

Matlab İle Gerçekleştirilen Fotovoltaik (PV) Güneş Pili Modeli İle Güneş Enerjisi Üretimindeki Önemli Etkenlerin Tespit Edilmesi

The Detection of Important Effects in Solar Cell Production with the Photovoltaic (PV) Solar Cell Model Established by using MATLAB

Şaban YILMAZ¹,
sabanyilmaz@ksu.edu.tr

Mustafa AKSU¹,
aksu@ksu.edu.tr

Zafer ÖZER²,
zaferoz@mersin.edu.tr

Hasan Rıza ÖZÇALIK³
ozcalik@ksu.edu.tr

¹ KSÜ Kahramanmaraş Meslek Yüksekokulu, KAHRAMANMARAŞ,

² Mersin Üniversitesi Mersin Meslek Yüksekokulu, MERSİN,

³ KSÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, KAHRAMANMARAŞ,

Özet

Fotovoltaik (PV) güneş pillerinin matematiksel modellerinin oluşturulması ve güneş enerjisi üretiminde etken olan değişkenlerin karakteristikleri nasıl etkilendiğinin 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.

Abstract

Mathematical modeling of Photovoltaic (PV) solar cells and analysis of how it affects the variables which are effective in production of solar energy are the main subjects of this article. The model which is established by using MATLAB takes into consideration of several variables such as sunlight, the ambient temperature, the series resistance of equivalent circuit, the number of parallel arms and cells connected in series and the semiconductor constant. By using function advantage of model, the variations of the current-voltage and power-voltage graphics which are the important characteristics of Photovoltaic (PV) solar cells are investigated.

1. Giriş

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.^[18]

Fotovoltaik güneş pillerinin kullanımı önem kazandıkça, simülasyon modelleri ile ilgili çalışmalar da hızlanarak artmaktadır. Klasik doğru akım ve alternatif akım

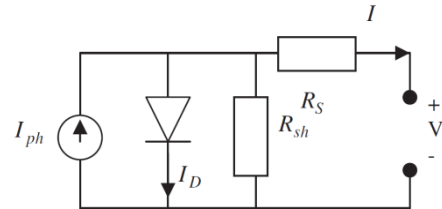
kaynaklarından farklı karakteristiklere sahip olmaları, bulundukları ortam ve çalışma koşullarından hızlı etkilenmeleri fotovoltaik güneş pillerinin simülasyon modellerinin elde edilmesini zorlaştıran başlıca nedenlerdir. Çalışma sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve güneş ışığı şiddeti karakteristiği dinamik olarak değişmektedir. Geliştirilecek model bu değişikliklere yanıt verecek dinamiğe sahip olmalıdır.^[27]

Güneş pili eşdeğer modelinin elde edilmesi ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların bir kısmında model için Matlab ile yazılımı kullanılmıştır.^[15-16-18] Model çalışmalarının bazılarında ise Matlab simülinik kullanılmıştır.^[22-25-26-29-] Model çalışmalarında basit model^[16-38-22-24-25-26-52] gelişmiş bir diyotlu model^[2-3-4-6-9-12-14-17-18-19-20-22-21-23-24-27-33-36-39-40-41-42-44-45-46-47-48-49-50-51] gelişmiş iki diyotlu model^[9-11-13-22-23-28-29-30-31-37-41-43] ve diğer özgün modeller kullanılmaktadır.^[1-5-8-32]

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.

2. Güneş Piliin Eşdeğer Devresi

Şekil 1' de güneş gözesinin eşdeğer devresi gösterilmiştir. Güneş gözesi, doğrultucu bir diyota paralel bağlanmış bir akım kaynağı olarak düşünülebilir.^[19]



Şekil 1: Güneş gözesinin eşdeğer devresi.^[09]

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 dolum faktörünü azaltan bir etkidir. Seri direnç etkisi gözenin kısa devre akımını ve dolum faktörünü azaltan bir etkidir.^[19]

Devreye Kirşof'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;^[18]

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

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

olarak tanımlanır. Diyot akımı ise;

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

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.^[18]

Şekil 1' de verilen güneş pili eşdeğer devresinde, Kirşof'un gerilimler kanunu uygulanarak, denklem 5'deki kaynak akımı ifadesi elde edilir.

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

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

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

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

olur.

denklem 7'deki eşitliğin sıcaklıkla bağıntısı;^[27]

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

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;^[18]

$$V^M = N_{sc} \cdot V_{new} \quad (9)$$

$$I^M = N_{pc} \cdot I_{new} \quad (10)$$

olur.^[18]

Sıcaklığın etkisine bağlı olarak bir PV modülün karanlıktaki doyma akımı;^[18]

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

I_{oref} = Referans akım

E_g = diyot bant genişliği

Foton akımı;^[18]

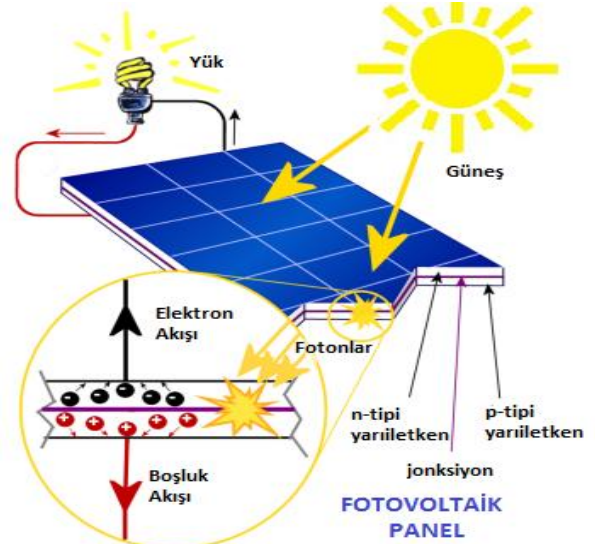
$$I_{ph} = [I_{sc} + \alpha \cdot (T_c - 25)] \cdot \frac{G}{G_{ref}} \quad (12)$$

12. ve 11. Denklemler 8.denkleimde yerine yazılırsa güneş gözesinin ürettiği akım elde edilir.



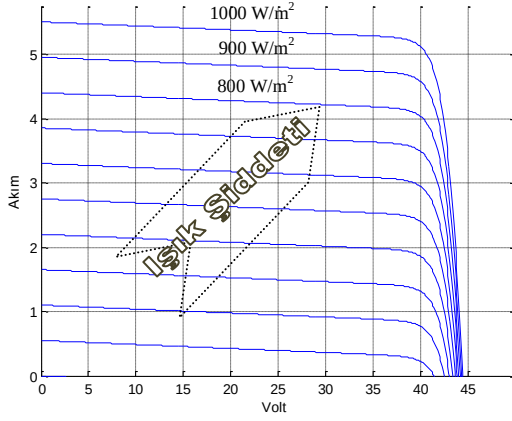
SHARP SOLAR MODULE NT-S5E1U		UL US LISTED 2PD PHOTOVOLTAIC MODULE E160673
THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS ARE WITHIN ±10 PERCENT OF THE INDICATED VALUES OF I_{sc} , V_{oc} , AND P_{max} UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (IRRADIANCE OF 1000W/m ² , AM1.5 SPECTRUM AND CELL TEMPERATURE OF 25°C)		
MAXIMUM POWER	(P_{max})	185.0 W
OPEN-CIRCUIT VOLTAGE	(V_{oc})	44.9 V
SHORT-CIRCUIT CURRENT	(I_{sc})	5.75 A
MAXIMUM POWER VOLTAGE	(V_{mp})	36.21 V
MAXIMUM POWER CURRENT	(I_{mp})	5.11 A
MAXIMUM SYSTEM VOLTAGE		600 V
FUSE RATING		10 A
FIRE RATING	CLASS	C
FIELD WIRING	COPPER ONLY 14 AWG MIN. INSULATED FOR 90°C MIN.	
SERIAL No.	034090273	
SHARP CORPORATION 285-1 HAIKAWA, SHIRAO-CHO, KITAKATSURAGI-GUN, NARA, 639-0198, JAPAN		

Şekil 2: Modellenen PV Panelin etiketi

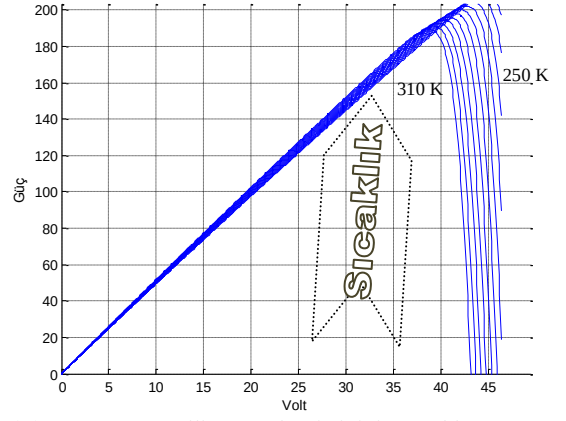


Şekil 3: Fotovoltaik (PV) güneş pilinin yapısı^[53]

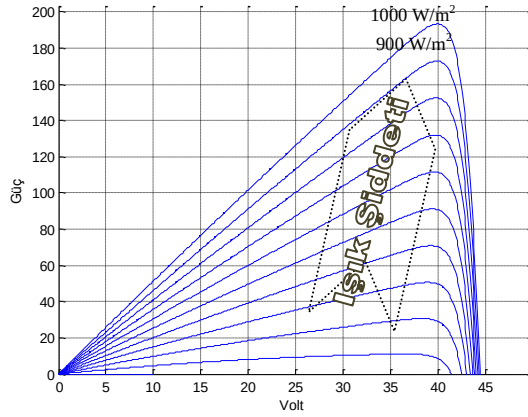
Şekil 2'deki etiket değerleri görülen Sharp Marka PV Matlab mfile yardımıyla modellendi. PV nin etiket değerleri; Güç=185.0 W, V_{mp} =36.21 V, I_{mp} =5.11 A, V_{oc} =44.9 V, I_{sc} =5.75 A 'dir.



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



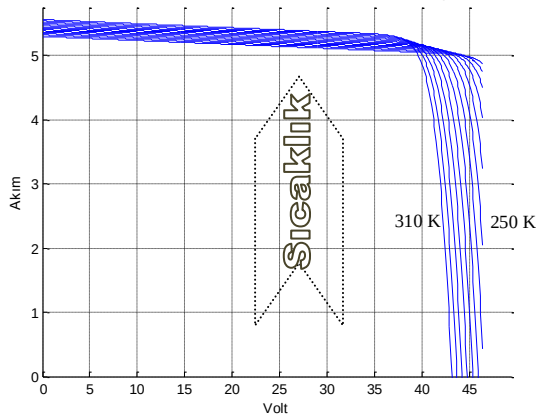
Şekil 7: PV Güç-Gerilim Karakteristiğinin Sıcaklığa Göre Değişimi



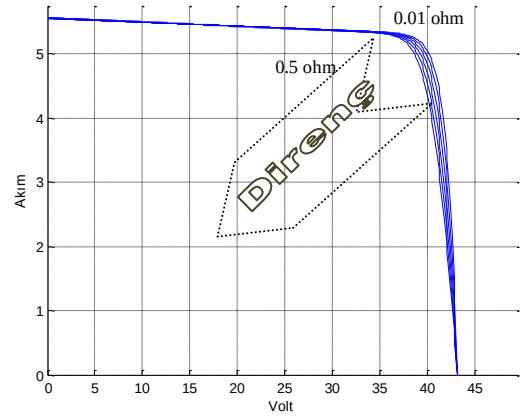
Şekil 5: PV Güç-Gerilim Karakteristiğinin Işık Şiddetine Göre Değişimi

Şekil 4 ve Şekil 5 'de Işık şiddeti 0'dan 100'er 100'er 1000 W/m²'e kadar artırılmış ve karakteristiklerin değişimi incelenmiştir.

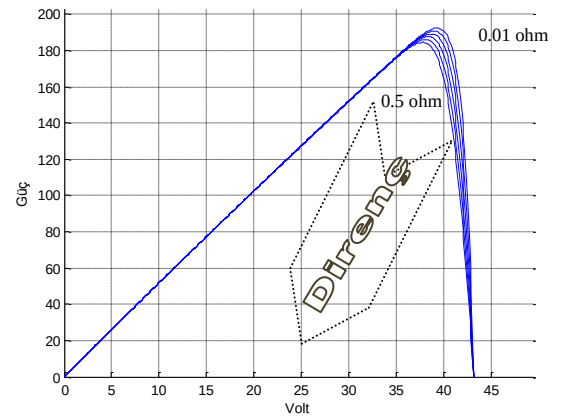
Işık şiddetinin akım-gerilim karakteristiğinde doğrudan akımı, güç-gerilim karakteristiğinde doğrudan gücü artırdığı görülmektedir.



Şekil 6: PV Akım-Gerilim Karakteristiğinin Sıcaklığa Göre Değişimi



Şekil 8: PV Akım-Gerilim Karakteristiğinin Eşdeğer Devrenin Seri Direncine Göre Değişimi



Şekil 9: PV Güç-Gerilim Karakteristiğinin Eşdeğer Devrenin Seri Direncine Göre Değişimi

Şekil 8 ve şekil 9 '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.

3. Sonuçlar

Fotovoltaik (PV) Güneş Pili İle Güneş Enerjisi Üretiminde:

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] A. Kassis, M.Saad, "Analysis of multi-crystalline silicon solar cells at low illumination levels using a modified two-diode model "Atomic Energy Commission of Syria, 2010
- [2] A. Mellita, M. Benghanemb, S.A. Kalogirou, " 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'de'a, Institute of Science Engineering, 26000, Me'de'a, Algeria ,University of Sciences and Technologies Houari Boumediene, Faculty of Electrical Engineering, B. O. Box, 32; El-Alia, Bab-Ezzouar 16111, Algiers, Algeria, Department of Mechanical Engineering, Higher Technical Institute, P.O. Box 20423, Nicosia 2152, Cyprus ,2006
- [3] Adelmo Ortiz-Conde, Francisco J. Garc'a Sa' nchez, Juan 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 Bol'var University, Apartado Postal 89000, Caracas 1080A,Venezuela,2005
- [4] Amit Jain, Avinashi Kapoor," A new approach to study organic solar cell using Lambert W-function" ,Department of Electronic Science, University of Delhi South Campus, Benito Juarez Road, New Delhi-110021, India,2004
- [5] Aymen Chaouachi , Rashad M. Kamel, Ken Nagasaka, "A novel multi-model neuro-fuzzy-based MPPT for three-phase grid-connected photovoltaic system", Department of Electronic and Information Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology, 2-24-16, Nakamachi,Koganei-shi, Tokyo 184-8588, Japan,2010
- [6] Ayşe Özge Küpeli, "Güneş Pilleri ve Verimleri", Osmangazi Üniversitesi, Fen bilimleri, enstitüsü Yüksek lisans tezi,2005
- [7] Ayşe özgöçmen, "Güneş pilleri kullanarak elektrik üretimi", Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü Yüksek lisans tezi, Mayıs 2007
- [8] Beatriz Galiana, Carlos Algora, , Ignacio Rey-Stolle, and Ivan García Vara, "A 3-D Model for Concentrator Solar Cells Based on Distributed Circuit Units" Senior Member, IEEE ,2005
- [9] Badia Amrouche , Abderrezak Guessoum , Maïouf Belhamel , "A simple behavioural model for solar module electric characteristics based on the first order system step response for MPPT study and comparison Centre of Renewable Energies Development", BP 62, 16340 Bouzareah Algiers, Algeria, Laboratoire Traitement de Signal et d'Imagerie, Université Saad Dahleb de Blida, Route De Soumaa, Blida BP 270, Algeria,2011
- [10] Chien-Chih Liu , Chih-Yen Chen , Chi-Yuan Weng , Chien-Chun Wang ,Feng-Lin Jenq , Po-Jen Cheng, Yeong-Her Wang , Mau-Phon Houng , "Physical parameters extraction from current-voltage characteristic for diodes using multiple nonlinear regression analysis,"Department of Electrical Engineering, Nan Jeon Institute of Technology, Taiwan Institute of Microelectronics, Department of Electrical Engineering, National Cheng-Kung University, Taiwan Institute of Electro-Optical Science and Engineering, National Cheng-Kung University, Taiwan Department of Electronic Engineering, Far-East University, Taiwan,2008
- [11] 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
- [12] Engin Karatepe , Mutlu Boztepe, Metin Colak, "Neural network based solar cell model", Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Ege University,Bornova, Izmir 35100, Turkey,2005
- [13] Eres Q.B. Macabebe and E. Ernest van Dyk, "Parameter extraction from dark current-voltage characteristics of solar cells", South African Journal of Science, 2008
- [14] F. Adamo , F. Attivissimo , A. Di Nisto , 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
- [15] Francisco M. González-Longatt, "Model of Photovoltaic Module in Matlab", 2do congreso Iberoamericano De Estudiantes De Ingeniería Eléctrica, Electrónica Y Computación, 2005
- [16] Geoff Walker," Evaluating MPPT Converter Topologies Using A Matlab PV Model", University of Queensland, Australia
- [17] Gideon Segev , Gur Mittelman , Abraham Kribus, "Equivalent circuit models for triple-junction concentrator solar cells", School of Electrical Engineering, TelAvivUniversity, TelAviv 69978, Israel, School of Mechanical Engineering, Tel Aviv University, Tel Aviv 69978, Israel, 2011
- [18] Gökay Bayrak, Mehmet Cebeci, "3.6 kW Gücündeki Fotovoltaik Generatörün Matlab Simulink İle Modellenmesi",Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ
- [19] Göksan Gül, "Güneş gözlemlerinin üretilmesinde son Gelişmelerin araştırılması," Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,2008
- [20] H. I. Cho, S. M. Yeo, C. H. Kim, V. Terzija, Z. M. Radojevic , "A Steady-State Model of the Photovoltaic System in EMTP"
- [21] Hajime Kawamura, Kazuhito Naka, Norihiro Yonekura, Sanshiro Yamanaka, Hideaki Kawamura, Hideyuki Ohno, Katsuhiko 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
- [22] Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu, and Yi-Jie Su, "Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK", Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, San Francisco, USA,2008
- [23] Hüseyin Özcan, "Bir Hibrid Enerji Sisteminin Modellenmesi ve Analizi", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2009
- [24] İsmail H. ALTAŞ, "Fotovoltaik Güneş Pilleri :Eşdeğer Devre Modelleri ve Güneş ışığı ile Sıcaklığın Etkileri", Karadeniz Teknik Üniversitesi,1998
- [25] İsmail H. Altaş, and A.M. Sharaf, "A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment",

- Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, Dept. of Electrical and Computer Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, Canada
- [26] İsmail H. Altaş, Onur Mengi, "Fotovoltaik Güneş Pilleri için Genel amaçlı bir MATLAB/Simulink GUI Modeli " Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2007
- [27] Kadir Gökhan Şimsek, " Elektrik Enerjisi Üreten fotovoltaik güneş paneli sistemi fonksiyonel modellemesi", Hacettepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2010
- [28] 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 Electrical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, UTM 81310, Skudai, Johor Bahru, Malaysia, Kumamoto University, 2-39-1 Kurokami, Kumamoto 860-8555, Japan, 2010
- [29] Kashif Ishaque , Zainal Salam , Syafaruddin , "A comprehensive MATLAB Simulink PV system simulator with partial shading capability based on two-diode model" ,Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, UTM 81310, Skudai, Johor Bahru, Malaysia Kumamoto University, 2-39-1 Kurokami, Kumamoto 860-8555, Japan, 2011
- [30] 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 Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, UTM 81310, Skudai, Johor Bahru, Malaysia, 2011
- [31] Kashif Ishaque, Zainal Salam, Hamed Taheri, "Simple, fast and accurate two-diode model for photovoltaic modules" Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, UTM81310, Skudai, Johor Bahru, Malaysia, 2010
- [32] Kensuke Nishioka, Nobuhiro Sakitani, Yukiharu Uraoka, Takashi Fuyuki "Analysis of multicrystalline silicon solar cells by modified 3-diode equivalent circuit model taking leakage current through periphery into consideration" Graduate School of Materials Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology, 1-1 Asahidai, Nomi, Ishikawa, 923-1292, Japan, Graduate School of Materials Science, Nara Institute of Science and Technology, 8916-5 Takayama, Ikoma, Nara 630-0101, Japan, 2007
- [33] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, E. Ruppert F., "Modeling And Circuit-Based Simulation Of Photovoltaic Arrays", University of Campinas - UNICAMP, Brazil, 2009
- [34] M. Rosa-Clot a, P. Rosa-Clot , G.M. Tina , P.F. Scandura, "Technical Note Submerged photovoltaic solar panel: SP2" Department of Physics, University of Florence, Italy, Scienza Industria Tecnologia srl, Pisa, Italy, Department of Electric, Electronic and Systemic Engineering, University of Catania, Italy , Department of Engineering for Innovation, University of Salento, Italy, 2009
- [35] M.C. Alonso-García , J.M. Ruizb, F. Chenloa, "Experimental study of mismatch and shading effects in the I-V characteristic of a photovoltaic module" CIEMAT – DER. Av. Complutense 22, 28040 Madrid, Spain, Instituto de Energía Solar – UPM. E.T.S.I.T., Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, Spain, 2005
- [36] Marcelo Gradella Villalva, Jonas Rafael Gazoli, and Ernesto Ruppert Filho, "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays", IEEE Transactions On Power Electronics, Vol. 24, No. 5, May 2009
- [37] 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; brianian, Research Organization for Science and Technology, Iran, 2010
- [38] Mustafa Karamanav, "Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri" , Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007
- [39] Şerife 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
- [40] W. De 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
- [41] Weidong Xiao, William G. Dunford, Antoine Capel, "A Novel Modeling Method for Photovoltaic Cells", University of British Columbia University of British Columbia Vancouver, BC Canada Vancouver, BC Canada Tarragona, Spain, 2004
- [42] Yang Shen, Kejia Li, Nabanita Majumdar, Joe C. Campbell, Mool C. Gupta, "Bulk and contact resistance in P3HT:PCBM heterojunction solar cells", Department of Electrical and Computer Engineering University of Virginia, 351 McCormick Road, Charlottesville, VA 22904, USA, 2011
- [43] Binod Prasad Koirala, Benjamin Sahan, Norbert Henze, "Study On Mpp Mismatch Losses In Photovoltaic Applications", Department of Electrical Engineering, Malaviya National Institute of Technology Jaipur, India, Institute of Solar Energy Technology, Kassel, Germany
- [44] J. Surya Kumari and Ch. Sai 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.
- [45] Tomáš Skořil, Manuel Pérez Donsiön, "Mathematical Modeling and Simulation of Photovoltaic Array", Department of Electric Power Engineering and Ecology Faculty of Electrical Engineering, University of West Bohemia, Pilsen, Univerzitační Czech Republic, Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Engineering, University of Vigo, Vigo Campus of Lagoas Marcosende, 36310 Vigo, Spain,
- [46] Mohamed Azab, "Improved Circuit Model of Photovoltaic Array", International Journal of Electrical and Electronics Engineering, 2009
- [47] Armando Bellini, Stefano Bifaretti, Vincenzo Iacovone, Cristina Cornaro, "Simplified Model of a Photovoltaic Module", Dept. of Electronic Engineering, University of Rome Tor Vergata,
- [48] Dorin PETREUS, Cristian FARCAS, Ionut 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,
- [49] 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
- [50] N. Chandrasekaran, K. Thyagarajah, "Modeling, Analysis and Simulation of Pumping System Fed by PV Generator", European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.53 No.2 (2011), pp.231-238
- [51] Weixiang Shen, Yi Ding, Fook Hoong Choo, Peng Wang, Poh Chiang Loh and Kuan Khoo 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
- [52] Ionel Laurentiu Alboteanu, Sergiu Ivanov And Gheorghe 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
- [53] <http://www.greenenergygreenhome.com/solar-photovoltaic-system>