Fotovoltaik (PV) Güneş Pilinin İki Diyotlu Modellenmesi

*[1]Şaban YILMAZ, [2]Erdal KILIÇ, [3]Hasan Rıza ÖZÇALIK, [4]Ahmet GANİ
*[1] KSÜ Kahramanmaraş Meslek Yüksekokulu, Kahramanmaraş, Türkiye
[2] KSÜ Afşin Meslek Yüksekokulu, Kahramanmaraş, Türkiye
[3-4] KSÜ Müh.-Mim. Fak., Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

Özet:

Güneş Enerjisi Sistemlerinin popüler olduğu günümüzde, optimasyon yapılabilmesi için gerekli olan Simülasyon çalışmalarının başarısı açısından güneş pillerinin modellenmesi çok önemlidir. İki diyotlu eşdeğer devre gelişmiş ve başarılı bir modeldir. Fotovoltaik (PV) güneş pillerinin iki diyotlu eşdeğer devre kullanılarak modellenmesi ve güneş enerjisi üretiminde etken olan değişkenlerin akım-gerilim, güç-gerilim karakteristiklerini nasıl etkilediğinin incelenmesi bu makalenin ana konusunu oluşturmaktadır. Matlab yardımıyla oluşturulan model; gün ışığı, ortam sıcaklığının yanı sıra eşdeğer devrenin seri direncine, paralel kol sayısına, seri bağlı hücre sayısına, yarıiletken sabiti gibi birçok değişkeni göz önüne almaktadır. Modelin fonksiyon avantajı kullanılarak Fotovoltaik (PV) güneş pillerinin en önemli karakteristikleri olan akım-gerilim, güç-gerilim grafiklerinin etkenlere göre değişimi incelenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik (PV), Güneş Enerjisi, Matlab

Photovoltaic (PV) Solar Battery Modeling of Two-Diode

Abstract:

Solar Energy Systems is popular nowadays, and solar cell modeling is very significant in terms of a successful simulation study required for optimization. Two-diode equivalent circuit model is a well-developed and successful model. This article focuses on modeling photovoltaic (PV) solar cells via two-diode equivalent circuit and analyzing the impact of variables which are active in the production of solar energy on the characteristics of current-voltage and power-voltage. Model is created via Matlab and it takes various variables such as equivalent series resistance of the circuit, the number of parallel arm, the number of cells connected in series and semiconductor constant into account as well as day light and the ambient temperature. This study analyzes changes in current-voltage and power-voltage graphs, which are the most significant characteristics of photovoltaic (PV) solar cells, in accordance with various factors thanks to model's function advantage.
Key words: Photovoltaic (PV), Solar Energy,

1. Giriş

Yeni nesil Fotovoltaik sistemlerde gün geçtikçe verimin yükselmesi ve maliyetin düşmesi enerji ihtiyacının karşılanması için fotovoltaik sistemlerin kullanılmasını önemli ölçüde artırmıştır. Fotovoltaik sistemler geçmişte olduğu gibi sadece kısıtlı uygulamalar için ekonomik olan bir enerji kaynağı olmayıp, GWh mertebesinde enerji üretebilen ve geleneksel yöntemlere alternatif bir enerji kaynağı haline gelmektedir. Fotovoltaik sistemler yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisini ekonomiye kazandırmasının yanında çevreci ve uzun ömürlü olmasından dolayı ilgi odağı olmuştur. Fotovoltaik sistemlerin planlanması ve optimum kullanılabilmesi için modellenmesi gerekmektedir. Fotovoltaik sistemlerin en önemli bileşeni olan fotovoltaik panellerin modellenmesi için iki diyotlu model başarılı olarak kullanılmaktadır.

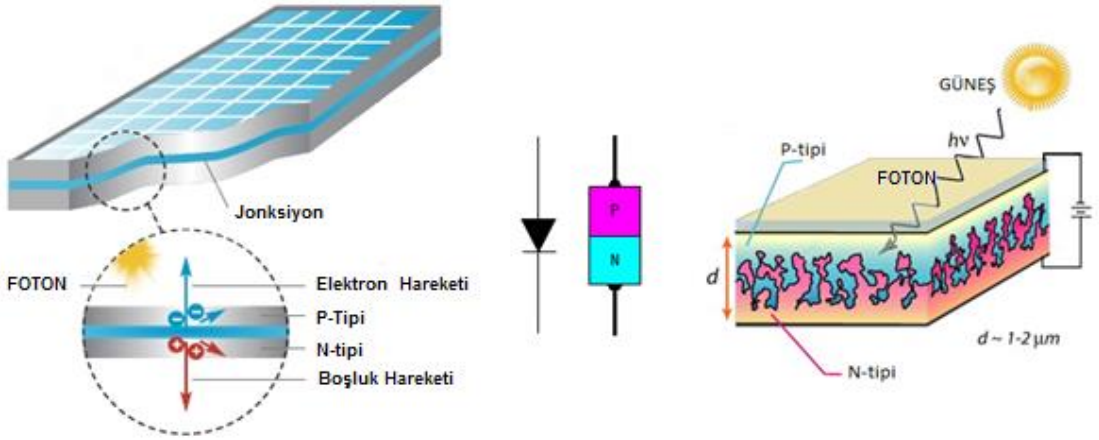
*Corresponding author: Address: *[1] KSÜ Kahramanmaraş Meslek Yüksekokulu, Kahramanmaraş, Türkiye
E-mail address: sabanyilmaz1@hotmail.com, Phone: +903442512311 Fax: +903442512312

Güneş pili eşdeğer modelinin çıkartılması ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların büyük bir kısmında Matlab yazılımı kullanılmıştır. Model çalışmalarında bir diyotlu model, gelişmiş iki diyotlu model ve diğer özgün modeller kullanılmaktadır. Literatürde Şimşek (2010), Altaş (2007), Shen vd. (2011), Segev vd. (2011) ve Ishaque vd. (2010) bu modele yakın analizler gerçekleştirmişlerdir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Güneş Pilinin Yapısı

Fotovoltaik güneş pillerinin yapısında P tipi ve N tipi malzeme bulunmaktadır. Şekil 1 görüldüğü gibi Fotovoltaik güneş pilleri yapısal olarak bir diyottur.



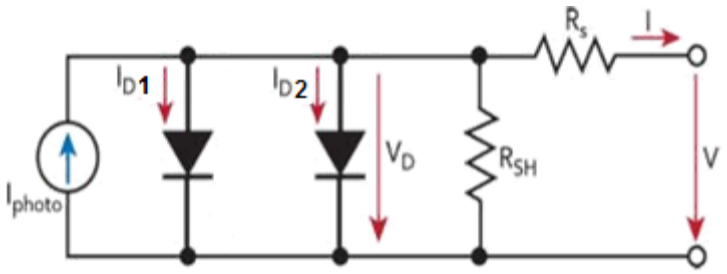
Şekil 1: Güneş Pilinin Diyota Benzerliği

Bir fotovoltaik hücre güneş ışığına maruz bırakıldığında, yeterli enerji içeriğine sahip fotonlar sayesinde kristal içerisinde elektron-boşluk çiftleri meydana gelir. Bu hareketli yük taşıyıcıları eklem bölgesine yaklaştığında, yükten arındırılmış bölge içerisindeki elektriksel alan sayesinde, elektronlar n bölgesine; boşluklar ise p bölgesine doğru itilirler. Kristalin iki kutbunda zıt yüklerin toplanması, bir potansiyel fark meydana getirir.(E. Cüce)

2.2. Güneş Pilinin Modellenmesi

Fotovoltaik Güneş pilinin modellenmesinde iki diyotlu eşdeğer devre kullanılmıştır. Fotovoltaik Güneş pilinin yapısında bulunan diyotlardan dolayı diyotlu modeller daha başarılıdır.

Şekil 2.de iki diyotlu eşdeğer devre görülmektedir. Burada Rs ve Rp güneş göze verimini etkileyen seri ve paralel direnç etkilerini göstermektedirler. Paralel direnç etkisini kristal kusurları yaratırken seri direnç etkisini yarıiletken malzemeye yapılan metal kontaklar, yarıiletken malzeme içindeki tabakaların iç dirençleri ve gözenin üst yüzeyindeki metalik parmak kontak dirençleri oluşturur. Paralel direnç etkisi gözenin açık devre gerilimini ve dolum faktörünü azaltan bir etkendir. Seri direnç etkisi gözenin kısa devre akımını ve dolum faktörünü azaltan bir etkendir. [3]



Şekil 2: Fotovoltaik Güneş pilinin iki diyotlu eşdeğer devresi.[5]

R_s	Seri Direnç	I_{pil}	FV Pilin Çıkış Akımı
R_p	Paralel Direnç	V_D	Diyot Voltajı
q	Elektron Yükünü	G_{ref}	Nominal Güneş Işığı Miktarı
m	İdealite Faktörünü	G	Güneş Işığı Miktarı
k	Boltzman Sabitini	I_{sc}	Nominal Kısa Devre Akımı
T	Kelvin Sıcaklık	V_{oc}	Nominal Açık Devre Voltajı
N_{pc}	Paralel Kol Sayısı	I_M	Maksimum Güç Noktasında Mevcut Akım
N_{sc}	Seri Kol Sayısı	T_{ref}	Hücrenin Nominal Çalışma Sıcaklığı
P_M	Maksimum Güç	V_M	Maksimum Güç Noktasında Mevcut Voltaj
C_0	Sıcaklık Katsayısı	K_v	Gerilim Sıcaklık Katsayısı
I_D	Diyot Akımı	I_e	Elektron Akımı
I_{ph}	Fotovoltaik Akım	I_h	Boşluk Akımı
I_{sh}	Paralel Direnç Akımı	K_i	Akım Sıcaklık Katsayısı
I_{oref}	Referans Akımı	E_g	Diyot Bant Genişliği
b	Yarı İletken Sabiti	I_0	Diyot Doyma Akımı

Şekil 2.deki Devreye Kirchoff'un akımlar kanunu uygulanırsa;

$$\mathrm{I_{pil}} = \mathrm{I_{ph}} - \mathrm{I_{D1}} - \mathrm{I_{D2}} - \mathrm{I_{sh}} \tag{1}$$

Diyot akımı, p-n jonksiyonundan geçen toplam akım olup, matematiksel olarak fotonlar tarafından harekete geçirilen elektronlar ve boşluklar tarafından oluşturulan akımların toplamıdır. İletim bandındaki elektron durumlarının ve valans bandındaki boşluk akımlarının Boltzman dağılımı ile net elektron akımı ve boşluk akımları; [2]

$$I_e = I_{eo}.(e^{\frac{qV_D}{kbT}} - 1) \tag{2}$$

$$I_h = I_{ho}.(e^{\frac{qV_D}{kbT}} - 1) \tag{3}$$

olarak tanımlanır. Diyot akımı ise;

$$I_D = I_e + I_h = I_o.(e^{\frac{qV_D}{kbT}} - 1) \tag{4}$$

olur. Diyot akımı ID, diyotun mutlak sıcaklığı, gerilim ve yük tarafından çekilen akımın bir fonksiyonu olarak değişir. Denklem 4'te; q, elektron yükünü (1.602×10^{-19} C), VD diyotun uçları arasındaki potansiyel farkını, m, idealite faktörünü, k: Boltzman sabitini (1.381×10^{-23} J/K) ve T, Kelvin cinsinden mutlak sıcaklığı temsil etmektedir. [2]

Şekil 2' de verilen güneş pili eşdeğer devresinde, Kirsof'un gerilimler kanunu uygulanarak, denklem 5'deki kaynak akımı ifadesi elde edilir.

$$I_D = I_o.\left(e^{\frac{qV_D}{mkT}} - 1\right) = I_o.\left(e^{\frac{q(V_{pv}+I.R_S)}{mkT}} - 1\right) \quad (5)$$

Güneş panelleri, Npc sayıda paralel kollardan olusur. Her bir Npc kol, Nsc sayıda güneş pili ile seri olarak birbirlerine bağlanmıştır. Birbirlerine seri bağlı güneş pillerinin toplam gerilim değeri, aynı akım değeri için her bir güneş pili gerilim değerinin birbirine eklenmesiyle bulunur. Birbirlerine paralel bağlı güneş pillerinin toplam akım değeri, aynı gerilim değerleri için üretilen akım değerlerinin toplanmasıyla bulunur. Modül uçlarına uygulanan gerilim V_M ve modül akımı I_M olmak üzere; [2,3]

$$V_M = N_{sc}.\ V_{new} \quad (6)$$

$$I_M = N_{pc}.\ I_{new} \quad (7)$$

olur. [2]

Sıcaklığın etkisine bağlı olarak bir PV modülün karanlıktaki doyma akımı;

Foton akımı;

$$I_{ph} = [I_{sc} + \alpha.(T_c - 25)]\frac{G}{G_{ref}} \quad (8)$$

$$I_{pil} = I_{ph} - I_{o1}.\left(e^{\frac{q(V_{pv}+I.R_S)}{mkT}} - 1\right) - I_{o2}.\left(e^{\frac{q(V_{pv}+I.R_S)}{mkT}} - 1\right) - \frac{(V_{pv}+I.R_s)}{R_{sh}} \quad (9)$$

$$I_{01} = I_{o1ref}.\left(\frac{T_c}{T_{cref}}\right)^3.\exp[\left(\frac{q.E_g}{n.k_b}\right)\left(\frac{1}{T_{cref}} - \frac{1}{T_c}\right)] \quad (10)$$

$$I_{02} = I_{o2ref}.\left(\frac{T_c}{T_{cref}}\right)^3.\exp[\left(\frac{q.E_g}{n.k_b}\right)\left(\frac{1}{T_{cref}} - \frac{1}{T_c}\right)] \quad (11)$$

$$I_{pil} = I_{ph.}(1 + C_0(T - 300)) - I_{o1}.\left(e^{\frac{q(V_{pv}+I.R_S)}{mkT}} - 1\right) - I_{o2}.\left(e^{\frac{q(V_{pv}+I.R_S)}{mkT}} - 1\right) - \frac{(V_{pv}+I.R_s)}{R_{sh}} \quad (12)$$

10,11 ve 8.Denklemler 12.denklemde yerine yazılırsa iki diyotlu model için güneş gözesinin üretmiş olduğu akım elde edilir.

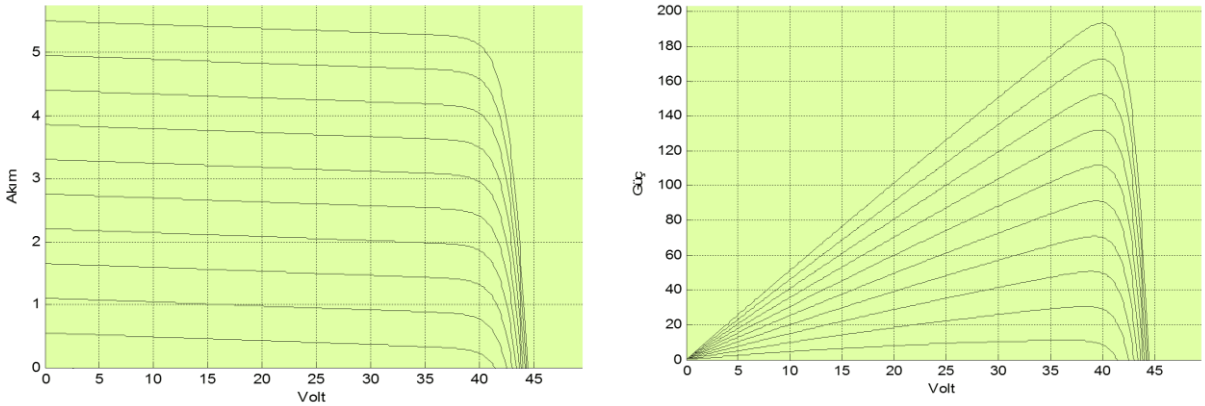
2.3. Modellenen Güneş Pilinin Parametreleri

Sharp Marka güneş pili iki diyotlu eşdeğer devre için Matlab mfile kullanılarak modellenmiştir. Sharp Marka NT-S5E1U'nin etiket değerleri; Güç=185,0 W, V_{mp}=36,21 V, I_{mp}=5,11 A, V_{oc}=44,9 V, I_{sc}=5.75 A 'dir.

3. Sonuçlar

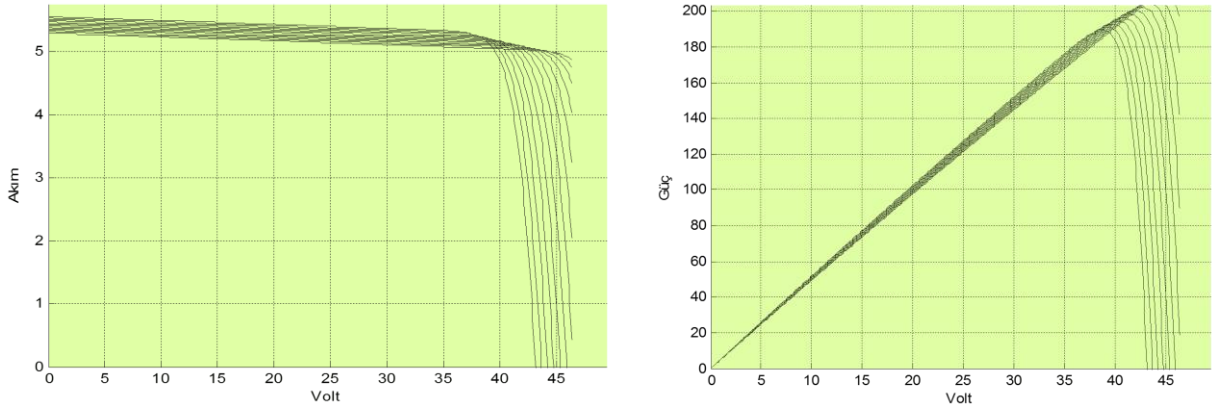
Matlab yardımıyla oluşturulan model; gün ışığı, ortam sıcaklığı, eşdeğer devrenin seri direnci, paralel kol sayısı, seri bağlı hücre sayısı ve yarıiletken sabiti gibi değerlerin

fonksiyonudur. Fotovoltaik (PV) güneş pillerinin en önemli karakteristikleri olan akım-gerilim, güç-gerilim grafikleri çizilmiştir.



Şekil 3: Karakteristiklerin Işık Şiddetine Göre Değişimi

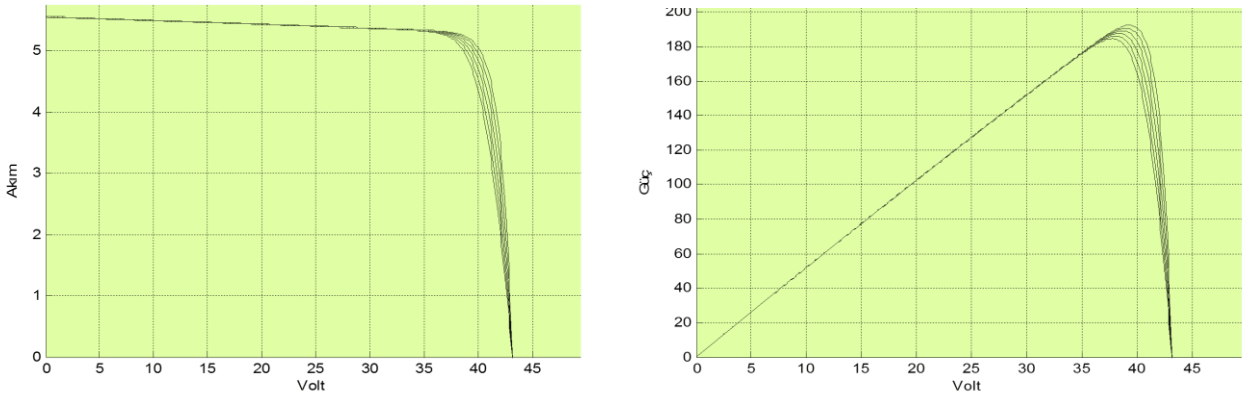
Şekil 3 ‘de Işık şiddeti 0’dan 100’er 100’er 1000 W/m2’e kadar artırılmış ve karakteristiklerin değişimi incelenmiştir. Işık şiddetinin akım-gerilim karakteristiğinde doğrudan akımı, güç-gerilim karakteristiğinde doğrudan gücü artırdığı görülmektedir.



Şekil 4: Karakteristiklerin Sıcaklığa Göre Değişimi

Şekil 4 ‘de Sıcaklık 250’den 5’er 5’er 310 Kelvin’e kadar artırılmış ve karakteristiklerin değişimi incelenmiştir. Sıcaklığın akım-gerilim karakteristiğinde akımı artırdığı fakat gerilimi düşürdüğü, güç-gerilim karakteristiğinde gerilimi ve gücün tepe değerini düşürdüğü görülmektedir.

Şekil 5 ‘de eşdeğer devrenin seri direnci 0.01’den 0.09’ar 0.09’ar 0.5 Ohm’a kadar artırılmış ve karakteristiklerin değişimi incelenmiştir. Eşdeğer Devrenin Seri Direncinin artması sonucunda akım-gerilim karakteristiğinde dikliğin azaldığı, güç-gerilim karakteristiğinde gücün tepe değerini düştüğü görülmektedir.



Şekil 5: Karakteristiklerin Seri Dirence Göre Değişimi

Işık şiddeti artışı; akımı ve gücü artırmaktadır. Sıcaklık artışı; akımı artırmakta ancak gerilimi düşürdüğü için gücün tepe değerini düşürmektedir. Eşdeğer Devrenin Seri Direncinin artışı; dikliği azaltmakta ve gücün tepe değerini düşürmektedir. Paralel kol sayısının artışı; akımı ve gücü artırmaktadır. Seri bağlı hücre sayısının artışı; dikliği ve gücü azaltmaktadır.

4. Kaynaklar

[1] Gideon Segev, Gur Mittelman, Abraham Kribus, "Equivalent circuit models for triple-junction concentrator solar cells", School of Electrical Engineering, Tel Aviv University, TelAviv 69978, Israel, School of Mechanical Engineering, Tel Aviv University, Tel Aviv 69978, Israel, 2011

[2] Gökay Bayrak, Mehmet Cebeci, "3,6 kW Gücündeki Fotovoltaik Generatörün Matlab Simulink İle Modellenmesi", Fırat Üniversitesi, Müh. Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, ELAZIĞ

[3] Kadir Gökhan Şimsek, " Elektrik Enerjisi Üreten fotovoltaik güneş paneli sistemi fonksiyonel modellemesi", Hacettepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2010

[4] [1] Kashif Ishaque, Zainal Salam, Hamed Taheri, Syafaruddin " Modeling and simulation of photovoltaic (PV) system during partial shading based on a two-diode model", Faculty of Elec. Eng. Universiti Teknologi Malaysia, UTM 81310, Skudai, Johor Bahru, Malaysia, Kumamoto University, 2-39-1 Kurokami, Kumamoto 860-8555, Japan,2010

[5] Kashif Ishaque, Zainal Salam , Hamed Taheri, Amir Shamsudin, "A critical evaluation of EA computational methods for Photovoltaic cell parameter extraction based on two diode model", Faculty of Electrical Eng., Universiti Teknologi Malaysia, UTM 81310, Skudai, Johor Bahru, Malaysia,2011

[6] Daniel S.H.Chan Jacob C. H. Phang ,"Analytical Methods for the Extraction of solar-Cell Single- and Double-Diode Model Parameters from I- V Characteristics", Member IEEE,1987

[7] Erdem CÜCE, "Farklı işletme koşullarında fotovoltaik modüllerin Performans parametrelerinin belirlenmesi", Karadeniz Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, TRABZON, 2009

[8] http://www.greenenergygreenhome.com/solar-photovoltaic-system

[9] Mohsen Taherbaneh, A.H. Rezaiea, H. Ghafoorifard, K. Rahimi, M.B. Menhaja and J.M. Milimonfared, "Evaluation of two-diode-model of a solar panel in a wide range of environmental conditions", Department of Electrical Engineering, Amirkabir University of Technology, Iran, 2010

[10] Mustafa Karamanav, "Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri" , Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,2007