



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

PV Sistemin İçin Maksimum Güç Noktası İzleyicisi Tasarımı ve Uygulaması

Ercan KURAK^{a,*}, Volkan ERDEMİR^a, Bahtiyar DURSUN^b

^a Elektrik ve Enerji Bölümü, Teknik Bilimler MYO, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, TÜRKİYE

^b Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, TÜRKİYE

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: ercan.kurak@klu.edu.tr

ÖZET

PV sistemin çıkış gücü, güneş ışınlarının panel yüzeyiyle yaptığı açı ve panel sıcaklığı ile değişim göstermektedir. PV panellerde akım gerilim karakteristiklerinin doğrusal olmaması bu kaynağın enerji üretiminde verimi düşürmektedir. Bu olumsuzluğu minimize etmek için Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT- Maximum Power Point Tracking) yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. MPPT yöntemi için geliştirilen birçok fiziksel yapı ve algoritma bulunmaktadır. MPPT için en çok tercih edilen algoritmalar Artan İletkenlik ve Perturb&Observe algoritmalarıdır. Bu çalışmada, DC-DC alçaltıcı çevirici (Buck Converter) yapısı MPPT yöntemi ile kontrol edilerek, PV sistem çıkışında doğrusal akım kaynağı oluşturulmuştur. Böylece, PV sistemden elde edilen gücün maksimum seviyede kullanımı sağlanmaktadır. Gerçekleştirilen devre, PV sistemin gerilim ve akım değerlerini döngüsel olarak analog dijital dönüşüm sistemi kullanılarak ölçmektedir. PV sistemden alınabilecek anlık maksimum akım değerine ve PV sistemin gerilim değerine göre hesaplanan giriş gücü, Perturb&Observe algoritmasının kullanımıyla çıkış gücünün hesaplanmasını sağlamaktadır. Mikro kontrolör ile yönetilen alçaltıcı çevirici, batarya grubu şarj akımını sağlamaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada tek bir güneş paneli yapısında batarya grubu şarj sistemi için, kolay uygulanabilirlik, düşük maliyet ve yüksek verimlilik ölçekli bir yaklaşım ile mikro denetleyici kontrolü üzerinden DC-DC dönüştürücü kontrol edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: PV sistem, Maksimum güç noktası izleme (MPPT), P&O algoritması, DC-DC çevirici, Batarya şarj sistemi

Design and Application of Maximum Power Point Tracking (MPPT) for PV System

ABSTRACT

In PV system, maximum output power (in a maximum power state) changes according to the angle of solar rays over the panel and the heat of the panel. In PV panels, if the characteristics of current and voltage are not linearity, it decreases the energy efficiency of this source. In order to minimize this negativity, Maximum Power Point Tracking (MPPT) is widely applied. Although there are many developed physical structures and algorithms, in MPPT the mostly preferred ones are Increasing Conductivity and Perturb & Observe (P&O)

algorithms. In this study, in the output of PV system, linear current source is generated (created, built, established) by controlling the structure of DC-DC Buck Converter with MPPT methods. By this means, power attained through PV system is used in maximum level. Designed the circuit measurement values of voltage and current of PV system cyclic by using analog to digital converter system. Input power, calculated through the voltage value of PV system and maximum instantaneous current value that can be attained from PV system, enables the calculation of output power with the combined usage of P&O algorithms. Buck DC Converter directed through micro controller provides the charging current for batteries. PV systems to the battery packs at a maximum level. In this study, on one single solar panel for battery pack charging system, DC-DC is generated over micro controller control considering the easy applicability, low cost, and high efficiency.

Keywords: PV system, Maximum power point tracking (MPPT), P&O algorithms, DC-DC converter, Battery charging system

I. GİRİŞ

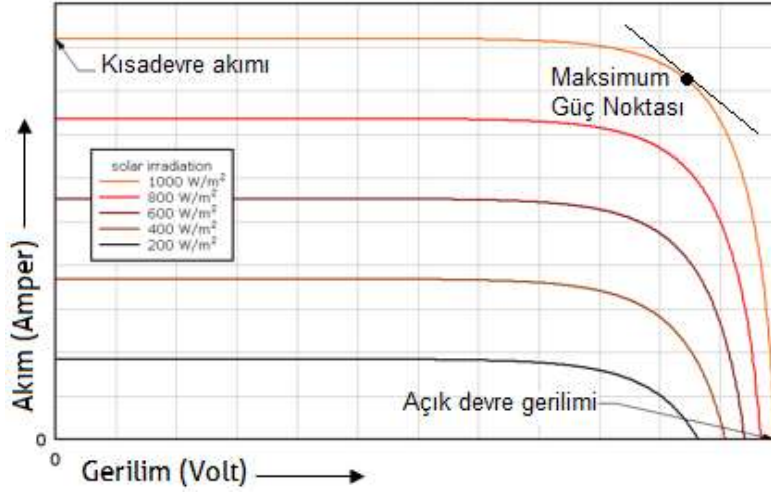
PV SİSTEMLER üzerine yapılan araştırmaların büyük bir çoğunluğu verimliliğinin artırılmasını kapsamaktadır. PV sistemden alınan gücün maksimum seviyede tutulması PV sistem verimini doğrudan etkilemekte ve yükseltmektedir [1]. Orta ve büyük güçlü PV sistemlerde elde edilen gücün maksimum olmasını sağlamak amacıyla; mekanik mekanizmalı güneş izleme, maksimum güç noktası izleme (MPPT) ve her ikisinin kullanıldığı üç yöntem uygulanmaktadır. Daha küçük PV sistemlerinde ise, ekonomik nedenlerden dolayı şarj sistemleri için darbe genişlik modülasyonu (PWM) ve maksimum güç izleme (MPPT) tercih edilmektedir.

Batarya şarj sisteminde doğrusal gerilim regülasyonu kullanımı elde edilen enerjinin %15-%30 unun bataryalara aktarılmasını sağlarken DC-DC çevirici kullanılan sistemlerde verim %75-%95 arasında olmaktadır. MPPT tekniği gerçekte, PWM yönteminin geliştirilmiş bir yapısıdır ve MPPT algoritması yardımı ile PWM ile DC-DC çevirici kontrol edilmektedir.

II. YÖNTEM

A. PV SİSTEM VE MPPT ALGORİTMALARI

Güneş panelleri fotovoltaik (PV) sistemde temel enerji dönüşüm elemanıdır. PV sistemin enerji verimliliği, güneş ışığını alma seviyesi, paneli oluşturan hücrelerin gövde sıcaklığı ve yüklenme durumu gibi faktörlere bağlıdır [2-3].



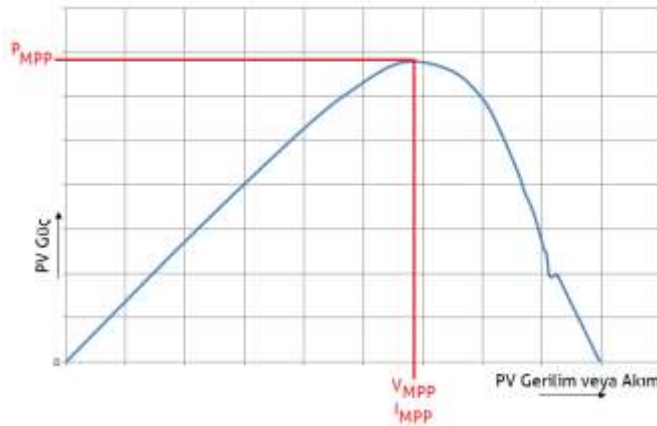
Şekil 1. PV hücre I-V karakteristiği

Şekil 1’de görüldüğü gibi PV panel karakteristiği I-V karakteristiği olarak tanımlanmıştır. Güneş ışığı şiddeti Watt/m^2 olarak ifade edilmektedir. Karakteristik üzerindeki önemli noktalar; birinci nokta kısa devre akımı I_{SC} ve ikinci nokta açık devre gerilimi V_{OC} dir. Bu iki noktada PV panel gücü sıfırdır. Sistemin maksimum güç noktası, I-V karakteristik eğrisinde eğimin sıfır olduğu noktadır. Bu noktadaki akım ve gerilim değerleri maksimum güç değerini oluşturmaktadır.

B. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME (MPPT) ALGORİTMALARI

Maksimum güç noktası izleme (MPPT) tekniği, fiziksel hareket sağlayan donanım veya mekanik yapı olmayıp, PV sistemin gerilim ve akım değerlerini izleyen ve bir algoritma yapısı ile çıkış gerilimini kontrol eden elektronik bir donanımdır. Günümüzde yarı iletken üreticileri elektronik donanımsal MPPT kontrolü sağlayan dijital ve analog yapıdan oluşan tüm devre yapılar üretmeye başlamıştır.

Şekil 2’de gösterilen PV karakteristik eğrisi eğiminin sıfır olduğu $dP/dV=0$ veya $dP/dI=0$ noktaları maksimum güç noktası (MPP) olarak tanımlanır. Maksimum güç noktasının güç, gerilim veya akım eksenlerine iz düşümleri, P_{MPP} , V_{MPP} ve I_{MPP} değerlerini ifade eder.



Şekil 2. PV panel güç eğrisi

MPPT tekniği, belirli bir güneş ışınımı altında PV panelden P_{MPP} maksimum güç çıkışı elde etmek için, V_{MPP} gerilim değeri, I_{MPP} akım değeri bulunması ilkesine dayanır (Şekil 2). Dış etkilere bağlı olarak (güneş ışınımı, panel sıcaklığı veya yük) maksimum güç noktasını oluşturacak gerilim veya akım değeri farklılık gösterebilir. Dolayısı ile sürekli olarak gerilim ve akım parametrelerinin takip edilerek bir önceki durum ile karşılaştırılması gerekmektedir [3-4].

MPPT tekniğinde, Sabit Gerilim Algoritması (CV: Constant Voltage Algorithm), Artan İletkenlik Algoritması (INC: Incremental Conductance Algorithm) ve Karıştır ve Gözlemler Algoritması (P&O: Perturb and Observe Algorithm) yöntemleri kullanılmaktadır [5].

Sabit Gerilim Algoritması (CV), değışken güneş ışığının yaygın olduğu durumlar için tercih edilmektedir. Bu algoritma, PV akımının sıfır durumu için ölçülen açık devre geriliminin V_{OC} değerinin, maksimum güç noktası gerilimi V_{MPP} değerine oranlanması ile PV sistem çıkış geriliminin belirlenmesini esas alır. Eş. 1’ de tanımlanan K oranı, genelde %76 olarak kullanılmaktadır [6-11].

$$\frac{V_{MPP}}{V_{OC}} \cong K < 1 \quad (1)$$

Artan iletkenlik algoritması, I/V değışimini esas alan, PV sistem güç eğrisinin maksimum güç noktasında solunda pozitif, sağında negatif, maksimum güç noktasında ise sıfır değışim prensibine dayanmaktadır (Eş. 2).

$$(\Delta I / \Delta V) + (I / V) = 0 \quad (2)$$

MPP de;

$$\Delta I / \Delta V = -I / V \quad (3)$$

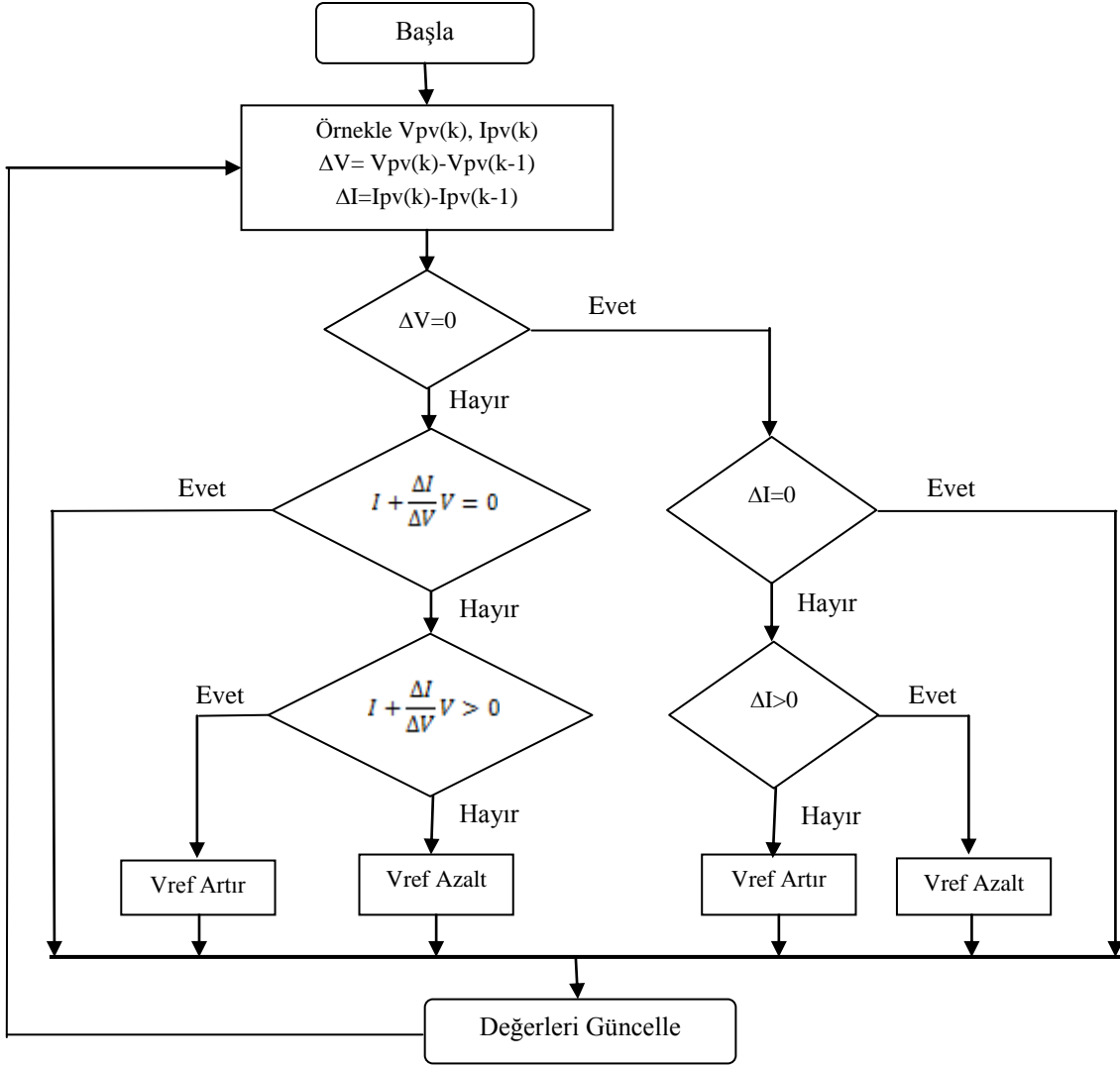
MPP solunda;

$$\Delta I / \Delta V < -I / V \quad (4)$$

MPP sađında;

$$\Delta I / \Delta V > -I / V \quad (5)$$

Anlık iletkenlik (I/V), artan iletkenlik değeri ($\Delta I / \Delta V$) değeri ile karşılaştırılır. Bu yöntem güç değışiminin izlenmesinde yüksek örnekleme oranı gerektirmektedir [12]. Algoritma akış diyagramı Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Artan iletkenlik algoritması akış diyagramı

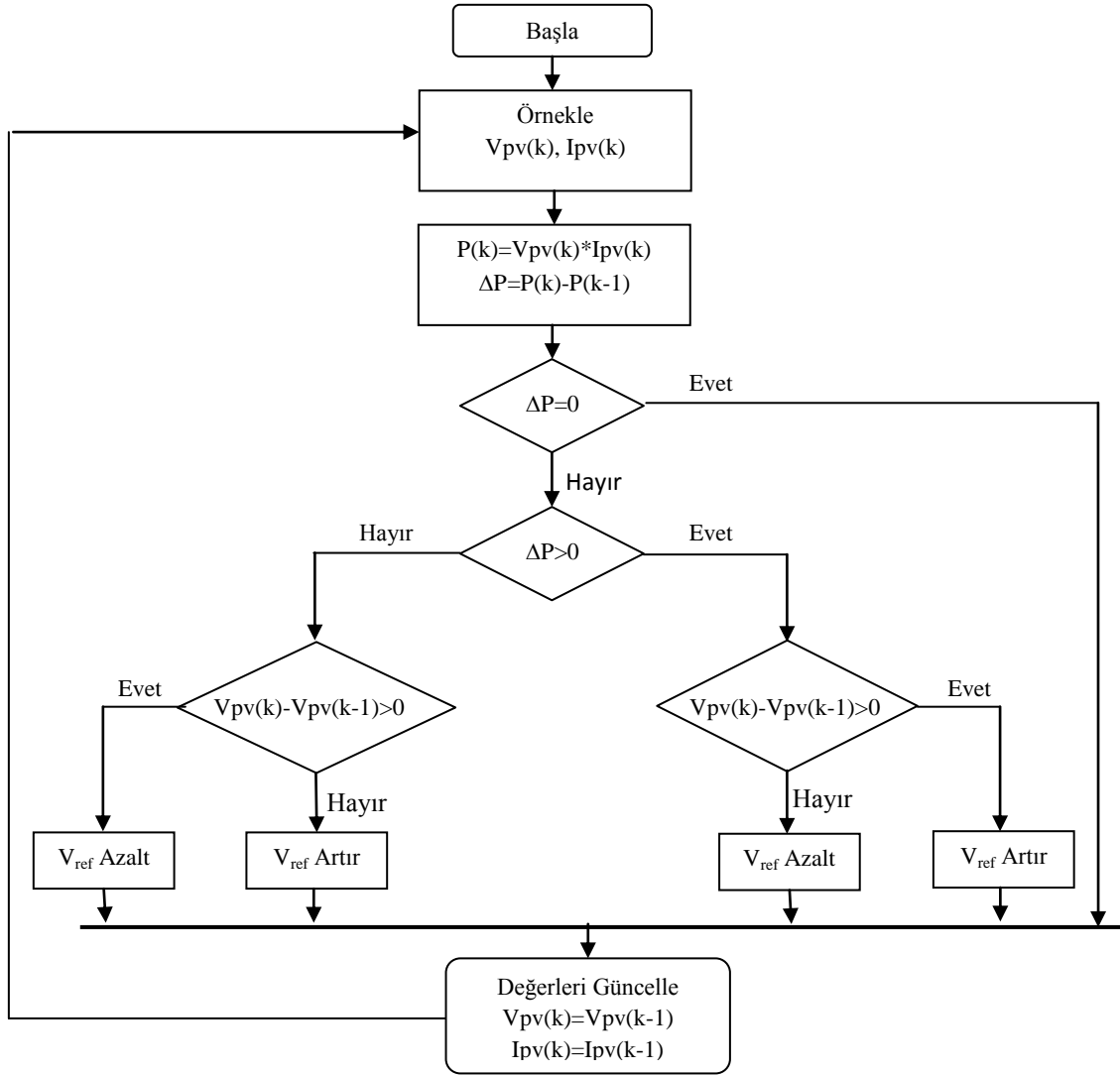
Perturb and Observe algoritması (P&O), PV panel akım ve geriliminin örneklenerek güç değişiminin hesaplanarak izlenmesi prensibine dayanmaktadır. Tablo 1’de P&O algoritması kısaca özetlenmektedir.

Tablo 1. P&O Algoritması çıkış değişim durumları

Perturbation	Güç değişimi	Sonraki durum
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif

P&O algoritması anahtarlama periyodu boyunca bir kez uygulanır. PV panel anlık gerilim ve akım değerleri örneklenerek, anlık güç değeri hesaplanır. Şekil 4’te verilen akış diyagramında görüldüğü gibi maksimum güç noktasına (MPP) gelinceye kadar işlemler her anahtarlama çevriminde tekrarlanır. Anlık güç değeri bir önceki güç değeri ile farkı alınarak ΔP değeri elde edilir. Geleneksel

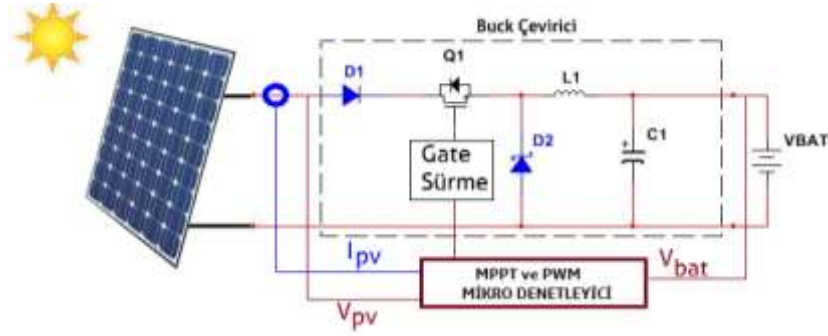
P&O algoritmasında MPP değerine ulaşılması daha yavaştır. Sistem MPP noktasında salınım göstermektedir. Salınım boyutunu azaltmak için ΔP karışıklık adım boyutu azaltılır [13].



Şekil 4. Perturb & Observe (P&O) algoritması

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Uygulama devresi blok yapısı Şekil 5’te gösterilmiştir. PV panel DC-DC Buck çevirici üzerinden batarya grubuna enerji sağlamaktadır. Deneysel çalışmada kullanılan PV panel özellikleri Tablo 2’de, PV panel özellikleri, Tablo 3’te Buck çevirici ve mikro kontrolör özellikleri belirtilmiştir.



Şekil 5. PV şarj sistemi genel yapısı

Tablo 2. PV Panel özellikleri

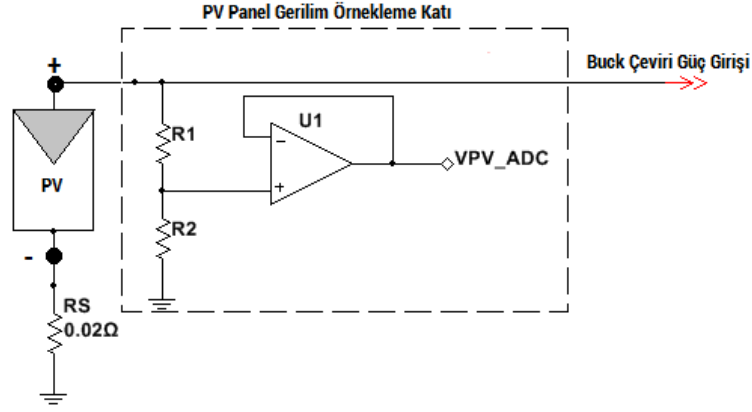
Parametre	Kısaltma	Büyükük
Maksimum Güç	P_{maks}	65 Watt
Açık Devre Gerilimi	V_{oc}	21,6 Volt
Kısa devre Akımı	I_{sc}	3,9 Amper
Maksimum Gerilim	V_m	17,6 Volt
Maksimum Akım	I_m	3,6 Amper

Tablo 3. DC-DC Buck çevirici özellikleri

Parametre	Kısaltma	Büyükük
Giriş Gerilimi	V_{in}	25 Volt (maks)
Çıkış Gerilimi	V_o	14,2 Volt
Maksimum Çıkış Akımı	I_o	10 Amper
Çıkış Gerilimi Salınımı	ΔV	0,1 Volt
PWM Frekansı	f_s	25 kHz

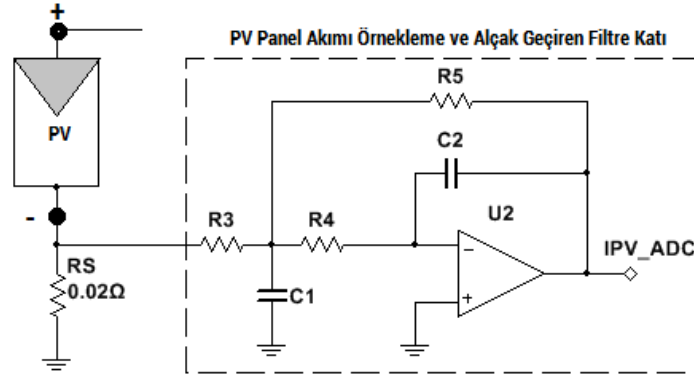
DC-DC Buck çevirici katı maksimum 10A'lık çıkış akımına göre tasarlanmıştır. Çevirici için $L_o=47\mu H$ endüktans hazırlanarak, çeviricinin mümkün olduğunca sürekli akım modunda çalışması hedeflenmiştir. Çevirici için Spice simülasyonu minimum akım ve maksimum akım değerleri üzerinden test edilerek, çıkış akımı ve gerilim değerleri Duty (çalışma oranı) ile karşılaştırılmıştır. Buck Çevirici PWM kontrolde Duty en yüksek değeri 12V giriş geriliminde 1V ve 18V giriş geriliminde 0,79 değerini almaktadır.

Tasarlanan sistemin 12V batarya grubunu şarj etmesi düşünüldüğünde PV panel geriliminin 12V üzerinde olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu noktada oluşturulan çevirici modelinin Buck-Boost (Alçaltıcı-Yükseltici) çevirici tipinde olması yüksek güç değerleri için daha uygun olmaktadır.



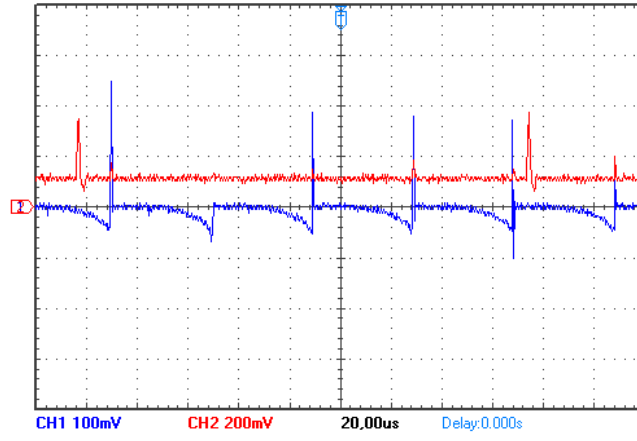
Şekil 6. PV panel gerilimi örnekleme katı

PV panel geriliminin ölçümü için oluşturulan devre Şekil 6’da görülmektedir. Devrede yer alan R_1 ve R_2 gerilim bölücü dirençleri, mikro kontrolör ADC gerilim kazancını belirlemektedir. U_1 opamp gerilim kazancı $A_{VU1}=1$ ve dirençlerin gerilim bölme oranı $1/5$ olarak seçilmiştir.



Şekil 7. PV panel akımının örneklenmesi için hazırlanan alçak geçiren filtre katı

PV panel akımı ölçümü için Şekil 7’de görülen devre katı hazırlanmıştır. Bu kat R_s direnci uçlarındaki gerilimi, A_{VU2} gerilim kazancı ile belirlenen kazanç değerince yükseltildikten sonra ADC girişine uygulanmaktadır. Bu devre katı akım değerinin örneklenmesini sağlamaktadır. Devre katı ikinci dereceden kazancı ayarlanabilir alçak geçiren filtreden oluşmaktadır.



Şekil 8. PV panel akımı ve filtre çıkışı

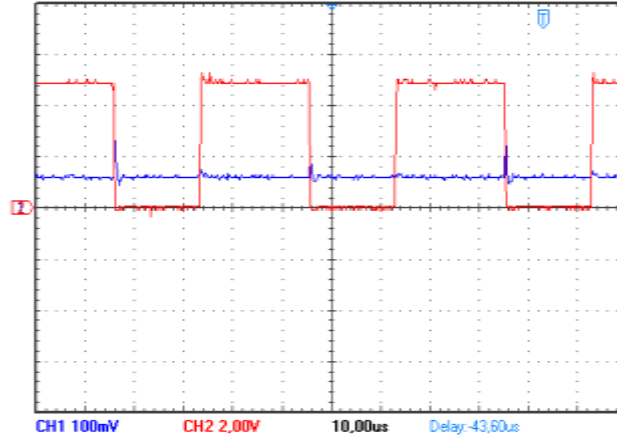
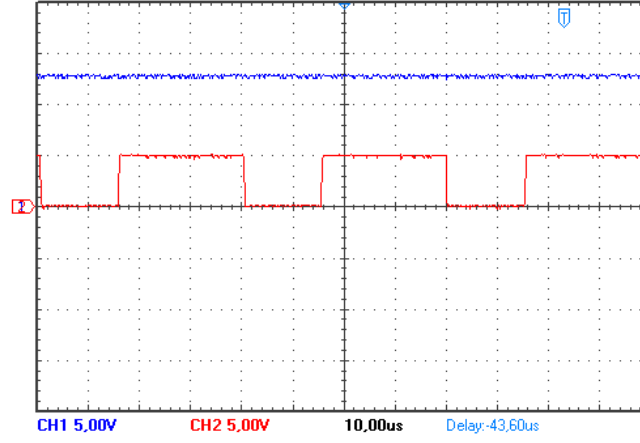
Şekil 8’de CH1 PV panel akımı ve CH2 filtre çıkışı görülmektedir. Çevirici anahtarlama çevriminden dolayı kaynaktan çekilen akım kare dalga formunda olmaktadır. Bu nedenle akımın ortalama (DC) veya etkin değerinin hesaplanmasını gerektirmektedir. Hesaplama yönteminin mikro kontrolör üzerinde gerçekleştirilmesi ek bir işlem yükü oluşturacak ve PWM kontrol cevap zamanını artırmasına neden olacaktır. Filtre gerilim kazancı R_s direnci akım bölme oranına göre belirlenir. R_s direnci PV panelin negatif terminaline bağlı olduğundan ölçümlenen gerilim değeri de sıfır noktasına göre negatif olacaktır. Uygulamada filtre kesim frekansı 100Hz olarak kullanılmıştır.

Deneyisel uygulama devresinde kontrol PIC16F88 8 bit mikro denetleyici kullanılmıştır. 10 bit ADC birimi ile PWM birimi yer almaktadır. Mikro kontrolör, dahili osilatör 8 MHz çalışma frekansında kullanılmış olup, 25kHz anahtarlama frekansına ayarlanan PWM katı, 0-320 değer aralığında duty (çalışma oranı) çözünürlüğü sağlamaktadır. Şekil 9’da hazırlanan uygulama devresi görülmektedir.



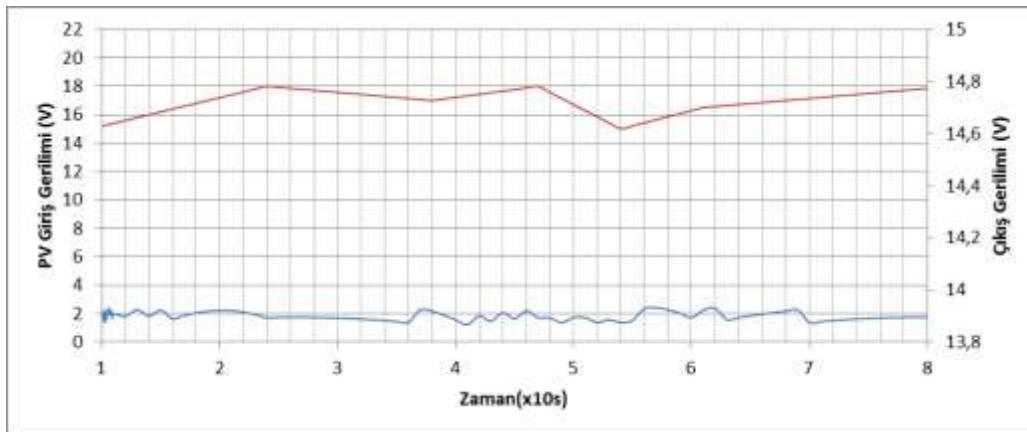
Şekil 9. Uygulama devresi

Şekil 10 (a)’da test sistemi duty (çalışma oranı) ile çıkış gerilimi ve Şekil 10 (b)’de Duty oranı ve PV akımı görülmektedir. PV panel gerilimi boştaki 18,43V ve yükte 16,4V’a kadar düşmekte olup, çevirici çıkış gerilimi 14,1V, batarya grubu uçlarındaki gerilim 12,78V ölçülmüştür.

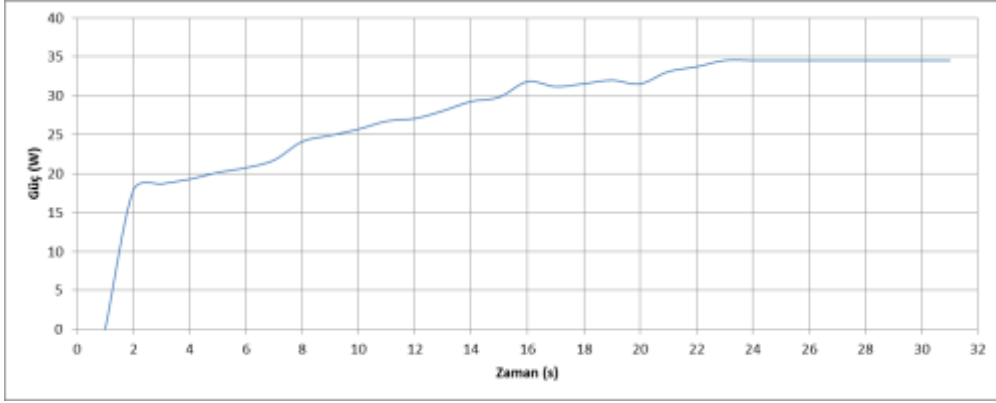


Şekil 10. (a) Duty oranı ve çıkış gerilimi (b) Duty oranı ve PV akımı

Şekil 11’de PV panel gerilimi, sabit yük altında çıkış gerilimi ve yük akımı SPICE simülasyon verileri görülmektedir. 12V-18V aralığında değişen PV panel gerilimi (V_{pv}) için çıkış gerilimindeki (V_{out}) değişim görülmektedir. Simülasyon ile tam yük durumunda, giriş geriliminin 12-14V aralığında duty değerinin 1 olduğu ve 14V üzerindeki değişen giriş gerilimine karşın kaynaktan çekilen akımın düşmediği durumda batarya geriliminin, belirlenen 14V maksimum şarj gerilim değerinde tutulduğu gözlenmiştir.



Şekil 11. Uygulama devresi Spice simülasyonu



Şekil 12. Sabit yük altında PV gücü

Şekil 12’de değişken güneş ışınımı koşullarında PV gerilimi 12V – 16,93V aralığında değişimi sonucu çıkış gücüne etkisi verilmiştir. Sabit yük altında oluşturulan sistemin PV panelden çekmiş olduğu güç, panel geriliminin yüklü durumda 15V üzerinde olduğu değerler için panel akımının da yeterli olduğu görülmüştür. Sonuç olarak maksimum çıkış gücü panel geriliminin yükte 15V-18V aralığında sağlanmaktadır.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada tek bir güneş paneli ile batarya grubu şarj sistemi için, kolay uygulanabilir, düşük maliyetli ve yüksek verimli bir yaklaşım ile P&O algoritmali mikro kontrolör kullanılarak Buck DC-DC dönüştürücü 12-14,2V aralığında çıkış gerilimini değiştirerek kontrol edilmektedir. Dönüştürücü akım kaynağı olarak çalışmakta ve PV panelden alınan gücün maksimum noktada tutulmasını sağlamaktadır. Bataryaların maksimum şarj geriliminin 15V’u geçmemesi ve de normal olarak 14V ile şarj edilmesi noktasında, PV panelden elde edilen enerjinin MPPT P&O algoritması ile şarj akımının sistem giriş gücüne bağlı olarak optimumda tutulması sağlanmaktadır. Çalışmanın sonucunda düşük maliyetli ve uygulanabilir bir sistem tasarımı öngörülmüştür. Literatürde daha çok simülasyon ve benzetim programlarından elde edilen sonuçlara rastlanmaktadır. Tasarlanan ve gerçekleştirilen devre literatürde gerçekleştirilen çalışmalar ile uyum göstermektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A.P.K. Yadav, S. Thirumaliah *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering* **1(1)** (2012) 18-23.
- [2] S. Gomathy, S. Saravanan *International Journal of Scientific & Engineering Research* **3(3)** (2012) 1-7.
- [3] B. Das, A. Jamatia, A. Chakraborti, P.Rn. Kasari, M. Bhowmik *International Journal of Advances in Engineering & Technology* **4(1)** (2012) 579-591.
- [4] H. Abouobaida, M. El Khayat, M. Cherkaoui *Journal of Electrical Engineering* **14(4)** (2014) 1-6.
- [5] D.P. Hohm, M.E. Ropp *Progress In Photovoltaics* **11** (2003) 47-62.

- [6] G.J. Yu, Y.S. Jung, J.Y. Choi, G.S. Kim *Solar Energy* **76** (2004) 455–463.
- [7] A. Kulaksız, R. Akkaya, *Maksimum güç noktası izleyicili foto voltaik güç sisteminin mikro denetleyici tabanlı kontrolü*, **Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu**, Kayseri-Türkiye, (2003) 53-61.
- [8] A. Fıratoğlu, B. Yeşilata *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* **5(1)** (2003) 147-158.
- [9] N. Onat, S. Ersöz, *Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası izleyici algoritmalarının karşılaştırılması*, **V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu**, Diyarbakır-Türkiye, (2009) 50-56.
- [10] Y. Erdoğan, T. Dinçler, M. Kuncan, H.M. Ertunç, *Güneş panelleri için yüksek verimli maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT)tasarımı*, **Türk Otomatik Kontrol Toplantısı**, Kocaeli-Türkiye, (2014) 1055-1060.
- [11] R. Faranda, S. Leva *Wseas Transactions On Power Systems* **3(6)** (2008) 446-455.
- [12] D.S. Morales, *Maximum power point tracking algorithms for photovoltaic applications*, Yüksek Lisans Tezi, Aalto University, Esbo-Finlandiya, (2010).
- [13] S.Y. Tseng, C.T. Tsai *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy*, **2012(Article ID 936843)** (2012) 15 sayfa.