

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİSİNİN VERİMLİLİĞE ETKİSİ

Mehmet Ali Özçelik¹, A.Serdar Yılmaz²
ozcelik@gantep.edu.tr, asyilmaz@ksu.edu.tr

¹ Gaziantep Meslek Yüksekokulu, Elektrik Programı, Gaziantep Üniversitesi
² Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Özet

Fotovoltaik sistemler güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren silisyum yapılarıdır, fosil yakıt enerjilerinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve sınırlı rezervleri düşünüldüğünde, temiz, yenilenebilir olan bu enerjinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bu sistemlerde kullanılan güneş pilleri yatırım maliyetinin en fazla yüzde oranını kapsamaktadır, dolayısıyla kurulum aşamasında en yüksek verimle çalışacak sistem tasarımı oldukça önemli bir konudur. Yapılan bu çalışmada güneş pilinin eşdeğer devresi kullanılarak bilgisayar ortamında güneş pili giriş parametreleri, paralel ve seri bağlanacak hücre sayıları gibi bilgileri girerek farklı özellikte ve güçlerde çıkış verebilecek fotovoltaik üreteç ve genelde şarj sistemlerinde kullanılan yükselten yapıda da/da dönüştürücü modellenmiş, bu pillerde değişik ortam koşullarına göre değişen maksimum gücü yakalayan mppt biriminin mevcut bu sistemde kullanılıp, kullanılmamasına göre verimlilik değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Fotovoltaik, elektrik enerjisi üretimi, da/da dönüştürücü, maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT)

1. Giriş

Fotovoltaik sistemler elektrik güç teknolojisinde gittikçe artan bir kullanım alanı bulmalarına rağmen yüksek üretim maliyetleri ve düşük enerji dönüşüm verimlerine sahip olmaları gibi temel dezavantajlara sahiptir. Bunun nedeni büyük ölçüde çıkış gerilim ve akım değerlerinin ışık şiddeti, çalışma sıcaklığı ve yük akımı ile non-lineer olarak değişmesidir. Bu dezavantajların giderilebilmesi için fotovoltaik panellerin üretim teknolojisinin geliştirilmesinin yanında elektrik çıkış güçlerinin kontrolü de önemli yaklaşımlardan biridir. Bunun için PV enerji kaynağı ile yük empedansı herhangi bir hava şartı için uyumlandırılarak maksimum güç üretimi elde edilmelidir. Fotovoltaik sistemlerde sıcaklık ve güneş ışınımı yarı iletken maddelerde oyuk, elektron açığa çıkması sonucu elektrik enerjisine dönüşüm olmaktadır. Burada güneş modüllerine düşen ışınım

miktarıyla orantılı çıkış gerilimi alınmaktadır. Bu sistemlerin en önemli elemanı olan güneş pillerinin eşdeğer devre modelini kullanarak bilgisayar ortamında fotovoltaik sistem tasarımı yapmak mümkün olmaktadır.[1]

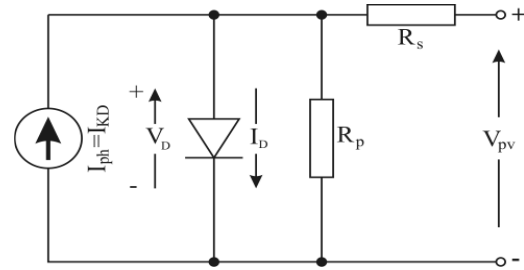
Matlab/simulink ortamında yapılan çalışmada güneş pilinin modeli çıkartılarak[9], modellemesi yapılan da/da dönüştürücü ve sisteme maksimum güç noktasını yakalayan bir mppt biriminin blok bağlantısı gerçekleştirilmiştir.

2. Güneş Pili Eşdeğer Devresi

Güneş ışığının fotovoltaik hücrelere çarpması ile geniş bir yüzeyde, foto gerilim ve foto akım, bir ileri yönlü diyot olarak davranır. Hücreye düşen güneş ışığı sonucu oluşan akımın ifadesi (1) de verilmiştir.

$$I = I_{PH} - I_S \cdot \left\{ \exp \left[\frac{q}{A \cdot k \cdot T} \cdot (V + I \cdot R) \right] - 1 \right\} - \frac{V + I \cdot R_S}{R_{SH}} \quad (1)$$

Burada, I_{PH} fotoakımını, I_S saturasyon akımını, R dirençleri devredeki yük direnci ile seri ve paralel dirençleri, V uç gerilimini, I yük akımını ifade etmektedir. Buna göre bir güneş hücresinin eşdeğer devre şeması Şekil 1'de görülmektedir.

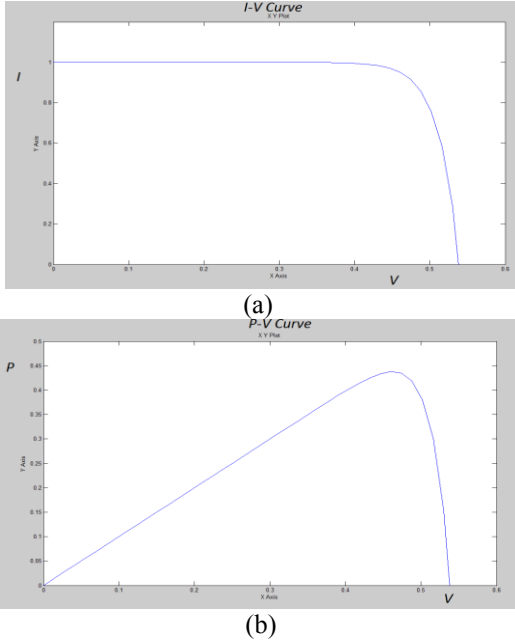


Şekil 1. Güneş pili eşdeğer devresi

Bu modeldeki sabit büyüklükler şunlardır :
Boltzmann Gaz Sabiti (k) $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Pilin Mutlak Sıcaklığı (Tc) :

Elektron Yüğü (q) : 1.6×10^{-19} C

Güneş hücrelerinin seri ve/veya paralel bağlanması ile oluşturulan PV paneller, elektriksel olarak bir akım kaynağı, seri ve paralel dirençler ile paralel diyotlardan meydana gelmektedir. Güneş pili hücrelerinin gerilimi ile yüğe verdiği akım arasındaki ilişki, hücrenin I-V ile P-V karakteristiğini vermektedir. Bu iki karakteristik, panelden alınan gücün en yüksek değerine ulaşması için hangi koşullarda çalışması gerektiği hakkında önemli ipuçları vermektedir. Panellerden her zaman en yüksek verimde maksimum güç alabilmek önemli bir araştırma konusudur. Şekil 2'de tipik birer I-V ve P-V karakteristiği verilmektedir.



Şekil 2. Tipik I-V ve P-V Karakteristikleri

Fotovoltaik sistemlerden her türlü güneşlenme koşullarında daima en yüksek gücü almak gerekmektedir [2,3]. PV sistemlerin maksimum güç noktası atmosferik koşullara göre değişkenlik göstermektedir. Bu koşullar; ortam sıcaklığı ile güneşlenme miktarıdır. Genelde fotovoltaik güneş panelleri en yüksek güç noktasına 25°C civarında ulaşabilmektedir. Güneşlenme miktarı ise güneşten yeryüzündeki birim alana düşen güneş ışığının gücü olarak tanımlanmaktadır [4,5]. Güneş panellerindeki I-V eğrisi iki parametre arasında değişmektedir. Bu parametreler kısa devre akımı ile açık devre gerilimidir, eşitliklerde V_{ref} ve I_{ref} değerleri, I-V eğrisindeki referans olarak alınan değerlerdir. Güneş panelinin akım ve gerilim değerlerini hesaplamak için α ve β değerleri, akım ve gerilimin sıcaklık katsayılarını ifade eder, G ve G_{ref} ise W/m^2 olarak etkin ve referans ışınım şiddetini göstermektedir. Yeni akım ve gerilim değerleri ise (2,3,4) deki gibi elde edilir [6-8].

$$I_{new} = I_{ref} + \Delta I \quad (2)$$

$$\Delta I = \alpha \cdot \left(\frac{G}{G_{ref}} \right) \cdot (T_c - T_{ref}) + \left(\frac{G}{G_{ref}} - 1 \right) \cdot I_{sc} \quad (3)$$

$$V_{new} = -\beta \cdot (T_c - T_{ref}) - R_s \cdot \Delta I + V_{ref} \quad (4)$$

Güneş pilleri verimliliklerine bağlı olarak güneş ışınımı altında 1-1.5 W elektrik enerjisi üretmektedir. Tek bir diyotdan 2-2.5 A değerinde akım ve 5-340 W arasında güce sahip modüller oluşturulabilir. Güneş pilleri N_{pc} sayıda paralel kol, N_{sc} sayıda seri kol bağlanmasından oluşmuştur. Modül uçlarına uygulanan gerilim V^M ve modül akımı I^M olmak üzere;

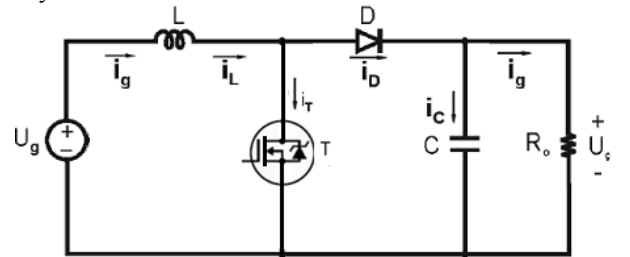
$$V^M = N_{sc} V_{new} \quad (5)$$

$$I^M = N_{pc} I_{new} \quad (6)$$

ifadeleri ile bulunur.

3. DA/DA dönüştürücü

Yükseltici yapıdaki dönüştürücüler adından da anlaşılacağı gibi gerilimi yükselten yapılardır. Basitleştirilmiş devre şeması Şekil 3'de verilmiştir. Bu devreler fotovoltaik sistemlerle kullanıldığında U_g giriş gerilimi, PV panelin gerilimi olmakta ve bu giriş gerilimini U_c çıkış gerilimine, yani sistemdeki akü veya yük gerilimine dönüştürme işlevini üstlenmektedirler. Bu tür devrelerde çıkış gerilimi giriş geriliminden yüksek olduğundan N dönüştürme oranı birden büyüktür.



Şekil 3 Yükseltici da/da dönüştürücünün prensip şeması

Bağıl iletim süresi D , anahtarlama elemanı mosfet'in iletimde olduğu sürenin, iletim ve kesimde olduğu süreler toplamı olan sinyal periyoduna bölümüdür.

$$D = \frac{t_{on}}{(t_{on} + t_{off})} = \frac{t_{on}}{T} \quad (7)$$

Bu dönüştürücüde dönüşüm, anahtarlama elemanı (T) iletimde iken PV yapı, endüktans (L) üzerinden akım geçirmek suretiyle endüktansa ilave enerji enjekte etmesi ve ardından da anahtarlama elemanının kesime geçmesiyle, endüktansta oluşan ters EMK'nın diyot üzerinden, devredeki kapasite elemanını şarj etmesi suretiyle gerçekleşir. Sabit kabul ettiğimiz çıkış gerilimi ile giriş gerilimi arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

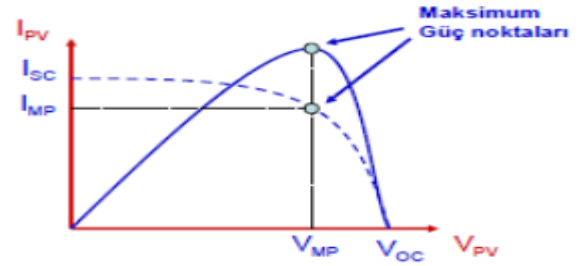
$$N = V_L = V_{PV} = \frac{T}{t_{on}} = \frac{1}{1 - D} \quad (8)$$

$$\frac{I_{out}}{I_{PV}} = 1 - D \quad (9)$$

Yükseltici yapılar daha çok kendi başına yeten sistemlerde, panel gerilim değeri akü geriliminden düşük olduğu durumlarda kullanılmaktadır.[7]

4. Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT)

Bir güneş pilinden elde edilen gücün, pilin akım ve gerilimiyle olan ilişkisi şekil 4.1'de görülmektedir. Her çalışma koşuluna denk gelen yalnızca bir tane maksimum güç noktası vardır. Güneş panellerinden maksimum verim elde edebilmek için panel, bu maksimum güç noktasında çalıştırılmalıdır.



Şekil 4. Güneş pili maksimum güç noktası

Akım-gerilim grafiğinde maksimum güç ifadesi şu şekilde hesaplanır :

$$P_{MPP} = I_{MPP} \cdot V_{MPP} \quad (10)$$

5. Karıştır ve Gözlem (P&O) Algoritması

Bu algoritmada fotovoltaik panelin P-V eğrisinden faydalanılmaktadır. PV panelin çalışma geriliminde küçük bir artış gerçekleştirilerek, güçteki değişim miktarı (ΔP) ölçülür. ΔP değeri pozitif ise çalışma gerilimi tekrar artırılarak Fotovoltaik panelin çalışma noktası maksimum güç noktasına yaklaştırılır, yani burada çıkış gücü sürekli olarak izlenir ve kontrol değişkeninin hareketi ile gücün hareketi arasında bir bağıntı kurularak referansın azaltılmasına yada artırılmasına karar verilir. (Tablo.1) [8]

Tablo.1 Referans Değişimi

Referans değişimi	Güçteki değişim	Sonraki ref. Değişim
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif

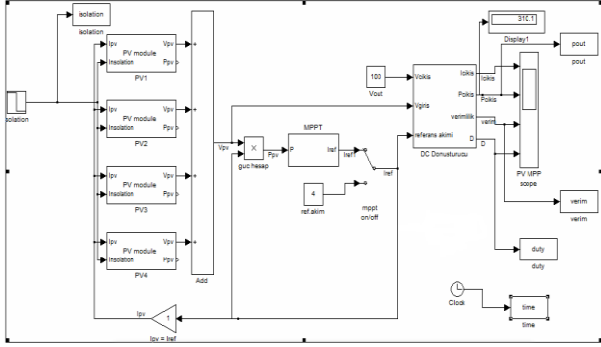
6. Benzetim Sonuçları

Benzetimlerde iki farklı durum için iki farklı başlangıç ışınım değerlerinde olmak üzere toplamda dört durum incelenmiştir. İlk olarak maksimum güç noktası izlemesi yapılmaksızın sabit akım referansı ile iki örnek inceleme gerçekleştirilmiştir. Daha sonra aynı örnek incelemelerde maksimum güç noktası izlemesi yapıldığında çıkış güçleri ile verim değerleri karşılaştırılmıştır. Tüm benzetimlerde Şekil 5'te görülmekte olan simulink modeli kullanılmıştır.

6.1. Sistemin MPPT'siz Çalışması

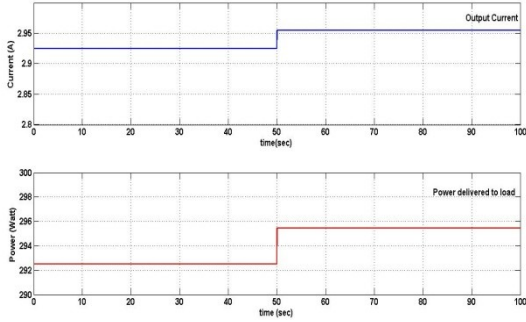
MPPT'li ve MPPT'siz duruma göre şekildedeki anahtarlama elemanı on-off yapılarak aynı modeli kullanmak mümkündür. MPPT'siz ilk uygulamada

başlangıçta 1000 W/m² lik ışım ile başlayan simülasyon, 50. saniyede 1050 W/m² çıkarılmıştır.

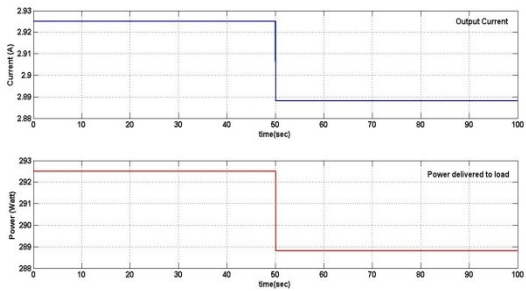


Şekil.5 Benzetimlerde Kullanılan Model

İkinci uygulamada ise aynı şekilde 1000W/m² lik ışım ile başlayan simülasyonda 50.saniyede 950 W/m² ye düşürülen ışım neticesinde çıkış güçleri ve çıkış akımları sırasıyla Şekil 6 ve 7 de gösterilmiştir.



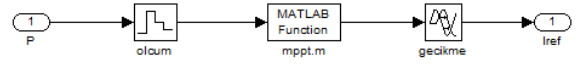
Şekil.6 MPPT'siz durum için birinci uygulama



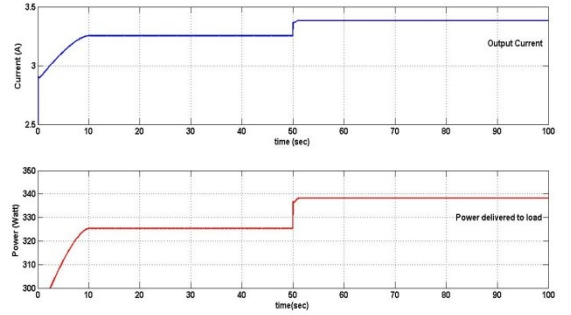
Şekil.7 MPPT'siz durum için ikinci uygulama

6.2. Sistemin MPPT'li Çalışması

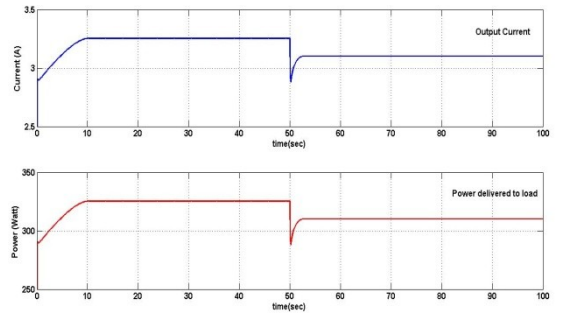
Aynı örnek uygulamada MPPT ile değişen ışım miktarına karşı akım referansı değiştirilerek çıkış güçleri ve akımları incelenmiştir. Bu bölümde Şekil 5'te görülmekte olan simülasyon kullanılmıştır. MPPT denetleyici olarak Şekil.8'de verilen bloklar kullanılmıştır. P&O algoritması, m uzantılı bir kod ile yazılmıştır.



Şekil.8. Kullanılan MPPT bloğu



Şekil.9 MPPT'li durum için birinci uygulama



Şekil.10 MPPT'li durum için ikinci uygulama

6.3. Sonuçların Karşılaştırılması

Bölüm 6.1 ve 6.2'de sunulan iki durumda Şekil 6 ile 9 ve Şekil 7 ile 10 kendi içinde karşılaştırılmalıdır. Birinci uygulama yani ışımadaki artış durumunda çıkış güçlerindeki artış her iki durumda (MPPT'siz ve MPPT'li) görülmektedir.

Çıkış güçlerini karşılaştırmak sonucu daha iyi olarak görmemizi sağlayacaktır. 1000W/m² lik başlangıç ışım durumunda MPPT kullanılmadığında yüke 292.5W aktarılırken, MPPT kullanıldığında 325.2W aktarılmaktadır. 50.saniyede ışımda 50W/m² lik azalma olduğunda MPPT'siz durumda 288.8W, MPPT'li durumda 310.2W aktarıldığı görülmektedir. İkinci uygulamada da benzer sonuçlar alınmaktadır. Bu farklı daha iyi görebilmek için farklı ışım durumları için her iki durumda çıkış güçleri analiz edilmiş ve Tablo.2'de sunulmuştur.

Tablo.2 Farklı ışım değerleri için çıkış güçleri

W/m ²	Pout mppt'siz	ΔPout mppt'siz	Pout mppt'li	ΔPout mppt'li	Δ
900	283.9		294.8		10.9
		2.7		7.7	
925	286.6		302.5		15.9
		2.2		7.7	
950	288.8		310.2		21.4
		2.0		7.6	
975	290.8		317.8		27
		1.7		7.5	
1000	292.5		325.3		32.8
		1.5		7.3	
1025	294.0		332.6		38.6
		1.5		5.6	
1050	295.5		338.2		42.7
		1.2		4.3	
1075	296.7		342.5		45.8

Tablo.2'den görüldüğü gibi 25W/m² lik ışıma miktarı artışlarında MPPT'siz sistemde 2.7 W dan itibaren azalan miktarda artış görülmektedir. Aynı durumda MPPT'li durumda 7.7W dan başlayıp 4.3W a kadar inen artışlar görülmektedir. Her iki durumdaki çıkış güçleri arasındaki farka baktığımızda düşük ışıma durumunda 10.9W, en yüksek durumda ise 45.8W lık bir fark bulunmaktadır. MPPT kullanıldığında ışıma miktarı arttıkça verim MPPT kullanılmayan duruma göre artmaktadır.

7. Tartışma ve Öneriler

Bu çalışmada, farklı özellikte ve güçlerde çıkış verebilecek fotovoltaik üreticinin bilgisayar ortamında benzetimi yapılmış, yine benzetimi yapılan Da/Da dönüştürücü, MPPT'li ve MPPT'siz olarak kontrol edilerek çıkış güçleri ölçülmüştür. Bu durumdan fotovoltaik elektrik enerjisi dönüşüm sistemlerine, maksimum güç noktası izleyicisinin (MPPT) dahil edilmesi, sistemin çıkış gücünü artırmış ve bu sayede güneş panellerinden en yüksek verimlilikte faydalanılıp daha az panel kullanımı sağlanmış ve güneş paneli yatırım maliyetinin düşürebileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

P&O algoritması hızlı değişimlerde yeni hedefe ulaşırken bazı salınımlar yaptığı Şekil 9 ve 10'da bariz biçimde gözükmektedir. Bu çalışmada tamamen benzetim ortamında bozucular uygulandığından gerçek sisteme göre daha az salınım oluşmaktadır.

Gerçek bir sistemden alınan ışıma verileri ile bu salınımları görmek mümkün olacaktır. Ayrıca sıcaklık değişkeni sabit olarak öngörülmüştür. Bundan sonraki çalışmalarda sıcaklık ve ışınım miktarlarında birlikte ve ayrı ayrı olmak üzere gerçek hayata benzer değişimler uygulanarak yeni çalışmalar yapmak mümkün olacaktır.

8. Kaynaklar

- [1] Özçelik M.A ve Yılmaz A.S PV Sistemlerde Farklı Işınım Seviyelerinde Verimliliğin Artırılması, ELECO Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ,Oturum P5, Bildiri numarası 201, s:1-2, Bursa 2012
- [2] Panwar S. ve Saini R.P, Development and Simulation of Solar Photovoltaic model using Matlab/simulink and its parameter extraction.(ICCCE 2012) International Conference on Computing and Control Engineering, pp 2-5, 12 & 13 April, 2012
- [3] Hernanz J.A.R ve Campayo J.J, Two Photovoltaic Cell Simulation Models in Matlab/Simulink.(IJTPE Journal ISSN 2077-3528) International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering"pp;45-47, 2012
- [4] Sree M. ve Ramaprabha R, Design and Modeling of Standalone Solar Photovoltaic Charging System, International Journal of Computer Applications(0975-88879 volume 18-no.2, 2011
- [5] Pandiarajan N. ve Ramabadrhan R, Application of circuit model for Photovoltaic Energy Conversion System, Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy Volume, pp:4-5 ID 410401, 2012
- [6] Bayrak G. ve Cebeci M, 3,6 kW gücündeki fotovoltaik generatörün matlab simulink ile modellenmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt:28, Sayı:1, Sf:129-137, 2011.
- [7] Nakir İ. ve Tanrıoven M, Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS ve MGTS Kullanılarak Verimliliğin Artırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen BilimleriEnstitüsü Yüksek Lisans tezi, s:26-28, İstanbul, 2007
- [8] Onat,N.&Ersöz, Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası izleyici algoritmaları karşılaştırılması V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, YEKSEM'09,s: 53,54, Diyarbakır , 2009
- [9] Rustemli S. ve Dincer F, Modeling of Photovoltaic Panel and Examining Effects of Temperature in Matlab/Simulink. Elektronika Ir Elektrotehnika (Journal of Electronics and *Electrical Engineering*), 3(109), pp. 35 – 40, March 2011.