

FOTOVOLTAİK GÜÇLE ÇALIŞAN BİR BUZDOLABI SİSTEMİNİN DENEYSEL ANALİZİ

Bülent YEŞİLATA, Yusuf IŞIKER

Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu çalışmada, düşük soğutma yüküne sahip bir fotovoltaik (PV)-buzdolabı sistemi deneysel olarak incelenmektedir. Sistemde, paneller ile buzdolabı arasında bir inverter ve bir batarya grubu bulunmaktadır. Panel DC çıkış gücü, buzdolabı AC giriş gücü, batarya kullanım oranı ile panel ve dondurucu bölme sıcaklıkları değerlerindeki anlık değişimler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, mevcut sistemle sıcaklığın -14°C seviyelerine düşebildiğini ve güneşli anlarda bataryaya çok az yük düşüğünü göstermektedir. Bataryada depolanan elektrik enerjisi, sistemi gece boyunca kesintisiz olarak çalıştırabilecek düzeydedir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik (PV) panel, buzdolabı, soğutma

ABSTRACT

In this experimental study, a photovoltaic (PV)-refrigerator system with low cooling load is analyzed. The system consists of an inverter and a battery-bank in addition to the PV panels and a refrigerator. The instantaneous variations in some parameters, such as DC power output of the panels, AC power input of refrigerator, the utility-status of the battery bank, temperatures of panel and freezer, are measured. The results obtained here show that low temperature of -14°C can be reached and the battery-use remain low when the sun is available. Besides, the accumulated battery energy is enough to provide power to the system during night hours.

Keywords: Photovoltaic (PV) panel, refrigerator, cooling

Giriş

Sağlık sektöründe; ilaç, aşı ve kanın istenilen düşük sıcaklıkta muhafazası için kesintisiz güç kaynağına gereksinim vardır. Muhafaza amacıyla kullanılan soğutma cihazları (buzdolabı ya da derin dondurucu) genellikle elektriğe bağımlı sistemlerdir. Kırsal yörelerde bulunan sağlık birimlerinde ise, güvenilir ve kesintisiz elektrik temini genellikle sorun olmaktadır. Bu nedenle, fotovoltaik (PV) destekli soğutma uygulamalarına son yıllarda ilgi artmaktadır [1,2]. Özellikle az gelişmiş ülkelerde, PV-buzdolabı sistemleri 'Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization-WHO) desteğiyle yoğun olarak kullanılmaktadır [3].

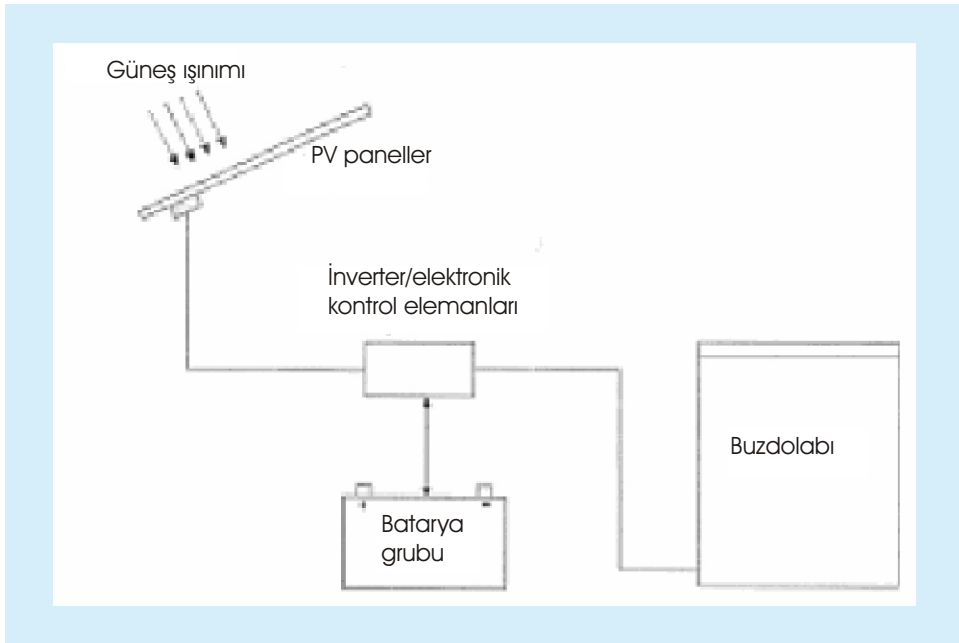
PV-buzdolabı sistemlerinin, ülke gelişmişlik düzeyinden bağımsız olarak, kırsal yöreler için bir çözüm olduğu konusunda da yaygın bir görüş birliği vardır [4,5]. İlk yatırım masrafının yüksekliğine karşın, kırsal yöreler için ekonomik olmasının temel sebepleri; yeni elektrik şebekesi döşenmesinin yaratacağı ilk yatırım maliyetini ortadan kaldırması ve işletme masrafının bulunmamasıdır. Ayrıca, PV panellerin uzun ömürlü olmaları (20-30 yıl) dolayısıyla, ilk yatırım masrafındaki

yükseklik, kullanım süresi bazında yapılan analizlere göre, kolayca telafi edilebilmektedir [6]. Elektrik hattı olan noktalarda ise; yakıtla çalışan jeneratöre kıyasla önemli üstünlüklere sahiptir. Örneğin, yakıt gereksinimi yoktur ve mekanik bileşeni bulunmaması sebebiyle de, uzun süre bakım ve onarım gerektirmemektedir. Çevreye zararlı bir atığı bulunmamaktadır. Bu üstünlükleri sebebiyle, PV-buzdolabı sistemleri, mevsimlik ve seyrek kullanımda olan yazlık, villa ve sayfiye yerlerinde de tercih edilmektedir. Bu tür yerleşim yerlerinde, kullanımın yüksek olduğu dönemlerde; güneş ışınımının yüksek olması, kullanımın düşük olduğu dönemlerde ise; sistemin insan kontrolüne gerek duymaması, gibi üstünlükleri bulunmaktadır [7-9].

Tipik bir PV-buzdolabı sistemine ait bileşenler, Şekil 1'de gösterilmiştir. Sistemde mekanik buhar sıkıştırımlı buzdolabı sistemine bağlı, PV-inverter ikilisi, şebekedeki bir priz ile aynı görevi, yani elektrik temin noktası görevini, yüklenmektedir. İnvertere bağlı batarya, sistemin ilk çalışma anında çektiği aşırı güç anı ile güneş olmadığı anlardaki enerjinin temini için kullanılmaktadır. Mevcut sistemde, buzdolabı yerine direkt buzluk ya da ilaç

muhafaza dolabının kullanıldığı farklı uygulamalar söz konusudur [10]. Bu uygulamalar arasında, direkt DC motor kullanan sistemler oldukça yaygındır. Bu durumda inverter gerekli değildir. Son yıllarda 'SunDanzer' firması tarafından geliştirilmiş bir teknoloji [5], batarya kullanımını

yerleştirilen bir piranometre, PV panellerin voltaj (V) ve akımını (I) ölçmek için kullanılan gerilim ve akım terminalleri, panel yüzey sıcaklığının (T) tespiti için kullanılan bir LM35 tip sıcaklık sensörü, bir veri kartı ve verilerin aktarıldığı bir bilgisayardan oluşmaktadır.



Şekil 1. Bir PV-Buzdolabı Sistemine Ait Şematik Görünüm

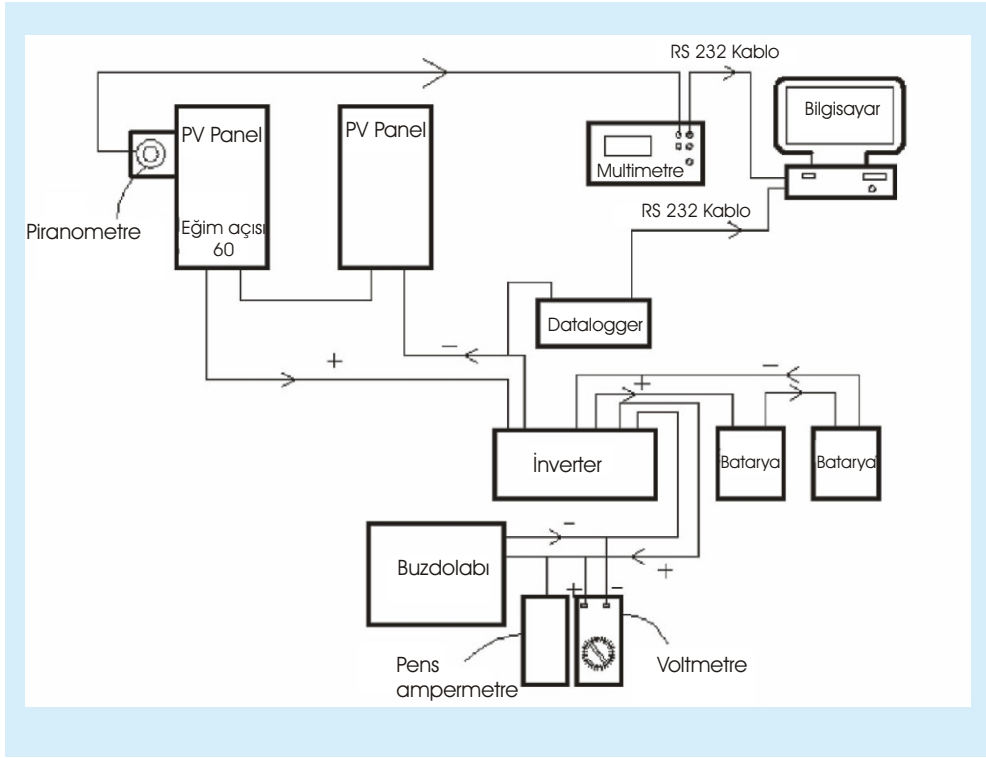
da ortadan kaldırmış olup, sistem sadece direkt-akupleli PV-buzdolabı ikilisi ile bir elektronik düzenleyiciden oluşmaktadır.

Bu çalışmada, düşük soğutma yüküne sahip bir PV-buzdolabı sistemi deneysel olarak analiz edilmektedir. Sistemin günlük çalışması sırasında etkili olan parametrelerin anlık ve ortalama değerler bazında değişimlerine ait ölçüm ve hesaplama sonuçları sunulmuştur.

DENEY DÜZENEĞİ VE YÖNTEM

PV panellerin uzun süreli performanslarını tespit etmek amacıyla, çok sayıda parametrenin ölçümüne olanak sağlayan bir elektronik ölçüm düzeneği kurulmuştur. Şekil 2'de şematik gösterimi verilen ölçüm sistemi temel olarak; toplam güneş ışınımını (G) ölçmek için kullanılan ve panellerle aynı eğim açısında

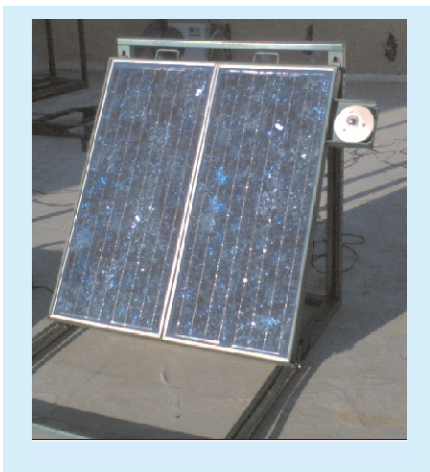
Tasarımı tarafımızdan yapılan veri kartı [11], 10 bit hassasiyetinde ve 8 kanallı olup, bu kanallardan 3 tanesi akım ölçmek amacıyla, 4 tanesi voltaj ölçmek amacıyla ve geriye kalan 1 kanal da çevre-panel yüzey sıcaklığının tespiti amacıyla kullanılmaktadır. Veri kartındaki her bir kanal, 1-64 saniyede 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 çağrıldığında, her bir kanaldan ölçülen değerler ayrı sütunlarda görülmektedir. Veri kartı kullanılarak 0-64 saniye gibi çok küçük zaman aralıklarında dahi gerçekleştirilebilen ölçümler sayesinde, PV panellerin anlık performansları



Şekil 2. Düzeneginin Ölçüm Sistemi Bileşenleri ile Birlikte Şematik Gösterimi

hassas olarak tespit edilmektedir. Piranometre çıkışı 'mV' seviyesinde olduğundan, hassasiyeti yükseltmek amacıyla gürültü-filtreli çok hassas bir multimetre (Keithley 2000) tarafından alınan ölçümler, bir RS-232 bağlantısıyla bilgisayara aktarılmıştır.

Deneylerde, Ek-1'de teknik özellikleri verilen Solarex



Şekil 3. PV Paneller ile Piranometrenin, Eğim Açısı Ayarlanabilir Sehpa Üzerindeki Görüntüsü

SX60U tipi iki adet (seri-bağlı) PV panel kullanılmış olup, paneller Şekil 3' te gösterilen eğim açısı ayarlanabilir ergonomik bir sehpa üzerine yerleştirilmiştir. Tarafımızdan tasarımı yapılan bu sehpa [12] vasıtasıyla, panellerin eğimi, 0°-60° aralığında ayarlanabilmektedir. Bu çalışmada, Şanlıurfa için tarafımızdan tespit edilen optimum aylık eğim açısı değerleri [13] göz önüne alınarak; PV paneller için $\alpha=60^\circ$ eğim açısı değeri kullanılmıştır.

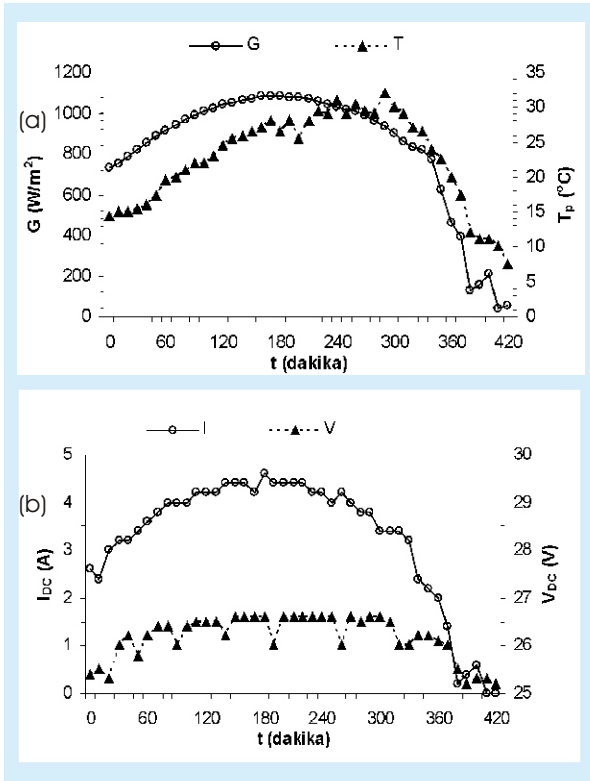
PV buzdolabı sisteminde kullanılan buzdolabı; B sınıfı-tezgah tipi (Regal marka, maksimum enerji tüketimi 860Wh), iki bölmesi (dondurucu ve muhafaza bölgeleri) bulunan bir buzdolabıdır. Sistemde, paneller tarafından üretilen doğru akımın, alternatif akıma dönüştürüldüğü bir inverter (Solarix 900 RI) mevcuttur. Nominal çalışma voltajı 24 V olan şarj kontrol ünitesi inverter, paneller tarafından gönderilen 20 V-38 V arası gerilim değerlerini, 220 V nominal AC gerilimine dönüştürmektedir.

Buzdolabı tarafından çekilen güçle, panelin ürettiği güç arasında bir fark olması durumunda, güç fazlalığı

(ya da eksikliği) seri bağlı 12 V'luk (80Ah enerji kapasiteli) iki bataryadan oluşan batarya sistemine depolanmaktadır (ya da batarya sisteminden temin edilmektedir). Batarya genellikle; sistemin ilk çalışma anı ile güneşin yetersiz olduğu (ya da hiç olmadığı) anlarda gerekli olmakla birlikte, DC voltajdaki aşırı dalgalanmaları sönmülemde de etkili olmaktadır.

DENEYSEL SONUÇLAR

Dinamik atmosfer koşullarının, PV-buzdolabı sistemine ait çalışma parametreleri üzerinde etkisini belirlemek amacıyla, farklı günlerde deneyler yapılmıştır. Deneyler sırasında ışınım şiddeti, DC ve AV akım-gerilim değerleri ile PV panel, ortam ve dondurucu bölmesi sıcaklıklarının anlık değerleri 10 dak. aralıkla ölçülmüştür.



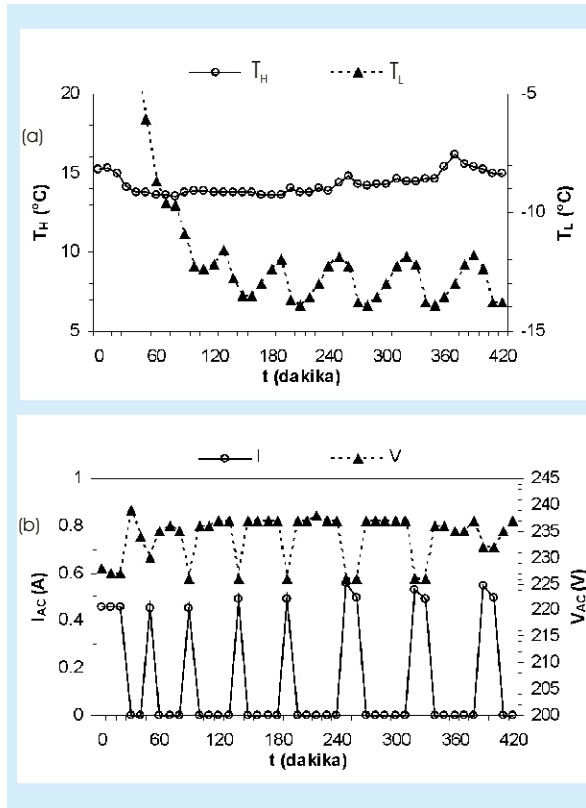
Şekil 4. PV Panel Tarafına Ait Parametrelerdeki Anlık Değişimler; (a) Işınım Şiddeti ve Panel Yüzey Sıcaklığı, (b) Panel Akımı ve Panel Voltajı. Grafiklerde $t=0$ Anı, Deneylerin Başladığı Saat Olan 09:30'a Karşılık Gelmektedir.

Aralık ayına ait tipik bir gün (30/12/2005) için sisteme ait bazı parametrelerdeki (G , T_p , I_p ve V_p) anlık değerlerin değişimleri Şekil 4'de görülmektedir.

Şekil 4(a)'dan görüleceği üzere deneylerin yapıldığı günün büyük bir bölümü için, G değerleri, 700-1000 W/m² gibi yüksek değerlerde seyretmekte ve maksimum güneş ışınımına (beklenildiği üzere) öğle saatlerinde ulaşmaktadır. Yerel saatin 15:00 olduğu andan itibaren G değerleri hızla düşmekte ve yaklaşık 16:30'da '0' değerine düşmektedir. Aynı grafikte gösterilen T_p değerleri, deney başlangıcından itibaren artmakta ve saat 12:30'u takiben 30°C - 32°C değerleri arasında seyrederek, gün batımına yakın tekrar bir düşüş göstermektedir. Panel sıcaklığında ulaşılan bu yüksek değerlerin, panel için nominal sıcaklık değeri olan $T_p = 25^\circ\text{C}$ 'de verilmiş güç çıktılarına kıyasla, 1-3 W azalmaya sebep olacağı daha önce yapılan teorik hesaplamalardan bilinmektedir [14]. Şekil 4(b)'de gösterilen DC panel akımı (I_{bc}) değerleri beklenildiği üzere G 'ye hemen hemen paralel bir değişim sergilemektedir. Oysa, V_{bc} değerlerin de, beklenildiğinin aksine sıcaklık ile aralarında olması gereken paralel ilişki gözlenememiştir.

Buzdolabı tarafına ait çalışma parametreleri ise Şekil 5'de gösterilmiştir.

Şekil 5(a)'da görülen sıcak ve soğuk ortam sıcaklıkları (T_H ve T_L) sırasıyla, buzdolabının bulunduğu ortam ile dondurucu bölme sıcaklıklarını göstermektedir. Ortam sıcaklığı gün boyunca sabit kabul edilebilir konumda küçük değişimler

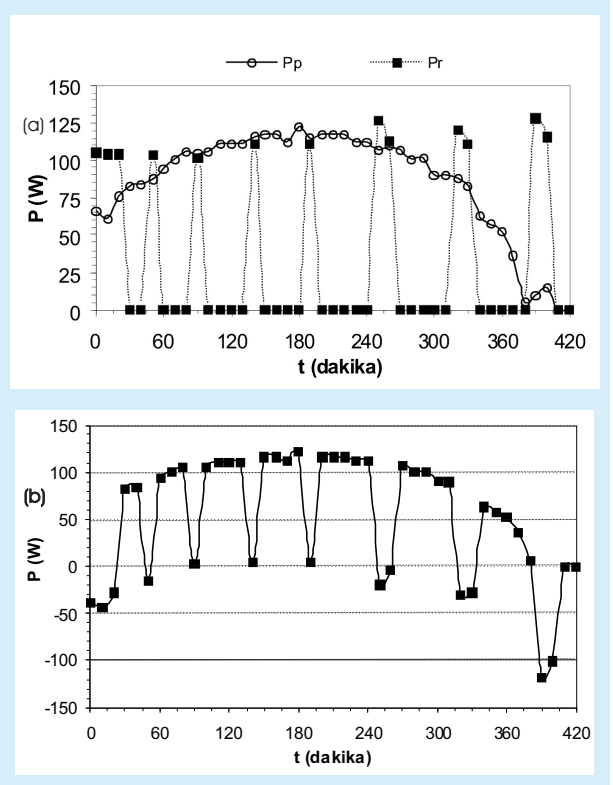


Şekil 5. Buzdolabı Tarafına Ait Parametrelerdeki Anlık Değişimler; (a) Sıcak ve Soğuk Ortam Sıcaklıkları (b) Panel Akımı ve Panel Voltajı. Grafiklerde $t=0$ Anı, Deneylerin Başladığı Saat Olan 09:30'a Karşılık Gelmektedir.

göstermektedir. Ancak dondurucu sıcaklığında saat 11.00'dan itibaren sağlanan çok düşük sıcaklıklar (-14°C ile -12°C arası), gün boyunca periyodik olarak korunabilmektedir. Termostat vasıtasıyla, kompresör motorunun devreye giriş-çıkış anları bu periyodik davranışa sebep olmaktadır.

PV-buzdolabı sisteminin en çarpıcı özelliğini sergileyen, panel DC gücü (P_p) ile buzdolabı AC güç girişi (P_r) değerlerinin, günlük değişimleri ile batarya grubu güç bilançosu (ΔP) Şekil 6'da gösterilmiştir. Paneller tarafından üretilen güç, Şekil 6(a)'dan görüleceği üzere, sadece sistemin ilk çalışma anını izleyen yaklaşık bir saatlik bir aralık ile güneş ışınımının azalmaya başladığı saat 14:00 sonrası aralıkta,

buzdolabı güç gereksinimini karşılayamamaktadır. Bu aralıklar; PV panel gücü yetersiz olduğu anlar ile kompresörün ilk devreye girdiği anlara karşılık gelmektedir ve sistemde batarya kullanımının neden



Şekil 6. (a) PV Panellerin Çıkış Gücü ile Buzdolabı Giriş Gücündeki Zamanla Değişimler, (b) Batarya Güç Bilançosundaki Zamanla Değişim

gerektiğini çok net sergilemektedir. Çünkü kompresörün devreye girme anında, çektiği anormal yükü dikkate alarak, PV sistem tasarımı yapmak çok daha yüksek bir maliyet gerektirmektedir ve bu durumda panelin ekonomik kullanımı mümkün olmamaktadır.

Şekil 6(b)'de, bataryadan çekilen güç ve miktarları, ΔP değerinin negatif olduğu bölgededir ve gerçekte güneş batımına yakın kısımlar hariç, gündüzleri bataryadan ciddi seviyede bir tüketim olmamaktadır. Aksine, pozitif değerlere sahip bölge, yani bataryayı

yeniden şarj etmek için gönderilen enerji fazlalığı, sisteme gece boyunca batarya enerjisinin yetebileceği seviyededir. Çünkü, gece buzdolabı tarafından çekilen enerjide de önemli bir azalma olacaktır. Bu durumda sistem, ertesi gün yeniden batarya şarjını temin edebilecektir. Örneğin; mevcut sistem için deney yapılan güne ait enerji analizi; $P_p = 3689.44$ W-gün ve $P_r = 1454.08$ W-gün değerlerini vermektedir. Bu durumda batarya grubuna depolanan enerji, $\Delta P = 2235.36$ W-gün olmaktadır. Bu enerji, sistemi gündüz koşullarında dahi, en az 11 saat çalıştırabilecektir. Sistemin güneş ışınımının yeterli olmadığı birkaç gün için, sadece batarya grubu ile çalışması istenirse, daha fazla batarya kapasitesi gerekli olacaktır.

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada, düşük soğutma yüküne sahip bir (PV) buzdolabı sistemi deneysel olarak incelenmiştir. Sistemde, paneller ile buzdolabı arasında bir inverter ve bir batarya grubu bulunmaktadır. Panel DC çıkış gücü, buzdolabı AC giriş gücü, batarya kullanım oranı ile panel ve dondurucu bölme sıcaklıkları değerlerindeki anlık değişimler belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar kullanılan prototip sistem için geçerli olmakla birlikte, sistem tasarım ve kullanıcılarının göz önüne alması gereken noktalar aşağıda özetlenmiştir:

i) Sistemdeki AC akım değerleri; dondurucu bölme sıcaklığındaki değişime paralel bir değişim sergilemektedir. Bu durum kompresör motorunun devreye giriş-çıkış anı ile direkt ilişkili olup, AC akım değerinin izlenmesiyle, buzdolabı çalışma süresi hakkında direkt bir fikir elde etmek mümkündür. AC voltaj değerlerindeki değişim ise, ortalama nominal voltaj değeri yaklaşık 220 V civarında seyretmektedir.

- ii) Güneş ışınım değeri, DC akımı doğru orantılı; panel sıcaklığı ise, ters orantılı olacak şekilde ciddi seviyede etkilemektedir. DC voltaj değerindeki değişimler ise çok düşük seviyededir.
- iii) PV panelin ürettiği gücün değişimi, güneş ışınımına paralel; buzdolabının tükettiği gücün değişimi ise, beklenildiği üzere AC akıma paralel olarak değişmektedir.
- iv) PV-buzdolabı sisteminin ilk yatırım maliyeti yüksek olmasına karşın, insan kontrolü gerektirmemesi sebebiyle, yazlık amacıyla kullanılan mekanlarda kullanım avantajları söz konusudur. Mevcut sistemin toplam maliyeti yaklaşık 1600 EUR olup, AC güç girişi gerektiren buzdolabı kullanımı içindir.

Elde edilen sonuçlar, mevcut sistemin kırsal yörelerde ilaç, aşı ve kan muhafazası amacıyla kullanımı yönünde umut verici seviyededir. Çünkü, kullanılan buzdolabının enerji sınıfı 'B' olup, güç tüketimi nispeten fazladır. Maliyeti AC güç çıktısı kullanıldığı için yüksektir. Sağlık sektörü için kullanılacak bir soğutucunun, çok daha iyi yalıtım koşullarına sahip olacağı ve DC güç ile direkt çalışacağı düşünüldüğünde, güç tüketimi ve maliyette iyileşme sağlanabilecektir. İlaç ve aşı muhafaza sıcaklığının $+8^{\circ}\text{C}$ ile $+2^{\circ}\text{C}$ arasında olması yeterli olduğundan, yaz dönemlerinde güneş ışınım potansiyeli yüksek olan Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerine ait birçok sağlık ocağında kullanımı mümkün görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı kısmen destekleyen Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu'na (HÜBAK Proje No: 457) ve

deneylere kısmi katkılarından dolayı Mak. Müh. Bölümü öğrencisi M. Lider Güngördü'ye teşekkür ederiz.

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

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

* Standart test koşulları: $G=1000 \text{ W/m}^2$, $T=25 \text{ }^\circ\text{C}$

KAYNAKÇA

- Rajapakse, R.M.A.D.** Refrigeration: The Solar Photovoltaic Option. Letters, Energy for Sustainable Development 1(2), 48-49, 1994.
- Kattakayam TA, Srinivasan K.** Thermal Performance Characterization of a Photovoltaic Driven Domestic Refrigerator. International Journal of Refrigeration 23, 190-196, 2000.
- <http://www.tve.org/ho/doc.cfm?aid=872> (ziyaret tarihi: 31 Ocak 2006).
- <http://www.greenstar.org/components.htm> (ziyaret tarihi: 31 Ocak 2006).
- http://www.techbriefs.com/Spinoff/spinoff2003/er_1.html (ziyaret tarihi: 02 Şubat 2006).
- Yeşilata B, Aktacir A.** "Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması" Mühendis ve Makina Dergisi, 42, 493, 29-34, 2001.
- Kattakayam TA, Srinivasan K.** Photovoltaic Generator Based Autonomous Power Sources For Small Refrigerator Units. Solar Energy 56(6), 543-552, 1996.
- Kattakayam TA, Srinivasan K.** Electrical Characterization Of Domestic Refrigeration Compressors. IEE Trans Sci Meas Tech 144(3), 123-126, 1997.
- Kattakayam TA, Srinivasan K.** Uninterrupted Power Supply For Autonomous Small Refrigerators. Energy Conversion and Management 39(1/2), 21-26, 1998.
- Cherif, A, Dhouib, A.** Dynamic Modeling and Simulation of a Photovoltaic Refrigeration Plant. Renewable Energy 26, 1431-1433, 2002.
- 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.
- 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.
- Fıratöğlu, Z.A., Yesilata B.** "New Approaches on the Optimization of Directly-Coupled Photovoltaic Water-Pumping Systems" Solar Energy, 77, 1, 81-93, 2004.
- Aydın, M., Yeşilata, B.** "Fotovoltaik Panellerde Deneysel Yöntemle Güç Optimizasyonu", 15. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi (ULIBTK'05, 7-9 Eylül 2005, Trabzon), Bildiriler Kitabı, sy .368-373 (2005).

*Daha Etkin
Bir ODA için
Üyelik
Aidatlarımızı
ÖDEYELİM*