2010.
- [10] F. Adamo, F. Attivissimo, A. Di Nisio, A. M. L. Lanzolla, and M. "Parameters estimation for a model of Photovoltaics Panels," *XIX IMEKO World Congr.*, pp. 964–967, 2009.
- [11] A. M. Humada, M. Hojabri, S. Mekhilef, and H. M. Hamada, "Solar cell parameters extraction based on single and double-diode models: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 56, pp. 494–509, 2016.
- [12] a. Mohapatra, B. K. Nayak, and K. B. Mohanty, "Comparative study on single diode photovoltaic module parameter extraction methods," *2013 Int. Conf. Power, Energy Control*, pp. 30–34, 2013.
- [13] R. Khezzar, M. Zereg, and A. Khezzar, "Modeling improvement of the four parameter model for photovoltaic modules," *Sol. Energy*, vol. 110, pp. 452–462, 2014.
- [14] T. U. Townsend, "a Method for Estimating the Long-Term Performance of Direct-Coupled Photovoltaic Systems," *a Method Estim. Long-Term Perform. Direct-Coupled Photovolt. Syst.*, pp. i–xxii, 1989.
- [15] W. De Soto, S. A. Klein, and W. A. Beckman, "Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance," *Sol. Energy*, vol. 80, no. 1, pp. 78–88, 2006.
- [16] D. Sera, R. Teodorescu, and P. Rodriguez, "PV panel model based on datasheet values," *IEEE Int. Symp. Ind. Electron.*, no. 4, pp. 2392–2396, 2007.
- [17] A. N. Celik and N. Acikgoz, "Modelling and experimental verification of the operating current of mono-crystalline photovoltaic modules using four- and five-parameter models," *Appl. Energy*, vol. 84, no. 1, pp. 1–15, 2007.
- [18] R. Khezzar, M. Zereg, and a. Khezzar, "Comparative study of mathematical methods for parameters calculation of current-voltage characteristic of photovoltaic module," *2009 Int. Conf. Electr. Electron. Eng. - ELECO 2009*, pp. 24–28, 2009.
- [19] <http://bmdsolar.com/wp-content/uploads/2013/03/BMD-Solar-jinko-260W-mono-panel.pdf> 08.02.2016 tarihinde erişildi.