

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ BİR PV SU POMPALAMA SİSTEMİNİN DENEYSEL ANALİZİ

Bülent YEŞİLATA, Metin AYDIN, Yusuf IŞIKER

Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu çalışmada, küçük ölçekle su teminine yönelik direkt-aküpleli prototip bir PV panel dalgıç pompa sistemi deneysel olarak analiz edilmiş olup, sistemin günlük çalışması sırasında etkili olan parametrelerin anlık ve ortalama değerler bazında değişimlerine ait ölçüm sonuçları sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, dinamik çevre koşullarının PV panele ait parametrelerin anlık değerlerinde büyük dalgalanmalara sebep olduğunu göstermektedir. Pompa debisindeki dalgalanma ise çok düşük seviyelerde kalmaktadır. Ayrıca, PV panel çalışma parametreleri ile pompalanan su debisi arasında lineer olmayan bir ilişki mevcuttur.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik (PV) panel, dalgıç pompa, sulama uygulaması

ABSTRACT

In this experimental study, a directly-coupled PV panel -submersible pump system is analyzed. The results of instantaneous and time-averaged measurements for some parameters, which are important during daily operation of the system, are presented. The results obtained reveal that the dynamic outdoor conditions cause in large fluctuations in instantaneous values of PV panel parameters. However, amplitude of the fluctuations in pump-flow-rate is much lower. There also exists a nonlinear relationship between PV panel parameters and pumped-water-flow-rate.

Keywords: Photovoltaic (PV) panel, submersible pump, irrigation

Giriş

Fotovoltaik sistemlerin en çok kullanılan uygulamaları arasında su pompası sistemleri bulunmaktadır. Bunun temel nedenlerinden biri su ihtiyacı ile güneş ışınım şiddeti arasında doğal bir ilişkinin bulunmasıdır. Diğer bir neden ise; elektrik şebekesinden uzak yerleşim alanlarının yer üstü ve yer altı su teminde, klasik enerji kaynaklarına nazaran, fotovoltaik destekli su pompalarının (PVDSP) daha ekonomik ve güvenilir olabilmesidir [1]. İlk yatırım masrafının yüksekliğine karşın, kırsal yöreler için ekonomik olmasının temel sebepleri; yeni elektrik şebekesi döşenmesinin yaratacağı ilk yatırım maliyetini ortadan kaldırması ve işletme masrafının bulunmamasıdır. Daha güvenilir olması ise; pompa dışında herhangi bir mekanik bileşeni bulunmaması sebebiyle önemli seviyede bakım ve onarım gerektirmemesinden kaynaklanmaktadır [2].

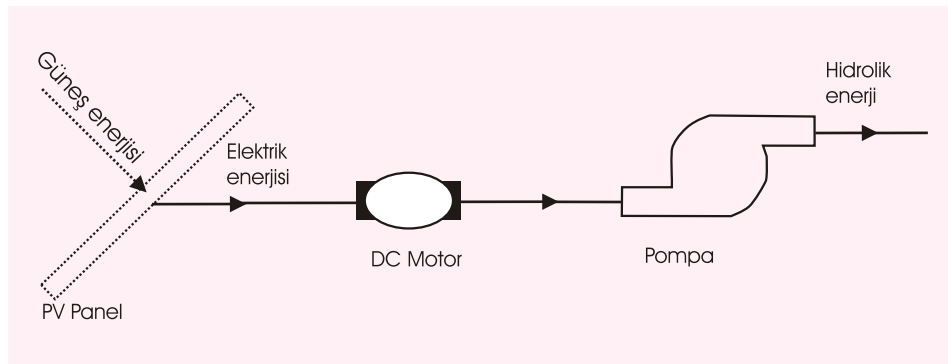
Tarıma dayalı ekonomik yapısı bulunan GAP Bölgesine ait illerde, sulama amaçlı tüketilen elektrik enerjisinin, toplam elektrik tüketimi içerisindeki payı, %20 ile %40 gibi yüksek değerlere ulaşmaktadır [3]. PVDSP sistemlerinin yaygın kullanımı, bu oranın düşürülmesinde en iyi alternatiflerden biri olarak gözükmektedir. GAP Bölgesinde sulama gereksiniminin yüksekliği dışında; güneş ışınım potansiyelinin ülke standartlarının üzerinde olması, şebeke bulunan sulama bölgelerinde aşırı yüklenmeler sebebiyle güvenilir elektrik temininin mümkün olmaması ve birçok kırsal arazide elektrik hattı bulunmaması gibi sebepler de PVDSP kullanımına geçişi teşvik eder doğrultudadır [3].

PVDSP sistemlerinin en basit kombinasyonu; Şekil 1'de gösterilen ve DC motor-pompa ikilisinin, panellere hiçbir ara düzenleyici olmadan direkt bağlandığı, direkt-aküpleli sistemlerdir. Bu tür sistemlerde; gün boyunca ışınım şiddetinin gösterdiği sinüzoidal değişime bağlı

olarak, değişen değerlerde çıkan gerilim ve akım, motora direkt olarak verildiğinden, sistemin çalışması ancak ihtiyaç duyduğu gücü (sistem yükü) sağlayan gerilim ve akım değerlerinin temini ile mümkün olur [4]. Direkt-akupleli sistemlere ek olarak, PV panel ve motor arasına bataryanın yerleştirildiği bataryalı [5] ve panellerin akım-gerilim (I-V) çıktılarını maksimum elektriksel güç teminine uygun olarak düzenleyen bir elektronik kontrol cihazının bulunduğu maksimum güç noktası izleyicili (MPPT) gibi kombinasyonları bulunmaktadır [6]. Bataryalı sistemlerde; panel ile motor arasındaki batarya, sistemin güneş ışınım şiddetindeki değişimleri direkt olarak sisteme yansıtmadan sabite yakın bir gerilimde sistemi çalıştırır. Sabit gerilimin en büyük getirisi ise panel sayısı ve konfigürasyonunda yapılacak bir optimizasyonla, sistemin optimum çalışma noktalarına yakın noktalarda, çalışabilmesidir [5,7]. Maksimum güç noktası izleyicili (MPPT) sistemlerde ise, PV panelin her zaman maksimum güce karşılık gelen noktalarda çalışması temin edilebilmekte ve bu nedenle daha yüksek performansa ulaşılabilmektedir [6]. Ancak; gerek bataryalı, gerekse MPPT kullanan sistemlerde ilk yatırım maliyeti önemli oranlarda artmakta ve ayrıca sisteme eklenen cihazlar nedeniyle çalışma güvenilirliği azalmaktadır [8].

pompa ikililerinin üzerinde yapılan ilk çalışmalarda, panel karakteristiklerine en uygun yük eğrilerine, DC motor- merkezkaç pompa ikilisinin sahip olduğu görülmüştür [9,10]. Daha sonra farklı motor-pompa ikilileri için yapılan araştırmalar bu sonucu değiştirmemiştir [11-13]. İlk etapta konvansiyonel DC (seri, şönt, kompunt) motorlar üzerine yoğunlaşan çalışmalar, teknolojiye sağlanan gelişmeler sonucu geliştirilen kendinden uyarılı DC motorlar, üzerine yoğunlaşmış ve yapılan çalışmalar kendinden uyarılı DC motorun, konvansiyonel DC motorlara nazaran daha uygun karakteristiklere sahip olduğu görülmüştür [14,15]. Son yıllar da ise çalışmalar daha çok sistem tasarımı üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalardaki temel amaç, panel alanını olabildiğince azaltmak yani panellerden optimum şekilde yararlanılabilecek tasarım koşullarının saptanmasıdır. Bu amaca yönelik olarak panel sayısı ve konfigürasyonlarının optimum seçimi ile ilgili birçok çalışma (örneğin; [2,4, 16-20]) bulunmaktadır.

Bu çalışmada, küçük ölçekte su teminine yönelik direkt-akupleli bir PV-DSP sistemi deneysel olarak analiz edilmektedir. Sistemde; amorf-silikon hücreli PV panellere akupleli mono-blok bir konvansiyonel DC motor - merkezkaç dalgıç pompa ikilisi



Şekil 1. Direkt-Akupleli Bir PV-Pompa Sistemine Ait Şematiğin Görünümü

Belirtilen nedenlerden dolayı, literatürde direkt-akupleli sistemlere yönelik çalışma ve uygulamalar yoğunluk kazanmıştır. Direkt-akupleli sistemler için; DC motor-merkezkaç pompa ve DC motor-volümetrik

bulunmaktadır. Sistemin günlük çalışması sırasında etkili olan parametrelerin anlık ve ortalama değerler bazında değişimlerine ait ölçüm ve hesaplama sonuçları sunulmuştur.

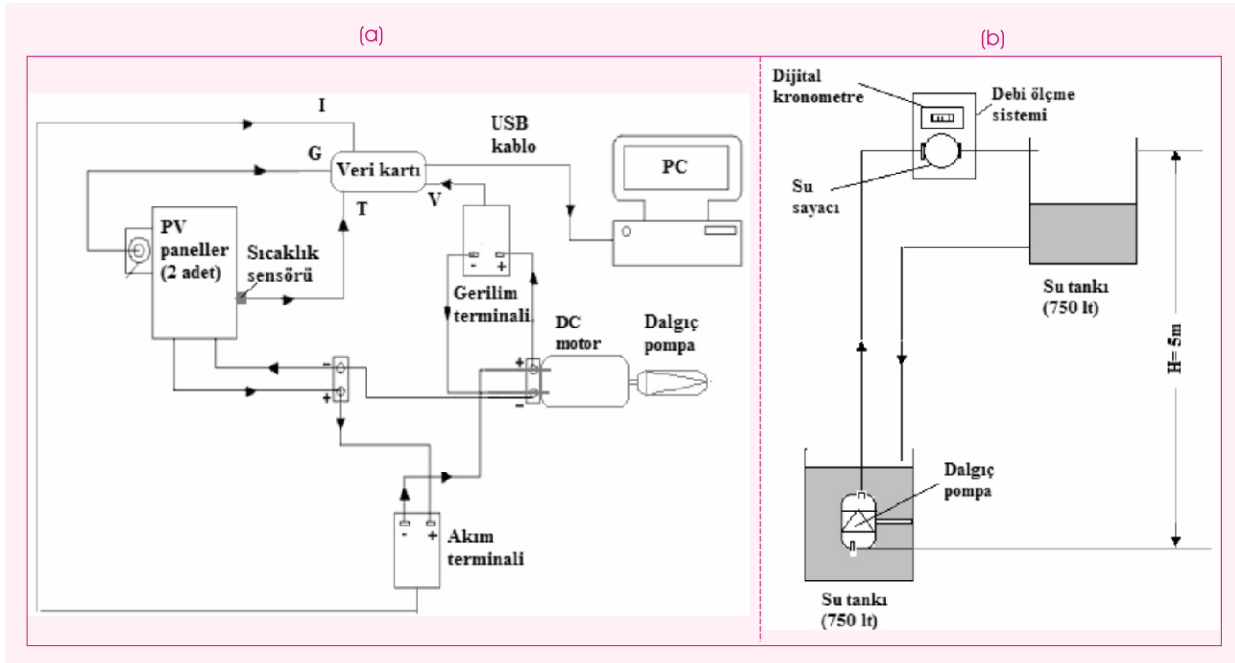
DENEY DÜZENEĞİ

PV panellerin uzun süreli performanslarını tespit etmek amacıyla, çok sayıda parametrenin ölçümüne olanak sağlayan bir elektronik ölçüm düzeneği kurulmuştur. Şekil 2(a)'da şematik gösterimi verilen ölçüm sistemi temel olarak; toplam güneş ışınımını (G) ölçmek için kullanılan ve panellerle aynı eğim açısında yerleştirilen bir piranometre, PV panellerin voltaj (V) ve akımını (I) ölçmek için kullanılan gerilim ve akım terminaleri, panel yüzey sıcaklığının (T) tespiti için kullanılan bir LM35 tip sıcaklık sensörü, bir veri kartı ve verilerin aktarıldığı bir bilgisayardan oluşmaktadır. Dizaynı tarafımızdan yapılan veri kartı [21], 10 bit hassasiyetinde ve 8 kanallı olup, bu kanallardan 3 tanesi akım ölçmek amacıyla, 4 tanesi voltaj ölçmek amacıyla ve geriye kalan 1 kanal da çevre-panel yüzey sıcaklığının tespiti amacıyla kullanılmaktadır. Veri kartındaki her bir kanal, 1-64 saniyede bir data ölçme-aktarma kapasitesine sahip olup, bir PV panel için geçerli dinamik değişimleri belirleme olanağı fazlasıyla mevcuttur. Veri kartının bilgisayarla bağlantısı RS-232 veya USB kablo ile sağlanabilmektedir. Veri kartına ait yazılım, Visual Basic programlama dili ile yazılmış olup, ölçülen veriler, bir

metin belgesine kaydedilmekte ve bu metin belgesi Excel dosyasından çağırıldığında, her bir kanaldan ölçülen değerler ayrı eksenlerde görülmektedir. Veri kartı kullanılarak 0-64 saniye gibi çok küçük zaman aralıklarında dahi gerçekleştirilebilen ölçümler sayesinde, PV panellerin anlık performansları hassas olarak tespit edilmektedir.

Şekil 2(a)'da gösterilen düzeneğe bağlı monoblok DC motor-dalgıç pompa (Model: LVM 111 Amazon Pompa, Maksimum Güç: 74 W) ikilisinin hidrolik sistem üzerindeki yerleşimleri Şekil 2(b)'de gösterilmektedir. Hidrolik sistemde ayrıca, iki adet (750 lt hacimli) su tankı, iki tank arası gidiş-dönüş hortumları ve bir debi ölçme düzeneği bulunmaktadır. Debi ölçme işlemi; bir su sayacı (0.1 lt hassasiyetinde) ile dijital bir kronometre (0.01 s hassasiyetinde) vasıtasıyla, 20 dakikalık zaman ortalaması olarak, yüksek doğrulukta belirlenebilmektedir. İki su tankı arasındaki kot farkı, pompa statik yükü $H=5m$ olacak şekilde seçilmiş ve deneyler bu değer için gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde, Ek-1'de teknik özellikleri verilen Solarex SX60U tipi iki adet (paralel-bağlı) PV panel kullanılmış olup, paneller eğim açısı ayarlanabilir ergonomik bir



Şekil 2. (a) Elektronik Ölçüm Sistemi Bileşenleri, (b) Hidrolik Sistem Bileşenleri

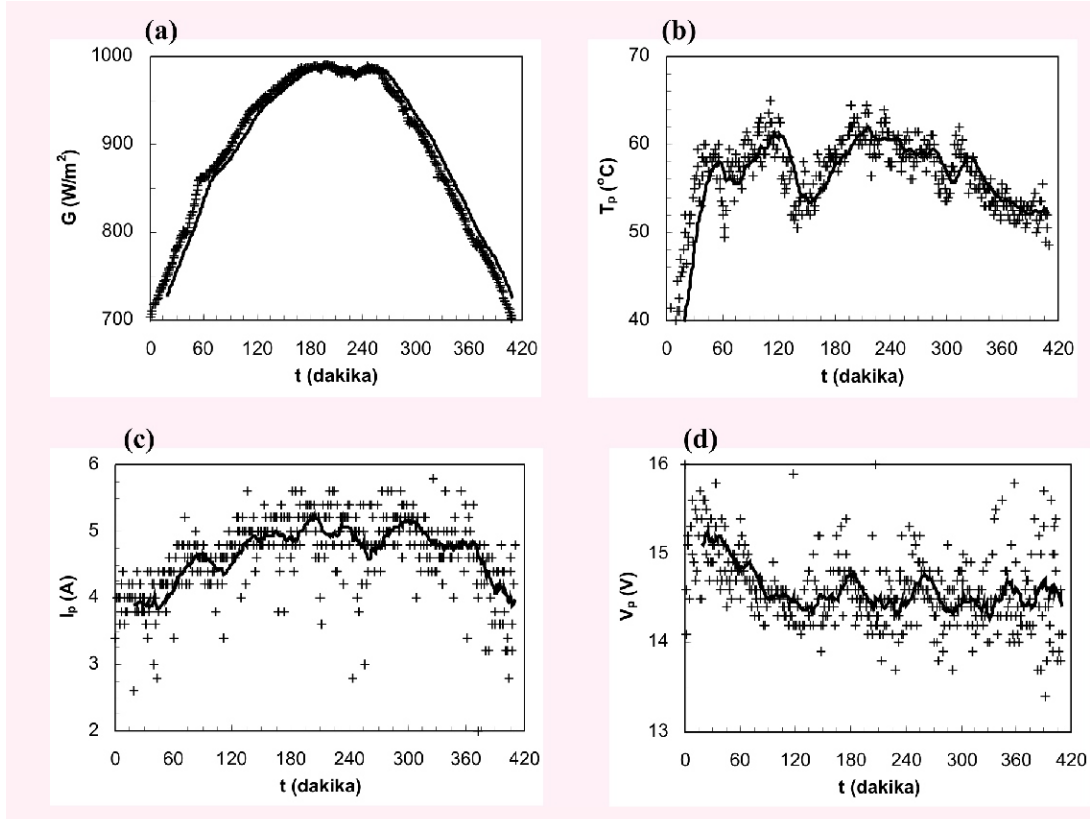
sehpa üzerine yerleştirilmiştir. Tarafımızdan dizayn edilen bu sehpa [22] vasıtasıyla, panellerin eğimi, deneylerin yapıldığı ay için geçerli optimum aylık eğim açısına eşit olacak şekilde ayarlanabilmektedir. Bu çalışmada sunulan deneyler, Temmuz (2005) ayı içerisinde gerçekleştirildiğinden, panel eğimi için, Şanlıurfa için optimum aylık eğim açısı değeri (Bknz: [10]) olan $\alpha_{opt}=0^\circ$ değeri kullanılmıştır.

DENEYSEL YÖNTEM VE DENEYSEL SONUÇLAR

Dinamik atmosfer koşullarının, PV-su pompası sistemine ait çalışma parametreleri üzerinde etkisini belirlemek amacıyla farklı günlerde deneyler yapılmıştır. Deneyler sırasında ışınım şiddeti, akım, gerilim ve sıcaklık parametrelerinin anlık değerleri 1 dak. (60 s) aralıkla direkt olarak ölçülmüştür. Su debisi ise, belirli bir zaman aralığında ($\Delta t=20$ dak.) sayaçtan geçen su kütlesinin,

zamana bölünmesi suretiyle dolaylı yöntemle gerçekleştirilmiştir. Temmuz ayına ait tipik bir gün (19/07/2005) için sisteme ait parametrelerdeki (G , T_p , I_p ve V_p) anlık değerlerin, gün içerisindeki değişimleri Şekil 3'de gösterilmektedir.

Şekil 3(a)'dan görüleceği üzere deneylerin yapıldığı güne ait G değerleri, $700-990 \text{ W/m}^2$ gibi yüksek değerlerde seyretmekte ve maksimum güneş ışınımına (beklenildiği üzere) öğle saatlerinde ulaşılmaktadır. Şekil 3(b)'de gösterilen T_p değerleri, deney başlangıcından yaklaşık bir saat sonra 60°C gibi yüksek bir değere ulaşmakta ve deney süresince küçük dalgalanmalar hariç genellikle sıcaklık $55-65^\circ\text{C}$ arasında seyretmektedir. Panel sıcaklığında ulaşılan bu yüksek değerlerin, panel için nominal sıcaklık değeri olan $T_p = 25^\circ\text{C}$ 'de verilmiş güç çıktılarına kıyasla, 8-11 W azalmaya sebep olacağı daha önce yapılan teorik hesaplamalardan bilinmektedir (Bknz:



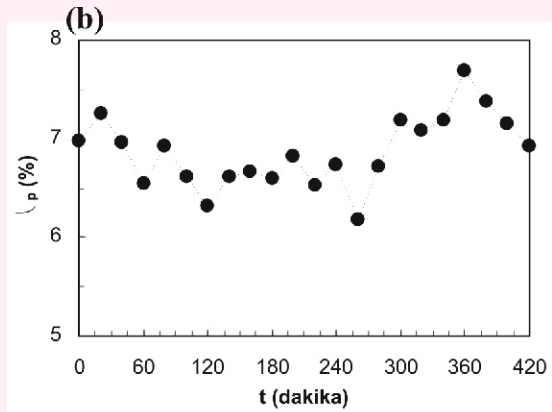
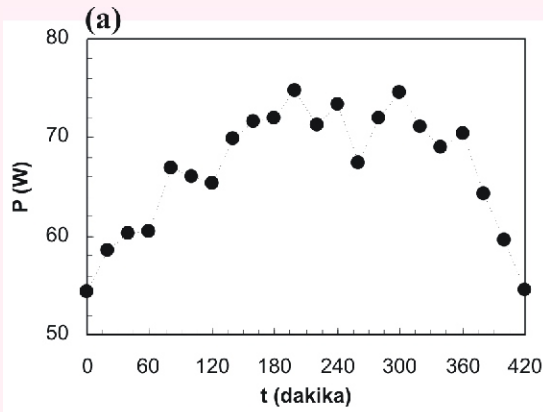
Şekil 3. Sisteme Ait Parametrelerdeki Anlık Değişimler; (a) Işınım Şiddeti, (b) Panel Yüzey Sıcaklığı, (c) Panel Akımı, ve (d) Panel Voltajı. Grafiklerde $t=0$ anı, Deneylerin Başladığı Saat Olan 09:15'e Karşılık Gelmektedir. Anlık Ölçülen Değerler (+) Sembolü ile, Datalara Ait Hareketli Ortalamalar ise Sürekli Çizgi ile Gösterilmiştir.

[23]). Gerçekte bu etkiyi, Şekil 3(c)'de gösterilen I_p değerlerinden ziyade, Şekil 3(d)'de verilen V_p değerlerinden gözlemek mümkündür. I_p değerlerinin, deney süresince değişimi daha çok 'G' değerlerinden etkilenmektedir. V_p değerlerinde (dolayısıyla panel çıkış gücündeki) azalmaların olduğu anlarda ise, T_p değerlerinin genellikle yüksek olması dikkat çekici noktalardan biri olarak değerlendirilebilir.

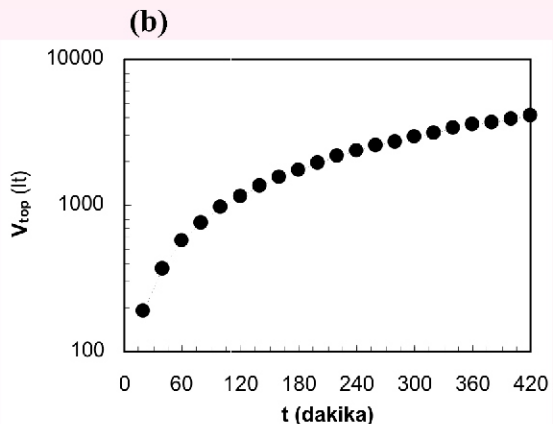
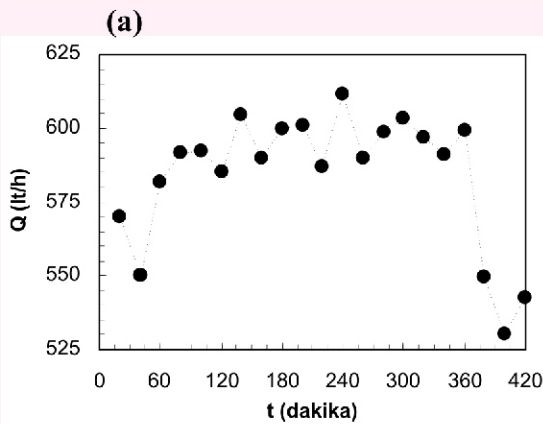
Ölçüm yapılan anlık değerlerin 20 dak. aralıkla hesaplanan ortalama değerleri kullanılarak belirlenen, panel çıkış (veya pompa giriş) gücü (P) ile panel verimi (η_p) değerleri Şekil 4(a) ve 4(b)'de gösterilmiştir. Deneylerin başlangıç ve bitiş anlarına yakın noktalar dışındaki zaman aralığında; P değerlerinin 60-75 W, η_p

değerlerinin ise % 6.5-7 arasında değişmekte olduğu gözlenmektedir.

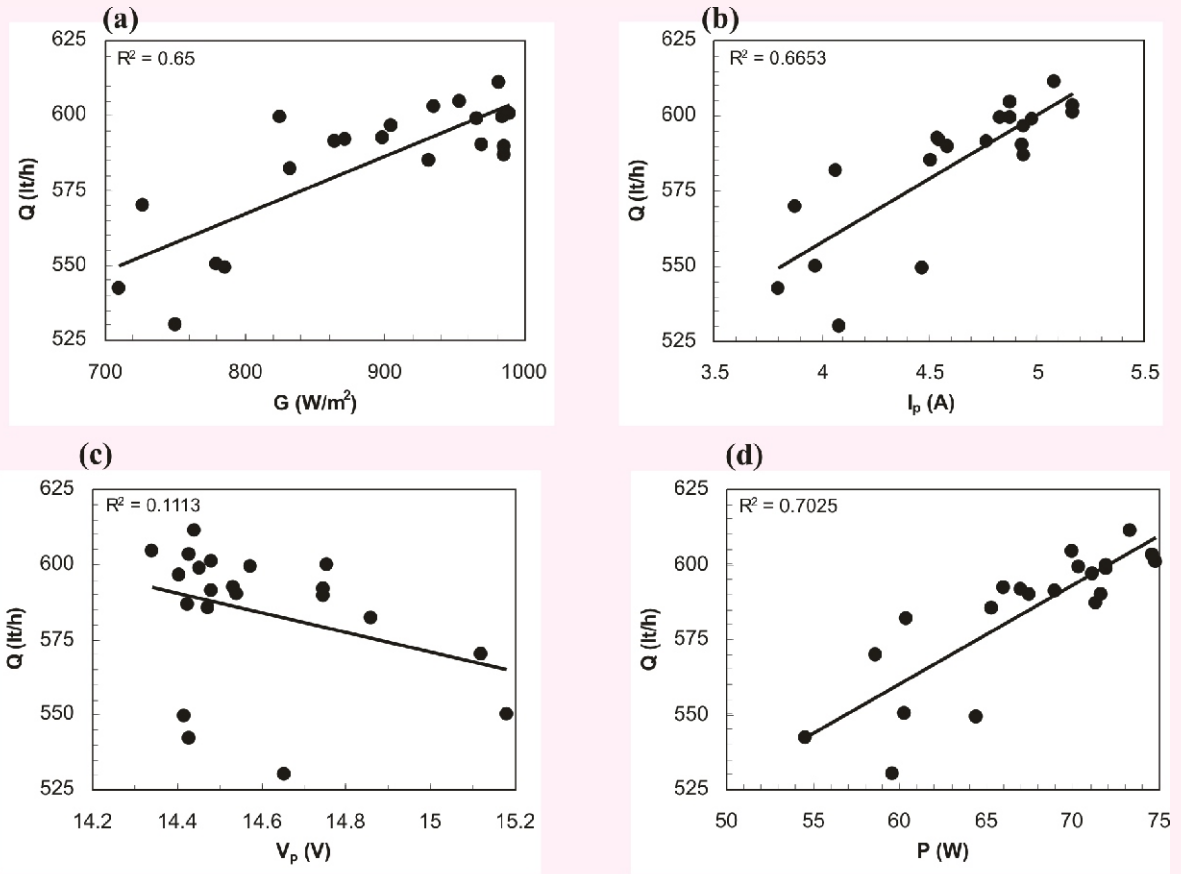
Deneyler süresince her 20 dakikada bir ölçülen debi (Q) değerleri ile pompalanan toplam su hacmi (V_{top}) değerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 5(a) ve 5(b)'de gösterilmiştir. Işınım şiddetinin en düşük olduğu deney başlangıç ve bitişine yakın süreler dışında, Q değeri 590-610 lt/dak gibi birbirine çok yakın değerler arasında değişmektedir. Bu sabite yakın değişim Şekil 5(b)'den görüleceği üzere, V_{top} değerinde yaklaşık doğrusal bir artışa sebep olmaktadır. Deney süresi ($t=420$ dak.) boyunca, pompalanan toplam su miktarının ise V_{top} 4100 lt. (4.1 ton) değerine ulaştığı belirlenmiştir.



Şekil 4. (a) Ortalama Panel Çıkış (veya pompa giriş) Gücündeki Zamansal Değişim, (b) Ortalama Panel Verimindeki Zamansal Değişim.



Şekil 5. (a) Su Debisindeki Zamansal Değişim, (b) Pompalanan Toplam Su Hacmindeki Zamansal Değişim.



Şekil 6. Pompa Debisi ile PV Panel Çalışma Parametreleri Arasındaki İlişki; (a) Işınım Şiddeti, (b) Panel Akımı, (c) Panel Voltajı, ve (d) Panel Gücü.

Son olarak, pompa debisi (Q) ile PV panel çalışma parametreleri (G, I_p , V_p ve P) arasında bir doğrusal ilişkinin mevcut olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla çizilen grafikler Şekil 6'da gösterilmiştir. Göz önüne alınan parametreler ile Q arasında güvenle kullanılacak ($R^2 > 0.95$) bir ilişki (teorik analizlerden de bilindiği üzere, Bknz: [4]) mevcut gözükmemektedir. Ancak ilginç olan nokta, V_p ile Q arasında (diğer parametrelerin aksine) zıt yönde bir ilişkinin bulunması ve korelasyon katsayısının $R^2 = 0.1113$ gibi çok düşük bir değere sahip olmasıdır. Ayrıca; çok hassas hesaplama gerekmeyen durumlarda, su debisinin yaklaşık tahmini için, en uygun parametrenin, en büyük korelasyon katsayısına

($R^2 = 0.7025$) sahip, panel çıkış gücü olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

BULGULAR VE SONUÇ

Bu çalışmada, küçük ölçekte su teminine yönelik direkt-aküpleli prototip bir PVDSP sistemi deneysel olarak analiz edilmiş olup, sistemin günlük çalışması sırasında etkili olan parametrelerin anlık ve ortalama değerler bazında değişimlerine ait ölçüm ve hesaplama sonuçları sunulmuştur. Deneysel sonuçlar kullanılan prototip sistem için geçerli olmakla birlikte, sistem tasarım ve kullanıcılarının göz önüne alması gereken noktalar aşağıda özetlenmiştir:

- i) Dinamik atmosfer koşulları nedeniyle, temel sistem parametrelerinin anlık değerlerinde önemli dalgalanmalar beklenilmelidir.
- ii) Güneş ışınım değeri, PV panel akımını doğru orantılı; panel sıcaklığı ise voltaj değerini ters orantılı olacak şekilde ciddi seviyede etkilemektedir.
- iii) Anlık değerlerdeki dalgalanmalara karşılık, pompalanan ortalama su debisindeki değişimin küçük olduğu gözlenmiştir.
- iv) PV panel parametrelerinin sadece biri kullanılarak, debi tahmini yapmak gerektiğinde, en uygun parametre panel çıkış gücüdür. Ancak bu durumda bile hesaplamalarda önemli sapmalar olacağı önceden dikkate alınmalıdır.
- v) PV-pompa sisteminin ilk yatırım maliyeti yüksek, sistem toplam verimi (sağlanan hidrolik güç/gelen güneş ışınım gücü) düşüktür. Mevcut sistemin toplam maliyeti yaklaşık 600 EUR olup, toplam verim değeri %2 seviyelerindedir. PV-pompa sistemleri, sürekli elektrik temininin mümkün olduğu koşullarda henüz avantajlı gözükmemektedir. Ancak mevcut sistemde; küçük ölçekte basit bir pompa kullanılmış ve enerji bedeli ödemedi, günlük toplam 4.1 ton suyun 5m. yükseklikte kullanıma hazır hale getirilmesi mümkün olmuştur. Bu somut değerleri yeterli bulan kullanıcıların sayısının az olmaması nedeniyle, PV-pompa sistemleri, günümüzde en çok talep edilen PV uygulamaları arasında bulunmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu (HÜBAK Proje No: 457) tarafından kısmen desteklenmiştir.

SEMBOLLER

G	: Panel yüzeyine gelen toplam ışınım şiddeti (W/m ²)
H	: Pompa statik yükü (m)
I	: Akım (A)
I _p	: Panel akımı (A)
P	: Panelin çıkış veya pompa giriş gücü (W)
Q	: Pompa debisi (lt/h)
t	: Zaman (dak)
T	: Sıcaklık (°C)
T _p	: Panel sıcaklığı (°C)
V	: Gerilim (V)
V _p	: Panel gerilimi (V)
V _{top}	: toplam su hacmi (lt)
α _{opt}	: Panel için aylık optimum eğim açısı (°)

Ek-1: Solarex SX60U PV Panelin Standart Test Koşullarındaki* Teknik Özellikleri

Nominal Gücü	60 W
Açık devre gerilimi	21 V
Maksimum noktada panel gerilim çıkışı	16,8 V
Kısa devre akımı	3,87 A
Maksimum noktada panel akım çıkışı	3,56 A
Panel verimi	% 10,8
Panel boyutları (mm)	1110x502x50

*Standart test koşulları: G=1000 W/m², T=25°C

KAYNAKÇA

1. Posorski, R., " Photovoltaic Water Pumps, An Attractive Tool For Rural Drinking Water Supply", Solar Energy 58, 155-163, 1996.
2. Odeh, I, Yohanis, Y.G., Norton, B., " Economic Viability of Photovoltaic Water Pumping Systems", Solar Energy, in press, 2005.
3. Yeşilata B, Aktacir A. "Fotovoltaik Güç Sistemli Su

- Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması" Mühendis ve Makina Dergisi, 42, 493, 29-34, 2001.
4. **Fıratöğlü, Z.A., Yeşilata B.** " New Approaches on the Optimization of Directly-Coupled Photovoltaic Water-Pumping Systems" Solar Energy, 77, 1, 81-93, 2004.
 5. **Fıratöğlü, Z.A., Yeşilata B.**, "Bataryalı ve Direkt Akupleli Fotovoltaik Pompa Sistemlerinin Çalışma Karakteristiklerinin Araştırılması", Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 2, 1-11, 2003.
 6. **Fıratöğlü, Z., A., Yeşilata B., Bülent,** "Maksimum Güç Noktası İzleyicili Fotovoltaik Sistemlerin Optimum Dizaynı ve Çalışma Koşullarının Araştırılması", Dokuz Eylül Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 1, 2003.
 7. **Fıratöğlü Z. A., Yeşilata B.**, "Lineer Elektriksel Yüke Bağlı PV Panellerin Optimizasyonu ve Bölgesel Uygulanabilirliğinin Araştırılması", Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 64-70, Şubat-2003.
 8. **Short, T.D. and Oldach, R.,** Solar Powered Water Pumps: The Past, the Present-and the Future?. Solar Energy Engineering 125, 76-82, 2003.
 9. **Appelbaum, J., Bany, J.,** "Performance Analysis of D.C. Motor Photovoltaic Converter System-I", Solar Energy, Vol 22, pp 439-445, 1978.
 10. **Appelbaum, J.,** "Performance Analysis of DC Motor-Photovoltaic Converter System-II", Solar Energy, Vol 27, pp 421-431, 1981.
 11. **Landridge, D., Lawrance, W.,** "Development of a Photovoltaic Pumping System Using a Brushless D.C. Motor and Helical Rotor Pump", Solar Energy, Vol 55, pp 151-160, 1996.
 12. **Vetter, G., Wirth, W.,** "Suitability of Eccentric Helical Pumps for Turbid Water Deep Well Pumping in Photovoltaic Systems", Solar Energy, Vol 51, pp 205-214, 1993.
 13. **Anis, W. R., Mertens, R. P., Van Overstraeten, R. J.,** "Coupling of a Volumetric Pump to a Photovoltaic Array", Solar Cells, Vol 14, pp 27-42, 1985.
 14. **Hsiao, Y. R.,** "Direct Coupling of Photovoltaic Power Source to Water Pumping System", Solar Energy, Vol 32, pp 489-498, 1984.
 15. **Suehrcke, H., Appelbaum, J., Reshef, B.,** "Modeling a Permanent Magnet DC Motor/Centrifugal Pump Assembly in a Photovoltaic Energy System", Solar Energy, Vol 59, pp 37-42, 1997.
 16. **Fraidenraich, N., Vilela, O. C.,** "Performance of Solar Systems With Non-Linear Behavior Calculated by The Utilizability Method: Application to PV Solar Pumps", Solar Energy, Vol 69, pp 131-137, 2000.
 17. **Narvarre, L., Lorenzo, E., Caamano E.,** "PV Pumping Analytical Design and Characteristics of Boreholes", Solar Energy, Vol 68, pp 49-56, 2000.
 18. **Al-Karaghoulali, A., Al-Sabounchi, A. M.,** "A PV Pumping System", Applied Energy, Vol 65, pp 145-151, 2000.
 19. **Fıratöğlü, Z., A., Yeşilata, B.,** "Fotovoltaik Güç Destekli Dalgıç Pompa Sistemlerinde Optimum Dizayn Koşullarının Araştırılması", Tesizat Mühendisliği Dergisi, 59-66, Nisan-Mart 2001.
 20. **Fıratöğlü, Z.A.,** Fotovoltaik Destekli Su Pompalarının Analizi ve Optimizasyonu", Y. Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 2003.
 21. **Aydın M., Süzer, H., Yeşilata, B.,** "Fotovoltaik Sistemlerde Anlık Çalışma Koşullarının Ölçümü İçin Özgün Bir Veri (DAQ) Kartı Tasarımı", 3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM2005, 19-21 Ekim 2005, Mersin), Bildiriler Kitabı, sy .108-111 (2005).
 22. **Aydın M., Yeşilata, B.,** "Eğim Açısı Ayarlanabilir Ekonomik PV Sistem Sehпасı Tasarımı", 3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM2005, 19-21 Ekim 2005, Mersin) Bildiriler Kitabı, sy .74-78 (2005).
 23. **Aydın, M., Yeşilata, B.,** "Fotovoltaik panellerde deneysel yöntemle güç optimizasyonu", 15. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi (ULIBTK'05, 7-9 Eylül 2005, Trabzon), basımda, (2005).