

**Tablo 1.** PV Modül Sistemi ve Güneş İzleyici Teknik Özellikleri

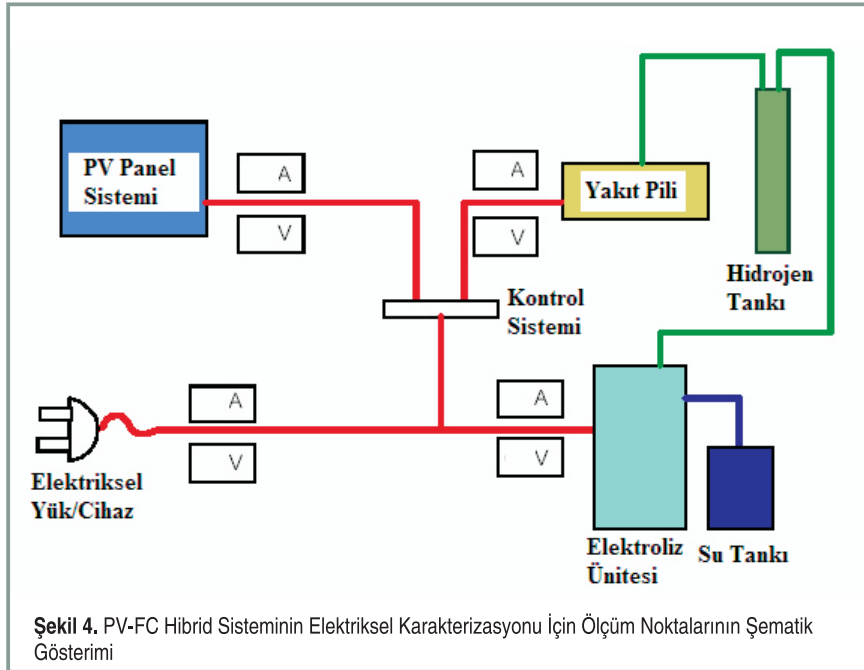
Panel teknik özellikleri (Standart Test Koşullarında verilen değerlerdir)	Güneş izleyici özellikleri
72 seri bağlı monokristal silikon solar hücre Maksimum voltaj: 35.4 V Maksimum akım: 4.95 A Maksimum güç: 175 W Modül verimi: %13.4	Tek eksenli takip sistemi Doğu-Batı yönünde 90° aktif Manuel ayarlanabilir eğim: 0-45° İzleyici yıllık güç tüketimi: 1.25kWh/yıl Sensörsüz (PV paneli sensör olarak kullanır)

**Tablo 2.** Hidrojen Üretici ve Hidrojen Depolama Tankı Teknik Özellikleri

PEM tipi hidrojen üretici (PG30) özellikleri	MEtal hidrid hidrojen depolama tank (HS900) özellikleri
Hidrojen debisi: 30 lt/h Hidrojen saflık derecesi: %99.9999 Hidrojen çıkış basınç aralığı: 0.1...10.7 bar Maksimum güç tüketimi: 260 VA	Tank sayısı: 3 Tank hacmi: 900 lt (17 bar basınçta) Boşaltma debisi: 7 lt/dak (500 Wp güç eşdeğeri) Boşaltma basınç aralığı: 10...17 bar

**Tablo 3.** Yakıt Pili ve Enerji Yönetim Ünitesi Teknik Özellikleri

PEM tipi yakıt pili özellikleri (Nominal koşullardaki değerlerdir)	(DC/DC Konverter ve DC/AC İnverter bulunan) Enerji Yönetim Modülü Özellikleri
Sürekli güç: 1.2 kW DC Voltaj: 26 V Akım: 46A Hidrojen tüketimi: 18.5 lt/h Basınç aralığı: 0.7...17 bar	Nominal çıkış voltajı: 24 VDC Çıkış voltaj aralığı: 22...30 VDC Giriş voltaj aralığı: 26...48 VDC Maksimum Akım: 55A Maksimum Güç: 1.2 kW



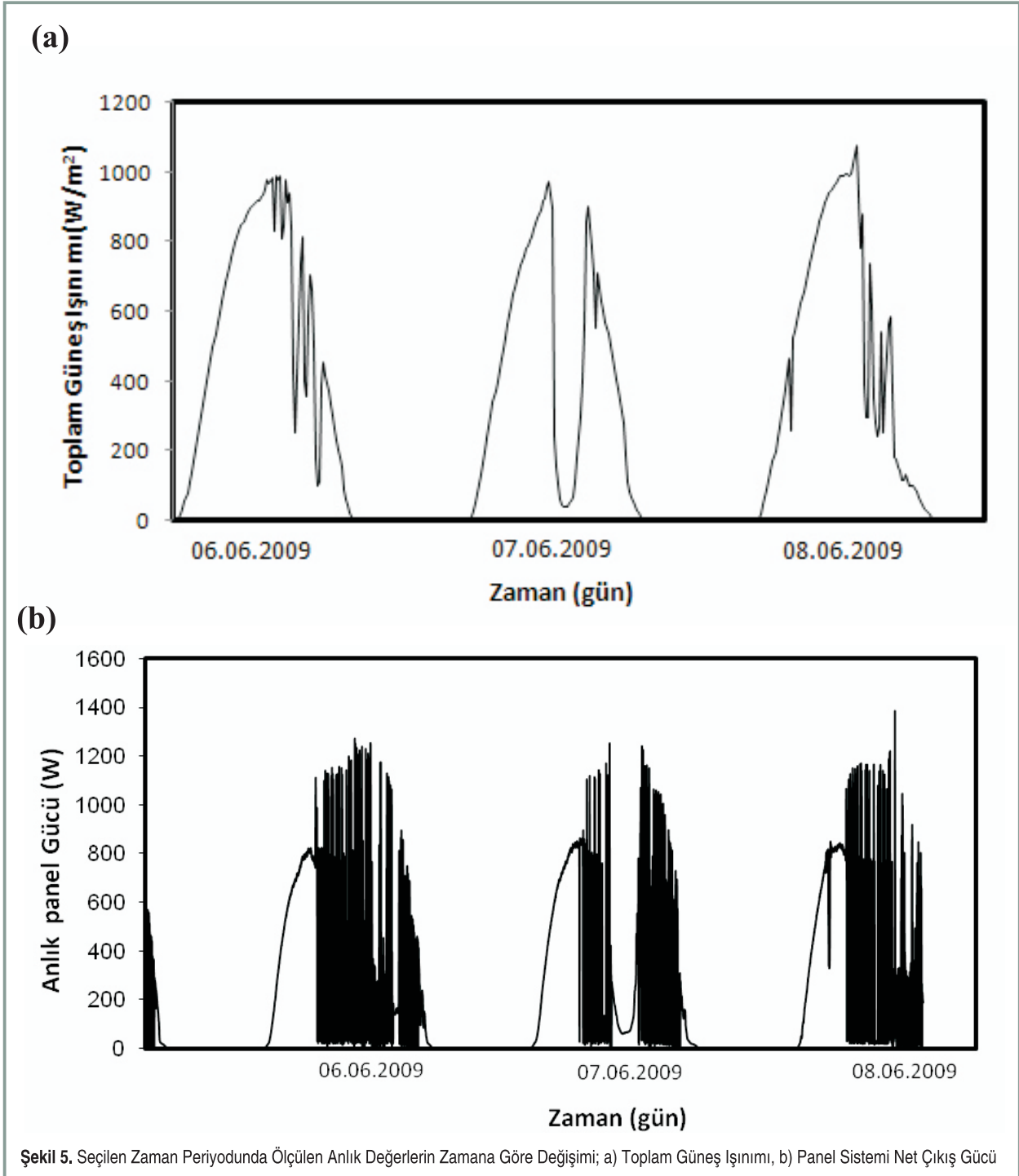
multimetre, elektro-manyetik debimetre, basınç manometresi ve transdüserleri kullanılmıştır. Gerek PV modül sisteminin, gerekse yakıt pili sisteminin elektriksel karakterizasyonu için grubumuz tarafından geliştirilen [6] özgün bir elektronik yük ünitesi de bulunmaktadır. Deneyler sırasında PV panel yüzeyine gelen toplam güneş ışınımı ise piranometre ile ölçülmüştür.

## DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada sistemin performans kriteri olarak PV-elektroliz sistemiyle üretilen ve yakıt piline bağlı elektriksel yükü temin amacıyla tüketilen hidrojen miktarları göz önüne alınmıştır. Bu amaçla Şekil 3'te gösterilen düzende; kontrol ünitesi

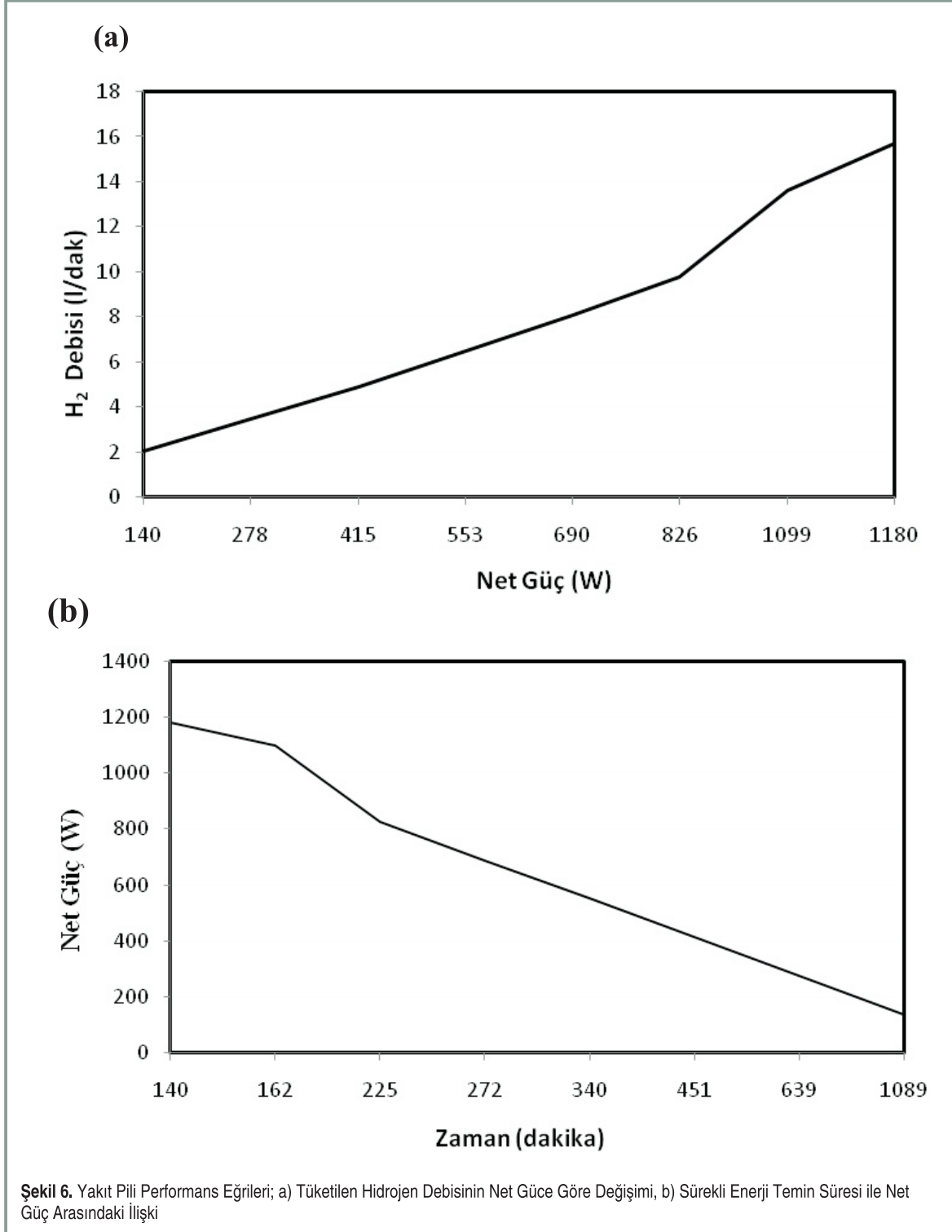
vasıtasıyla, kesintili güç üretme modu kullanılmıştır. Diğer bir ifadeyle; sistemde seçilen zaman periyodu boyunca sadece üretilen hidrojen depolanmış, tankların dolumu tamamlandıktan sonra ise yakıt piline akupleli elektriksel yükün çalıştırılması sağlanmıştır. Bu sayede; söz konusu sistem ile belirli zaman periyodunda üretilen hidrojen miktarı ile depolanan hidrojenin farklı güç çıktıları için tüketilme sürelerinin araştırılması mümkün olmuştur.

Zaman aralığı olarak seçilen üç güne ait (06-08.06.2009) deneysel toplam güneş ışınım miktarı ve PV panel güç çıktıları sırasıyla, Şekil 5(a) ve 5(b)'de verilmiştir. Grafikler her gün için 24 saat süresince ölçülen değerlere göre çizilmiştir. Şekil 5(a)'dan seçilen günler için, güneş ışınım şiddetindeki değişimin, maksimumu değerlerin öğle saatlerinde elde edildiği yaklaşık parabolik bir trend gösterdiğini söylemek mümkündür. Ancak; ikinci gün için, havanın öğle saatlerinde



bulutlu olması nedeniyle, güneş ışınım şiddetinde önemli seviyede düşüşler söz konusudur. Şekil 5(b)'den ise PV panel güç çıktısındaki değişimin, güneş ışınım şiddeti ile önemli seviyede paralellik gösterdiği görülmektedir. Ölçüm frekansının yüksekliği ve ölçümler süresince veri güvenilirliğinin zedelemesi amacıyla elektronik filtreleme

yapılmamıştır. Bu nedenle, Şekil 5(b)'de verilen grafiklerde gürültü sinyalleri oluşmuştur. Elde edilen anlık değerler günlük toplama eklendiğinden, bu gürültülerin mevcut sonuçlara etkisinin çok düşük seviyelerde kaldığı hesaplamalarla belirlenmiştir. Göz önüne alınan üç gün süresince; PV panel sisteminden elde edilen toplam enerji



15.65 kWh olarak ölçülmüştür. PV panel sisteminden elde edilen bu güç çıktısı vasıtasıyla elektroliz ünitesinde üretilen ve metal hibrid tanklarda depolanan toplam hidrojen hacmi ise 2150 litre olmuştur.

Tanklarda depolanan hidrojen ile yakıt piline akupleli farklı büyüklükteki elektriksel yükler için, anlık hidrojen tüketim miktarları bir debimetreye ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar Şekil 6(a)'da gösterilmiştir. Söz konusu ölçümler; üretilen hidrojenin yakıt piline akupleli farklı büyüklükteki yük taleplerine göre kesintisiz olarak ne kadar süre enerji temin edileceğini belirleme açısından oldukça önemlidir. Bu durum Şekil 6(b)'de gösterilmiştir. Üretilen hidrojen; tam yükte (P=1150 W) yaklaşık olarak 140 dakika, yarım yükte (P=600 W) 300 dakika ve çok daha düşük yükte (P=200 W) 1100 dakika kesintisiz olarak enerji üretilebilmektedir.

Şekil 6'da gösterilen grafiklerde göze çarpan en önemli nokta düşük yüklerde sağlanan doğrusal ilişkinin, tam yüke yakın noktalarda bu özelliğini kaybetmesidir. Bir diğer nokta; yakıt pili vasıtasıyla elektriksel yüke aktarılan toplam enerji miktarındaki farklılıktır. Örneğin bu deneysel çalışmada, yakıt pili tam yükte çalıştırılarak, mevcut hidrojen ile elektriksel yüke aktarılan toplam enerjinin miktarı araştırılmış ve bu değer yaklaşık 13 kWh olduğu belirlenmiştir. Bu durumda beklenen değer yaklaşık 15.65 kWh olduğundan, bu düşüşün sebebi araştırılmıştır. DC/DC konvertörde %4 ve DC/AC inverterde de %13 olmak üzere toplam %17 kayıp olduğu belirlenmiştir.

Diğer bir sebebin ise; yakıt pilinin bulunduğu yöre ve ortam koşulları nedeniyle beklenen tam yük değeri olan 1.2 kW değerinin altında çalışmasıdır. Çünkü deniz seviyesinden her 100 m için yaklaşık 15 W ve 30 °C ortam sıcaklığının üzerindeki her bir derece için yaklaşık 10 W bir düşüş olabileceği öngörülmektedir [8]. Deneyler yapılırken yakıt pilinin bulunduğu ortamdaki sıcaklık ortalama  $32 \pm 1$  °C olarak ölçülmüş olup, bu değerle önemli bir kayıp söz konusu değildir. Ancak deneyleri yapıldığı yöre (Şanlıurfa ili) deniz seviyesinden yaklaşık 550 metre yükseklikte olduğundan, bir güç düşümü beklenmelidir.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı; yakıt pili üretici firma kataloglarında belirtilen tam yüke yakın bölgelerde, kesintisiz enerji süresinin teorik denklemlerle hesabında yanılığa düşülebileceği konusu mutlaka göz önüne alınmalıdır.

## DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışmada küçük ölçekte bir PV-FC sistemi oluşturulmuş ve gerçek çalışma koşulları altında deneysel performans analizi yapılmıştır. Performans kriteri olarak üretilen hidrojen miktarı esas alınmış ve belirli zaman periyodunda üretilen

hidrojen miktarı ile depolanan hidrojenin farklı güç çıktıları için tüketilme süreleri araştırılmıştır. Kesintisiz enerji üretimi sırasında, kullanılan yakıt pilinin üretici firma kataloglarında belirtilen tam yük değerine tam olarak ulaşamamıştır. Ayrıca tam yüke yakın bölgelerde hidrojen tüketimi ile net güç çıktısı arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla; yakıt pili sistemi tasarımlarında; tam yüke yakın bölgelerde teorik hesaplamalardan sapma olabileceği gözlenmiştir.

PV-yakıt pili hibrid sisteminin; yenilebilir enerji uygulamalarında kullanılan klasik bataryalar için söz konusu depolama sakıncalarını büyük ölçüde ortadan kaldırma potansiyelinin bulunduğu bilinmektedir. Çünkü bu tür sistemlerle, kısa ve uzun süreli enerji depolamanın her ikisi için de uygun sistem dizilişleri oluşturmak mümkündür. Bu çalışmada göz önüne alınan sistemde, uzun süreli enerji depolama modu uygulanmış ve PV paneller vasıtasıyla üretilen hidrojen gerekli anlarda kullanılmak üzere depolanmıştır. Deponun yeterince büyük seçilmesi durumunda; bu tür bir sistem yaz aylarında hidrojen depolayıp, kış aylarında elektrik enerjisi gereksinimi için kullanılabilecektir. Sistemin bu yeteneğinden stratejik amaçlı yararlanmak mümkündür. Şanlıurfa gibi; güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan yörelerde, en az altı ay süresince enerji bedeli ödemedi hidrojen üretimi mümkündür. Depolanan hidrojenin, gereksinim halinde istenilen bölgeye transferi ya da direkt olarak mobil uygulamalarda PEM yakıt pili ile kullanımı mümkün olabilecektir.

PV sistem, yakıt pilinde kullanılan hidrojenin üretilmesi sırasında, gerekli enerji giderlerini ortadan kaldırmasına karşın; zaten düşük olan verim değeri, elektroliz ve yakıt pili ünitelerindeki dönüşümlerle daha da düşmektedir. Ayrıca, depolamada kullanılan metal hidrid tankların farklı sıcaklıklarda çalışma performansları da toplam sistem verimini etkilemektedir. Bu nedenle; birleşik sistemden maksimum yararlanabilecek koşulların belirlenmesi önemlidir. Ayrıca PV-yakıt pili hibrid sistemi bileşenlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksekliği diğer önemli bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle söz konusu sistemlerin, ekonomikliğin ön planda olmadığı, ileri düzey güvenlik/strateji gerektiren durumlara hazırlık anlamında önemli olduğu düşünülmektedir. GAP Bölgesinin geleceğine yönelik olarak da, uzun vadede MW seviyesindeki PV santrallerin bölgeye kurularak, geleceğin stratejik yakıtı kabul edilen milyarlarca metreküp hidrojenin, sızdırmazlığı sağlanmış büyük menfez, tünel ve mağaralarda depolanması olanağı bulunmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma; 2006K/120670 nolu DPT proje desteği ile gerçekleştirilmiştir.