

Çalışma Değişkenlerinin Hava Solumalı, Metal Plakalı PEM Yakıt Pili Performansına Etkisi

Ümitcan Emiroğlu^{12*}, Kemal Erşan²

¹TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

*İlgili Yazar: umitcan.emiroglu@tubitak.gov.tr

†Konuşmacı: umitcan.emiroglu@tubitak.gov.tr

Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

Özet – Enerji ihtiyacının giderek arttığı günümüzde temiz enerji kullanımını büyük önem taşımaktadır. Yakıt pili, yüksek enerji yoğunluğuna (W.h/kg) sahip hidrojeni kullanarak elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Farklı uygulama alanları için ise farklı tipte yakıt pilleri geliştirilmiştir. Hava araçlarında ve elektrikli taşıt uygulamalarında metal plakalı PEM yakıt pilinin kullanımı yaygınlaşacaktır. Metal plakalı yakıt pillerinin daha yüksek enerji yoğunluğuna (500-2000 W.h/kg) sahip olması nedeniyle sabit kanatlı hava araçlarının uçuş süresi, elektrikli taşıtların ise menzili artmaktadır. Bu sebeple metal plakalı PEM yakıt pili performansının artırılması üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada hava solumalı ve hava soğutmalı metal plakalı bir PEM yakıt hücresi farklı çalışma parametrelerinde test edilmiş ve performans değerleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler – Enerji, Hidrojen, Yakıt Pili, PEM, Metal Plaka

Effect of Operational Parameters on Performance of Air-breathing Metal Plates PEM Fuel Cell

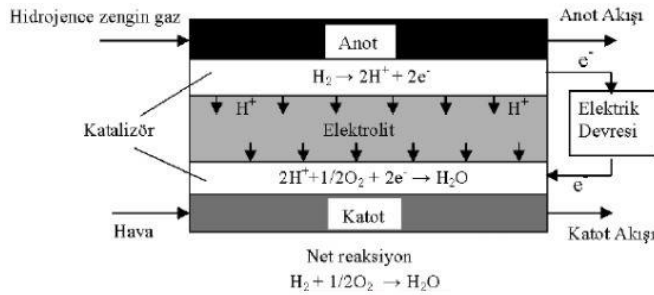
Abstract – Energy requirement gradually increase at the present time, so using of clean energy is capital importance. Fuel cell converts electrical energy by use of high energy density (W.h/kg) of hydrogen. Different types of fuel cell are developed for different field of applications. It will spread using of metal plates PEM fuel cell for air vehicles and electrical vehicles. Because of higher energy density (500-2000 W.h/kg) of metal plates fuel cell, fixed wing air vehicles flight time and electrical vehicle range increase. Therefore, there are many studies for improving metal plates PEM fuel cell performance. In this study, air breathing and air cooling metal plates PEM fuel cell is tested for different working parameters and obtained performance results.

Keywords – Energy, Hydrogen, Fuel Cell, PEM, Metal Plate

1.GİRİŞ

Dünyada fosil yakıt rezervinin sınırlı olması yenilenebilir, alternatif enerji kaynaklarının önemini arttırmıştır. Çevreye daha az zarar veren enerji dönüşüm sistemlerinin kullanımının önümüzdeki yıllarda yaygınlaşması beklenmektedir. Hidrojenin çok yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması ve yenilenebilir olması enerji kaynağı olarak kullanımını kaçınılmaz kılmaktadır. En genel tanımıyla yakıt pilleri hidrojenin kimyasal enerjisini elektriksel enerjiye dönüştüren sistemlerdir. Bu işlem hiç bir çevrim gerektirmeden ve yanma reaksiyonu olmadan gerçekleşmektedir.

Yakıt hücresi, dışarıdan sağlanan yakıt (anot tarafı) ve oksitleyici (katot tarafı) ile bunların bir elektrolit ortamı içerisinde reaksiyona girmesi ile elektrik üretmektedir (Şekil 1). Bu reaksiyon bir katalizör etkisi ile gerçekleşmektedir. Reaksiyona giren yakıt elektron ve pozitif yüklü iyonlara (anyon) ayrılmaktadır. Elektrolitik madde anyonların katoda geçişine izin vermekte fakat elektron geçişine izin vermemektedir. Bu sebep ile elektronlar bir elektronik devre üzerinden dış devrede kullanılmak üzere akmaya zorlanmaktadır[1].



Şekil 1- Yakıt Pili Çalışma Prensibi [1]

Yakıt pilleri kullandığı yakıt çeşidi, elektrolit malzemesi ve yapı tarzına göre çeşitlere ayrılmaktadır. Günümüzde bilinen uygulanabilir 6 farklı yakıt pili türü vardır. Bu sistemler hakkındaki bilgiler Tablo 1 de gösterilmiştir [2].

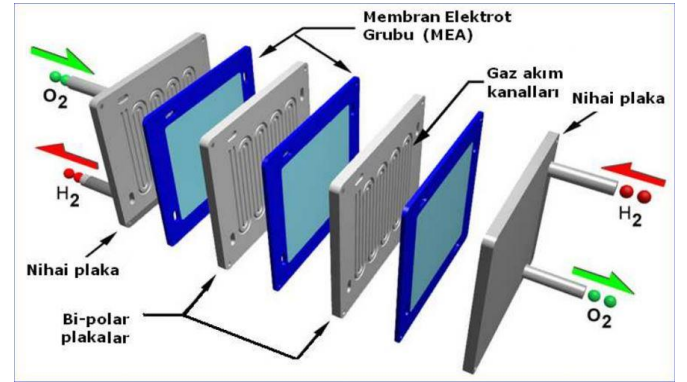
Yakıt Pili Türü	Mobil İyon	Çalışma Sıcaklığı	Uygulamalar ve Notlar
Alkalın (AFC)	OH ⁻	50-200°C	Hava araçlarında kullanıldı. Apollo, Shuttle gibi.
Proton Değişim Membran (PEMFC)	H ⁺	30-100°C	Taşıtlar ve mobil uygulamalar
Direk Metanol (DMFC)	H ⁺	20-90°C	Düşük Güç ile çalışan Taşınabilir Elektronik Sistemler, uzun süre çalışabilir.
Fosforik Asit (PAFC)	H ⁺	~220°C	Çok sayıda 200-kW lık sistemlerde
Erimiş Karbonat (MCFC)	CO ₃ ²⁻	~650°C	Orta ölçekli ve yüksek ölçekli sistemler, MW seviyelerine kadar
Katı Oksit (SOFC)	O ²⁻	500-1000°C	2 kW- multi MW aralığındaki sistemler

Tablo 1-Yakıt Pili Türleri [2]

Polimer Elektrolit Membranlı yakıt pillerinin yüksek güç yoğunluğunu verimli bir şekilde sağladığı, mobil uygulamalar ve araç uygulamaları için uygun olduğu, Polimer elektrolit sayesinde düşük sıcaklıklarda (60°-80°) çalışabilecekleri, sızdırmazlık ve montajlama olarak diğer yakıt pili türlerine göre daha basit oldukları belirtilmektedir [3].

Taşınabilir enerjiye sahip elektrikle çalışan, elektrikli araçlardan hava araçları, kara taşıtları ve deniz taşıtlarında sürüş süresi ve kat ettiği mesafe büyük öneme sahiptir. Bu araçlardan kullanım alanına göre İnsansız hava araçları için en önemli özellik uçuş süresidir ve bu süre batarya ile çeşitli yönlerden incelenmiştir[4]. Literatürde yapılan bu incelemede, batarya gücü ile uçuş süresinin 60-90 dk. arasında olduğu ve daha yüksek enerji yoğunluklu güç kaynağı ile bu uçuş süresinin uzatılabileceği belirtilmektedir. Yakıt pili ise lityum iyon bataryanın sahip olduğu 150-200 W.h/kg enerji yoğunluğuna karşın 500-2000 Wh/kg enerji yoğunluğuyla güçlü bir alternatif güç kaynağı olarak önerilmektedir. Şu an kullanılan bataryalı sistemlere göre daha hafif olması, hareketsiz parçalardan oluşması ve titreşim konusu da daha avantajlı görülmektedir. Aynı enerji yoğunluğunda yakıt pili sisteminin ağırlığı lityum iyon bataryalara göre 3,5 kat, NiMH bataryalara göre 8 kat, kurşun asit bataryalara göre ise 16 kat daha hafif olması diğer bir üstünlük olarak görülmektedir.

Bir PEM tipi yakıt pili genel olarak platin kaplı anot ve katot elektrotu, membran, gaz akış kanalları ve akım toplama plakalarından oluşur. Anot elektrotu, katot elektrotu ve membranın oluşturduğu yapı ise Membran Elektrot Grubu (MEA) olarak isimlendirilir.



Şekil 2-PEM Tipi Yakıt Pili Bileşenleri [5]

Gaz akış kanal malzemesi olarak grafit veya metal kullanılmaktadır. En yaygın olarak grafit kullanılmaktadır. Grafitin yüksek maliyeti, düşük mekanik dayanımı ve kanalların işleme zorluğu gibi problemleri vardır. Metal plaka ise güçlü mekanik kararlılığı, termal ve elektriksel iletkenliği, kolay işlenebilirliği, seri üretimde düşük maliyete erişebileceği için güçlü bir plaka adayı olarak önerilmektedir. [5,6]. Bunun yanında çalışma değişkenleri ve yapısal değişikliklerin PEM yakıt piline etkisi detaylı olarak araştırılmıştır [6-13]

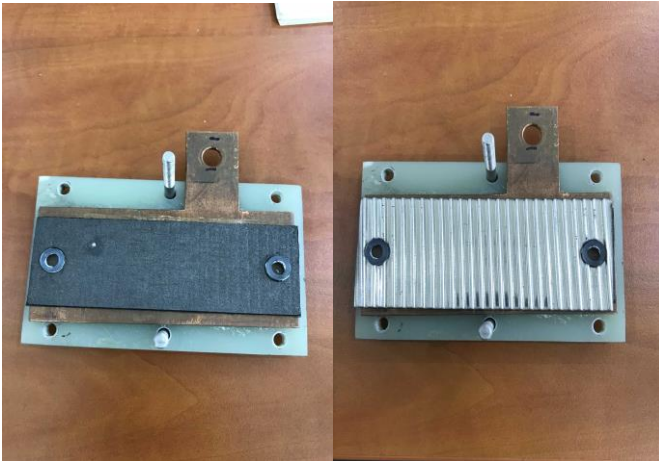
Yapılan araştırmalar elektrikli taşıtların güç kaynağı olarak günümüzde ve gelecekte Yüksek enerji yoğunluğuna, taşınabilir enerji ile beslenebilme özelliğine, titreşim konusunda daha avantajlı olmasına ve hareketsiz parçalardan elektrik üretilmesi sebebi ile Yakıt pillerinin kullanımını ön plana çıkarmaktadır. Bunun yanında yakıt pilini üretmede ve

geliştirmede ise, yakıt pilinde kullanılan parçalardan metal gaz dağıtım plakalarının, termal ve elektriksel iletkenliği, mekanik kararlılığı, kolay işlenebilirliği ve üretim maliyeti açısından diğer gaz dağıtım plakalarından daha ön planda olduğu önerilmektedir. Bu çalışmada metal plakalar yakıt piline literatürden daha farklı yöntem uygulanmış ve metal plakaların tek hücreli yakıt pili performansına etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL METOT

PEM yakıt pili akış kanallarında yaygın olarak kullanılan grafit plakalar yerine özel olarak üretilmiş, işlenmiş metal plaka kullanılmıştır. Sunulan bu çalışmada 95x35 kesit alanına ve 0,5mm kalınlığa sahip 316 paslanmaz çelik metal plaka sadece hava tarafında kullanılmıştır. Membran olarak Nafion™ Membrane XL ticari ürünü, akım toplamak için ise yüzeyi altın kaplı bakır plakalar kullanılmıştır.

İlk aşamada metal plakalı yakıt pilinin performans testi için hidrojenin geçeceği gaz akış kanalları, anot ve katot elektrotu, membran birleştirilerek hücrenin montajı gerçekleştirilmiştir. Sızdırmazlığın sağlanması için membran çevresi silikonlanmıştır. Katot tarafında hava akışının sağlanacağı şekillendirilmiş paslanmaz çelik ve akım toplama plakaları da eklenerek yakıt pili hücrenin montajı tamamlanmıştır.



Resim 1- Yakıt Hücresinin Görünümü

Montajı yapılan yakıt hücresinin testi Medusa Teledyne test istasyonuyla (Resim 2) yapılmıştır. Test sisteminde yakıt hücresini besleyen hidrojen cihazdan gelip, bilgisayar üzerinden debi ve sıcaklık gibi veriler kontrol edilmektedir. Katot tarafında hava sirkülasyonunu sağlayan, paslanmaz çeliğin kanallarından geçerek reaksiyona giden ve soğutma etkisi de olan hava ise küçük bir fan sayesinde sağlanmıştır. Hava akışının düzenli dağılımı için sisteme küçük bir davlumbaz eklenmiştir. Daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için ortamdaki hava kullanılmıştır. Yakıt hücresinin yüklenmesi ise, maksimum 50 V gerilim ve 20 A akım verebilen Scribner 890 CL test sistemiyle yapılmıştır.



Resim 2- Yakıt Pili Performans Test İstasyonu

Yakıt pili test istasyonuna bağlantıları yapılan yakıt hücresinin ilk çalıştırmada öngörülen açık devre gerilimine ulaşmak ve kararlı hale getirmek için sistem belli bir süre çalıştırılmıştır.

Yakıt hücresi kararlı hale ulaştıktan sonra Hidrojen giriş debisi değiştirilip hidrojen girişi hat sıcaklığı 60°C ve nemlendirici sıcaklığı 55°C de sabit tutulmuştur. Bu çalışma şartlarında hücre sıcaklığı 20°C de sabit tutulmuştur.

Yükleme elektronik yük ile 0,1 A akımdan 1 A akım değerine ulaşana kadar 0,1 A aralıklarla yapılmış ve hücre gerilim değerleri alınmıştır. Alınan sonuçlar ile Grafik 1'deki akım-gerilim ve akım-güç grafikleri elde edilmiştir.

Deneyler sonucu en uygun 0,1 lt/dk debi değerinde elde edildiğinden, deneyler farklı sıcaklıklarda ve sabit hücre sıcaklığında tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlardan hidrojen giriş debisinin performansa etkisini gösteren Grafik 2 çizilmiştir.

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

a) Hidrojen Giriş Debisinin Performansa Etkisi:

Deney yapılan her debi de başlangıçta açık devre gerilimi 0,7 V-0,75 V arasındadır. Yüklemeye başlandıktan sonra ise gerilim düşmekte ve buna karşın elde edilen güç öngörülen biçimde artmaktadır. Yüke karşı verilen tepki olarak en iyi performans 0,1 lt/dk debi değerinde elde edilmiştir. Arttırılmış 0,3 lt/dk ve 0,5 lt/dk debi değerlerinde ise aynı akımda elde edilen gerilim daha düşüktür. Bunun sonucu olarak ise 0,1 lt/dk debi değerinde en iyi güç performansı elde edilmiştir.

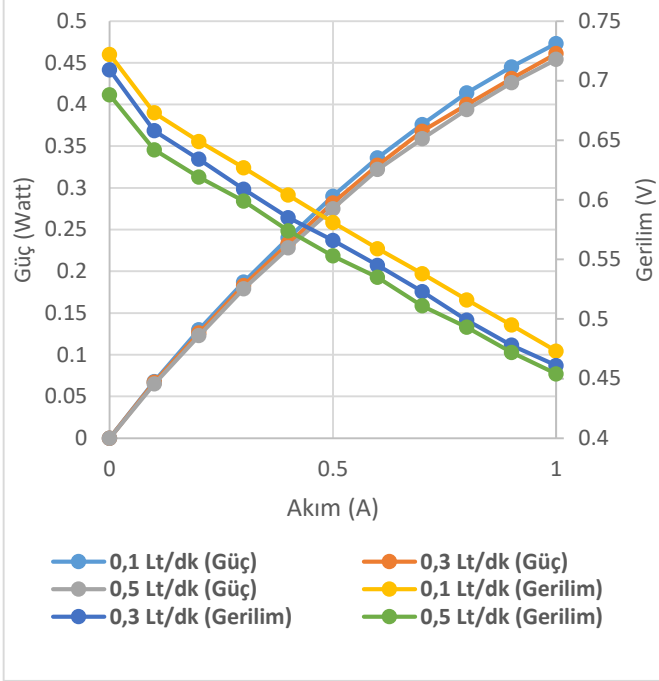
Aktif alanın oldukça küçük olması (18 cm²) ve anot kanallarının dar olması sebebiyle 0,1 lt/dk debi değeri yakıt hücresi için yeterli olmuştur. Debi arttığında ise gerilim değerleri daha fazla düşmektedir. Anot tarafını besleyen hidrojen debisi arttığında hidrojenin kanalda kalma süresi kısaldığından hidrojen atomlarının reaksiyona girme süresi kısalmakta ve gerilim düşmektedir. Bunun yanında grafikte görüldüğü gibi düşük akım değerlerinde farklı debiler için elde edilen gerilim değeri farkı düşüken, yüksek akımlarda daha fazla fark oluşmaktadır.

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada literatürden farklı olarak hava sisteme fan kullanılarak soluma yöntemi ile beslenmiştir. Hava ortam havasıdır sistemin soğutulması ve katot tarafından beslenmesi bu hava ile yapılmıştır. Hava dışında soğutma sistemi kullanılmamıştır. Sistemin sadece katot tarafında metal plaka kullanılmıştır. 20°C hücre sıcaklığında en uygun çalışma 0,1 lt/dk debide ve 55°C de elde edilmiştir. Tek hücreli yakıt pili gerçek şartlarda yığın haline getirilerek hava araçlarında kullanılabilecektir. Sistemin yapımı diğer yakıt pillerine göre daha basit ve ekonomiktir. Bir sonraki araştırmada zamana bağlı ve yakıt pili yığın performans değerleri incelenebilir.

KAYNAKÇA

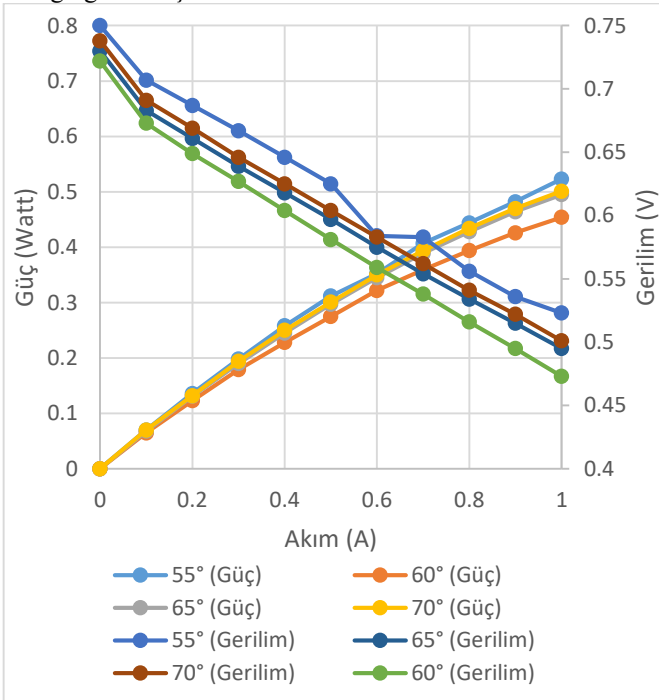
- [1] L.Cetin (2011), Yakıt Hücreleri ve Piller Ders Sunumu http://kisi.deu.edu.tr/aytac.goren/ELK2015/h07_YakitHucureleri.pdf sitesinden alındı
- [2] J.Larminie, A.Dicks (2003), Fuel Cell Systems Explained (Second Edition), Wiley
- [3] EG&G Technical Services, Inc. (2004) Fuel Cell Handbook (Seventh Edition), U.S.
- [4] E.Okumus, F. G. Boyacı San, O.Okur, B. E. Turk, E. Cengelci, M. Kilic, C. Karadag, M. Cavdar A. Turkmen, Mehmet Suha Yazici (2016), Development of boron-based hydrogen and fuel cell system for small unmanned aerial vehicle
- [5] A.M. Hermann, Tapas Chaudhuri (2000) Bipolar plates for PEM fuel cells: A Review
- [6] R. Taherian., A review of composite and metallic bipolar plates in proton Exchange membrane fuel cell: Materials, fabrication, and material selection ., Journal of Power Sources 265 (2014) 370e390
- [7] Erşan, K., Ar, İ., Tükek, S. (2010). Effect Of Humidification of Gases on First Home Constructed PEM Fuel Cell Stack Potential *GU Journal of Science*, 23(1).
- [8] Ar, İ., Erşan, K., Tükek, S., Sarıdemir, S., Laboratuvar Şartlarında Geliştirilen ve Denemesi Yapılan Elektrolit-Elektrot Çiftinin Yakıt Pili Kullanılarak Paket Haline Getirilmesi ve İçten Yanmalı Motor ile Karşılaştırılması 3 rd International Advanced Technologies Symposium 19-20 August 2003 Ankara-Turkey
- [9] Erşan, K., Ar, İ., Bulut, Ş, Improved Gas Diffusion Layer for PEM Fuel Cell, International Hydrogen Energy Congress and Exhibition IHEC 2007 İstanbul, Turkey,
- [10] Ar, İ., Erşan, K., Tükek, S., Investigation of Efficiency of PEMFC Stack with Wire Gride MEA, Fuel Cells Science Technology-Scientific Advances in Fuel Cell Systems. Hilton Munich Park Hotel Munich ,Germany. ,6-7 October 2004
- [11] Erşan, K., Ar, İ., Sarıdemir, S., Effect of Synthesis Technique on Dow Resin Membrane Efficiency, Fuel Cells Science Technology-Scientific Advances in Fuel Cell Systems Hilton Munich Park Hotel Munich ,Germany. ,6-7 October 2004
- [12] Polimer Elektrolit Membran (PEM) Yakıt Pillerinde Kullanılabilecek Bir Gaz Difüzyon Plakasının Geliştirilmesi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü YL tezi (2007)
- [13] Gelecekte Taşıtlarda Yaygın Olarak Kullanılması Düşünülen PEM Yakıt Pillerinin Paket Haline Getirilmesi ve Denemesi Gazi Üniversitesi YL tezi (2004)



Grafik 1- Farklı Giriş Debilerinde Akım-Güç ve Akım-Gerilim Grafiği

b) Hidrojen Giriş Sıcaklığının Performansa Etkisi

Debi olarak en iyi performans 0,1 lt/dk değerinde alındıktan sonra bu değer sabit tutularak hidrojen giriş sıcaklıkları değiştirilmiştir. 60°C, 65°C, 70°C giriş sıcaklıklarında sıcaklık arttıkça elde edilen gerilim değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu deneyde 55 °C hidrojen giriş sıcaklığında diğer 3 sıcaklıktan daha fazla gerilim elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 20°C hücre sıcaklığında bu yakıt hücresi için en uygun hidrojen giriş sıcaklığının 55°C ve debisinin 0,1 lt/dk olduğu görülmüştür.



Grafik 2- Farklı Giriş Sıcaklıklarında Akım-Güç ve Akım-Gerilim Grafiği