

# FARKLI PANEL TİPLERİ İÇİN EŞDEĞER DEVRE MODELİNİN PARAMETRE DEĞERLERİNİN BULUNMASI

---

**Erdem ELİBOL**

**Melih AKTAŞ**

**Nedim TUTKUN**

# Özet

Bu çalışmada fotovoltaik güneş panellerinin matematiksel eşdeğer devrelerinden biri olan tek diyot devre modelini geliştirebilmek için maksimum çıkış gücünü verebilecek parametre değerlerinin belirlenmesine odaklanılmıştır. Üretici katalog verilerinde yer almayan, diyot idealite faktörü  $n$ , paralel direnç  $R_p$ , seri direnç  $R_s$ , diyot doyma akımı  $I_0$  ve fotoakım  $I_{ph}$  değerleri iki farklı tip modül için Newton Raphson yöntemiyle bulunmuş.

# GİRİŞ



- Artan enerji talebi
- Sınırlı fosil yakıt rezervi
- Karbondioksit emisyonu

Ülkemizdeki enerji ihtiyacının %72'si ithal edilmektedir !!!



- Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim
- \*UEA 2013 raporuna göre ;2035 yılına kadar elektrik enerjisi üretiminin yarısına yakınının yenilebilir enerji kaynaklarından karşılanacağı tahmin edilmektedir.
- \*\* Yüksek Planlama Kurulunun 2023 yılın için hedefi yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimindeki payını %30 seviyelerine çekebilmektir.

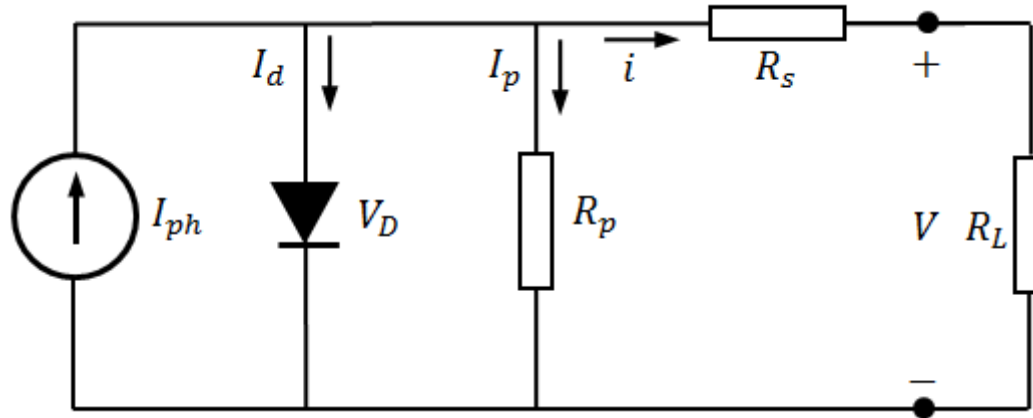
Son yıllarda tek diyot devre modelini kullanarak bilinmeyen parametrelerin bulunması ile ilgili birçok parametre tahmin yöntemi kullanılmış, bunlardan bazılarında burada yer verilmiştir. Bunlar genellikle analitik, iteratif ve evrimsel algoritmalara dayalı yöntemleri içermektedir [4]. Analitik yöntemler genellikle geliştirilen matematiksel yöntemlerle söz konusu parametreleri tahmin etmek için kullanılan yaklaşımlardır. Bu yöntemlerin en önemli özelliği hızlı hesap yapma ve sonuçları makul olacak ölçüde doğru bulmalarıdır. Parametre tahmin yöntemlerinde kullanılan analitik yöntemler oldukça basit olup daha az hesaplama zamanına gereksinim duyarlar öyle ki; çok sayıda iterasyonla makul sonuçlar elde edilebilir. Bu yöntemler içerisinde önerilen en basit yaklaşım De Blas ve arkadaşları tarafından önerilen paralel direncin ihmal edildiği devre modeli olup sadece dört devre parametresi tahmin edilmiştir [5].

Diğer taraftan eşdeğer devrenin matematik modellerinin zorluğu nedeniyle söz konusu modelleri basitleştirmek ve parametreleri daha kolay tahmin etmek için Lambert W fonksiyonu bazı araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. Bu araştırmacılardan Jain ve Kapoor Lambert W fonksiyonu kullanarak parazitik dirençleri içeren karmaşık akım-gerilim karakteristiğini elde etmeyi başarmıştır [6]. J. Cubas ve arkadaşları Lambert W fonksiyonunu üzerinden seri direnci analitik formülasyon üzerinden dönüştüren bir yöntem geliştirmişlerdir [7]. Bu yöntem farklı sıcaklık ve ışınım değerlerinde ticari güneş paneli performansını analiz etmek için kullanmıştır.

# Bu çalışmada ne yapılacaktır?

Bu çalışmada, tek diyot devre modelini esas alarak bilinmeyen  $R_s$  seri direnci,  $R_p$  paralel direnç,  $n$  diyotun idealite faktörü,  $I_0$  diyot doyma akımı ve  $I_{ph}$  fotoakım gibi beş devre parametresi Newton-Raphson yöntemi kullanılarak en az hata ile bulunmuştur. Yöntemin uygulanması monokristal ve polikristal hücreler için gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçların göreceli olarak bir iyileşme sağladığı görülmüştür

# TEK DİYOT DEVRE MODELİ



Kirşofakım yasası uygulanarak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\bullet I_{ph} - I_d - I_p - i = 0$$

$$I_p = \frac{V + iR_s}{R_p}$$
$$I_d = I_0 \left\{ e^{\frac{qV_D}{nk_B T}} - 1 \right\}$$

$I_0$	ters diyot doyma akımı
$q$	elektron yükü
$k_B$	boltzman sabiti
$n$	diyot idealite faktörünü
$V$	çıkış gerilimini



$$i = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{q(V+iR_s)}{nk_B T n_s}} - 1 \right\} - \frac{V + iR_s}{R_p} \quad (2)$$

Bu eşitlik üretici katalog verilerinde yer almayan beş adet bilinmeyen parametre içermektedir. Bunlar  $n, R_s, R_p, I_0, I_{ph}$  değerleridir. Bununla birlikte standart test koşullarında üretici katalog verilerinde,  $I_{sc}$  kısa devre akımı,  $V_{oc}$  açık devre gerilimi,  $V_{mpp}$  maksimum güç noktasındaki gerilim değeri,  $I_{mpp}$  maksimum güç noktasındaki akım değerleri ve  $n_s$  seri bağlı hücre sayısı verilmektedir. I-V karakteristik eğrisinden  $(0, I_{sc}), (V_{mpp}, I_{mpp}), (V_{oc}, 0)$  noktaları kolayca elde edilebilir.

\*İşlem sürecinden önce parametre tahmini için kullanılacak denklemi basitleştirmemiz gerekmektedir. Bu yüzden Eş. 2’te üstel ifade 1 değerinden çok daha büyük değerler üreteceğinden (-1) ifadesi ihmal edilebilir. Böylece Eş. 3 ifadesi;

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{V+IR_s}{n_s V_t}} \right\} - \frac{V+IR_s}{R_p} \quad (3) \quad V_t = \frac{k_B T n}{q}$$

Toplamda beş adet bilinmeyen parametremiz olduğundan dolayı en az beş adet denkleme ihtiyacımız vardır. Gerekli olan beş denklemden üç tanesini I-V karakteristik eğriden elde edilen noktaları Eş. 3'te yerine konularak üç adet doğrusal olmayan denklem elde ederiz.

\*Gerilimin sıfır, akımın kısa devre akımına eşit olduğu  $(0, I_{SC})$  noktasını Eş. 4'te yerine yazarsak;

$$I_{SC} = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{I_{SC}R_S}{n_s V_t}} \right\} - \frac{I_{SC}R_S}{R_p} \quad (5)$$

\*Aynı şekilde maksimum güç noktasındaki akım ve gerilim değerleri  $(V_{mpp}, I_{mpp})$  Eş. 5'de yerine yazılırsa;

$$I_{mpp} = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{V_{mpp} + I_{mpp}R_S}{n_s V_t}} \right\} - \frac{V_{mpp} + I_{mpp}R_S}{R_p} \quad (6)$$

\*Son olarak akımın sıfır olduğu, gerilimin açık devre akımına eşit olduğu  $(V_{oc}, 0)$  noktasını Eş. 4'te yerine konulursa;

$$0 = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{V_{oc}}{n_s V_t}} \right\} - \frac{V_{oc}}{R_p} \quad (7)$$

\*Bu üç denklemin yanı sıra gücün, gerilime göre türevi maksimum güç noktasında sıfıra eşittir. Öyleyse dördüncü eşitliğimiz şu şekilde olabilir;

$$\bullet \frac{dP}{dV} = 0 \quad (V_{mpp}, I_{mpp}) \text{ noktasında} \quad (8)$$

\*Gerekli olan son denklem kısa devre akımı noktalarındaki  $(0, I_{sc})$  değerlerinin eğiminden yani akımın gerilime göre türevinden elde edilir ve şu şekilde gösterilir;

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{1}{R_p} (0, I_{sc}) \text{ noktasında} \quad (9)$$

Sonuç olarak beş denklem elde edilmiştir. Elde edilen beş denklemin simültane çözümünü yapmak için Çizelge 1’de verilen değişken değişimi yapılmıştır.

$I_{sc}$	$a_1$	Kısa devre akımı
$V_{oc}$	$a_2$	Açık devre gerilimi
$V_{mpp}$	$a_3$	MPP noktasındaki gerilim
$I_{mpp}$	$a_4$	MPP noktasındaki akım
$n_s$	$a_5$	Modül içindeki seri bağlı hücre sayısı
$I_{ph}$	$x_1$	Fotoakım
$I_0$	$x_2$	Diyot doyma akımı
$V_t$	$x_3$	Termal gerilim
$R_s$	$x_4$	Seri direnç
$R_p$	$x_5$	Paralel direnç.
$I$	$y_1$	Çıkış akımı
$V$	$y_2$	Çıkış gerilimi
$P$	$y_3$	Çıkış gücü

Değişken değişimi ve gerekli matematiksel işlemlerin yapılmasından sonra beş adet denklem aşağıdaki son halini almıştır.

$$0 = x_1 - x_2 \left( e^{\frac{a_2}{a_5 x_3}} \right) + \frac{a_2}{x_5} \quad (10)$$

$$0 = x_2 - \left( a_1 - \frac{a_2 - a_1 x_4}{x_5} \right) \left( e^{-\frac{a_2}{a_5 x_3}} \right) \quad (11)$$

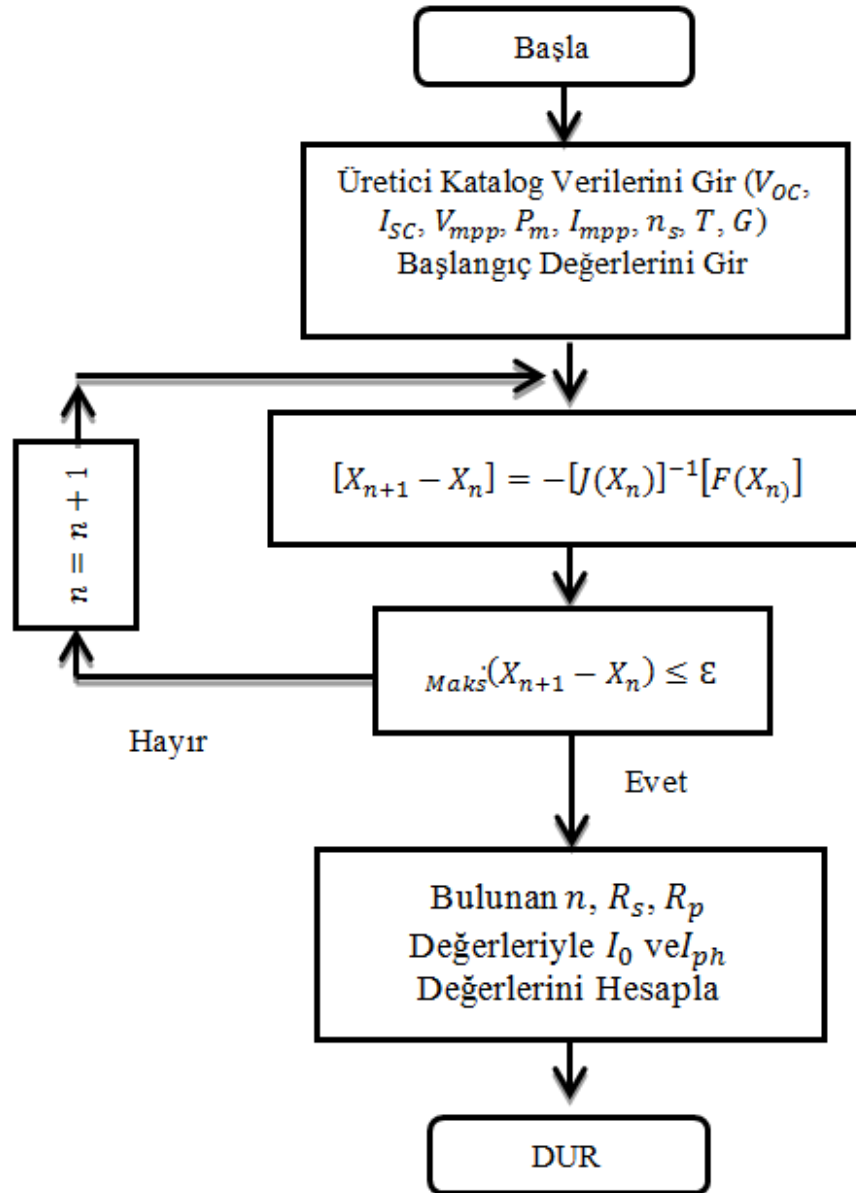
$$0 = a_4 - a_1 + \frac{a_3 + x_4 - a_1 x_4}{x_5} + \left( a_1 - \frac{a_2 - a_1 x_4}{x_5} \right) \left( e^{\frac{a_3 + a_4 x_4 - a_2}{x_5 x_3}} \right) \quad (12)$$

$$0 = a_4 - \frac{a_3 A(e^B) + (a_3/x_5)}{1 + A x_4 (e^B) + (x_4/x_5)} \quad (13)$$

$$0 = \frac{1}{x_5} - \frac{A(e^C) + (1/x_5)}{1 + x_4 A(e^C) + (x_4/x_5)} \quad (14)$$

$$A = \frac{a_1 x_5 - a_2 + a_1 x_4}{a_5 x_5 x_3} \quad B = \frac{a_3 + a_4 x_4 - a_2}{a_5 x_3} \quad C = \frac{a_1 x_4 - a_2}{a_5 x_3}$$

Yukarda ki eşitlikler karmaşık oldukları için çözümleri sayısal yöntemler ile daha kolay biçimde yapılır. Sayısal yöntemler içinden Newton Raphson yöntemi bu denklemlerin simültane çözülmesi için uygun bir yaklaşımdır. Beş eşitlikten son üç tanesi, Eş. 12, Eş. 13 ve Eş. 14 ,  $x_1$  ve  $x_2$  bilinmeyen parametrelerinden tamamen bağımsızlardır. Bu yüzden öncelikle,  $x_3, x_4, x_5$  bilinmeyen parametrelerini içeren son üç eşitlik Newton-Raphson yöntemiyle çözülüp daha sonra ilk iki denklem yardımıyla  $x_1$  ve  $x_2$  değerleri hesaplanır.



## Kullanılan Katalog Verileri

<i>Parametreler</i>	<i>Monokristal</i>	<i>Polikristal</i>
$P_m$ (Maksimum güç)	235 W	240 W
$I_{sc}$ (Kısa devre akımı)	8.42 A	8.71 A
$V_{OC}$ (Açık devre gerilimi)	37.3 V	36.6 V
$V_{mpp}$ (Maksimum güç noktası gerilimi)	30.4 V	30.0 V
$I_{mpp}$ (Maksimum güç noktası akımı)	7.74 A	8.01 A
$n_s$ (Seri bağlı hücre sayısı)	60	60
$K_i$ (Akım sıcaklık katsayısı)	0.04%/ °C	0.06%/ °C
$K_p$ (Güç sıcaklık katsayısı)	-0.44%/ °C	-0.46%/ °C
$K_V$ (Gerilim Sıcaklık katsayısı)	-0.35%/ °C	-0.35%/ °C
NOCT	45±2 °C	-
Standart Test Koşulları	Işınım 1000 W/m <sup>2</sup> , Sıcaklık 25 °C, AM=1.5	

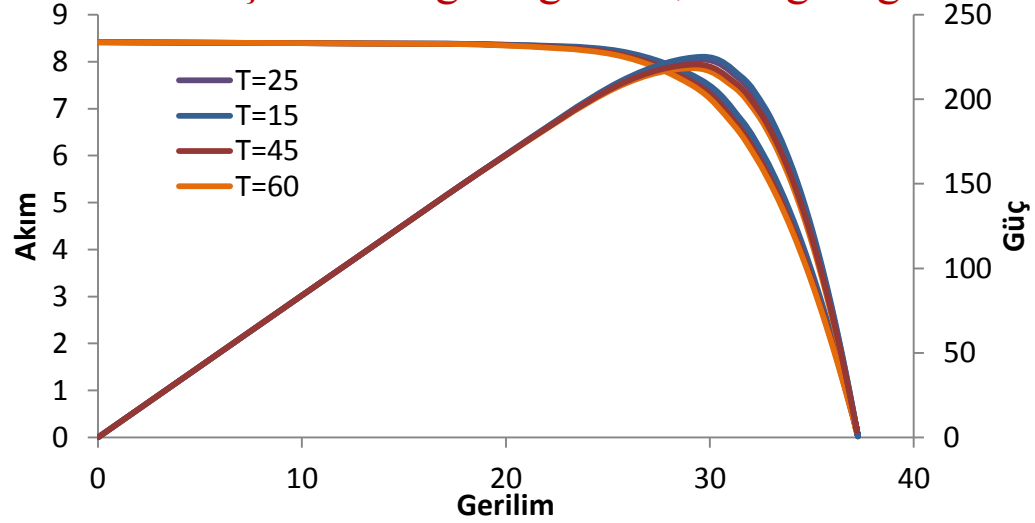


# SONUÇLAR VE TARTIŞMA

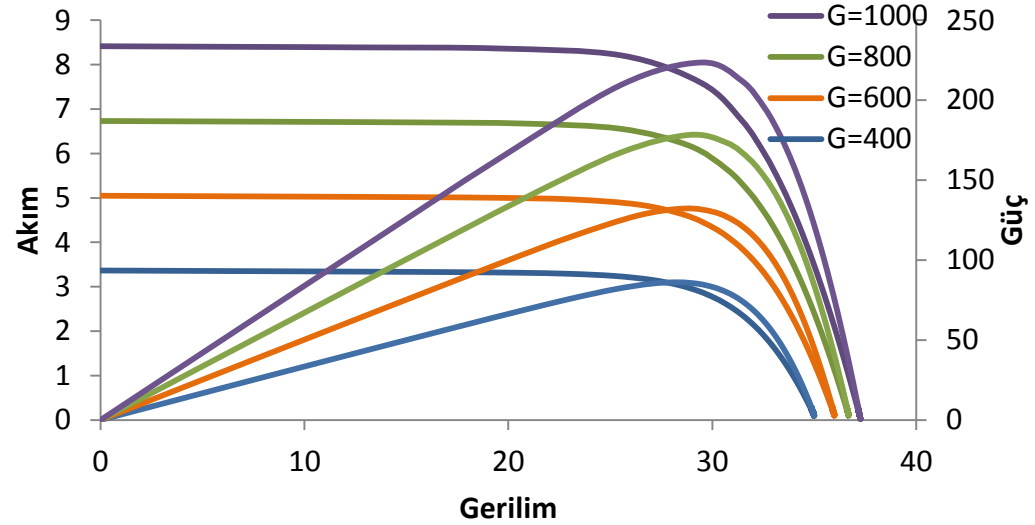
\*Önerilen yöntem Matlab ortamında geliştirilen yazılım yardımıyla test edilmiş, elde edilen sonuçlar grafik ve tablo biçiminde aşağıda verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen parametre değerleri aşağıda gösterilmiştir.

Parametreler	Monokristal	Polikristal
$I_{ph}$	8.567 A	8.916 A
$I_0$	$1.07 \times 10^{-3}$ mA	$0.86 \times 10^{-3}$ mA
$n$	1,523	1.4662
$R_s$	0,291 $\Omega$	0.552 $\Omega$
$R_p$	506,014 $\Omega$	520.956 $\Omega$

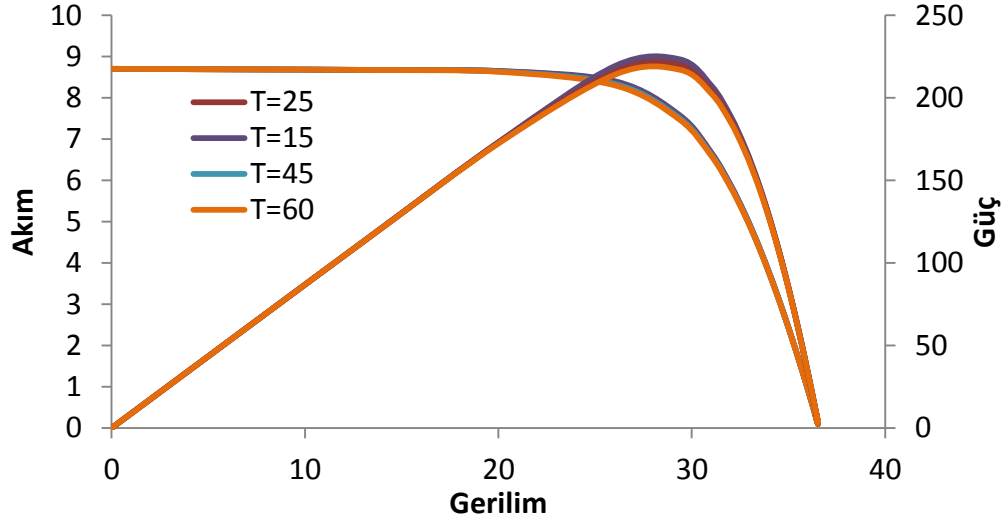
## Monokristal için sıcaklığa bağlı I-V, P-V grafiği



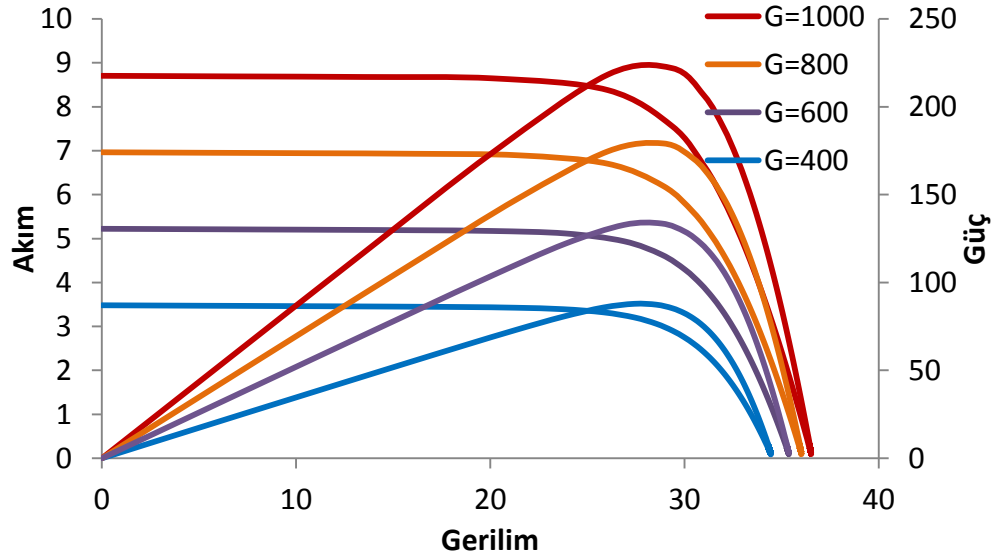
## Monokristal için ışınımına bağlı I-V, P-V grafiği



## Polikristal için sıcaklığa bağlı I-V, P-V grafiği



## Polikristal için ışınımına bağlı I-V, P-V grafiği



# Sonuçlar

- 1-Newton-Raphson yöntemi, karmaşık yöntemler yerine tek diyot devre modeli kullanılarak fotovoltaik modüllerin idealite faktörü ve parazitik dirençler gibi bilinmeyen parametrelerini uygun bir şekilde elde edilen başlangıç değeriyle bulunmuştur.
- 2-Müsade edilen hata sınırları içinde bulunan parametreler kullanılarak modülün akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristikleri kolaylıkla elde edilmiştir.
- 3-Işınım ve sıcaklık değerlerinin modül üzerine etkisi daha önce geliştirilen matematiksel bir model ile tahmin edilen parametreler yardımıyla bulunmuştur.

# KAYNAKLAR

1. Özgöçmen, A.: “Electricity Generation Using Solar Cells”, Gazi University in Turkey, MSc Thesis, May 2007.
2. Gümüş, B., Tüzün, M., N.: “Kentlerde Enerji Verimliliği, Van İlinin Enerji Üretim Potansiyeli ve Elektrik Enerjisi Problemleri”, Van Kent Sempozyumu, 1-3 Ekim 2009, sayfa: 301 – 320, Van.
3. [www.teias.gov.tr/yukdagitim/kuruluguc.xls](http://www.teias.gov.tr/yukdagitim/kuruluguc.xls)
4. B. Subudhi and R. Pradhan, Characteristics Evaluation and Parameter Extraction of a Solar Array Based on Experimental Analysis,” IEEE international conference on Power Electronics and Drive System (PEDS), December 2011, pp. 340-344.
5. M. de Blas et al, J. Torres, E. Prieto and A. Gracia, “Selecting a suitable model for characterizing photovoltaic devices,” Renewable Energy, vol. 25, no. 3, pp. 371– 380, 2002.
6. A. Jain and A. Kapoor, “Exact analytical solutions of the parameters of real solar cells using Lambert W-function,” Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 81, no. 2, pp. 269-277, Feb.2004.
7. J. Cubas, S. Pindado and C. de Manuel, “Explicit Expressions for Solar Panel Equivalent Circuit Parameters Based on Analytical Formulation and the Lambert W Function,” Energies, vol.7, pp. 4098-4115, 2014.
8. C. Zhang, J. Zhang, Y. Hao, Z. Lin and C. Zhu, „A simple and efficient solar cell parameter extraction method from a single current-voltage curve,” Journal of applied physics, vol. 110, no. 6, 2011.
9. N. Tutkun, E. Elibol, D. Maden, Basic parameter extraction from an organic solar cell through the single diode model and a metaheuristic technique with the lambert w function, The 2nd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC’14), 2014
10. Elibol E, Tipik bir fotovoltaik panelin maksimum güç aktarimini etkileyen temel elektrik devre parametrelerinin genetik algoritmalar ile tahmin edilmesi,Düzce Üniversitesi, Yüksek lisans tezi,2014

•

TEŞEKÜRLER