

## GÜNEŞ PİLİ MODELLERİ EĞİTİM SETİ

Ayhan YAVUZ<sup>1</sup>, Derya BAŞOL<sup>1</sup>, M. Mustafa ERTAY<sup>2</sup>, İbrahim YÜCEDAĞ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Düzce, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Düzce, TÜRKİYE

**Özet-** Bilindiği gibi güneş enerjisi tükenmeyen bir enerji kaynağı ve yenilebilir enerji çeşitlerinin ise menşeidir. Güneş enerjisinin devamlı olması ve arzu edilen her coğrafik alanda kullanılabilmesi bu enerjinin elektrik enerjisi üretiminde de kullanılmasının önemini her geçen gün artırmaktadır. Bu çalışmada, güneş pillerine ilişkin eşdeğer elektriksel devre modelleri ve bu modellere ait denklemler verilmiştir. Bu denklemler kullanılarak, eşdeğer devre modelleri Matlab simulink programında tasarlanmıştır. Devrelerin karakteristiklerinin incelenmesi amacı ile Matlab GUI ortamında bir arayüz tasarlanmıştır. Tasarlanan arayüz ile devrelere ilişkin grafikler elde edilmekte ve karakteristikler incelenebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Pilleri ve Modelleri; Fotovoltaik Pil; PV; Simulink; Matlab GUI.

## AN EDUCATION SET FOR SOLAR CELL MODELS

**Abstract-**It is well known that solar energy is renewable energy source and also it is the origin of renewable energy types. The solar energy is constantly and can be used in the desired each geographical area; therefore, the importance of using this energy increases in production of electrical energy with each passing day. In this study, the equivalent electrical circuit models of the solar cells and equations of these models were given. Using these equations the equivalent, circuit models were designed in Matlab Simulink program. To examining the characteristics of the circuits an interface was designed in Matlab GUI environment. With designed interface circuit characteristics and graphics of the circuits can easily obtained and analyzed.

**Keywords:** Solar Cells and Models; Photovoltaic; PV; Simulink; Matlab GUI.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son zamanlarda doğal enerji kaynaklarından faydalanma biçimi, kullanılabilir enerji kaynaklarının giderek azalması ve dünya politikasında ki değişikliklerle birlikte çok farklı boyutlara ulaşmıştır. Endüstrileşme ve nüfus artışıyla gelen hızlı kentleşmenin getirdiği enerji kullanım artışı, insanlığı değişik enerji biçimlerini kullanmaya itmektedir [1]. Güneş enerjisinin bir enerji kaynağı olarak devamlı olması, çevre dostu olması, işletme yönünden masraflarının az olması ve uygulanabilirlik açısından hemen her yerde uygulanabilmesi nedeniyle güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar günümüz Dünyası'nda büyük önem arz etmektedir [2]. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebildiklerinden dolayı fotovoltaik güneş pilleri alternatif bir üretim aracı olarak da git gide değer kazanmaktadır ve bundan dolayı da bu konu ile ilgili olarak

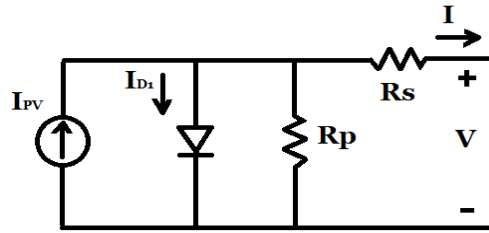
---

\* [ibrahimyucedag@duzce.edu.tr](mailto:ibrahimyucedag@duzce.edu.tr)

araştırmalar hızlı bir şekilde sürmektedir [3-10]. Güneş pili teknolojisi, küçük ve yerleşim alanlarına uzak olan yerlerde ekonomik bir elektrik enerjisi kaynağı olarak kullanılmaktadır [11,12]. Güneş pilleri yani fotovoltaik piller temelde yarı iletken bir kristaldir ve çalışma prensiplerinin esası fotovoltaik etkiye dayanmaktadır [2]. Dünyada atmosfer dışına gelen güneş enerjisi yıl içinde azda olsa oynamalar gösterir ancak, genel olarak sabit ve süreklidir. Bununla beraber dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi sebebiyle belirli periyotlar dâhilinde kesintiye uğrar [13,14]. Bu sebeple güneşin gün boyunca durumunun değişmesi de fotovoltaik enerji üretim sisteminin bağımsız olmasını engeller. Ayrıca mevsimler baz alındığında ışınım düzeyinin çok fazla değişkenlik göstermesi nedeniyle de fotovoltaik sistem tüm yıl süresince güvenilir bir güç kaynağı olarak kullanılamamaktadır [15]. İfade edilen tüm bu olumsuzluklara rağmen temiz enerji kaynağı olan güneşten doğrudan elektrik enerjisi üreten santrallere ilgi giderek artmaktadır [13,16-20]. Yarı iletken teknolojisi ve güç elektroniğindeki hızlı gelişmeler olması elektrik güç uygulamalarında fotovoltaik enerjiye olan ilgiyi artırmış [21] ve büyük sermaye odaklarının devreye girmesiyle bu konudaki teknolojik gelişmelere paralel olarak üretim kapasitelerinin büyümesi ve elektrik güç sistemlerinde her geçen gün taleplerin artması maliyetlerin hızla düşmesini sağlamıştır [22]. Fotovoltaik güneş pillerinin benzetiminin yapılabilmesi için eşdeğer devre modellerine ihtiyaç olmaktadır ve günümüze kadar fotovoltaik güneş pillerinin elektriksel devre modellerine ilişkin bir çok bilimsel çalışma yapılmıştır [9,23,24]. Bu çalışmada da literatürde kabul görmüş dört fotovoltaik eşdeğer devre modelinin simulink ortamında benzetimi yapılmıştır. Aynı zamanda bu dört elektriksel eşdeğer devre modeline ilişkin bir arayüz tasarımı gerçekleştirilerek bir eğitim aracı tasarlanmıştır. Bu eğitim seti kullanıcıya kolaylık sağlayan programların başında gelen ve grafiksel yapıda olan Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (GUI) olarak bilinen Matlab GUI programında hazırlanmıştır.

## 2. YÖNTEM (METHOD)

Bu çalışmada dört güneş pili modeli incelenmiştir. İncelenen modellere ilişkin olarak burada sadece genel modele yönelik denklemler verilmiştir. Şekil-1’de Genel Model’e ilişkin devre şeması görülmektedir. Bu devreye ilişkin denklemler denklem(1)-(5) arasında verilmektedir [23,24,27].



Şekil 1. Genel Model (General Model)

Elektriksel eşdeğer devrede yer alan kısaltmalar;

$I_{pv}$ : Güneş ışığı tarafından üretilen elektrik akımı

$I_{D1}$ : Diyot akımı

$I$ : Yük akımı

$R_s$ : Seri direnç

$R_p$ : Paralel direnç

Şeklinde dir. Güneş pilinde oluşan elektrik akımı denklem (1)’de ki gibi verilir [6,27].

$$I_{pv} = [I_{SCr} + K_i(T - 298)] * \lambda \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $\lambda$ , kW/m<sup>2</sup> olarak ışınımı,  $I_{SCR}$  güneş pilinin 25 C<sup>0</sup>'de ki kısa devre akımını  $K_i$  güneş pilinin kısa devre akımı sıcaklık sabitini,  $T$  güneş pilinin  $K$  olarak çalışma sıcaklığını gösterir. Ters doyum akımı  $I_{rs}$  de denklem (2) ki gibi verilir. Burada  $V_{oc}$  güneş pilinin açık devre gerilimini,  $N_s$  güneş pili modülündeki seri modül sayısını,  $k$  boltzman sabitini,  $A$  güneş pilinde kullanılan malzemeye göre ideal bir faktörünü belirtir [25,27].

$$I_{rs} = I_{SCR} / [e^{(qV_{oc}/kAT)} - 1] \quad (2)$$

Doyum akımı olan  $I_o$  akımının değeri hücreye verilen sıcaklığın değeri ile değişir buna ilişkin eşitlik denklem (3)'te verilmiştir [25,27]. Burada  $T_r$  güneş pilinin referans sıcaklığı,  $E_{g0}$  güneş pilinde kullanılan yarıiletkenin band-aralığı enerjisini,  $B$  güneş pilinde kullanılan malzemeye göre ideal bir faktörü,  $T_r$  referans sıcaklığı belirtmektedir [25,27].

$$I_o = I_{rs} \cdot \left[ \frac{T}{T_r} \right]^3 e^{\frac{(q \cdot E_{g0})}{Bk \cdot (1/T_r - 1/T)}} \quad (3)$$

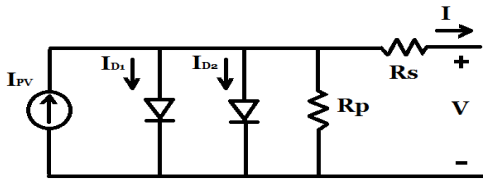
$I$  çıkış akımı denklem (4)'teki gibi ifade edilir.

$$I = I_{PV} - I_o \cdot \left[ e^{\frac{(q(V + I R_s))}{(kAT)}} - 1 \right] \quad (4)$$

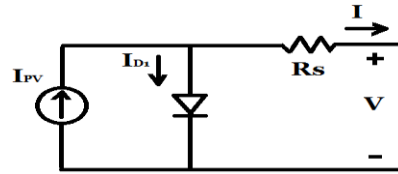
Burada  $q$  elektron yükü,  $N_p$  paralel bağlanan modül sayısını ifade etmektedir [25,27]. Şekil 1'de yer alan diyot akımı  $I_{dl}$  ise denklem (5)'te ki gibi ifade edilir. Burada  $V_d$  diyot gerilimi  $V_T$  sıcaklık gerilimidir [25,27].

$$I_{DI} = I_o \cdot e^{(V_d/V_T - 1)} \quad (5)$$

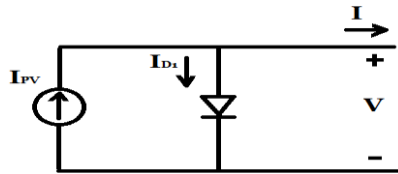
Genel modelin dışında modellemeye kullandığımız üç farklı güneş pili elektriksel modeli bulunmaktadır. Bu modeller çift diyotlu model, uygun model ve basit modeldir. Modellere ait devre şemaları Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir [24-25,27].



Şekil 2. Çift Diyotlu Model (Double Exponential Model)



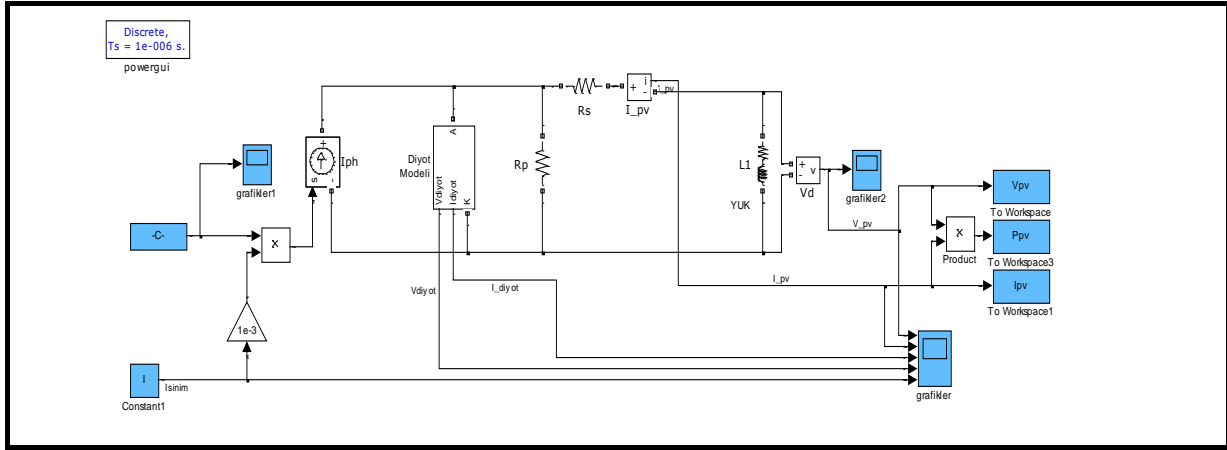
Şekil 3. Uygun Model (Apropriate Model)



Şekil 4. Basit Model (Simple Model)

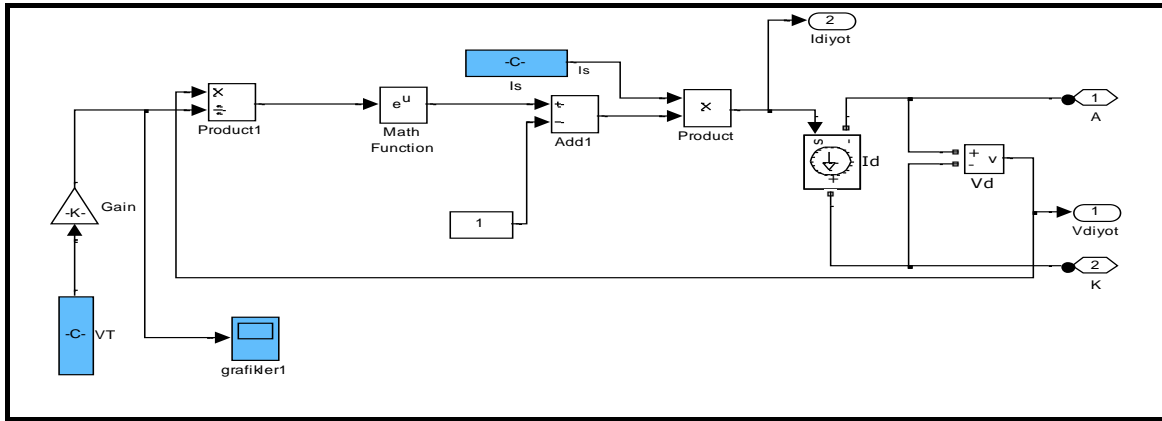
## 2.1 Genel Elektriksel Modelin MATLAB Simulink Devresi (MATLAB Simulink Circuit of General Electrical Model)

Genel modele ait devre denklemler yardımı ile matlab simulinkte tasarlanmış olup, gösterimi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Genel Modele Ait Simulink Devresi (Simulink Model of General Model)

Simulink devresinde yer alan diyota ait alt sistem ise şekil 6 'da verilmiştir.

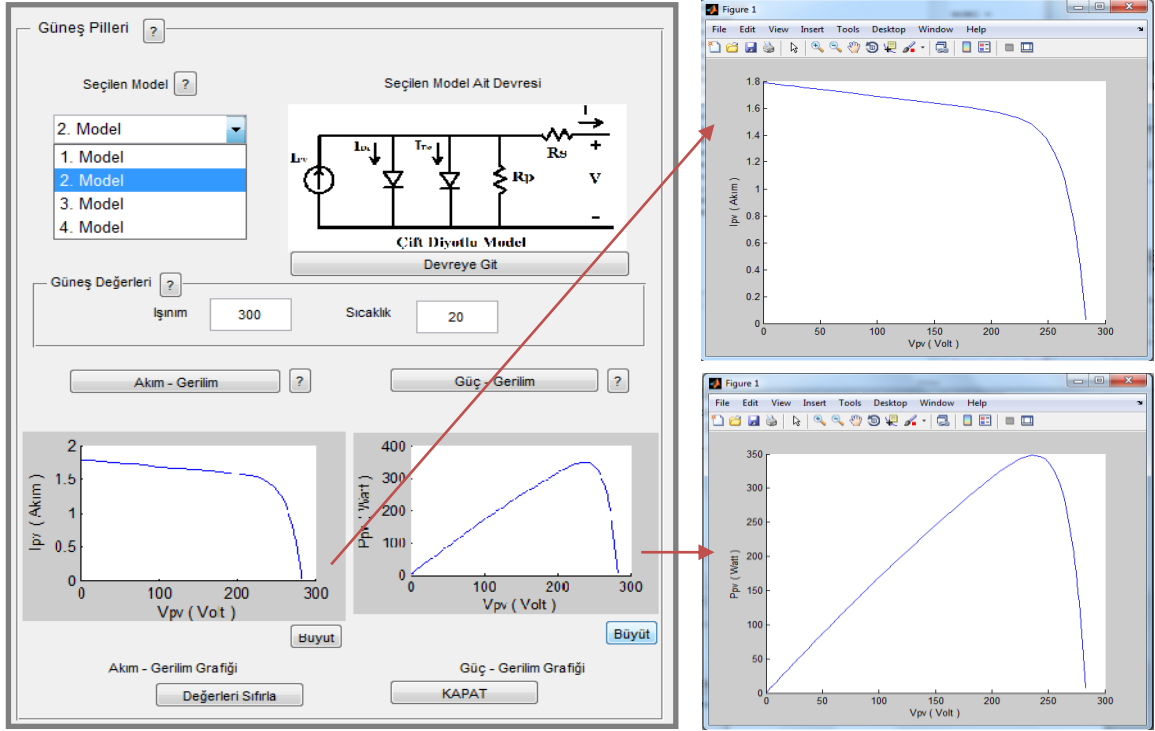


Şekil 6. Genel Modeldeki Diyota Ait Alt Sistem (Subsystem of Diode Model)

## 2.2 Güneş Pili Eğitim Seti (Solar Cell Education Set)

Bu çalışmada Matlab GUI komutları kullanılarak kullanıcı kolaylığı sağlamak ve parametre değişimlerinin etkisini kolay ve hızlı izlemek amacıyla dört farklı Güneş Pili modelleri eşdeğer devreleri dikkate alınarak Şekil 7'de yer alan görsel eğitim setine ait bir program Matlab GUI kullanılarak tasarlanmıştır.

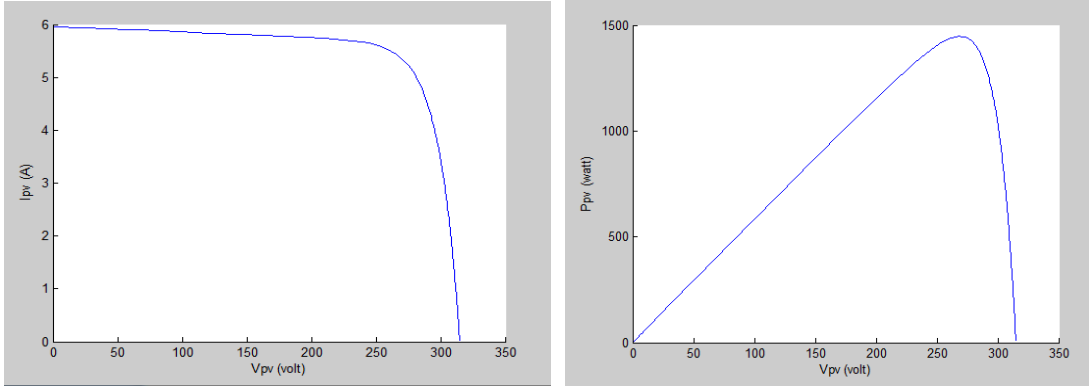
Güneş pilleri hakkında bilgi almak isteyenler ara yüz ekranında soru işareti butonuna basarak bilgi alma imkânına sahiptirler. Hazırlanan görsel program ekranda model tipi seçimine imkân sunar. Program çalıştırılmadan önce çalıştırılacak model seçilmelidir. Ayrıca modeller hakkında bilgi edinmek için soru işareti butonuna basılabilir. Burada gerekli bilgiler yer almaktadır. Kullanılacak model seçildikten sonra istenilirse devrenin çizildiği simulink devresine detaylı olarak gösterme imkânı sunar. "Devreye Git" butonuna tıkladığında devreyi görme imkânı sunulurken "Büyüt" butonu ile seçilen grafiğin büyütülmüş şeklinin ekrana gelmesi sağlanmıştır



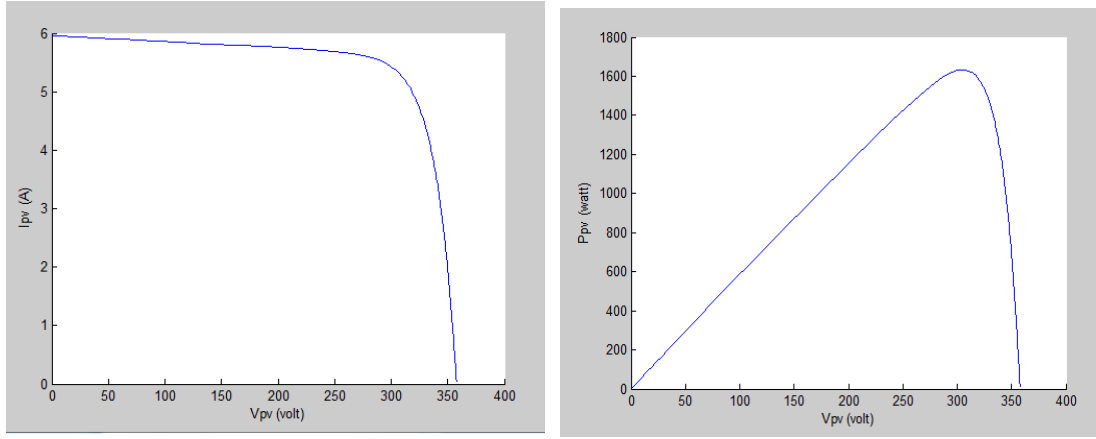
Şekil 7. MATLAB GUI Eğitim Seti ve elde edilen grafikler (MATLAB GUI education set and obtained figures)

### 3. BULGULAR (FINDINGS)

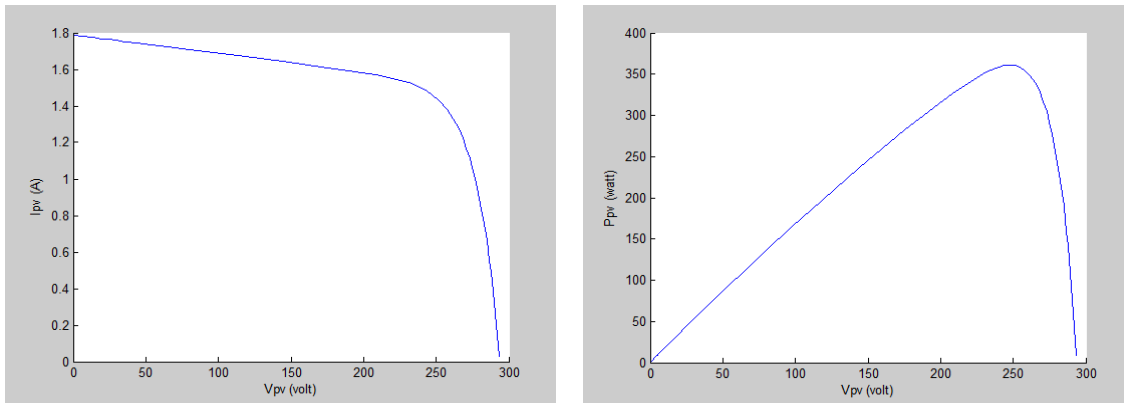
Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'de güneş pili genel elektriksel model seçilip, ışınım ve sıcaklık değerleri eğitim setine girildiğinde elde edilecek grafikler verilmiştir. Şekil 8 ve Şekil 9'da ışınım değeri  $1000 \text{ W/m}^2$  değerinde sabit ve sıcaklık değerleri de  $60 \text{ C}^\circ$  ve  $20 \text{ C}^\circ$  olduğunda elde edilen grafikler verilmiştir. Şekil 8 ve Şekil 9'da verilen grafiklerde görüldüğü üzere, sıcaklık değişiminin akımda değişime sebep olmadığı, güçte ise;  $1500 \text{ W}$  değerinden  $1600 \text{ W}$  değerine ulaştığı, dolayısıyla güç üzerinde düşük etki yaptığı, aynı zamanda sıcaklık değişimdeki artış ile gerilim değeri  $355 \text{ V}$ 'den  $320 \text{ V}$ 'ye düşmüştür. Anlaşılabileceği üzere sıcaklık değişiminin gerilim üzerinde kayda değer bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir [26,27]. Fakat Şekil 11'de ise sıcaklık değeri  $20 \text{ C}^\circ$ 'de iken, ışınım değeri  $1000 \text{ W/m}^2$  değerinden  $300 \text{ W/m}^2$  değerine düşürüldüğünde; akımın  $6 \text{ A}$ 'dan  $1.8 \text{ A}$ 'ya gerilediği ve güç değerinin de yaklaşık  $1600 \text{ W}$ 'tan  $350 \text{ W}$  civarına düştüğü görülmektedir. Bu değerlerden anlaşılacağı üzere ışınım değerinin, hem akım hem de güç üzerinde etkisinin çok büyük olduğu belirlenmiştir. Işınımın azalması gerilim değerinde az da olsa bir azalmaya sebep olmaktadır [27].



Şekil 8. Işınım  $1000 \text{ W/m}^2$  ve sıcaklık  $60^\circ\text{C}$  iken Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim Grafiği (Graphics of Current, Voltage and Power While İradiation is 1000 and Tempreture is  $60^\circ$ )



Şekil 9. Işınım  $1000 \text{ W/m}^2$  ve sıcaklık  $20^\circ\text{C}$  iken Akım-Gerilim ve Güç Gerilim.(Graphics of Current, Voltage and Power While İradiation is 1000 and Tempreture is  $20^\circ$ )



Şekil 10. Işınım  $300 \text{ W/m}^2$  ve sıcaklık  $20^\circ\text{C}$  iken Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim Grafiği (Figure10: Graphics of Current, Voltage and Power While İradiation is 300 and Tempreture is  $20^\circ$ )

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Hazırlanan eğitim setinde yapılan simülasyonlarda önce sıcaklık sabit, ışınım değişken kabul edilmiş, sonra ise sıcaklık değişken, ışınım sabit kabul edilip grafikler elde edilmiştir. Kullanıcının isteğine veya gereksinimine göre dört model içinde grafikler çizdirilebilmektedir. Sıcaklık sabit tutulup, ışınım değerleri  $1000 \text{ W/m}^2$  değerinden  $300 \text{ W/m}^2$  değerine düşürüldüğünde akım ve güç değerleri azalırken, gerilim değerinde kayda değer bir değişim gözlenmemektedir. Işınım sabit tutulup sıcaklık değiştiğinde ise akım-gerilim grafiğinde sıcaklık arttıkça gerilim azalır, akım ise sıcaklık arttıkça çok az miktarda artar. Güç-gerilim grafiğinde ise sıcaklık arttıkça güç azalır. [25,28]. Eğitim setinden de görüldüğü üzere normalde farklı dört ayrı devre kurmak ve onları uygulamak güç bir çalışma iken, burada tek bir devre üzerinden sadece istenilen model ayrı ayrı seçilerek ve ona bağlı olarak elde edilebilecek sonuçlar çıkarılarak kullanıcıya kolaylık sağlayan tek bir grafiksel program geliştirilmiştir. Bu tip programlar alt programları otomatik olarak kullandıkları ve gerekli verileri ekrandan girilerek işletildikleri için bir kez hazırlanıp her hangi bir kullanıcı tarafından kullanılmaya sunulabilir. Esnek çalışma ortamı sağladığı için parametrelerin sistem başarımına etkisine hızlı ve doğru bir şekilde ulaşılabilir.

#### 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Tufan Ş., (2010), "Düzlemsel ve Bükülmüş Kollektörlerin Deneysel İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2]. Öztürk R., (2003), "Güneş Pilleri İle Elektrik Enerjisi Üretimi ve Karavanlarda Uygulanmasının Teknik ve Ekonomik Analizi", Tesisat Mühendisliği Dergisi, Temmuz-Ağustos sayısı, 14-18
- [3]. Altaş İ. H., (1998), "Fotovoltaj Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri", Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Enerji, Elektrik, Elektromekanik, Bileşim Yayıncılık A.Ş.
- [4]. Bose B.K., Szczeny P.M., Steigerwald, R.L., (1985), "Microcomputer Control of a Residential Photovoltaic Power Conditioning System", IEEE Trans. Industry App., Vol. IA-21, No. 5,1182-1191.
- [5]. Salameh Z.M., Lynch W.A., (1989), "Multi-Stage Dual Priority Regulator for Photovoltaic Systems", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. EC-4., No. 3, 308-313.
- [6]. Altaş İ. H., Sharaf A.M., (1991), "A Solar Powered Permanent Magnet DC Motor Drive Scheme", The Proceedings of 17th Annual Conference of the Solar Energy Society of Canada, June 21- 26, Toronto, Ontario, 65-70.
- [7]. Yao Y., Ramshaw R.S., Bustamante E., (1991), "A Review of Photovoltaic Models", Canadian Conf. on Electrical and Computer Eng., September 25-27, Quebec, Canada, 56.3.1-56.3.4.
- [8]. ALTAŞ İ. H., SHARAF A. M., (1992), "A Chopper Controlled DC-Series Motor Drive System Powered From A Solar Cell Array", The proceedings of The Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, September 13-15, Toronto, Ontario, Canada, WA8.30.1-WA8.30.4.
- [9]. Altaş İ. H., Sharaf A. M., (1992), "A Fuzzy Logic Power Tracking Controller For A Photovoltaic Energy Conversion Scheme", Electric Power Systems Research Vol.25, No.3, 227-238.
- [10]. Altaş İ.H., Sharaf A.M., (1996), "A Novel On-Line MPP Search Algorithm For PV Arrays", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 11, No. 4, 748-754.
- [11]. Altın V., (2004), "Güneş Enerjisinden Yararlanılarak Elektrik Üretimi", Mimar ve Mühendis Dergisi, 33, 28-31.
- [12]. Ay, S., (2008). "Elektrik Enerjisi Ekonomisi" Birsen Yayın Evi.
- [13]. Batman A. M., (2001), "Elektrik Üretimi İçin Güneş Pillerinin Kullanımında Verimi Arttırıcı Yeni Bir Yöntem", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [14]. Jacovides C. P., Steven M.D., Asimakopoulos D. N., (2000), “Spectral Solar Irradiance And Some Optical Properties For Various Polluted Atmospheres”, *Solar Energy*, 69, 3, 215-227.
- [15]. Beklergöl M. (2006), “Tork Kontrollü Bir Fazlı Kondansatör Startlı Motorun Güneş Enerjisiyle Çalıştırılması”, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- [16]. Rannels J., (2000), “The DOE Office Of Solar Energy Technologies Vision For Advancing Solar Technologies in The New Millennium”, *Solar-Energy*, 69, 5, 363-368.
- [17]. Iliceto A., Sardi L., (1996), “Electricity From The Sun : The Largest Photovoltaic Plants in Operation in Italy”, *Renewable Energy*, 8, 77-84.
- [18]. Smith P. A., (1994). “Value Of Solar Thermal and Photovoltaic Power Plants to Arizona Public Service Company”, *Solar Engineering ASME-JSES-JSME Int. Solar Energy Conference*, 617-622.
- [19]. Stern M. J., WEST R. T., (1996), “Development Of A Low Cost Integrated 15 kW A.C. Solar Tracking Sub-Array For Grid Connected PV Power System Applications”, *Conference Record Of The IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 1369-1372.
- [20]. Osborn D.E., (1994). “Utility Implementation Of Grid-Connected Photovoltaics”, *Proceedings Of The 1994 ASME/JSMEJSES International Solar Energy Conference*, 413-419.
- [21]. Erdem Z., (2009), “Maksimum Güç İzleyicisi Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- [22]. Karamanav M., (2007), “Güneş Enerjisi Ve Güneş Pilleri”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [23]. Rauschenbach H.S., (1980). “Solar Cell Array Design Handbook-The Principles and Technology of Photovoltaic Energy Conversion”, Van Nostrand Reinhold Company.
- [24]. Başol D., Yavuz A., (2012), Güneş Pilleri, Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi.
- [25]. C. C. Hua, C. M. Shen, (1998), “study of maximum power tracking techniques and control of dc-dc converters for PV system”, *Proc. of 29th annual IEEE Power electronics spec. Con vol. 1*, 86-93.
- [26]. A. Chaouachi, R.M. Kamel, and K. Nagasaka, (2010), “MPPT Operation for PV Grid-connected System using RBFNN and Fuzzy Classification”, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 65, 97-105.
- [27]. N. Pandiarajan, R.M., (2011), “Mathematical Modeling of Photovoltaic Module with Simulink”, *2011 1st International Conference on Electrical Energy Systems*, 258-263.