

Fotovoltaik Güç ve Harran Üniversitesi Temiz Enerjili Kampüs Entegre Projesi-2: Ön Çalışmalar ve Sonuçları

Bülent Yeşilata¹ İ. Halil Mutlu² M. Azmi Aktacir¹

¹ Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü, Osmanbey Kampüsü, Şanlıurfa
byesilata@harran.edu.tr aktacir@harran.edu.tr

² Harran Üniversitesi, Fen ve Edebiyat Fakültesi
Fizik Bölümü, Osmanbey Kampüsü, Şanlıurfa
mutlu@harran.edu.tr

Özet

Harran Üniversitesi Temiz Enerjili Kampüs Entegre Projesi'; uygulama ve araştırma-geliştirme çalışmalarının eş-zamanlı yürütüleceği bir entegre projedir. Bir taraftan hazır yenilenebilir enerji teknolojilerini kampus enerji tüketimini azaltmada kullanırken, diğer taraftan yeni üretim teknolojisi, yeni kullanım yöntemi ve yeni birleşik-sistem oluşturma hedefleri üzerinde çalışılacaktır. Hazır teknolojilerin seçimi, tamamen bölgesel gereklilik ve uygulanabilirlik göz önüne alınarak yapılacaktır. Entegre projenin Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından desteklenen ilk aşamasında; bölgesel güneş enerjisi potansiyelinin yüksekliği nedeniyle güneş enerjisi teknolojilerine ağırlık verilmektedir. İki bölümlük bildiri çalışmasının bu ikinci bölümünde; projenin önemli adımlardan biri olan 'Fotovoltaik Enerjinin Verimli Kullanımına Yönelik Yeni Teknoloji ve Uygulamaların Araştırılması' konusunda yapılan ön çalışmalara ait sonuçlar sunulmaktadır.

1. Giriş

Özellikle son çeyrek asırda verim ve maliyetlerinde görülen ciddi seviyedeki iyileşmeler, fotovoltaik panellerle elektrik üretimini, güneş enerjisi uygulamaları içerisinde önemli bir noktaya getirmiş ve toplam enerji üretimindeki payının hızla genişlemesine sebep olmuştur [1]. Bu artışın gelecek yıllarda daha hızlı bir seyir izleyeceği, 1995 yılında dünyada 375.2 MW olan PV sistem gücünün, 2010 yılında 6300 MW olarak planlanmasından açıkça görülmektedir [2]. İlk yatırım maliyeti açısından birincil enerji kaynaklarıyla rekabet edebilecek düzeye gelmemesine rağmen, fotovoltaik enerjinin 1974 yılında 200 \$/Watt olan birim fiyatının 2000'li yıllarda 2 \$/Watt seviyelerine inmesi, fotovoltaik enerjiye yönelişin devam edeceğini gösteren önemli bir parametredir [2,3].

Bu çalışmada; 'Harran Üniversitesi Temiz Enerjili Kampüs Entegre Projesi' kapsamında önemli adımlardan biri olan 'Fotovoltaik Enerjinin Verimli Kullanımına Yönelik Yeni Teknoloji ve Uygulamaların Araştırılması' konusunda yapılan ön çalışmalara ait sonuçlar, bağımsız başlıklar altında sunulmaktadır.

2. Fotovoltaik su pompalama sistemi tasarımı ile ilgili ön çalışmalar ve sonuçları

2.1. Teorik Sonuçlar

Direkt akupleli PV panel-pompa sisteminin en uygun koşullarda çalışmasını sağlamak için çok aşamalı bir optimizasyon metodu geliştirilmiştir [4]. Çözüm algoritması basit, hızlı ve nümerik olarak kararlı bir özellik taşımaktadır. Literatürde uygulanan çözüm tekniklerine ek olarak üç yeni temel yaklaşımla sonuca ulaşılmıştır. Bu yaklaşımların mantığında tasarım yapılacak yöre meteorolojik parametrelerinin kapsamlı analizi yapmakta olup, söz konusu yaklaşımlar sırasıyla; optimum aylık ortalama panel eğim açısı kullanımı, optimum ışınım aralığı seçimi ve en iyi panel sayısı-konfigürasyonunun belirlenmesi için istatistiksel bir parametre ile kullanımıdır.

Yöntemin en önemli özelliği, PV-pompa sistemi bileşenlerine ait imalatçı firma katalogunda verilen teknik özelliklerin çözüme ulaşmak için yeterli olması ve ek deneysel dataya ihtiyaç bulunmamasıdır. Metot her yöreye ve her türlü PV panel-motor-pompa tipine benzer aşamalar takip edilerek uygulanabilir. Sözü edilen yöntemin uygulanmasına örnek olması açısından; Şanlıurfa ili için yılın büyük bir döneminde optimum koşullarda çalışacak bir PV-pompa sisteminin çalışma karakteristikleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekilde daire içerisine alınmış bölge; Şanlıurfa ilinde geçerli etkin ışınım aralığında, sistemin çalışma eğrisinin (SCE), maksimum güç noktalarına (MPP) yakınlığını göstermek amacıyla gösterilmiştir.

2.2. Deneysel Sonuçlar

Dinamik atmosfer koşullarının, PV-su pompası sistemine ait çalışma parametreleri üzerinde etkisini belirlemek amacıyla farklı günlerde deneyler yapılmıştır [5]. 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. Sisteme ait parametrelerdeki (G ve T_p) anlık değerlerin, gün içerisindeki değişimleri Şekil 2(a) ve (b)'de gösterilmektedir.

Şekil 2(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 2(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, 8-10W azalmaya sebep olacağı daha önce yapılan teorik hesaplamalardan bilinmektedir.

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 2(c) ve 2(d)'de gösterilmiştir. Deneylerin başlangıç ve bitiş anlarına yakın noktalar dışındaki zaman aralığında; P değerlerinin $60-75 \text{ W}$, η_p değerlerinin ise % 6.5-7 arasında değişmekte olduğu gözlenmektedir.

3. Fotovoltaik enerjili soğutucu dizaynı ile ilgili ön deneyler ve sonuçları

Dinamik atmosfer koşullarının, PV-buzdolabı sistemine ait çalışma parametreleri üzerinde etkisini belirlemek amacıyla, farklı günlerde deneyler yapılmıştır [6]. Deneyler sırasında ışınım şiddeti, DC ve AV akım-gerilim değerleri ile PV panel, ortam ve dondurucu bölmesi sıcaklıklarının anlık değerleri ile 10 dak. aralıkla direkt olarak ölçülmüştür. Sisteme ait bazı parametrelerdeki (G , T_p , I_p ve V_p) anlık değerlerin değişimleri Şekil 3'de; buzdolabı tarafına ait çalışma parametreleri ise Şekil 4'de gösterilmiştir.

Şekil 4(a)'da gösterilen 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 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 5'de gösterilmiştir. Paneller tarafından üretilen güç, Şekil 5(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 sisteme batarya kullanımının neden 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 5(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; $P_p=3689.44 \text{ W-gün}$ ve $P_r=1454.08 \text{ W-gün}$ değerlerini vermektedir. Bu durumda batarya grubuna depolanan enerji, $\Delta P=2235.36 \text{ W-gün}$ 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.

4. Fotovoltaik + yakıt pili hibrid güç sistemi tasarımı ile ilgili ön deneyler ve sonuçları

Fotovoltaik + yakıt pili hibrid güç sistemine yönelik deneysel ölçüm sonuçları [7] Şekil 6'da gösterilmiştir. Grafikler, $t=0$ anı, saat 09:00'a karşılık gelecek şekilde çizilmiştir. Şekil 1(a) ve 1(b)'den görüleceği üzere, dış atmosferik koşullar (ışınım ve sıcaklık) deneyler süresince dinamik bir seyir izlemekte olup, bu değişimler Şekil 6(c) ve 6(d)'de gösterilen panel akım-gerilim ve güç çıktılarında önemli seviyede dalgalanma yaratmaktadır.

Panel yüzeyine ulaşan toplam ışınım şiddetinde (G) ulaşılan maksimum ve minimum değerler sırasıyla 1121 W/m^2 ve 340 W/m^2 olarak kaydedilmiştir. Panel yüzey sıcaklığı (T_p), günün büyük bir bölümünde çevre sıcaklığının (ortalama 32°C) üzerinde seyretmiş olup, bazı anlarda 49°C

gibi panel güç çıktısını önemli ölçüde düşürecek yüksek panel sıcaklığı kaydedilmiştir. Bu değişimler, beklenildiği üzere panel gerilimini (V) daha büyük oranda etkilemekle birlikte, minimum gerilim değeri 5.1 V değerinin altına düşmemiştir. Bu durum, göz önüne alınan elektroliz ünitesinde deney süresinin yaklaşık tamamına yakın kısmında hidrojen üretiminin gerçekleşmesi anlamına gelmektedir. Minimum gerilim değerinin kaydedildiği noktadaki akım değeri ise yaklaşık 1A olarak ölçülmüştür. Panel gücünde (P) elde edilen maksimum ve minimum değerler sırasıyla 41W ve 5.5W olmuştur. Panel nominal gücü olan 60W değerine ulaşamamasının temel nedeni; yüksek T_p değerleri ve dirençte oluşan Joule ($I^2.R$) kayıplarıdır.

Panel tarafından üretilen gerim değeri, elektroliz ünitesinde gün boyunca hidrojen üretimini gerçekleştirecek seviyededir. Ölçülen akım değerleri kullanılarak, elektroliz ünitesinde üretilen hidrojenin anlık hacimsel debisi (q) ve hidrojen deposundaki toplam hidrojen hacminin (Q) değişimi hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 7(a)'da verilmiştir. Gün boyunca atmosferik şartların değişkenliğine rağmen, 'q' değerlerindeki değişim (sadece panel akımının bir fonksiyonu olduğundan) nispeten daha kararlı bir seyir izlemektedir. Hidrojen deposunda (daha sonra yakıt pili ünitesinde kullanılmak üzere) biriken hidrojen miktarı $Q=7.4$ lt olarak belirlenmiştir.

Mevcut hidrojen ile yakıt pilinin ne kadar süre elektrik üretebileceğine bir örnek olmak üzere parametrik bir hesaplama gerçekleştirilmiştir. $V_{fc}=12V$ çıkış voltajına sahip PEM tipi bir yakıt hücresinde farklı yanma (elektrik enerjisine dönüşüm) verimleri kullanılarak, farklı miktarda güç çıktılarına göre mevcut hidrojenin ne kadar sürede tükeneneğine yönelik hesaplama sonuçları Şekil 7(b)'de gösterilmiştir. Çıkış voltajı belirlendiğinden, her bir farklı güç değeri, gerçekte hidrojen tüketimine direkt etki eden farklı bir akım (I_{fc}) değerine karşılık gelmektedir. PEM tipi ile elde edilebilecek maksimum yanma verimi olan $\eta=0.83$ değeri göz önüne alındığında, depodaki hidrojen $P_{fc}=100$ W'lık bir elektriksel gücü ancak $t=46$ dak. için karşılayabilmektedir. Daha küçük güçteki elektriksel yükler için yakıt pili çalışma süresi orantılı olarak artmaktadır (örneğin $P_{fc}=10$ W için $t=465$ dak.) PEM tipi yakıt pillerinin yanma verimi uygulamada 0.40 - 0.60 değerleri arasında değiştiğinden, yakıt pilinin mevcut hidrojen ile çalışma süresi Şekil 7(b)'de gösterildiği üzere verim düşüşü ile daha da azalmaktadır.

5. Değerlendirme

Bu çalışmada; 'Harran Üniversitesi Temiz Enerjili Kampus Entegre Projesi' kapsamında önemli adımlardan biri olan 'Fotovoltaik Enerjinin Verimli Kullanımına Yönelik Yeni Teknoloji ve Uygulamaların Araştırılması' konusunda yapılan ön çalışmalara ait sonuçlar sunulmuştur. Bölgesel gereksinime paralel olarak fotovoltaik güçle çalışan pompa, buzdolabı ve yakıt pili ünitelerinde elde edilen sonuçlar; söz konusu sistemlerin optimize edilmeleri halinde, yakın gelecekte yaygın kullanılabilmesi yönünde umut vermektedir. Bu sürecin hızlanması; fotovoltaik panellerin ülke teknolojisi ile üretilmesi ile direkt ilişkilidir. Bu amaçla, Sol-gel yöntemi kullanarak, düşük maliyetli fotovoltaik hücre üretimi konusunda başlatılan çalışmalarımız sürmektedir.

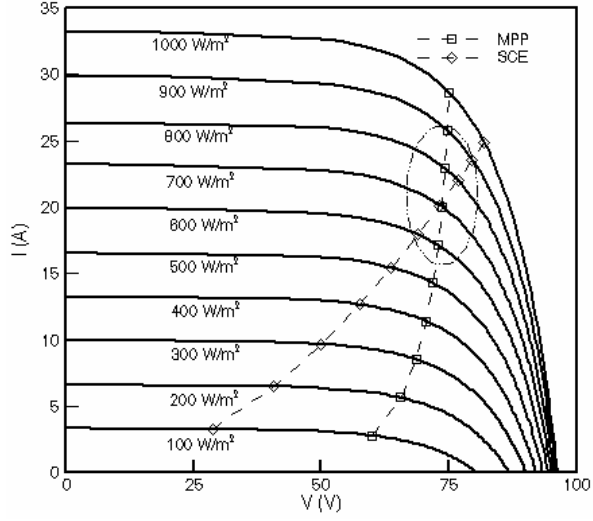
Kaynaklar

- [1] Lin, G. H., Carlson, D. E., "Photovoltaic in the year 2025", Hydrogen Energy, Vol 25, pp 807-811, 2000.
- [2] Muntasser, M. A., Bara, M. F., Quadri, H. A., EL-Tarabelsi, R., La-Azebi, I. F., "Photovoltaic Marketing In Developing Countries", Applied Energy, Vol 65, pp 67-72, 2000.
- [3] Yeşilata, B., Aktacir, M. A., "Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması", Mühendis ve Makina, cilt 42, sayı. 493, sy 29-34, 2000.
- [4] Fıratoglu, Z.A., Yesilata B. "New approaches on the optimization of directly-coupled photovoltaic water-pumping systems", Solar Energy, v77, n1, pp. 81-93, (2004).
- [5] Yeşilata B., Aydın M., Işiker, Y., "Küçük ölçekli bir PV su pompalama sisteminin deneysel analizi", Mühendis ve Makina, cilt 47, sayı 553, sy. 31-38 (2006).
- [6] Yeşilata B., Işiker, Y., "Fotovoltaik güçle çalışan bir buzdolabı sisteminin deneysel analizi", Mühendis ve Makina, cilt 47, sayı 558, sy. 54-60 (2006).
- [7] Yeşilata B., Demir, F., "Fotovoltaik ve yakıt pili birleşik sisteminin analizi", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, cilt 26, sayı 1, sy. 37-44 (2006).

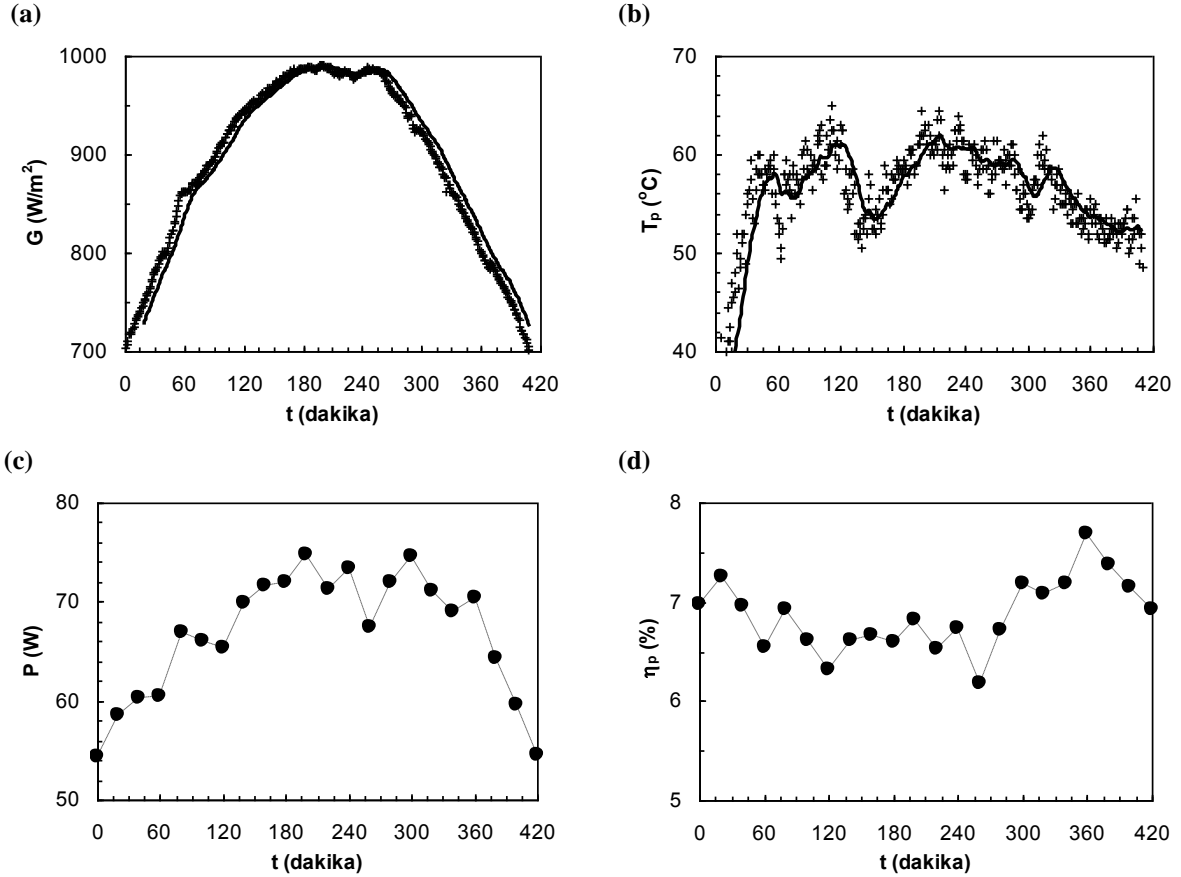
Teşekkür

'Harran Üniversitesi Yeni Kampüsünün İleri Güneş Enerjisi Teknolojileri İle Entegrasyonu ve GAP Bölgesinde Uygulanabilir Teknolojilerin Araştırılması' başlıklı projeye verilen destekten dolayı DPT'ye teşekkür ederiz.

Şekiller

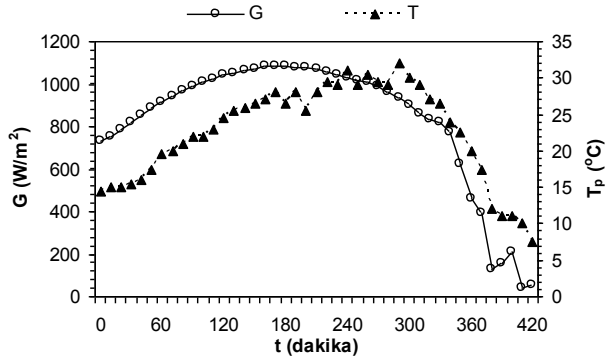


Şekil 1. Şanlıurfa meteorolojik koşullarında optimize edilmiş direkt aküveli bir PV panel-pompa sisteminin karakteristik I-V diyagramı [4].

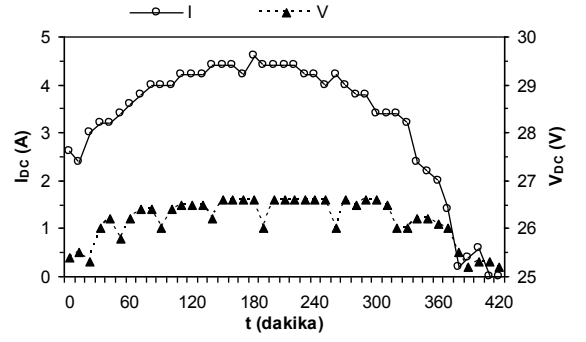


Şekil 2. PV-pompa sistemine ait parametrelerdeki zamansal değişimler [5]; (a) ışınım şiddeti, (b) panel yüzey sıcaklığı, (c) ortalama panel çıkış (veya pompa giriş) gücü, (d) ortalama panel verimi. Grafiklerde $t=0$ anı, deneylerin başladığı saat olan 09:15'e karşılık gelmektedir. (a) ve (b)'de; anlık ölçülen değerler (+) sembolü ile, data'lara ait hareketli ortalamalar ise sürekli çizgi ile gösterilmiştir.

(a)

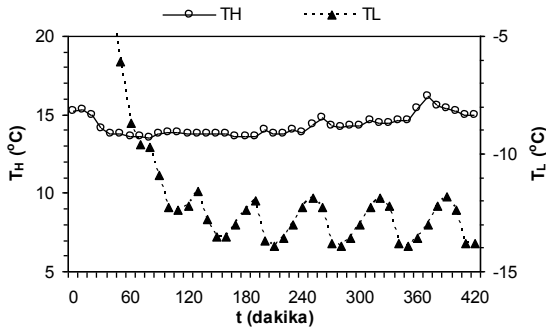


(b)

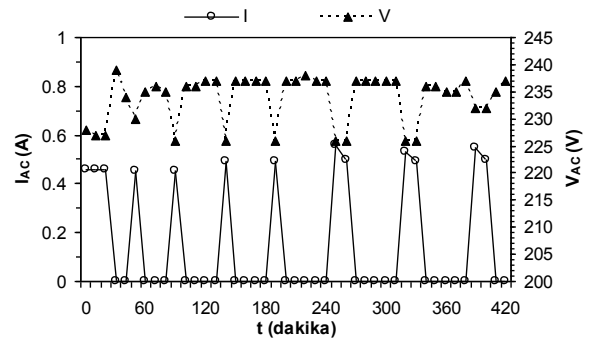


Şekil 3. PV-soğutucu sisteminde; panel tarafına ait parametrelerdeki anlık değişimler [6]; (a) ışınım şiddeti ve panel yüzey sıcaklığı, (b) panel akımı ve panel voltajı. Grafiklerde $t=0$ anı, deneylerin başladığı saat olan 09:30'a karşılık gelmektedir.

(a)

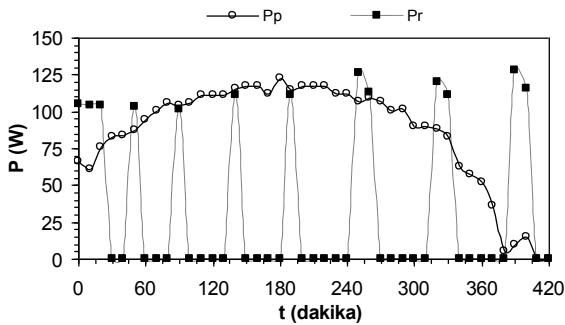


(b)

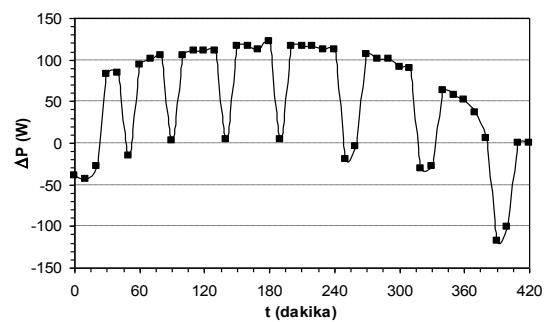


Şekil 4. PV-soğutucu sisteminde; buzdolabı tarafına ait parametrelerdeki anlık değişimler [6]; (a) ışınım şiddeti ve panel yüzey sıcaklığı, (b) panel akımı ve panel voltajı. Grafiklerde $t=0$ anı, deneylerin başladığı saat olan 09:30'a karşılık gelmektedir.

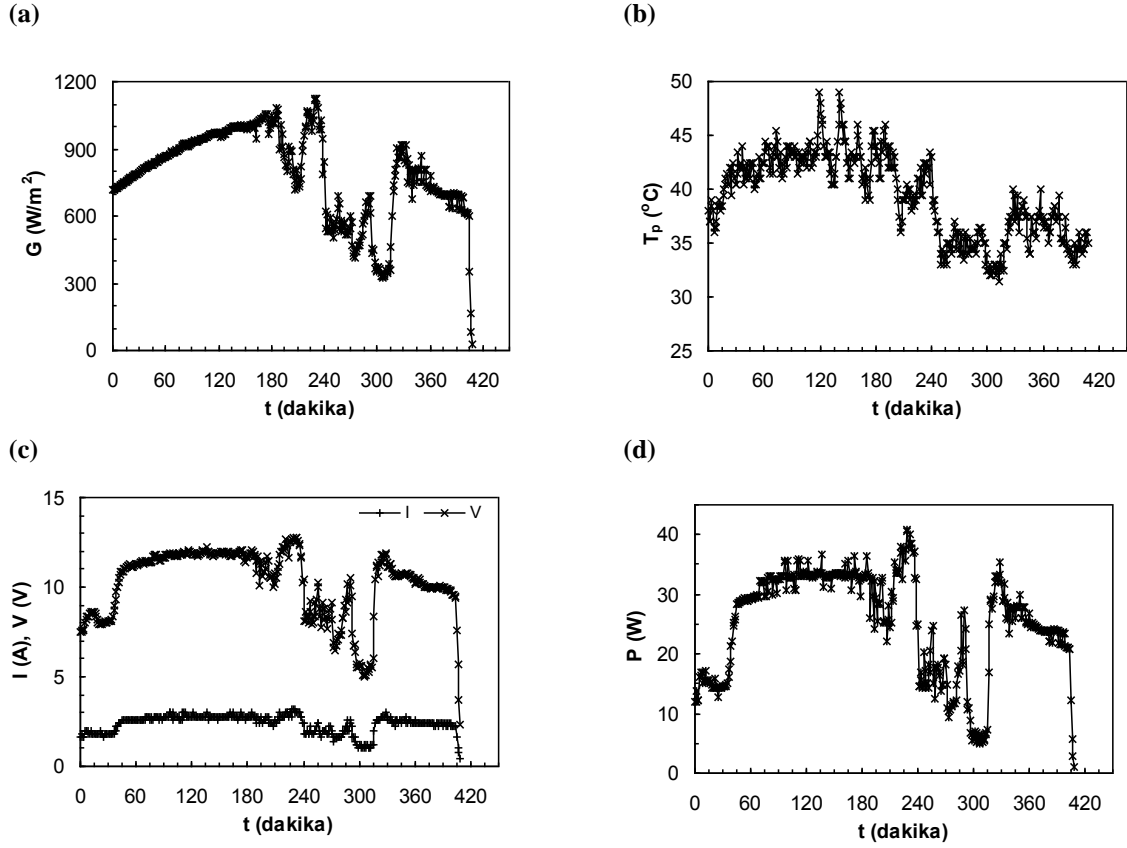
(a)



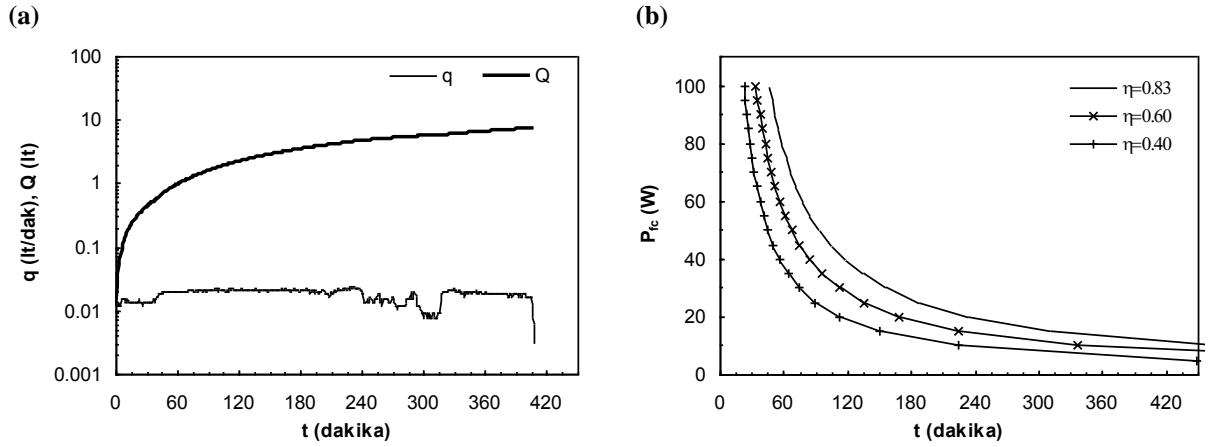
(b)



Şekil 5. PV-soğutucu sisteminde; (a) PV panellerin çıkış gücü ile buzdolabı giriş gücündeki zamansal değişimler, (b) batarya güç bilançosundaki zamansal değişim, [6].



Şekil 6. PV-yakıt pili sistemine yönelik deneylerdeki parametrelerdeki zamansal değişimler [7]; (a) toplam güneş ışınımı, (b) panel yüzey sıcaklığı, (c) akım-gerilim, (d) panel gücü.



Şekil 7. PV-yakıt pili sisteminde; (a) Elektroliz ile üretilen anlık (q) ve toplam (Q) hidrojen miktarları, (b) yakıt pilinin depolanan hidrojen ile enerji temin etme süresinin güç ve yanma verimine göre değişimi, [7].