

FOTOVOLTAİK -YAKIT PİLİ BİRLEŞİK SİSTEMİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

İsmail HİLALİ

M.Azmi AKTACİR

Bülent YEŞİLATA

Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Osmanbey Kampüsü, 63000 Merkez, Şanlıurfa,
ihilali@harran.edu.tr aktacir@harran.edu.tr byesilata@harran.edu.tr

ÖZET

Günümüzde fotovoltaik (PV) sistemler hızla yaygınlaşmasına karşın, kullanımlarındaki en önemli sınırlamalardan biri üretilen elektrik enerjisinin depolanmasındaki zorluklardır. PV sistemler bu sınırlama nedeniyle, güneş enerjisi potansiyeli düşük bölgelerde sadece yaz mevsimlerinde ve güneşli saatlerde kullanılmaktadır. Küçük güçte bir elektriksel yük için ise enerji depolamada bataryalı PV sistemler kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde; genellikle güneşli saatlerde PV sistem tarafından üretilen enerjinin kullanılmayan kısmı bir batarya grubunda depolanmakta ve güneşin bulunmadığı saatlerde kullanılmaktadır. Ancak, bataryalı sistemlerde büyük miktarlarda enerji depolamanın maliyeti çok yüksek olduğu gibi, uzun süreli depolama mümkün değildir. Fotovoltaik ve yakıt pili birleşik sistemi (PV-FC); bu depolama sakıncalarını büyük ölçüde ortadan kaldıran bir çözüm olarak günümüzde en iyi alternatiflerden biri olarak kabul edilmektedir. Kısa ve uzun süreli enerji depolamanın her ikisi için de uygun sistem dizilişleri oluşturmak mümkündür. Bu çalışmada, Harran Üniversitesi Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi bünyesinde kurulumu tamamlanan PV-FC sistemi incelenmiştir. Sistem bileşenlerine ait detaylı bilgiler ile sistem üzerinde gerçekleştirilen bazı deneysel ölçümlere ait veriler, bu çalışma da sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Panel, Hidrojen, Yakıt Pili

1. GİRİŞ

Türkiye tükettiği enerjiyi büyük oranda ithal eden ve bu anlamda dışa bağımlı bir ülke konumundadır. Buna paralel olarak yıllık enerji talebi de artarak devam etmektedir. Türkiye'nin enerji istatistiklerine bakıldığında bu durum açık olarak görülmektedir. Türkiye'nin 2005 yılında 162 TWh olan elektrik enerjisi üretimi, 2006 yılında %8.7 artışla 176 TWh'e yükselmiştir [1]. 2005 yılı verilerine göre elektrik üretiminin %75'i fosil kaynaklı yakıtlardan, %24'ü hidrolik güçten geri kalan %1'lik kısım rüzgar başta olmak üzere jeotermal ve biokütleden elde edilmiştir [2]. Bu verilere bakıldığında, Türkiye'nin fosil yakıtlara olan bağımlılığının azaltılması ve muhtemel enerji darboğazından kurtulması için yerli, temiz ve güvenilir enerji kaynaklarına yönelmesi kaçınılmaz olarak görülmektedir. 2001-2003 yılları arasında TÜBİTAK tarafından oluşturulmuş Vizyon 2023 Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli tarafından, Türkiye Cumhuriyetinin kuruluşunun 100. yılında, enerji teknolojileri alanında öncü ülke konumuna gelmesini sağlamak için yapılması öngörülen "Araştırma ve Teknoloji Geliştirme" faaliyetleri içeren bir rapor hazırlanmıştır. Bu kapsamda belirlenen **öncelikli teknolojik faaliyet** konuları arasında, güneş enerjisi kullanılarak elektrik üretimi, hidrojen yakma teknolojilerin geliştirilmesi ve ulaşım araçlarında, güç üretim tesislerinde ve elektronik cihazlarda kullanılacak yakıt pilleri üretimi bulunmaktadır. [3]. Bu kapsamda oluşturulan enerji vizyonuna uygun olarak, güneş enerjisi ile hidrojen enerjisinin birlikte kullanıldığı fotovoltaik-yakıt pili birleşik sistemi

Türkiye açısından oldukça önemli bir yer almaktadır. Türkiye'nin en büyük kalkınma projesi olan GAP'ın merkezinde ve Türkiye'nin en yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip ili Şanlıurfa'da bulunan Harran Üniversitesi'nde başlatılan çalışmalardan biri de PV-FC birleşik sistemidir. Bu çalışmada, Türkiye açısından önem arz eden fotovoltaik sistemler ile hidrojen yakıtlı yakıt pillerinin ortak kullanıldığı bir enerji sisteminde gerçekleştirilen deneysel çalışma irdelenecektir.

2. PV-FC SİSTEMİ

Gelişen, sanayileşen ve her geçen gün enerji ihtiyacı artan dünyamızda, enerjiye olan artan talep gittikçe ciddi sorunlar oluşturmaya başlamıştır. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için yeni teknolojiler kullanarak enerji tüketimini azaltan ve etkin kullanabilen sistemler oluşturulurken enerji kaynaklarını çeşitlendirerek alternatif enerji kaynaklarına yönelilmektedir. Bu sistemlerin başında verim ve maliyet açısından çok cazip olmayan fotovoltaik sistemler gelmektedir. Günümüzde fotovoltaik sistemler hızla yaygınlaşmasına karşın, kullanımlarındaki (yüksek maliyeti dışında) en önemli sınırlamalardan biri üretilen elektrik enerjisinin depolanmasındaki zorluklardır. PV sistemler bu sınırlama nedeniyle, güneş enerjisi potansiyeli düşük bölgelerde sadece yaz mevsimlerinde ve güneşli saatlerde kullanılmaktadır. Küçük güçte bir elektriksel yük için ise enerji depolamada bataryalı PV sistemler kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde; genellikle güneşli saatlerde PV sistem tarafından üretilen



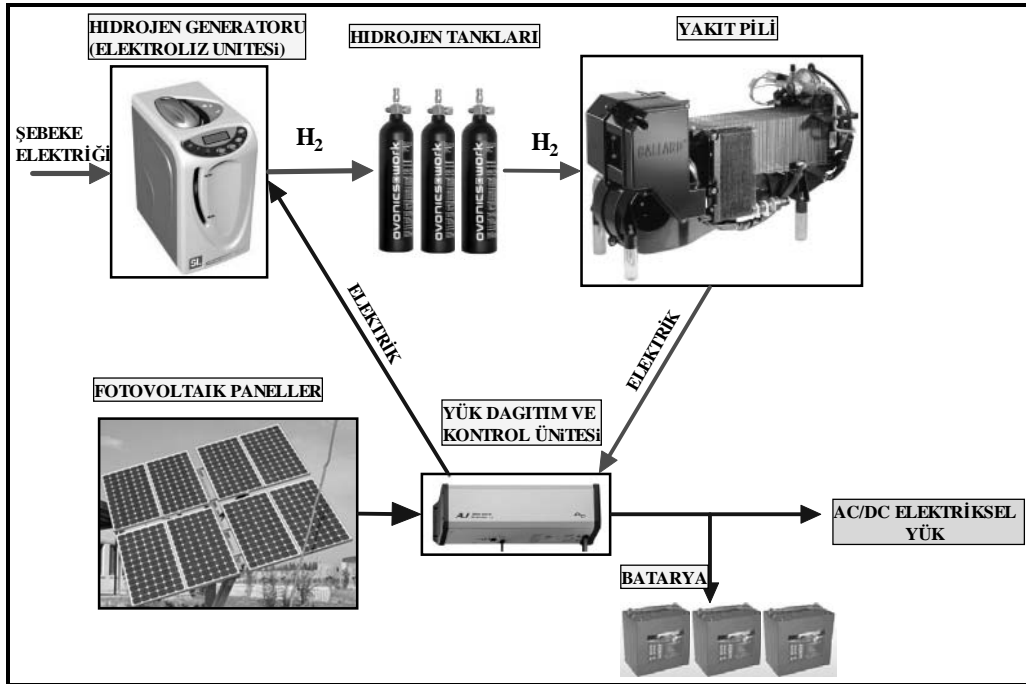
enerjinin kullanılmayan kısmı bir batarya grubunda depolanmakta ve güneşin bulunmadığı saatlerde (ya da geceleri) kullanılmaktadır. Ancak, bataryalı sistemlerde büyük miktarlarda enerji depolamanın maliyeti çok yüksek olduğu gibi, uzun süreli (örneğin mevsimlik) depolama mümkün değildir. Ayrıca, klasik (örneğin araçlarda kullanılan basit çevrimli) bataryalardan oluşmuş bir sistemde depolanan enerjinin sadece %20-30 kısmı çekilebilmekte ve batarya ömrü çok kısa (1-2 yıl) olmaktadır. Özel olarak tasarlanmış genişletilmiş çevrime sahip bataryalarda çalışma ömrü daha uzun (yaklaşık 5 yıl) ve enerji çekilme oranı daha yüksek (yaklaşık %80) olmasına karşın, maliyet çok yükselmektedir [4].

Bu noktada üzerinde çok çalışılan hidrojen enerjisinin fotovoltaiik sistemlerle beraber çalıştırılması üzerinde durulmuş ve bu alanda birçok çalışmalar yapılmıştır. Fotovoltaiik (PV) ve yakıt pili (FC) birleşik sistemi; bu depolama sakıncalarını büyük ölçüde ortadan kaldıran bir çözüm olarak günümüzde en iyi alternatiflerden biri olarak kabul edilmektedir. Kısa ve uzun süreli enerji depolamanın her ikisi için de uygun sistem dizilişleri oluşturmak mümkündür [5]. Bu konfigürasyonlara ait temel üniteler/cihazlar PV panel, elektroliz ve yakıt pildir. Konfigürasyonda PV modüller tarafından üretilen enerjinin elektriksel yük için gerekli miktardan fazlası ile çalıştırılan elektroliz ünitesinden elde edilen hidrojen depolanmaktadır. Bu tür bir sistemde,

kontrol ünitesi güneşin olmadığı saatlerde yakıt pili ünitesini çalıştırmaktadır. Böylece depodan çekilen hidrojen ile anlık elektrik enerjisi yakıt pilinden elektriksel cihaza gitmektedir. Deponun yeterince büyük seçilmesi durumunda ise aynı sistem yaz aylarında hidrojen depolayıp, kış aylarında elektrik enerjisi gereksinimi için kullanılabilir [6,7]. Ayrıca PV destekli Hidrojen enerjili hibrid sistemlerin kullanılması, kırsal yerleşim yerlerinde kendi kendine enerji ihtiyacını karşılayabilecek yeterliliğe sahip olması açısından önemli bir alternatiftir. [4]

3. DENEY DÜZENEGİ VE BİLEŞENLERİ

Fotovoltaiik -yakıt pili birleşik sistemi, Harran Üniversitesi Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında kurulmuştur. Sistem genel olarak PV sistemi, hidrojen üretici ve depolama ünitesi ve yakıt hücresinden oluşmaktadır. Bu sistemi oluşturan elemanlar ve akım şeması şekil 1'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi, PV'de üretilen elektrik enerjisi hidrojen üreticisine verilir. Burada bulunan elektroliz ünitesinde deiyonize sudan üretilen hidrojen, metal hidrid tanklara gönderilir. Hidrojen tanklarında biriken hidrojen çalışma basıncına ulaştığında yakıt piline gönderilerek, elektrik enerjisi elde edilmesinde kullanılır.



Şekil 1. Fotovoltaiik -yakıt pili birleşik sistemi elemanları ve akım şeması

3.1 Güneş İzleyicili PV Modül Sistemi ve Enerji Dönüşüm Elemanları

PV-FC birleşik sistemi için oluşturulan PV modülünde 8 adet 24 V/175 W Sharp güneş paneli

kullanılarak, 1.4 kWp kapasite elde edilmiştir (Şekil 2) [8]. PV modülü Etatrack 1500 güneş izleme sehpa üzerine monte edilerek, güneş enerjisinden daha fazla yararlanılmıştır. Güneş izleme sisteminin hareketi için

gerekli enerji üzerinde bulunan 5W'lık bir panelden sağlanmaktadır [9]. PV panelin standart test koşullarındaki (AM 1.5, 25°C ve 1000 W/m²) teknik

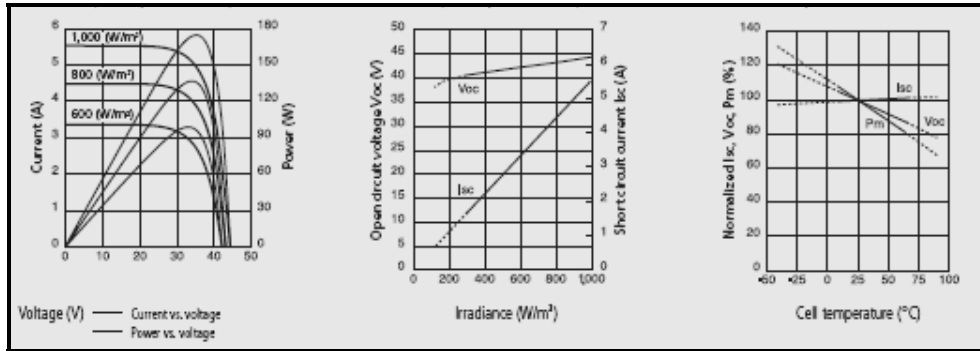
özellikleri ve akım-güç-gerilim karakteristikleri tablo 1 ve şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Güneş izleyicili 1.4 kWp (8x175 W) güce sahip PV modül sistemine ait görüntüler

Tablo 1. PV panel teknik özellikleri [8]

Elektriksel ve Optik Data	Maksimum Güç	175 W	Panel Boyutu	Boy	1575 mm
	Panel verimi	% 13.5		Genişlik	826 mm
	Maksimum Güç Voltajı	35.4 V		Kalınlık	46 mm
	Maksimum Güç Akımı	4.95 A		Ağırlık	17 kg
	Açık Devre Voltajı (V _{oc})	44.4 V	Hücreler	Hücre sayısı	72-seri
	Kısa Devre Akımı (I _{sc})	5.4 A		Hücre	Monokristal
	V _{oc} sıcaklık katsayısı	-156		Hücre şekli	Dikdörtgen
	I _{sc} sıcaklık katsayısı	0.053 %/°C		Alan	125.5 mm ²
	P _m sıcaklık katsayısı	-0.485	Sıcaklık Aralığı	Çalışma	-40 ile 90 °C
	Maksimum Sistem Voltajı	1000V DC		Depolama	-40 ile 90 °C



Şekil 3. PV panel Akım-güç-gerilim karakteristikleri [8]

PV modüller vasıtasıyla üretilen DC elektriğin depolanması ve gerektiğinde AC elektriğe dönüşümü için sistemde 8 adet bataryadan oluşan batarya bank

(12V/65Ah) ve 2 adet inverter kullanılmıştır. Bunlara ait görüntüler şekil 4'de sunulmuştur.



Şekil 4. Inverter ve bataryalara ait görüntüler

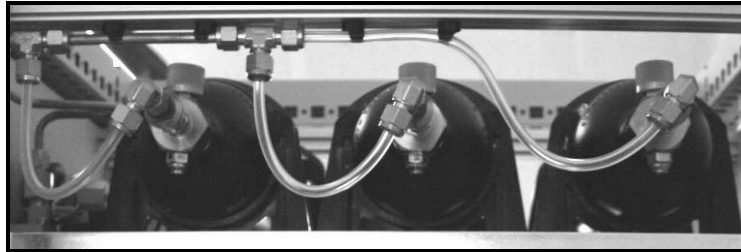
3.2 Hidrojen Üretici ve Hidrojen Depolama Tankları

PV modüller tarafından üretilen elektrik enerjisi ile çalıştırılan hidrojen üreticiden (elektroliz ünitesi) elde edilen hidrojen, metal hidrid tanklarda depolanmaktadır. Şekil 5'de görülen Hidrojen üretici

Helocentris marka PEM (Proton Exchange Membran) tipi olup 30 lt/h kapasiteye sahiptir. Helocentris marka metal hidrid Hidrojen tankları 3 adet olup her biri maksimum 900 l hacminindedir (Toplam 2700 l)[10].



(a)



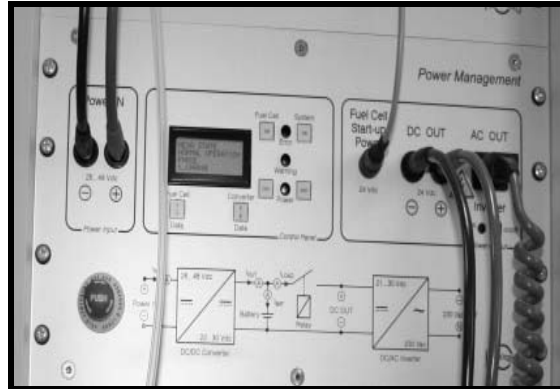
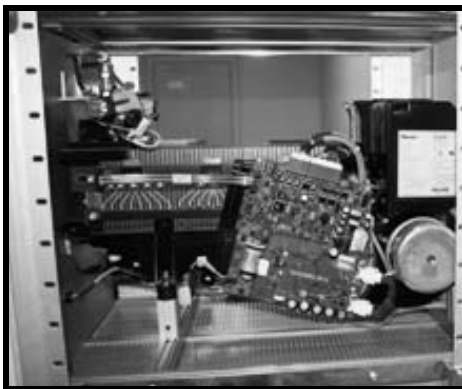
(b)

Şekil 5.(a) Hidrojen üretici (b) Hidrojen tankları

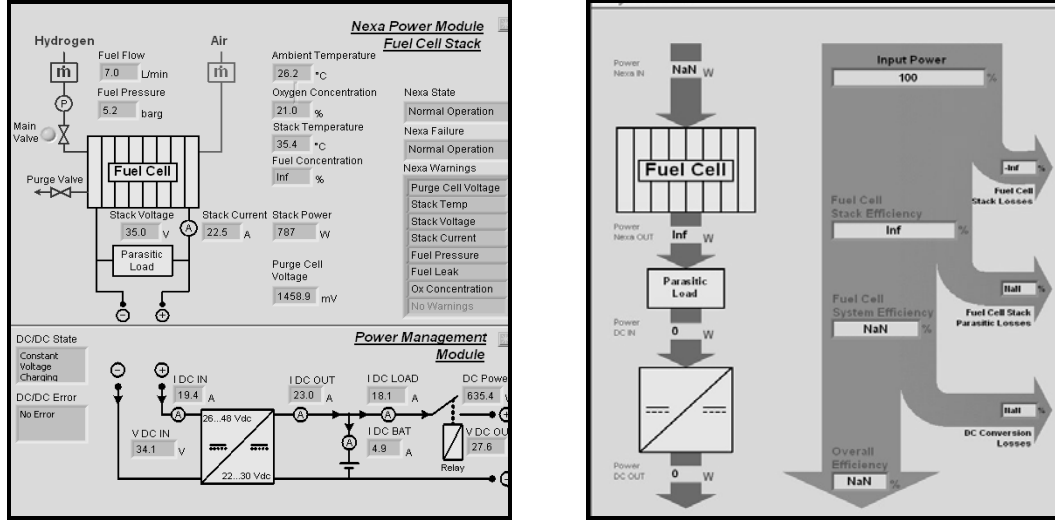
3.3 Yakıt Pili ve Enerji Yönetim Ünitesi

Metal hidrid tanklarda depolanan hidrojen, yakıt pilini çalıştırmada kullanılmaktadır. Şekil 6'da görülen yakıt pili PEM tipi olup 43 hücrelidir. Yüksüz halde her bir hücre 1 Volt, tam Yükte 0.5 Volt gerilim üretir. Sistem çalışırken bütün hücreler ile ilgili

parametreler haberleşme kartları ve yazılım sayesinde izlenir (Şekil 7). Üretilen enerjinin istenilen DC ya da AC elektrik yüklerini tahrik etmesi sistemde bulunan Enerji Yönetim Modülü tarafından sağlanmaktadır. Yakıt pili ve enerji yönetim modülüne ait özellikler Tablo 2 de verilmiştir.



Şekil 6. Nexa marka PEM tipi yakıt pili (1.2 kWp) sistemi ve enerji yönetim modülü



Şekil 7. Yakıt Pili Kontrol ekranı

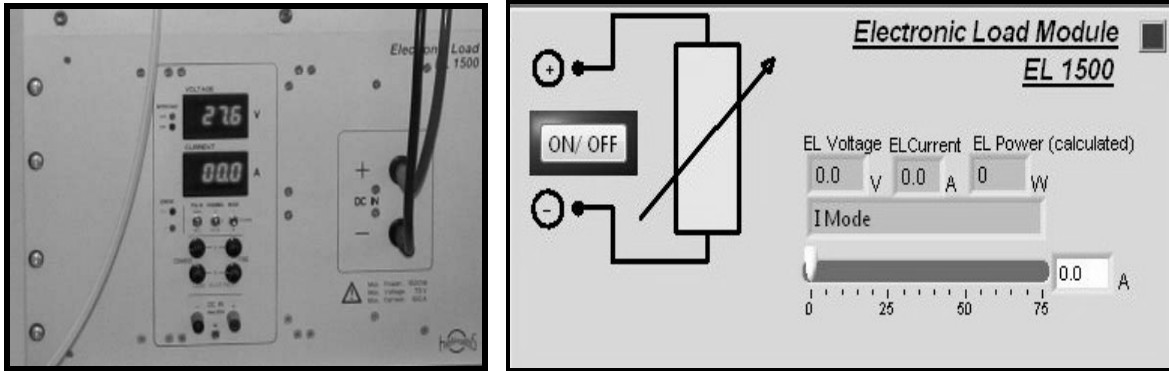
Tablo 2. Yakıt pili ve Enerji yönetim modülü teknik özellikleri

Yakıt pili özellikleri (Nominal koşullarda)		Enerji Yönetim Modülü Özellikleri	
Sürekli Güç	1200 W	Nominal çıkış voltajı	24 VDC
DC Voltaj	26 V	Çıkış voltaj aralığı	22-30 VDC
DC voltaj aralığı	22-50 Vt	Giriş voltaj aralığı	26-48
Akım:	46 A	Maksimum Akım	max 55 A
Hydrojen tüketimi	18,5 l/h	Maksimum Güç	max 1200 W
Basınç aralığı	0,7-17 bar	AC Çıkış voltajı	230 V (50 Hz)
Hydrojen saflık derecesi:	%99.999	AC Güç	Max 2000 W

3.4 Elektronik Yük Ünitesi

Şekil 8' de görülen ünite yakıt piline istenilen elektrikselsel yükleri uygulamak için kullanılmaktadır. Bilgisayar kontrollü veya manuel olarak sisteme değişik

modlarda (Akım veya Güç) yük uygulanabilmektedir. Yük kapasitesi akım olarak maksimum 0-75 A, güç olarak 0-1500W arasındadır.

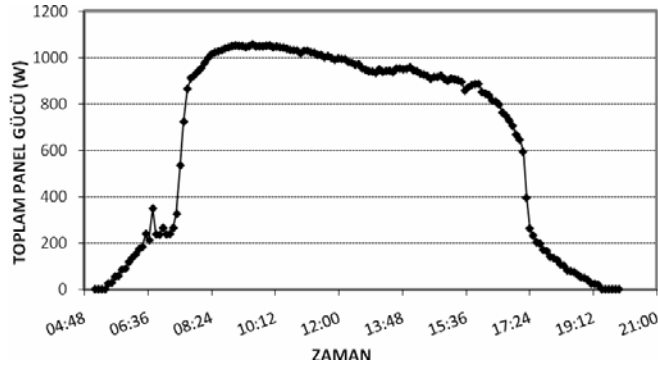


Şekil 8. Elektronik yük Ünitesi

4. DENEYSSEL SONUÇLAR

Sistemde kullanılan güneş panelleri; güneş izleme sehpası üzerine monte edildiğinden ölçüm yapılan günde maksimum verim elde edildiği görülmüştür. Seçilen güne ait (17.07.2008) panel güç eğrisi Şekil 9'da verilmiştir. Günlük elde edilen toplam net güç 8500 W'dır. Panellerin ürettiği enerjinin, elektroliz ünitesinde kullanılacak kısmı haricindekiler (Hydrojen tankları dolduğu zaman) bataryaların şarjında

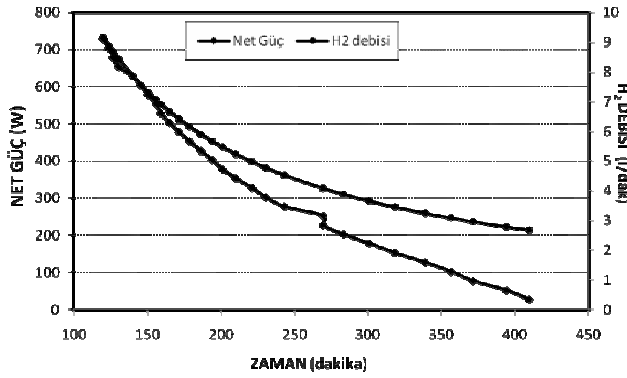
kullanılmıştır. Elektroliz ünitesinin çektiği güç anlık olarak ölçülmüş ve 230 W olarak tespit edilmiştir. Belirtilen güçler, sistemde oluşan elektrikselsel ve kimyasal kayıplar çıkarıldıktan sonra elde edilen net güçlerdir. Fotovoltaik panellerden elde edilen günlük toplam enerjisinin tamamı elektrolizörde kullanıldığı için üretilen Hydrojen miktarı 1100 l olarak tespit edilmiştir.



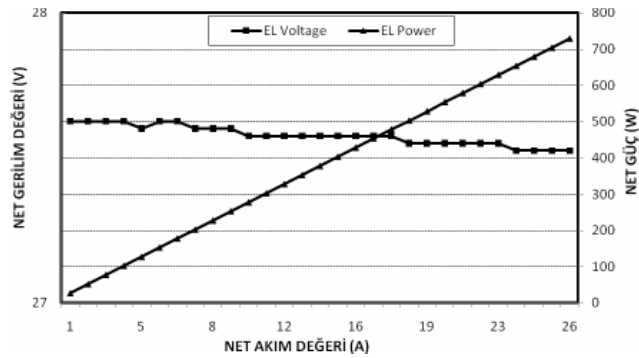
Şekil 9. Seçilen güne ait gücün zamansal değişimi

Değişik yük tüketimi ve mevcut hidrojen ile yakıt pilinin ne kadar süre elektrik üretebileceğine dair deneysel sonuçlar Şekil 10'da gösterilmiştir. Depodaki hidrojen, 700 W'lık net bir elektriksel gücü $t=120$ dak. süresince karşılayabilmektedir. Daha küçük güçteki elektriksel yükler için yakıt pili çalışma süresi orantılı olarak artmaktadır (örneğin $P_{fc}=100$ W için $t=355$ dak.)

Şekil 11'de yakıt piline uygulanan farklı yüklerle göre akım değerinin değişimi gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, çıkış voltajı belirlendiğinden (~ 27 V DC), her bir farklı güç değeri, gerçekte hidrojen tüketimine direkt etki eden farklı bir akım değerine karşılık gelmektedir.



Şekil 10. Yakıt pilinin depolanan hidrojen ile enerji temin etme süresinin güce göre değişimi



Şekil 11. Yakıt pilinde uygulanan yüke göre akım değerinin değişimi

5. DEĞERLENDİRME

PV panellerin ürettiği enerji ile hidrojen üretilmesi ve bu sayede enerji depolamada olan zorlukların giderilmesi son yıllarda gündeme gelmiş bir alternatiftir. Bu çalışmada, sınırlı kapasiteye sahip Fotovoltaik-Elektrolizör-Yakıt Pili birleşik sisteminin beraber kullanılması deneysel olarak incelenmiştir.

Deneyler sırasında herhangi bir hata veya kararsızlık tespit edilmemiştir. Böylece hidrojen sisteminin güvenilirliği ve kararlılığı umut vermiştir. Ticari olarak bu kapasiteler artırılabilir. Bu çalışmadaki gibi sistemler yılda birkaç saat veya birkaç gün çalışacak şekilde tasarlandıkları için, işletme maliyetinden ziyade ilk yatırım maliyetleri yüksektir. İlk

yatırım açısından çok pahalı bir sistem olmasına rağmen, şehir elektrik şebekesinden uzak yerleşim yerleri için cazip özelliklere sahiptir. Örneğin ortalama 500 W bir güç ihtiyacı olan stratejik bir noktada 2 saat boyunca enerji sağlanabilmiştir. Bu tür hibrid sistemler maliyetten ziyade kritik durumlar açısından değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

1. BP Statistical Review of World Energy, June 2007, <http://www.bp.com>.
2. TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, 2006 Türkiye İstatistik Yıllığı, 2007, Ankara.
3. TUBİTAK Vizyon 2023 Teknoloji Öngörü Projesi, Enerji Ve Doğal Kaynaklar Paneli Raporu, 2003, Ankara.
4. Yeşilata B., Demir, F., "Fotovoltaik ve yakıt pili birleşik sisteminin analizi", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, cilt 26, sayı 1, sy. 37-44 (2006).
5. Busquet, S., Domain, F. Metkemeijer, R., Mayer, D., "Stand-alone power system coupling a PV Field and a fuel cell: description of the selected system and advantages", in Proceedings of the PV in Europe conference, Rome, Italy, 7-11 October 2002, pp. 667-660.
6. Hirschenhofer, J.H., Stauffer, D.B., Engleman, R.R., Klett, M.G. "Fuel Cell Handbook", Second Edition, Parsons Corporation, Reading, PA, 1998.
7. Johnston, B., Mayo, M.C., Khare, A., "Hydrogen: the energy source for the 21st century", Technovation 25 (2005) 569-585.
8. Sharp NTR5E3E/NT175E1 175 W, www.sharp-ccc.com
9. Etatrack active diy installation guide,
10. www.heliocentris.com