

Güneş Pilinin Bir Diyotlu Eşdeğer Devre Yardımıyla Matematiksel Modelinin Çıkarılması ve Parametrelerinin İncelenmesi

Hasan Rıza ÖZÇALIK^{1*}, Şaban YILMAZ², Erdal KILIÇ³

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş MYO, Kahramanmaraş, Türkiye

³Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Afşin MYO, Kahramanmaraş, Türkiye

ÖZET: Fotovoltaik (PV) güneş pillerinin basitleştirilmiş bir diyotlu matematiksel modellerinin oluşturulması ve güneş enerjisi üretiminde etken olan değişkenlerin karakteristikleri 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, Güneş Hücresi, Matlab

Forming the Mathematical Model of the Solar Cell By Means of the Equivalent Circuit With A Diode And Investigation of the Parameters

ABSTRACT: Photovoltaic (PV) solar cells and solar energy production factor in the creation of mathematical models of how the variables which affect characteristics of the study is the main subject of this article. Matlab model is created with the help of sunlight, ambient temperature, as well as the equivalent series resistance of the circuit, the number of parallel arms, the number of cells connected in series, such as semiconductor constant takes into consideration many variables. The advantage of the model using the function Photovoltaic (PV) solar cells is the most important characteristics of the current-voltage, power-voltage graphs, based on factors examined.

Keywords: Photovoltaic (PV), Solar Energy, Solar Cell, Matlab

1. GİRİŞ

Güneşten elektrik enerjisi elde edilmesinin yolu, fotovoltaik olaydan yararlanmaktadır. Fotovoltaik olay, güneş ışığının elektrik enerjisine dönüşmesi şeklinde tanımlanan fiziksel bir olaydır. Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Bu prensiple çalışan güneş pili, üzerine düşen ışık miktarına bağlı olarak uçlarında gerilim üretir. Üretilen gerilim, gelen güneş ışığı miktarına bağlı olarak doğru orantılı bir değişim gösterir [1].

Fotovoltaik güneş pillerinin kullanımı önem kazandıkça, benzetim modelleri ile ilgili çalışmalar da hızlanarak artmaktadır. Klasik doğru akım ve alternatif akım kaynaklarından farklı karakteristiklere sahip olmaları, buldukları ortam ve çalışma koşullarından hızlı etkilenmeleri fotovoltaik güneş pillerinin simülasyon modellerinin elde edilmesini zorlaştıran başlıca nedenlerdir. Çalışma sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve güneş ışığı şiddeti karakteristiği dinamik olarak

değişmektedir. Geliştirilecek model bu değişikliklere yanıt verecek dinamiğe sahip olmalıdır [2].

Güneş pili eşdeğer modelinin elde edilmesi ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların bir kısmında model için Matlab ile yazılımı kullanılmıştır [3-6].

Model çalışmalarında basit model, gelişmiş bir diyotlu model, gelişmiş iki diyotlu model ve diğer özgün modeller kullanılmaktadır. Tek diyot modeli bir fotovoltaik güneş pili hücresinin benzetim kullanılan en basit modeldir.

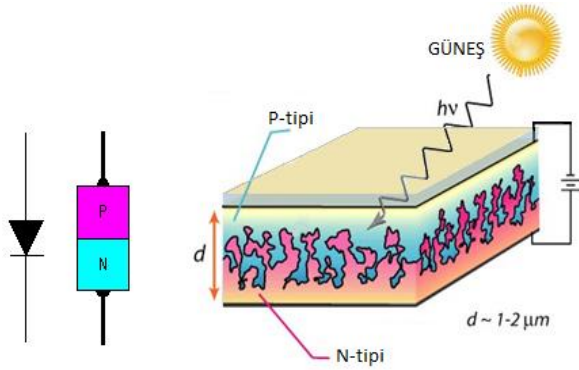
Yapılan çalışmada ise öncelikle güneş pilinin literatür taramasında en yaygın kullanıldığı tespit edilen, gelişmiş bir diyotlu eşdeğer devresinden yararlanılarak Matlab mfile ile PV panel bloğu modellenmiştir. Geliştirilen model ile PV panelin akım-gerilim ve güç gerilim karakteristiklerini etkileyen gün ışığı, ortam sıcaklığı, eşdeğer devrenin seri direnci, paralel kol sayısı, seri bağlı hücre sayısı, yarıiletken sabiti gibi değişkenler değiştirilmiş ve karakteristiklerin değişimi incelenmiştir

*Sorumlu yazar: Hasan Rıza ÖZÇALIK ozcalik@yahoo.com

2.GÜNEŞ PİLİNİN EŞDEĞER DEVRESİ

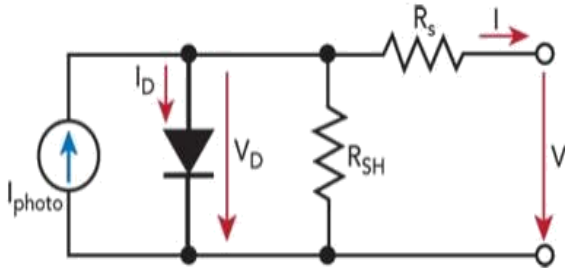
Güneş pilleri p-n yarı iletkenlerinin ince bir katman haline getirilerek birleştirilmesinden oluşur. Karanlıkta fotovoltaik hücre çıkış I-V karakteristiği diyot karakteristiğine çok benzer. Işığa maruz kaldığında fotonlar sayesinde elektron hareketi dolayısı ile akım sağlanır[7].

Fotovoltaik (PV) güneş pillerinin yapısında P tipi ve N tipi malzeme kullanılmakta olup, P-N Jonksiyon mevcuttur[8-16].



Şekil 1: Güneş Pili'nin Diyota Benzerliği [17]

Şekil 2' de güneş gözesinin basitleştirilmiş bir diyotlu eşdeğer devresi gösterilmiştir. Güneş gözesi, doğrultucu bir diyota paralel bağlanmış bir akım kaynağı olarak düşünülebilir.



Şekil 2: Güneş gözesinin eşdeğer devresi[18-30].

Burada R_s ve R_p 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 dolun faktörünü azaltan bir etkendir. Seri direnç etkisi gözenin kısa devre akımını ve dolun faktörünü azaltan bir etkendir [31].

Devreye Kirsof'un akımlar kanunu uygulanırsa;

$$I_{pil} = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad (1)$$

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; [1]

$$I_e = I_{eo} \cdot \left(e^{\frac{qV_D}{kbT}} - 1 \right) \quad (2)$$

$$I_h = I_{ho} \cdot \left(e^{\frac{qV_D}{kbT}} - 1 \right) \quad (3)$$

olarak tanımlanır. Diyot akımı ise;

$$I_D = I_e + I_h = I_o \cdot \left(e^{\frac{qV_D}{kbT}} - 1 \right) \quad (4)$$

olur. Diyot akımı I_D , diyotun mutlak sıcaklığı, gerilim ve yük tarafından çekilen akımın bir fonksiyonu olarak değişir. Denklem 4'te; q , elektron yükünü (1.602×10^{-19} C), V_D 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. [1]

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

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

$$I_{sh} = \frac{V_D}{R_{sh}} = \frac{(V_{pv} + I.R_s)}{R_{sh}} \quad (6)$$

$$I_{pil} = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad \text{olduğundan,}$$

$$I_{pil} = I_{ph} - I_o \cdot \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I.R_s)}{mkT}} - 1 \right) - \frac{(V_{pv} + I.R_s)}{R_{sh}} \quad (7)$$

olur.

denklem 7'deki eşitliğin sıcaklıkla bağıntısı;

$$I_{pil} = I_{ph} \cdot (1 + C_0(T - 300)) - I_o \cdot \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I.R_s)}{mkT}} - 1 \right) - \frac{(V_{pv} + I.R_s)}{R_{sh}} \quad (8)$$

olur.

Güneş panelleri, N_{pc} sayıda paralel kollardan oluşur. Her bir N_{pc} kol, N_{sc} 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; [1]

$$V_M = N_{sc} \cdot V_{new} \quad (9)$$

$$I_M = N_{pc} \cdot I_{new} \quad (10)$$

olur.

Sıcaklığın etkisine bağlı olarak bir PV modülün karanlıktaki doyma akımı;

$$I_0 = I_{oref} \cdot \left(\frac{T_c}{T_{cref}} \right)^3 \cdot \exp \left[\left(\frac{q \cdot E_g}{n \cdot k_b} \right) \left(\frac{1}{T_{cref}} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \quad (11)$$

I_{oref} = Referans akım

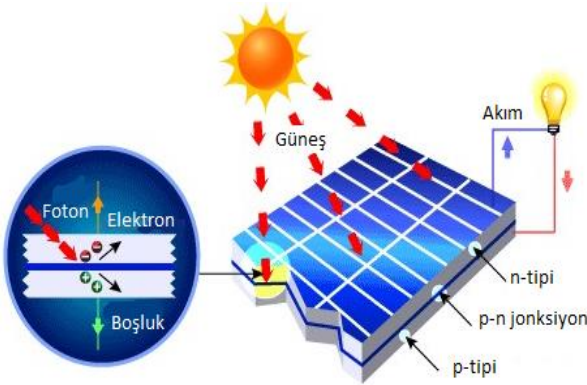
E_g = diyot bant genişliği

Foton akımı;

$$I_{ph} = [I_{sc} + \alpha \cdot (T_c - 25)] \frac{G}{G_{ref}} \quad (12)$$

12. ve 11. Denklemler 8.denkleimde yerine yazılırsa güneş gözesinin üretmiş olduğu akım elde edilir. [1]

3. MATLAB SİMÜLASYONU

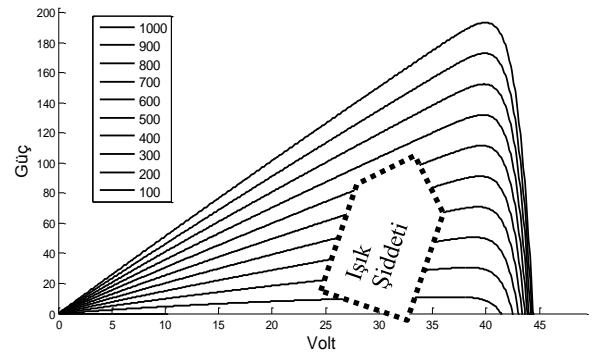


Şekil 3: Fotovoltaik (PV) güneş pilinin yapısı

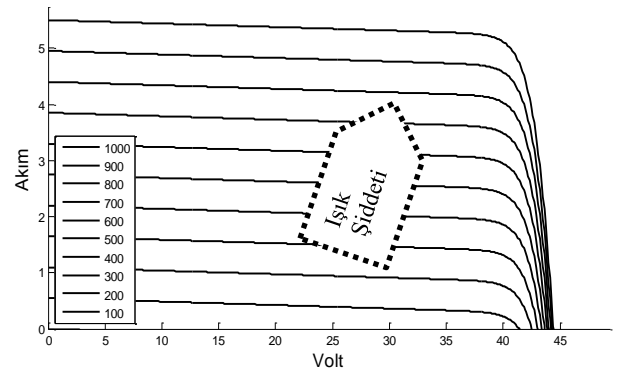
Sharp Marka güneş pili bir şekil 2'de görülen bir diyotlu eşdeğer devre ile Matlab mfile kullanılarak modellenmiştir.

Tablo 1: Sharp Marka NT-S5E1U'nin etiket değerleri;

Open Circuit Voltage (Voc)	44.9
Maximum Power Voltage (Vpm)	36.21
Short Circuit Current (Isc)	5.75
Maximum Power Current (Ipm)	5.11
Maximum Power (Pm)	185.0
Encapsulated Solar Cell Efficiency	17.5
Module Efficiency	14.2
PTC Rating (W) ²	162.43
Maximum System Voltage DC	600V
Series Fuse Rating	10A



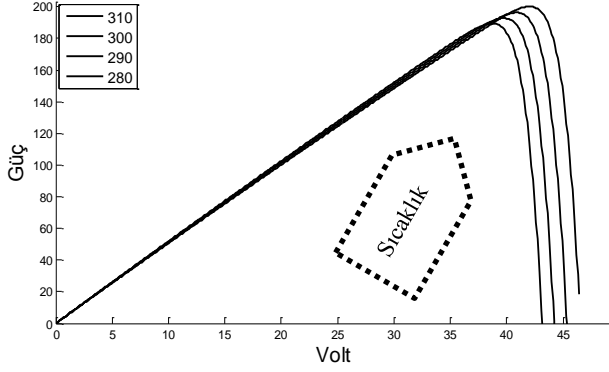
Şekil 4: PV Güç-Gerilim Karakteristiğinin Işık Şiddetine Göre Değişimi



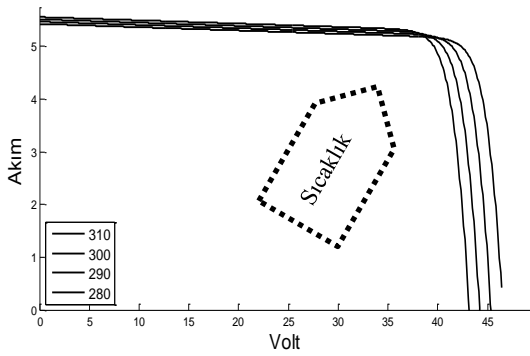
Şekil 5: PV Akım-Gerilim Karakteristiğinin Işık Şiddetine Göre Değişimi

Şekil 4 ve şekil 5 '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.



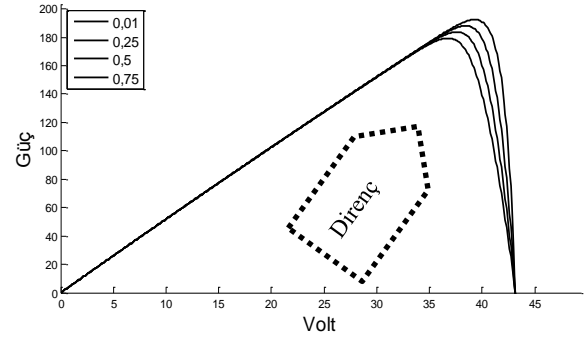
Şekil 6: PV Güç-Gerilim Karakteristiğinin Sıcaklığa Göre Değişimi



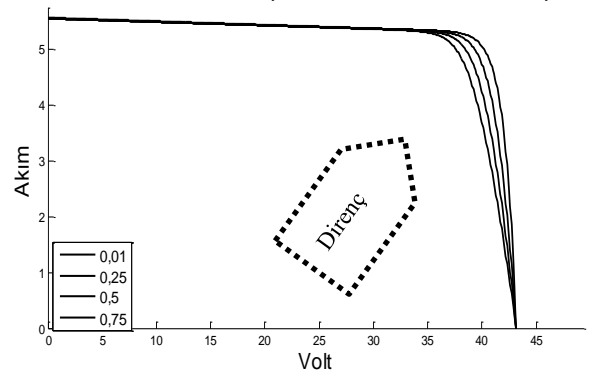
Şekil 7: PV Akım-Gerilim Karakteristiğinin Sıcaklığa Göre Değişimi

Şekil 6 ve şekil 7 'de Sıcaklık 280, 290, 300, 310 Kelvin olarak alınarak karakteristیکlerin değişimi incelenmiştir.

Sıcaklığın akım-gerilim karakteristiğinde akımı artırdığı fakat gerilimi düşürdüğü, güç-gerilim karakteristiğinde gerilimi ve gücün tepe değerini düşürdüğü görülmektedir.



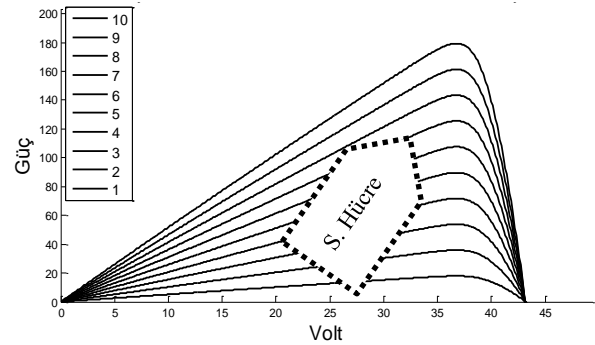
Şekil 8: PV Güç-Gerilim Karakteristiğinin Seri Dirence Göre Değişimi



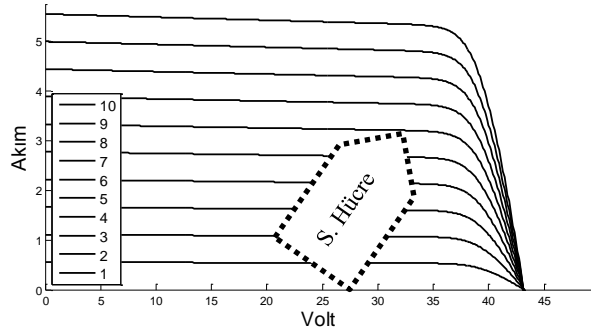
Şekil 9: PV Akım-Gerilim Karakteristiğinin Seri Dirence Göre Değişimi

Şekil 8 ve şekil 9 'da Eşdeğer Devrenin Seri Direnci 0,01- 0,25- 0,50- 0,75 Ohm olarak alınarak karakteristیکlerin değişimi incelenmiştir.

Eşdeğer Devrenin Seri Direnci, akım-gerilim karakteristiğinde karakteristiğın dikliğini değiştirmektedir. Güç-gerilim karakteristiğinde ise gücün tepe değerini değiştirdiği görülmektedir.



Şekil 10: PV Güç-Gerilim Karakteristiğinin Seri Bağlı Hücre Sayısına Göre Değişimi

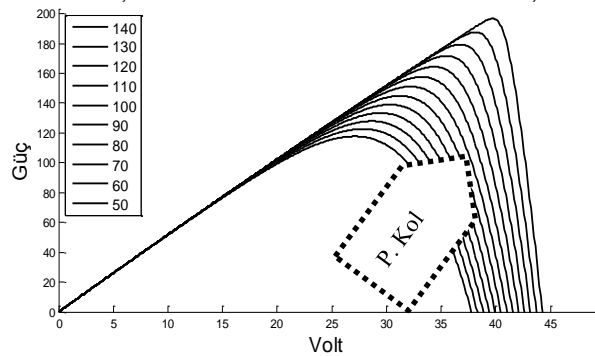


Şekil 11: PV Akım-Gerilim Karakteristiğinin Seri Bağlı Hücre Sayısına Göre Değişimi

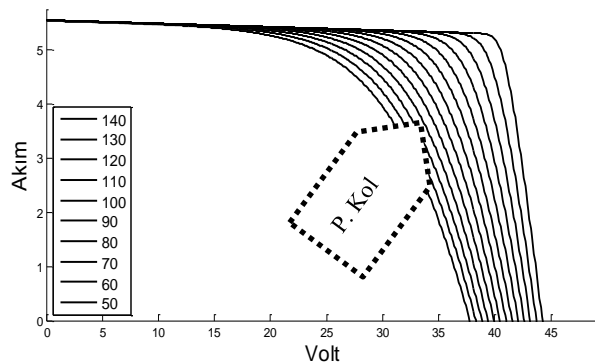
Şekil 10 ve şekil 11 'de seri bağlı hücre sayısının değişimi 1'den 10'a kadar artırılmış ve karakteristiklerin değişimi incelenmiştir.

Seri bağlı hücre sayısının değişimi, akım-gerilim karakteristiğinde karakteristiğin dikliğini değiştirmektedir. Güç-gerilim karakteristiğinde ise gücün tepe değerini değiştirdiği görülmektedir.

Seri bağlı hücre sayısının artması akım-gerilim karakteristiğinin kararlılığını artırmaktadır.



Şekil 12: PV Güç-Gerilim Karakteristiğinin Paralel Kol Sayısına Göre Değişimi



Şekil 13: PV Akım-Gerilim Karakteristiğinin Paralel Kol Sayısına Göre Değişimi

Şekil 12 ve şekil 13 'de paralel kol sayısı 50'den 140'a kadar 10'ar 10'ar artırılmış ve karakteristiklerin değişimi incelenmiştir.

Paralel kol sayısının artması Güç-gerilim karakteristiğinde gücün tepe değerini değiştirmekte ve akım-gerilim karakteristiğinin kararlılığını artırmaktadır.

4. SONUÇLAR

Fotovoltaik güneş pilinin modellenmesinde bir diyotlu model başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Model sayesinde Fotovoltaik panelin üretim değerlerini etkileyen parametrelerden Işık şiddeti, Sıcaklık, seri direnç değeri, seri hücre sayısı, paralel kol sayısının değişiminin etkileri incelenmiştir. 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.

KAYNAKLAR

- [1]. G. Bayrak, M. Cebeci, "3,6 kW Gücündeki Fotovoltaik Generatörün Matlab Simulink İle Modellenmesi", Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ
- [2]. K. G. Şimsek, "Elektrik Enerjisi Üreten fotovoltaik güneş paneli sistemi fonksiyonel modellemesi", Hacettepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2010
- [3]. H.L.Tsai, C.S. Tu, and Y.J. Su, "Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK", Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, San Francisco, USA, 2008
- [4]. İ.H.Altaş, A.M. Sharaf, "A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment", Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey,
- [5]. J. S. Kumari, C. S. Babu, "Mathematical Modeling and Simulation of Photovoltaic Cell, using Matlab-Simulink Environment", Asst. Professor, Dept of Electrical and Electronics Engg, RGM College of Engg & Tech, Nandyal, India. Professor, Dept of Electrical and Electronics Engg, JNT University, Kakinada, India.
- [6]. Ş. Yılmaz, M. Aksu, Z. Özer, H. R. Özçalık, "Matlab İle Gerçekleştirilen Fotovoltaik (PV) Güneş Pili Modeli İle Güneş Enerjisi Üretimindeki Önemli Etkenlerin Tespit Edilmesi", ELECO 2012, Bursa

- [7]. M. Ünlü, S. Çamur, B. Arifoğlu, "Devre Temelli Fotovoltaik Hücre Modeli", Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, Umuttepe Yerleşkesi, 41380, Kocaeli
- [8]. Mellita, M. Benganemb, S.A. Kalogirouca, "Modeling and simulation of a stand-alone photovoltaic system using an adaptive artificial neural network: Proposition for a new sizing procedure", Department of Electronics, University Centre of Me'dea, Institute of Science Engineering, 26000, Cyprus, 2006
- [9]. Ortiz-Conde, F. J. Garcí'a S. J. Muci "New method to extract the model parameters of solar cells from the explicit analytic solutions of their illuminated I-V characteristics" Solid State Electronics Laboratory, Simo'n Bolívar University, Apartado Postal 89000, Caracas 1080A, Venezuela, 2005
- [10]. Ö. Küpeli, "Güneş Pilleri ve Verimleri", Osmangazi Üniversitesi, Fen bilimleri, enstitüsü Yüksek lisans tezi, 2005
- [11]. F. Adamo, F. Attivissimo, A. Di Nisio, A. M. L. Lanzolla, M. Spadavecchia "Parameters Estimation For A Model Of Photovoltaic Panels" XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology, Lisbon, Portugal, 2009
- [12]. G. Walker, "Evaluating MPPT Converter Topologies Using A Matlab PV Model", University of Queensland, Australia
- [13]. G. Segev, G. Mittelman, A. Kribus, "Equivalent circuit models for triple-junction concentrator solar cells", School of Electrical Engineering, TelAviv University, TelAviv 69978, Israel, School of Mechanical Engineering, Tel Aviv University, Tel Aviv 69978, Israel, 2011
- [14]. H. I. Cho, S. M. Yeo, C. H. Kim, V. Terzija, Z. M. Radojevic, "A Steady-State Model of the Photovoltaic System in EMTP"
- [15]. H. Kawamura, K. Naka, N. Yonekura, S. Yamanaka, H. Kawamura, H. Ohno, K. Naito "Simulation of I2V characteristics of a PV module with shaded PV cells" Department of Electrical and Electronic Engineering, Meijo University, 1-501, Shiogamaguchi, Tempaku-ku, Nagoya 468-8502, Japan, 2003
- [16]. K. Ishaque, Z. Salam, H. Taheri, "Simple, fast and accurate two-diode model for photovoltaic modules" Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, UTM81310, Skudai, Johor Bahru, Malaysia, 2010
- [17]. http://www.nsf.gov/news/news_images.jsp?cntn_id=100411&org=OISE
- [18]. E. Karatepe, M. Boztepe, M. Colak, "Neural network based solar cell model", Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Ege University, Bornova, Izmir 35100, Turkey, 2005
- [19]. D. Petreus, C. Farcas, I. Ciocan, "Modelling And Simulation Of Photovoltaic Cells", Technical University of Cluj-Napoca, Faculty of Electronics, Telecommunications and Information Technology, 26-28 G. Baritiu Street, Cluj-Napoca, Romania,
- [20]. M. G. Villalva, J. R. Gazoli, E. Ruppert F., "Modeling And Circuit-Based Simulation Of Photovoltaic Arrays", University of Campinas - UNICAMP, Brazil, 2009
- [21]. M. G. Villalva, J. R. Gazoli, E. R. Filho, "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays", IEEE Transactions On Power Electronics, Vol. 24, No. 5, May 2009
- [22]. Ş. Çamcı, "Konutlar İçin, Yakıt Hücresi Ve Güneş Pilleri Kullanan, Şebekeden Bağımsız Bir Güç Sisteminin Tasarımı Ve Modellemesi", Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 2007
- [23]. D. Soto, S.A. Klein, W.A. Beckman, "Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance", Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 1500 Engineering Drive, Madison, WI 53706, USA, 2005
- [24]. T. Skočil, M. P. Donsión, "Mathematical Modeling and Simulation of Photovoltaic Array", Department of Electric Power Engineering and Ecology Faculty of Electrical Engineering, University of West Bohemia, Pilsen, Univerzita'ni' Czech Republic, Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Engineering, University of Vigo, Vigo Campus of Lagoas Marcosende, 36310 Vigo, Spain,
- [25]. M. Azab, "Improved Circuit Model of Photovoltaic Array", International Journal of Electrical and Electronics Engineering, 2009
- [26]. A. Bellini, S. Bifaretti, V. Iacovone, C. Cornaro, "Simplified Model of a Photovoltaic Module", Dept. of Electronic Engineering, University of Rome Tor Vergata,
- [27]. D. Petreus, C. Farcas, I. Ciocan, "Modelling And Simulation Of Photovoltaic Cells", Technical University of Cluj-Napoca, Faculty of Electronics, Telecommunications and Information Technology, 26-28 G. Baritiu Street, Cluj-Napoca, Romania,
- [28]. R. Ramaprabha, B.L. Mathur, "Development of an Improved Model of SPV Cell for Partially Shaded Solar Photovoltaic Arrays" European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.47 No.1 (2010), pp.122-134
- [29]. W. Shen, Y. Ding, F. H. Choo, P. Wang, P. C. Loh, K. K. Tan, "Mathematical model of a solar module for energy yield simulation in

photovoltaic systems”, School of Electrical & Electronic Engineering Nanyang Technological University 50 Nanyang Avenue, Singapore 639798

- [30]. I.L.Alboteanu, S.Ivanov, G.Manolea, “Modelling and simulation of a stand-alone photovoltaic system”, Faculty for Electromechanical, Environment and Industrial Informatics Engineering, University of Craiova, 107, Decebal Bl. 200440, Craiova, ROMANIA
- [31]. İ.H.ALTAŞ, “Fotovoltaaj Güneş Pilleri: Eşdeğer Devre Modelleri ve Güneş ışığı ile Sıcaklığın Etkileri”, Karadeniz Teknik Üniversitesi,1998