

FARKLI PANEL TİPLERİ İÇİN EŞDEĞER DEVRE MODELİNİN PARAMETRE DEĞERLERİNİN BULUNMASI

Erdem ELİBOL
Düzce Üniversitesi
Elektrik Elektronik Müh.
erdemelibol@duzce.edu.tr

Melih AKTAŞ
Düzce Üniversitesi
Elektrik Elektronik Müh.
melihaktas@duzce.edu.tr

Nedim TUTKUN
Düzce Üniversitesi
Elektrik Elektronik Müh.
nedimtutkun@duzce.edu.tr

Özet—Bu çalışmada, iki tipik fotovoltaik modülün matematiksel modeli yaygın kullanılan tek diyotlu eşdeğer devre modeli kullanılarak elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmada üretici katalog verilerinden kısa devre akımı, açık devre gerilimi, optimal akım ve gerilim değerleri yardımıyla tek diyot devre modelinde ifade edilen idealite faktörü n , paralel direnç R_p ve seri direnç R_s gibi bilinmeyen üç parametre Newton-Raphson optimizasyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Daha sonra bu parametre değerleri ilgili denklemlerde yerine yazılarak bilinmeyen diyot doyma akımı I_0 ve fotoakım I_{ph} gibi diğer iki parametre hesaplanmıştır. Böylece bilinmeyen beş parametre hesaplanarak modülün akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristikleri elde edilmiş, kullanılan modüllerin optimal akım ve gerilim değerleri bulunarak maksimum çıkış güçleri yaklaşık olarak tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda literatürde daha önce elde edilen sonuçlara göre kayda değer bir iyileşmenin sağlandığı görülmüştür

Anahtar Kelimeler- yenilenebilir enerji, güneş panelleri, newton raphson, parametre bulunması

I. GİRİŞ

Günümüzde hızlı gelişen teknoloji ve giderek artan çevre bilinci ülkeleri, fosil yakıtlar yerine doğa dostu olarak bilinen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönlendirmektedir. Bununla birlikte her yıl artan elektrik enerjisi talebi özellikle gelişmekte olan ülkelerde elektrik enerjisi fiyatlarında kayda değer bir artışa yol açmaktadır. Bu noktadan bakıldığında rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak elektrik enerjisi üretmek elektrik enerjisinin üretim maliyetinde dikkate değer bir düşüşü sağlayabileceği yadsınamaz bir gerçektir.

Ülkemizde son yıllarda rüzgar ve güneş potansiyelinin değerlendirilmesinde özel şirketler ve kamu kuruluşları tarafından önemli çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalarda rüzgar potansiyelinin kullanılmasında önemli ilerlemeler kaydedilmiş olmasına rağmen güneş potansiyelinin

değerlendirilmesinde yapılan çalışmalar henüz yeterli seviyeye ulaşmamıştır.

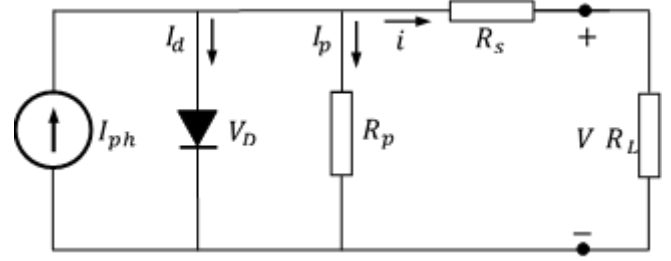
Oysa, güneş enerjisi küresel enerji talebinin önemli bir kısmını karşılayabilecek bir potansiyele sahiptir. Öyle ki; dünyanın bir yıllık bir periyotta sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli, rezerv kömür kaynaklarının 50 katı, bilinen doğalgaz rezervlerinin 800 katına denk geldiği yapılan araştırmalardan görülmektedir [1]. Türkiye 1000-2000 kWh/m^2 yıl oranlarıyla Avrupa'da İspanya'dan sonra en yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip ikinci ülke konumundadır. Diğer bir deyişle, Türkiye ki güneş enerjisi potansiyelinin harcanan fosil yakıtlarından 10000 kat daha fazla olduğu yapılan araştırmalardan anlaşılmaktadır [2]. Bu potansiyele karşın ülkemizin belli bölgelerinde kurulan lisanssız güneş tarlalarından elde edilen elektrik enerjisi üretimi 28 Şubat 2015 itibari ile 53,9 MW olarak belirlenmiştir [3]. Bu açıdan bakıldığında fotovoltaik sistemler yardımıyla güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin yeterince yaygınlaşmadığı görülmektedir. Bu durum çevresel şartlara bağlı olarak güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik sistemler üzerinde yapılacak bilimsel çalışmaların ve uygulamaların sınırlı sayıda kaldığını göstermektedir. Yürütülen çalışmalar daha çok fotovoltaik sistemlerden günün her saatinde maksimum enerjinin elde edilmesine yöneliktir. Bunun için fotovoltaik sistemin yüksek verimle çalışmasını sağlayacak maksimum güç noktasının takibinin yapılması gerekir. Bu güneş takip sistemi tasarımıyla ilgili olup doğrudan fotovoltaik modülün elektriksel eşdeğer devre modelinin çevre şartlarına bağlı olarak değişmesi sonucu ortaya çıkar. Bu durumda her sıcaklık ve ışınım değerinde fotovoltaik hücrenin eşdeğer devre modelini oluşturarak yüke aktarılacak maksimum gücün bulunması gerekir. Böylece elde edilecek yaklaşık devre modeli ile fotovoltaik modül davranışının mevcut şartlarda vereceği maksimum güç değeri maksimum güç teoremi yardımıyla bulunabilir.

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 araştırmacılar Jain ve Kapoor Lambert W fonksiyonu kullanarak parasitik 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, 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.

II. TEK DİYOT DEVRE MODELİ

Şekil 1'de gösterilen tek diyot devre modeli I-V ve P-V karakteristiklerinin en az hata ile bulunmasını sağlayan en iyi model olarak bilinmektedir. Bu devre modelinde, R_s seri direnç olup yarı iletken maddeden, metal bağlantı noktalarından oluşan devre yolunun toplam direncini temsil etmektedir. R_p paralel direnci yarıiletken yapıdaki kaçak akımından kaynaklanan kaybı ifade etmektedir. Bu kayıp seri direnç ile temsil edilen kayıpla karşılaştırıldığında oldukça küçüktür.



Şekil 1. Tek Diyot Devre Modeli.

Şekil 1'deki devrede, Kirşof akım yasası uygulanarak Eş.1 ifadesi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$I_{ph} - I_d - I_p - i = 0 \quad (1)$$

Burada I_{ph} , I_d , I_p ve i sırasıyla fotoakım, diyot akımı, paralel dirençten akan akımlar ve çıkış akımı olarak ifade edilirler.

Eş.1 denkleminde diyot akımı Eş.2 ve paralel direnç üzerinden akan akım Eş.3 ile ifade edilebilir.

$$I_d = I_0 \left\{ e^{\frac{qV_D}{nk_B T}} - 1 \right\} \quad (2)$$

$$I_p = \frac{V + iR_s}{R_p} \quad (3)$$

Bu ifadelerde, I_0 ters diyot doyma akımı, q elektron yükü, V_D diyot gerilimi, k_B boltzman sabiti, T Kelvin cinsinden sıcaklık değeri, n diyot idealite faktörünü ve V çıkış gerilimini ifade etmektedir.

Eş.2'de yer alan diyot gerilimi yerine $V_D = V + iR_s$ ifadesi konulup, seri bağlı hücre sayısını belirten n_s ifadesi denkleme eklenip gerekli işlemler yapılırsa çıkış akımı Eş.4'te gösterildiği gibi ifade edilebilir.

$$i = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{q(V+iR_s)}{nk_B T n_s}} - 1 \right\} - \frac{V + iR_s}{R_p} \quad (4)$$

Eş.4 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. 3'te üstel ifade 1 değerinden çok daha büyük değerler üreteceğinden (-1) ifadesi ihmal edilebilir. Böylece Eş. 4 ifadesi;

Çizelge 1. Değişken Değişimi.

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_r	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

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{V+IR_s}{n_s V_t}} \right\} - \frac{V - IR_s}{R_p} \quad (4)$$

olur.

$$\text{Bu ifade } V_t = \frac{k_B T n}{q} \text{ dir.}$$

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. 4'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;

$$I_{sc} = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{I_{sc} R_s}{n_s V_t}} \right\} - \frac{I_{sc} R_s}{R_p} \quad (6)$$

elde edilir.

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

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

elde edilir.

Son olarak akımın sıfır olduğu, gerilimin açık devre akımına eşit olduğu ($V_{oc}, 0$) noktasını Eş. 5'de yerine konulursa;

$$0 = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{V_{oc}}{n_s V_t}} \right\} - \frac{V_{oc}}{R_p} \quad (8)$$

İfadesi elde edilir.

Bu üç denklemin yanı sıra gücün, gerilime göre türevi maksimum güç noktasında sıfıra eşittir.

Öyleyse dördüncü eşitliğimiz şu şekilde olabilir;

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (V_{mpp}, I_{mpp}) \text{ noktasında} \quad (9)$$

Böylece gerekli beş denklemden dört tanesi elde edilmiş oldu.

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

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{1}{R_p} (0, I_{sc}) \text{ noktasında} \quad (10)$$

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

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

$$A = \frac{a_1 x_5 - a_2 + a_1 x_4}{a_5 x_5 x_3} \quad (11)$$

$$B = \frac{a_3 + a_4 x_4 - a_2}{a_5 x_3} \quad (12)$$

$$C = \frac{a_1 x_4 - a_2}{a_5 x_3} \quad (13)$$

olmak üzere;

$$0 = x_1 - x_2 \left(e^{\frac{a_2}{a_5 x_3}} \right) + \frac{a_2}{x_5} \quad (14)$$

$$0 = x_2 - \left(a_1 - \frac{a_2 - a_1 x_4}{x_5} \right) \left(e^{-\frac{a_2}{a_5 x_3}} \right) \quad (15)$$

$$0 = a_4 - a_1 + \frac{a_3 + x_4 - a_1 x_4}{x_5} + \left(a_1 - \frac{a_2 - a_1 x_4}{x_5} \right) \left(e^{\frac{a_3 + a_4 x_4 - a_2}{x_5 x_3}} \right) \quad (16)$$

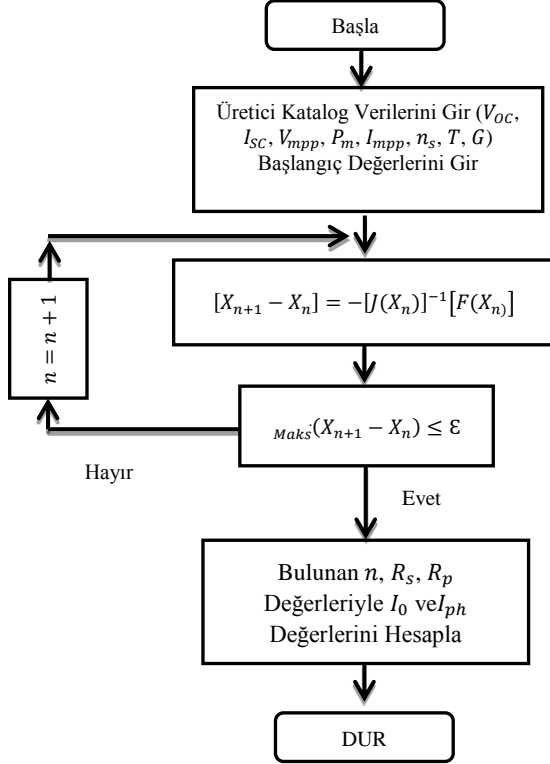
$$0 = a_4 - \frac{a_3 A(e^B) + (a_3/x_5)}{1 + A x_4 (e^B) + (x_4/x_5)} \quad (17)$$

$$0 = \frac{1}{x_5} - \frac{A(e^C) + (1/x_5)}{1 + x_4 A(e^C) + (x_4/x_5)} \quad (18)$$

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. 16, Eş. 17 ve Eş. 18, 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 çözümlenip daha sonra ilk iki denklem yardımıyla x_1 ve x_2 değerleri hesaplanır.

Newton Raphson için yazılan matlab kodunun akış diyagramı Şekil 2 ile gösterilmiştir.



Şekil 2. Önerilen Yöntemin Akış Diyagramı.

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, I-V ve P-V karakteristikleri için gerekli parametrelerin bulunmasında Çizelge 2'de katalog verileri verilen iki farklı tipte fotovoltaik modül kullanılmıştır.

Çizelge 2. Modüllerin Katalog Verileri.

Parametreler	Monokristal	Polikristal
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 ² , Sıcaklık 25 °C, AM=1.5	

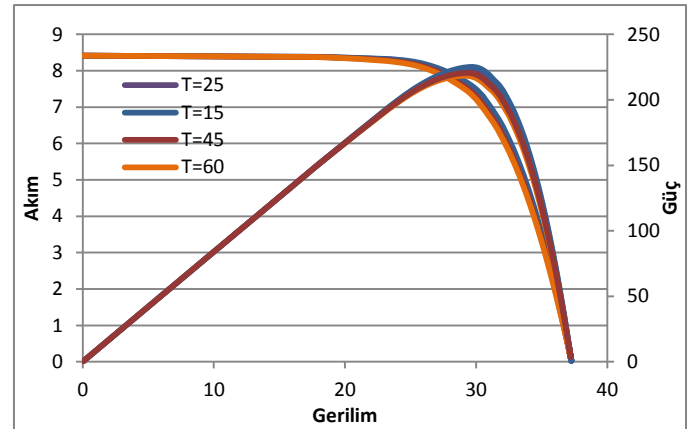
Önerilen yöntem Matlab ortamında geliştirilen yazılım yardımıyla test edilmiş, elde edilen sonuçlar grafik ve tablo biçiminde aşağıda verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen parameter değerleri Çizelge 3 ile aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 3. Bulunan Değerler.

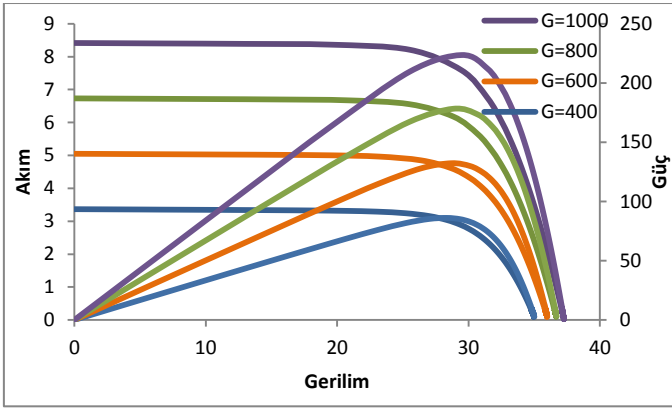
Parametreler	Monokristal	Polikristal
I_{ph}	8.567 A	8.916 A
I_0	1.07x10 ⁻³ mA	0.86x10 ⁻³ mA
n	1,523	1.4662
R_s	0,291 Ω	0.552 Ω
R_p	506,014 Ω	520.956 Ω

Çizelge 3'e bakıldığında diyot idealite faktörünün monokristal modüle polikristal modüle göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra parazitik dirençlerin polikristal modüle göre daha küçük olduğu görülmektedir. Tahmin ettirilen ve bulunan sonuçlar literatürde daha önceden elde edilmiş sonuçlar ile tutarlılık göstermekte ve verimi daha düşük olan polikristal modüllerde kaybı ifade eden parazitik dirençler dah büyük olarak bulunmuştur[8,9,10].

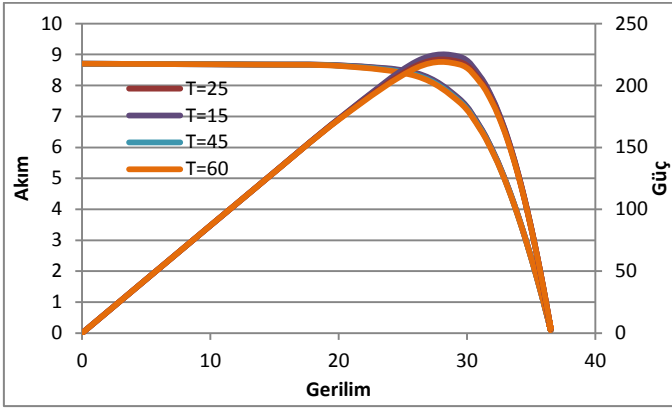
Bilinmeyen parametre değerleri elde edilen monokristal ve polikristal modüller için sıcaklık ve ışınım değerlerindeki değişime bağlı olarak çizdirilen I-V ve P-V karakteristik eğrileri Şekil 3-Şekil 6'da verilmiştir.



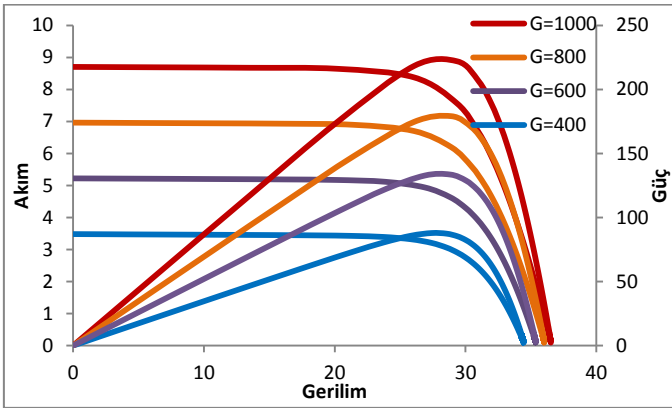
Şekil 3. Monokristal için sıcaklığa bağlı I-V, P-V grafiği



Şekil 4. Monokristal için ışınımına bağlı I-V, P-V grafiği



Şekil 5. Polikristal için sıcaklığa bağlı I-V, P-V grafiği



Şekil 6. Polikristal için ışınımına bağlı I-V, P-V grafiği

Farklı sıcaklık ve ışınım değerlerinde elde edilen akım-gerilim ve güç-gerilim değişimleri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te monokristal modül için Şekil 5 ve Şekil 6'da polikristal modül için gösterilmiştir. Verilen grafiklerden görüldüğü üzere elde edilen sonuçların diğer benzeri çalışmalarla aynı trendde bir değişim gösterdiği görülmüştür. Burada dikkat edilirse ışınım değerleri akım-gerilim karakteristiği ile güç-gerilim karakteristiğini sıcaklığa göre daha fazla etkilemektedir. Beklenildiği üzere ışınım değerleri arttıkça modülden üretilen

maksimum güç artmakta, sıcaklık artışında ise güç bir miktardan azalmaktadır. Ancak burada artış ve azalış değerlerinin tam olarak ifade etmek için modülün ışıma ve sıcaklık değerlerine bağlı bir sağlıklı modelinin oluşturulmasını zorunlu kılar. Literatürde akım ve gerilim sıcaklık katsayılarına bağlı olarak geliştirilmiş modeller olmasına rağmen buradan elde edilen sonuçlar yeterince iyi olmamaktadır. Dolayısıyla tek diyot devre modeline sıcaklık ve ışıma etkisini ilave edecek yeni bir devre modelinin oluşturulması gerekli olabilir.

IV. ÇALIŞMANIN SONUÇLARI

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-Müşade edilen hata sınırları içinde bulunan parametreler kullanılarak modülün akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristikleri kolaylıkla elde edilmiştir. 3-İşinım 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/kurulguc.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 aktarımını etkileyen temel elektrik devre parametrelerinin genetik algoritmalar ile tahmin edilmesi,Düzce Üniversitesi, Yüksek lisans tezi,2014