

## PV TABANLI SU POMPALAMA SİSTEMİNDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİSİ UYGULAMASI

Murat ULUĞ\*, Okan BİNGÖL

Geliş Tarihi/ Received: 22.03.2017, Kabul tarihi/Accepted: 26.04.2017

### Özet

Günümüzde, hayat kalitesinin artması ve birçok ülkede sanayinin gelişmesi dünyadaki enerji talebinin artmasına sebep olmuştur. Ayrıca, geleneksel enerji kaynakları azalmaya başlamıştır. Bu sebeplerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına özellikle de güneş enerjisine olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Güneş enerjisi, şebekeden bağımsız sistemleri enerjilendirmek için kullanılan çekici bir enerji kaynağıdır. Gelişmekte olan ülkelerde şebekeye erişimin olmadığı yerlerde özellikle kırsal alanlarda su pompalanması gibi pek çok uygulamalarda kullanılmaktadır. Fotovoltaik (photovoltaic, PV) sistemlerden elde edilen enerji değişen çevre koşulları altında azalmaktadır. Bu nedenle, PV sistemlerden maksimum enerjiyi elde etmek için maksimum güç noktası takibi yapılmaktadır.

Yapılan çalışmada, fotovoltaik enerji ile çalışan su pompalama sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sistemden elde edilen verimi arttırmak için maksimum güç noktası izleyici(MGNI)kullanılmıştır. MGNI olarak Değiştir&Gözlemler (Perturb&Observe, P&O) algoritması kullanılmıştır. MGNI algoritmasının sistemde uygulanması TMS320F2812 DSP işlemcisi ile sağlanmıştır. Sistemden elde edilen enerji doğru akım (DA) olduğu için ve su pompa motoru da PV sisteme doğrudan bağlandığı için DA su pompası motoru kullanılmıştır. Uygulama, sistemde maksimum güç noktası izleme algoritması kullanılarak ve kullanılmadan gerçekleştirilmiş olup her iki durumdan elde edilen güç değerleri karşılaştırılmıştır. MGNI kullanılarak elde edilen verimin, MGNI kullanılmadan elde edilen verimden daha iyi olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş enerjisi, Fotovoltaik, Su pompalama sistemleri, MPPT

## APPLICATION OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING ALGORITHM IN PV BASED WATER PUMPING SYSTEMS

### Abstract

Nowadays, the increase in quality of life and the development of industry in many countries have led to an increase in energy demand in the world. Due to these reasons, interest in renewable energy sources, especially solar energy, is increasing day by day. Solar energy is an attractive source of energy used to energize off-grid systems. In developing countries, it is used in many applications such as water pumping especially in rural areas where there is no access to the grid. The energy obtained from photovoltaic (PV) systems is decreasing under changing environmental conditions. Therefore, maximum power point tracking (MPPT) to obtain maximum energy from the PV system is carried out.

In this study, implementation of PV based water pumping system was carried out. MPPT was used to increase the efficiency obtained from the system. Perturb&Observe (P&O) algorithm was used to track maximum power point. Implementation of the MPPT algorithm in the system was provided by the TMS320F2812 DSP processor. Direct current (DA) water pumping motor was used because the energy obtained from the PV system is DA and the water pump motor is directly connected to the PV system. The applications were performed with and without

\* Bucak Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi, Burdur

E-posta: murat\_ulug@hotmail.com

using the MPPT algorithm in the system and the power values obtained from both cases were compared. It has been observed that the efficiency of PV system with MPPT algorithm is better than without MPPT.

**Key Words:** Solar energy, Photovoltaic, Water pumping systems, MPPT

## 1.Giriş

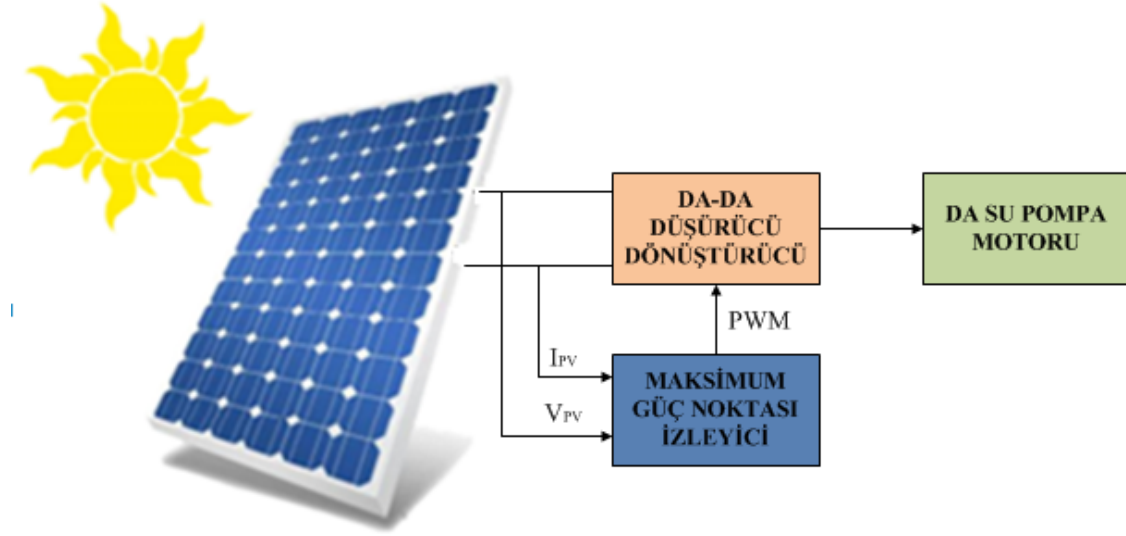
Günümüzde, artan enerji ihtiyacı ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi yaygın olarak kullanılmaktadır. PV sistemler kullanılarak elde edilen güneş enerjisi, yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak kabul edilir. Günümüzde PV sistemler pil şarjı, yüzme havuzu ısıtma sistemleri, uydu güç sistemleri, acil durum iletişim uygulamaları gibi uzaktan uygulamalarda kullanılmaktadır (Aashoor ve Robinson, 2013; Koutroulis vd., 2011; Senol, 2012). Güneş enerjisi özellikle şebekeye erişimin olmadığı yerlerde sistemlere enerji sağlamak için kullanılmaktadır ve en yaygın kullanıldığı alanlardan biri kırsal bölgelerde su pompalama sistemleridir (Ramos ve Ramos, 2009; Muhsen vd., 2017). Güneş enerjisi ile çalışan su pompaları alternatif akım (AA) elektrik şebekesine erişimin olmadığı özellikle kırsal alanlar için iyi ve uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır ve kullanımı artmaktadır (Ramos ve Ramos, 2009). Güneş panellerinden elde edilen enerji doğru akım (DA) olduğundan ve pompalar da PV sisteme doğrudan bağlanabildikleri için sistem karmaşıklığını azaltmak amacıyla su pompalamak için DA motorlar tercih edilmektedir (Aashoor ve Robinson, 2013).

PV sistemlerden üretilen enerjiden daha fazla verim alabilmek için sistemin tüm koşullarda maksimum güç noktasında (MGN) çalışması gerekmektedir. Değişen çevre koşulları altında, maksimum güç noktası bulmak, izlemek ve daha sonra MGN' de çalışmasını sağlamak için maksimum güç noktası izleyiciler kullanılmaktadır. PV sistemlerinin verimliliğini artırmak için çeşitli MGNI yöntemleri önerilmiştir (Saravanan ve Babu, 2016). Literatürde yaygın olarak değiştir&gözlemle, artan iletkenlik, kayan kipli denetim, bulanık mantık kontrol tabanlı MGNI yöntemleri kullanılmıştır (Bhatnagarve Nema, 2013). MGNI yöntemleri genel olarak DA-DA dönüştürücü devrelerine uygulanmaktadır. PV sistemlerde DA-DA dönüştürücüler, çıkış gerilimini değiştirmek için kullanılırlar ve genellikle PV modül ile yük arasına bağlanırlar (Atallah vd., 2014).

Yapılan çalışmada, güneş enerjisiyle beslenen su pompalama sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sistemde, TMS320F2812 DSP işlemcisi, PV panel, akü, akü şarj kontrol devresi, DA su pompa motoru kullanılmıştır. Maksimum güç noktası izleyici olarak basit ve uygulanabilirliğinin kolay olması sebebi ile Değiştir&Gözlemle yöntemi kullanılmıştır ve sistemde uygulanması TMS320F2812 DSP işlemcisi ile sağlanmıştır. Sistemde uygulama belirli bir bölgede, MGNI kullanılarak ve kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Her iki durum için elde edilen güç değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, MGNI kullanılarak elde edilen verim, MGNI kullanılmadan elde edilen verimden daha yüksektir.

## 2.Materyal ve Metot

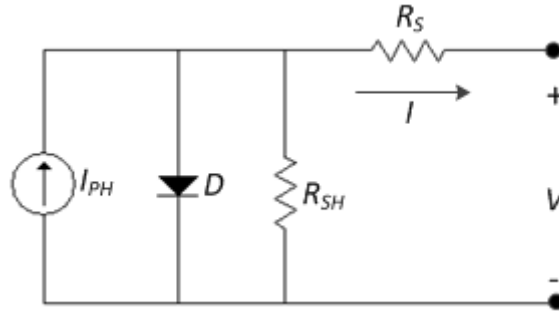
Bu çalışmada güneş enerjisi ile beslenen DA su pompalama sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Şekil 1' de sistemin blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 1.Sistemin blok diyagramı

## 2.1.PV Hücrenin Matematiksel Modeli

PV sistemler, güneş ışığını elektrik enerjisine çevirmek için kullanılır. Bir PV hücrenin eşdeğer elektriksel devre modeli Şekil 2' de gösterilmiştir.



Şekil 2. PV hücrenin eşdeğer elektriksel devre modeli

Şekil 2'de gösterilen eşdeğer devrede, fotonlar tarafından üretilen akım ( $I_{PH}$ ), sızıntı akımını temsil eden bir paralel direnç ( $R_{SH}$ ), PV hücrenin iç direncini temsil eden bir seri direnç ( $R_S$ ) ve diyot (D) bulunmaktadır. Şekil 2'de verilen eşdeğer devre için çıkış akımı denklem(1)'deki gibidir (Tsai, 2010; Bingol vd., 2016).

$$I = I_{PH} - I_D - I_{SH} \quad (1)$$

Denklem (1)'de,  $I_D$  diyot üzerinden geçen akımı ve  $I_{SH}$  paralel direnç ( $R_{SH}$ ) üzerinden geçen akımı temsil etmektedir. Diyot üzerinden geçen akım  $I_D$ ,

$$I_D = I_0 \left( e^{\frac{q}{kT} (V + IR_S)} - 1 \right) \quad (2)$$

dir. Denklem (2), denklem(1)' de yerine konulduğunda,

$$I = I_{PH} - I_o \left( e^{\frac{q}{kTA}(V+IR_s)} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{SH}} \quad (3)$$

Burada;

$I_{PH}$ : fotonlar tarafından üretilen akım,

$I_o$ : diyotun ters polarmadaki sızıntı akımı,

T: hücrenin sıcaklığı,

k: Boltzmann sabiti ( $1.381 \times 10^{-23}$  J/K),

q: elektron yükü ( $1.602 \times 10^{-19}$  C),

A: diyotun ideallik faktörü,

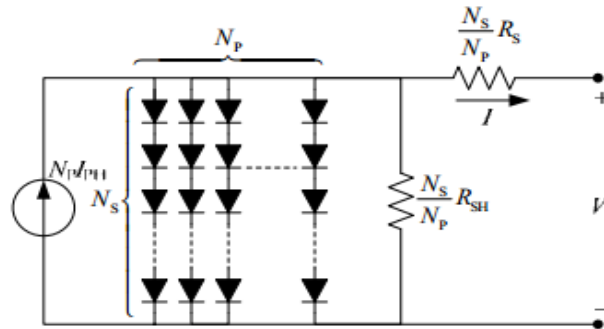
$R_{SH}$ : paralel direnç,

$R_s$ : seri direnç olarak ifade edilir.

Bir PV hücrenin çıkış gücü yaklaşık olarak 0.5 Wattır. PV sistemden istenilen çıkış gücünü elde etmek için PV hücreler seri ve paralel konfigürasyonda modül olarak bağlanabilirler. Bir PV modülün elektriksel eşdeğer devresi Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu eşdeğer devreye ait çıkış akımı denklem (4) 'te verilmiştir (Tsai, 2010; Tsai vd., 2008).

$$I = N_p I_{PH} - N_p I_o \left( e^{\frac{q}{kTAN_{ss}} \left( \frac{V + IR_s}{N_s + N_p} \right)} - 1 \right) - \frac{\frac{N_p}{N_s} V + IR_s}{R_{SH}} \quad (4)$$

Denklem (4)'te  $N_p$  paralel olarak bağlanan hücre sayısını ve  $N_s$  ise seri olarak bağlanan hücre sayısını göstermektedir.



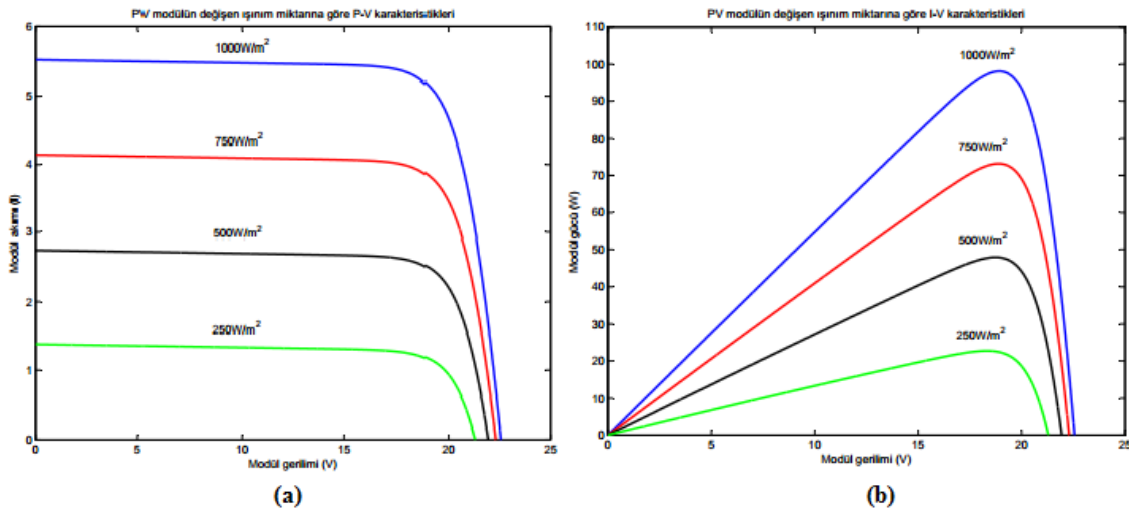
Şekil 3. Bir PV modülün elektriksel eşdeğer devresi (Tsai vd., 2008)

Bu çalışmada kullanılan PV panel parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** PV modül parametreleri

Parametre	Değer
Maksimum Güç	<b>100 W</b>
Maksimum Güç Akımı	<b>5.17 A</b>
Maksimum Güç Gerilimi	<b>19.35 V</b>
Kısa Devre Akımı	<b>5.53 A</b>
Açık Devre Gerilimi	<b>22.6 V</b>

Bir PV hücrenin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristikleri ışınım miktarına ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. PV panelin çıkış gücü ışınım miktarı ile doğru orantılı iken sıcaklık ile ters orantılı olarak değişmektedir. Işınım miktarının artışı ile PV panelin çıkış gücü ve akımı artarken, sıcaklık artışı ile çıkış gücü ve gerilimi azalmaktadır (Tsai, 2010; Villalva, 2009; Bingol vd., 2016). Şekil 4’te bir PV modülün değişen ışınım miktarı altında I-V ve P-V karakteristikleri gösterilmiştir.



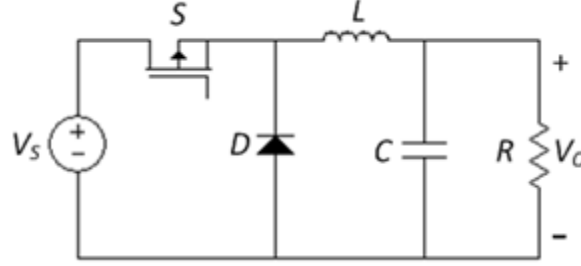
**Şekil 4.** Değişen ışınım miktarı altında (a)I-V, (b) P-V karakteristikleri

## 2.2.DA-DA Düşürücü Dönüştürücü

DA-DA düşürücü dönüştürücü devresinde her zaman çıkış geriliminin değeri giriş geriliminden küçük değerdedir. Şekil 5’de DA-DA düşürücü dönüştürücü devresi verilmiştir. Devrede bir kontrollü (MOSFET) ve bir kontrolsüz (diyot) olan iki adet anahtar bulunmaktadır. Düşürücü dönüştürücünün çıkış gerilimini bulmak için kontrollü anahtarın iletim ve kesim durumuna göre analiz yapılmaktadır. Bu iki ayrı durum incelendiğinde çıkış gerilimi ( $V_o$ ), giriş gerilimi ( $V_s$ ) ve çalışma oranı ( $D$ ) arasındaki ilişki denklem(5)’te

verilmiştir (Mohan ve Undeland, 2007). Tablo 2’de çalışmada kullanılan DA-DA düşürücü dönüştürücünün parametreleri verilmiştir.

$$V_o = V_s D \quad (5)$$



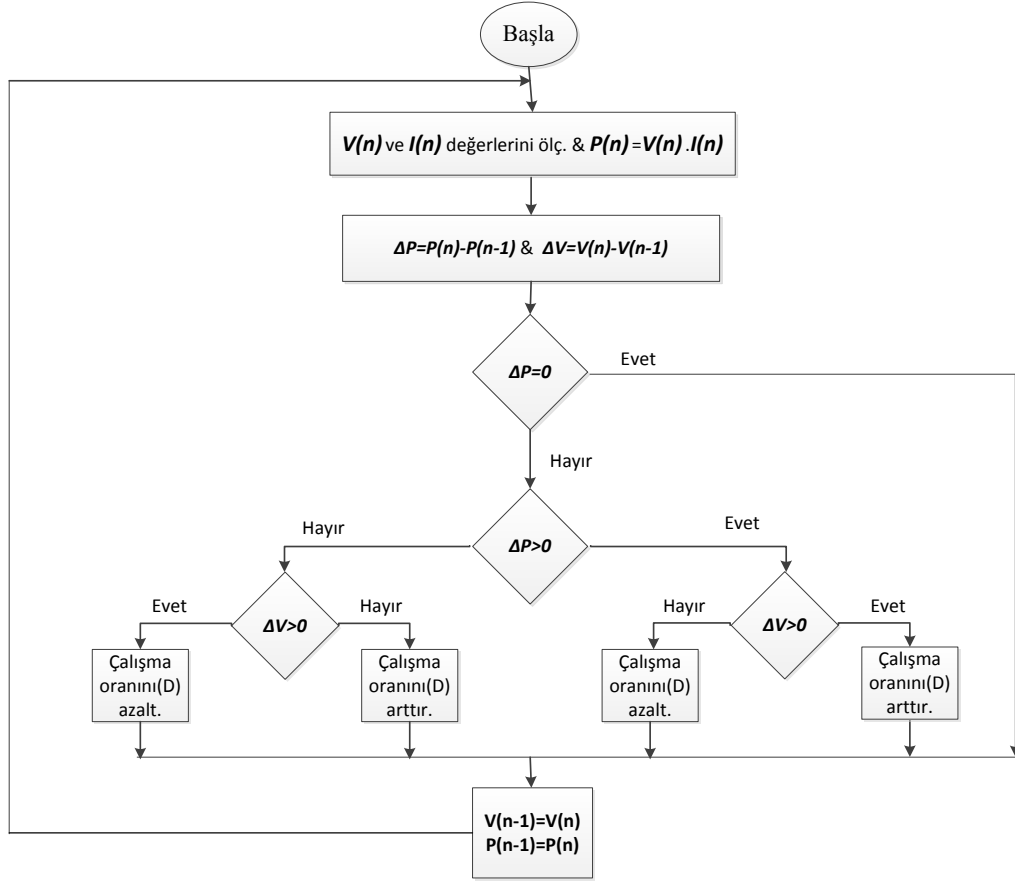
Şekil 5. DA-DA düşürücü dönüştürücü devresi

Tablo 2. DA-DA düşürücü dönüştürücü parametreleri

Parametre	Değer
L	10 $\mu$ H
C	570 $\mu$ F
R	2 $\Omega$
F <sub>s</sub>	50kHz

### 2.3.Değiştir&Gözlemle Metodu

Değiştir&Gözlemle metodu, PV sistemlerde maksimum güç noktasını takip etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu metotta, sensörlerden gelen gerilim ve akım bilgisine göre PV sistemin çıkış gücü hesaplanıp, gerilimdeki bozulmalar maksimum güç noktasını takip etmek için kullanılmaktadır. Gerilimdeki bozulmalara göre, çıkış gücü artırılır ya da azaltılır (Ram, 2017). Şekil 6’da değiştir&gözlemle metoduna ait akış şeması verilmiştir. Buna göre,  $\Delta P=0$  durumunda, sistem maksimum güç noktasında çalışmaktadır.  $\Delta P>0$  &  $\Delta V>0$  ve  $\Delta P<0$  &  $\Delta V<0$  durumunda, çalışma noktası maksimum güç noktasının solunda kalmaktadır ve maksimum güç noktasına ulaşmak için gerilim arttırılmalıdır.  $\Delta P>0$  &  $\Delta V<0$  ve  $\Delta P<0$  &  $\Delta V>0$  durumunda, çalışma noktası maksimum güç noktasının sağında kalmaktadır ve maksimum güç noktasına ulaşmak için gerili azaltılmalıdır(Bhatnagar ve Nema, 2013; Houssamo, 2013; Reisi vd., 2013; Saravanan ve Babu, 2016).



Şekil 6. Değiştir&gözlemle metoduna ait akış şeması (Messalti vd., 2017)

## 2.4. TMS320F2812 DSP İşlemcisi

Texas Instruments firmasının TMS320DSP ailesinin bir üyesi olan TMS320F2812, bir mikrodenetleyicinin (MCU) çevre birimleri entegrasyonu ve kullanım kolaylığı ile bir DSP'nin işlem gücünü kendi bünyesinde birleştirmiş olan bir mikroişlemcidir (<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320f2812.pdf>). En önemli özellikleri aşağıda listelenmiştir:

- 150MHz çalışma frekansında 150MIPS'e kadar işlem gücü
- 128k x 16 dahili flash bellek
- 18k x 16 dahili RAM
- 32 bit kayar noktalı aritmetik birimi
- 150ps çözünürlük ile PWM sinyali üretebilme

### 3.Deneysel Çalışma

Tasarlanan sistemin çalışması aşağıdaki durumlar için test edilmiştir.

**Durum 1:** PV panelin sisteme MGNI ile bağlı olduğu deney düzeneği

Şekil 7’de 03.05.2014 tarihinde yapılan ve PV panelin sisteme MGNI ile bağlı olduğu deney düzeneği gösterilmiştir. Deney düzeneğinde PV panel çıkışı güç devresine, güç devresinin çıkışına da yük ve akü bağlanmıştır. Ayrıca, gerilim, akım, ışınım miktarı ve sıcaklık değerleri seri port ile bilgisayardaki veri tabanına aktarılmıştır (Uluğ, 2014).



**Şekil 7.** PV panelin sisteme MGNI ile bağlı olduğu deney düzeneği

Deney düzeneğinde kullanılan sistem bileşenleri Tablo 3’de verilmiştir.

**Tablo 3.** Sistem bileşenleri

Numara	Sistem bileşenleri
1	Güneş ışınım gücü ölçüm cihazı
2	Ölçüm devresi
3	TMS320F2812
4	Güç Devresi
5	Akü şarj kontrol devresi
6	DA su pompa motoru



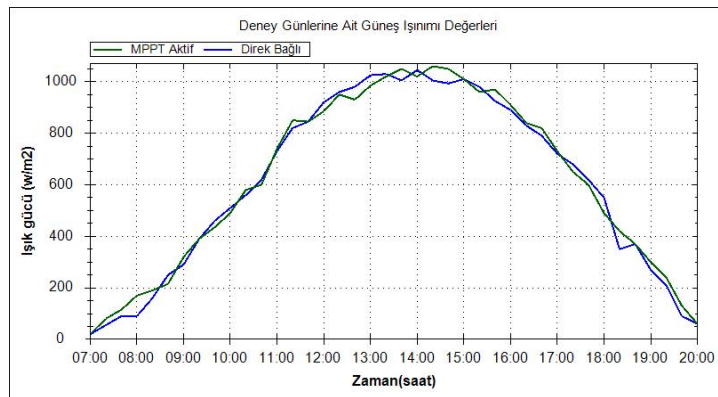
## Durum 2: PV panelin sisteme direk bağı olduğu deney düzeneğı

Şekil 8’de maksimum güç noktası izleyicisi kullanılmadan PV panelin sisteme direk bağı deney düzeneğı verilmiştir. Bu deney 04.05.2014 tarihinde yapılmıştır. Deneyde PV panel direk yük ve aküye bağlanmıştır. Gerilim, akım, ışınım miktarı ve sıcaklık değerleri manuel olarak ölçülmüş ve veri tabanına kaydedilmiştir (Uluğ, 2014).

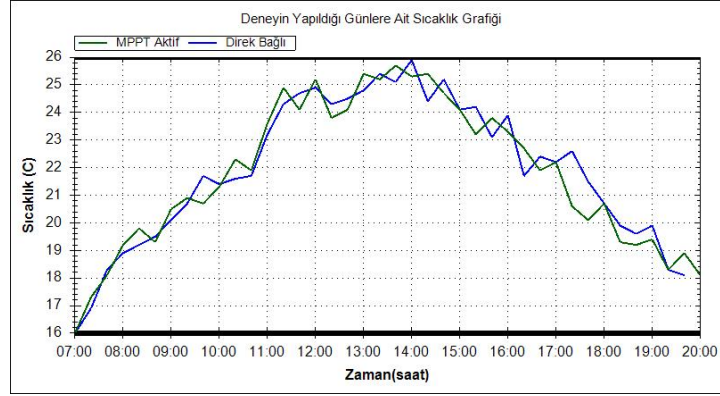


Şekil 8. PV panelin sisteme direk bağı olduğu deney düzeneğı

Her iki durum 37°27’ kuzey enleminde 30°34’ güney boylamında yer alan Bucak/Burdur’da gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan panel 1000 W/m<sup>2</sup> güneş ışınımı ve 25°C sıcaklıkta maksimum 100 W güç üretmektedir. Panelin açık devre gerilim değeri 22.3 V, kısa devre akım değeri 5.17 A’dır. Deneylerin gerçekleştirildiğı konumda gün içerisinde PV panele dik olarak gelen güneş ışınım değerleri Şekil 9’da ve hava sıcaklık değerleri ise Şekil 10’da verilmiştir (Uluğ, 2014).



Şekil 9. PV panele dik olarak gelen güneş ışınım değerleri (W/m<sup>2</sup>)

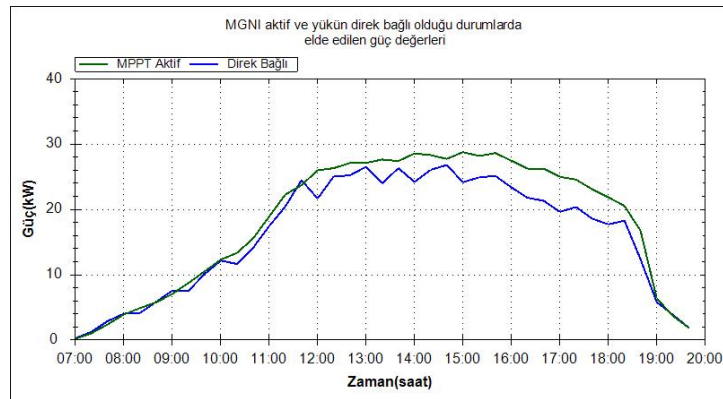


Şekil 10. Deneyler esnasındaki hava sıcaklık değerleri (°C)

Deneylerin gerçekleştirildiği tarihlerde, deney şartlarının aynı olmasını sağlamak amacıyla deneyler aynı saatlerde yapılmıştır. Sistemde, harcanan gücün sabit tutulması için her bir günde toplam 250 lt su kullanılmıştır. Deneyde kullanılan aküler deneyden önce 11V seviyesine kadar boşaltılmıştır. Su deposu ile sulanacak alan arasındaki mesafe sabit tutulmuş ve su pompası maksimum kapasitesi ile dakikada 4,2 lt/dk su basma kapasitesi ile çalıştırılmıştır.

03/05/2014 tarihinde yapılan deneyde elde edilen panel gerilimi şarj regülatörü ile 14- 4,5V arasında çıkış verecek şekilde ayarlanmıştır. 04/05/2014 tarihinde yapılan deneyde MGNI ve şarj kontrolcüsü devreden çıkartılarak gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde fotovoltaik panelden elde edilen gerilim direk yüke ve aküye bağlanmıştır. Her iki deneyde veriler 10 dakikalık aralarla ölçülüp saatlik ortalamaları alınarak grafikleri veritabanına kaydedilmiş ve grafikleri çizdirilmiştir.

Deneyler sonucunda, MGNI bağlı sistem ile ve PV panelin su pompasına direk bağlı olduğu sistemden elde edilen güç değerleri Şekil 11’de gösterilmiştir (Uluğ, 2014).



Şekil 1. MGNI bağlı sistem ile ve PV panelin su pompasına direk bağlı olduğu sistemden elde edilen güç değerleri

Şekil 11’den görüldüğü gibi MGNI kullanılan sistemde salınım daha azdır. Sistemlerin verimliliğini bulabilmek için elde edilen toplam güçlerin oranı denklem(6) kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem(6)’da  $P_{MGNI}$ , MGNI kullanarak elde edilen toplam gücü,  $P_D$  direk bağlı sistemden elde edilen toplam gücü temsil etmektedir. Sonuç olarak, MGNI kullanılan

sistemden elde edilen gücün direk bağlı sisteme göre %12,17 daha verimli olduğu bulunmuştur.

$$\text{Verimlilik} = [(P_{MGNI} - P_D) \times 100 / P_D] \quad (6)$$

#### 4.Sonuç

Güneş enerjili su pompalama sistemleri, uzak yerler için alternatif bir elektrik enerjisi kaynağı olarak dünya genelinde uygulanmaktadır. Yapılan çalışmada, güneş enerjisi ile beslenen su pompalama sistemi uygulaması TMS320F2812 DSP işlemcisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistemde, değiştir&gözlemle maksimum güç noktası izleyicisi yöntemi ve DA-DA düşürücü dönüştürücü kullanılmıştır. Uygulama iki durum için gerçekleştirilmiştir. Sistemde MGNI kullanılarak ve kullanılmadan gün içerisinde güç değerleri ölçülüp veritabanına kaydedilmiştir ve bu iki durum için güç değerleri karşılaştırılmıştır. MGNI kullanılan sistemde, MGNI kullanılmayan sisteme göre %12,17 daha fazla güç üretilmiştir.

#### 5.Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde 3114-YL1-12 nolu proje finansman desteği sağlayan Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü Birimine teşekkür etmektedirler.

#### 6.Kaynaklar

Aashoor, F. A. O., & Robinson, F. V. P. (2013). Maximum power point tracking of photovoltaic water pumping system using fuzzy logic controller. In Power Engineering Conference (UPEC), 2013 48th International Universities', IEEE, 1-5.

Atallah, A. M., Abdelaziz, A. Y., & Jumaah, R. S. (2014). Implementation of perturb and observe MPPT of PV system with direct control method using buck and buck-boost converters. Emerging Trends in Electrical, Electronics & Instrumentation Engineering: An international Journal (EEIEJ), 1(1), 31-44.

Bhatnagar, P., & Nema, R. K. (2013). Maximum power point tracking control techniques: State-of-the-art in photovoltaic applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 23, 224-241.

Bingol. O., Özkaya. B., & Paçacı. S. (2016). Fotovoltaik Sistemlerde Değiştir&Gözlemle Ve Bulanık Mantık Yöntemleri İle Maksimum Güç Noktası Takibinin Karşılaştırılması. Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu (Asyu 2016). 337-341, Düzce, Türkiye.

Houssamo, I., Locment, F., & Sechilariu, M. (2013). Experimental analysis of impact of MPPT methods on energy efficiency for photovoltaic power systems. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 46, 98-107.

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320f2812.pdf>, Erişim tarihi:220.03.2017

- Koutroulis, E., Kalaitzakis, K., & Voulgaris, N. C. (2001). Development of a microcontroller-based, photovoltaic maximum power point tracking control system. *IEEE Transactions on power electronics*, 16(1), 46-54.
- Messalti, S., Harrag, A., & Loukriz, A. (2017). A new variable step size neural networks MPPT controller: Review, simulation and hardware implementation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 221-233.
- Mohan, N. & Undeland, T. M. (2007). *Power electronics: converters, applications, and design*. John Wiley & Sons.
- Muhsen, D. H., Khatib, T., ve Nagi, F. (2017). A review of photovoltaic water pumping system designing methods, control strategies and field performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 70-86.
- Ram, J. P., Babu, T. S., & Rajasekar, N. (2017). A comprehensive review on solar PV maximum power point tracking techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 826-847.
- Ramos, J. S. & Ramos, H. M. (2009). Solar powered pumps to supply water for rural or isolated zones: a case study. *Energy for Sustainable Development*, 13(3), 151-158.
- Reisi, A. R., Moradi, M. H., & Jamasb, S. (2013). Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 433-443.
- Saravanan, S., & Babu, N. R. (2016). Maximum power point tracking algorithms for photovoltaic system—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 192-204.
- Senol, R. (2012). An analysis of solar energy and irrigation systems in Turkey. *Energy Policy*, 47, 478-486.
- Tsai, H. L. (2010). Insolation-oriented model of photovoltaic module using Matlab/Simulink. *Solar Energy*, 84(7), 1318-1326.
- Tsai, H. L., Tu, C. S., ve Su, Y. J. (2008). Development of generalized photovoltaic model using MATLAB/SIMULINK. In *Proceedings of the world congress on Engineering and computer science*, 1-6, San Francisco, USA.
- Uluğ, M. (2014). *Fotovoltaik Sistemler İçin Maksimum Güç Noktası İzleyicisi Tasarım Ve Uygulaması*. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 73 s., Isparta.
- Villalva, M. G., Gazoli, J. R., & Ruppert Filho, E. (2009). Modeling and circuit-based simulation of photovoltaic arrays. In *Power Electronics Conference, COBEP'09*, 1244-1254, Brazilian.