

AKIŞ KANALI TASARIMININ PEM YAKIT PİLİ PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Selahattin ÇELİK (ORCID: 0000-0002-7306-9784)*

Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye

*Geliş / Received: 19.10.2017
Kabul / Accepted: 14.12.2017*

ÖZ

Yakıt pili sisteme dışarıdan sağlanan hidrojen ve havanın elektrokimyasal reaksiyon gerçekleşmesi ile kimyasal enerjisini doğrudan elektrik ve ısı formunda kullanılabilir enerjiye çeviren güç üretim elemanıdır. Akış plakaları yakıt pillerinde Membran Elektrot Grubu (MEG) için gazların dağılımının sağlanmasında ve oluşan akımın ve suyun toplanmasında kullanılan MEG'den sonra en önemli sistem parçasıdır. Ayrıca akış plakaları yakıt pilinin ısı yönetimi için de kullanılmaktadır. Tüm bu işlemleri aynı anda yapan akış plakasının üzerinde bulunan kanalların geometrik tasarımı, gaz dağılımını, oluşan suyun toplanmasını ve ısı dağılımını doğrudan etkilediği için çok önemlidir. Bu çalışmada, PEM yakıt pili için farklı akış geometrisine sahip akış plakaları imal edilerek farklı basınç değerlerinde performans testleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar, basınçlı çalıştırılan çoklu serpantin akış plakası tasarımının en iyi sonucu verdiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: PEM yakıt pili, basınç, akış kanalı tasarımı, performans

INVESTIGATION OF FLOW CHANNEL DESIGN EFFECTS ON PEM FUEL CELL PERFORMANS

ABSTRACT

The fuel cell is a power generation unit which converts chemical energy directly into electricity and heat in the form of usable energy by the electrochemical reaction under hydrogen and air supplied. The flow plates are the most important part of the system after the Membrane Electrode Group (MEG) used for the distribution of the gases and the collection of the current and water in the fuel cells. The flow plates are also used for the thermal management of the fuel cell. The geometric design of the channels on the flow plate, which performs all of these operations at the same time, is very important because it directly affects the gas distribution, water collection and the heat dissipation. In this study, flow plates with different flow geometry of the fuel cell are fabricated and performance tests are performed at different pressures. The experimental results indicated that the multi-serpentine flow plate design with pressure is found to exhibit the highest performance.

Keywords: PEM fuel cell, pressure, flow channel design, performance

1. GİRİŞ

Dünyada enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. Özellikle petrol ve doğal gazı olmayan ülkeler farklı enerji kaynakları ile ilgili araştırma çalışmalarını hızlandırmıştır. Bu çalışmalardan bir tanesini de hidrojen teknolojileri oluşturmaktadır. Son yıllarda yakıt olarak hidrojen ve türevlerini (metanol, doğalgaz, dizel vb.) kullanmak suretiyle yakıtın enerjisini elektrokimyasal olarak ısı ve elektriğe dönüştüren sistemler olan yakıt pillerinin araştırma geliştirme çalışmalarına olan ilgi artmıştır. Bu ilginin en önemli nedeni ise kojerenasyon ile

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 24 50; e-mail / e-posta: scelik@ohu.edu.tr

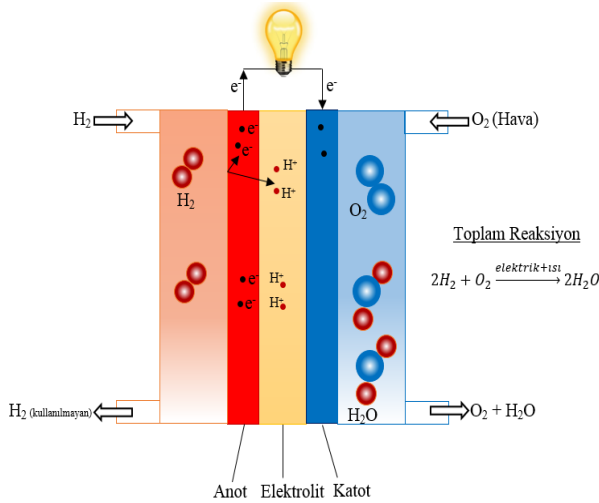
S. ÇELİK

kullanılabilir ısı ve elektrik enerjinin toplam verimliliğin %80'nin üzerine çıkmasıdır. Literatürde kullandığı elektrolit tipine göre farklı türden yakıt hücreleri bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında ticari olarak en yaygın kullanım alanına sahip olan PEM (Proton Exchange Membrane) yakıt pilleri incelenmiştir.

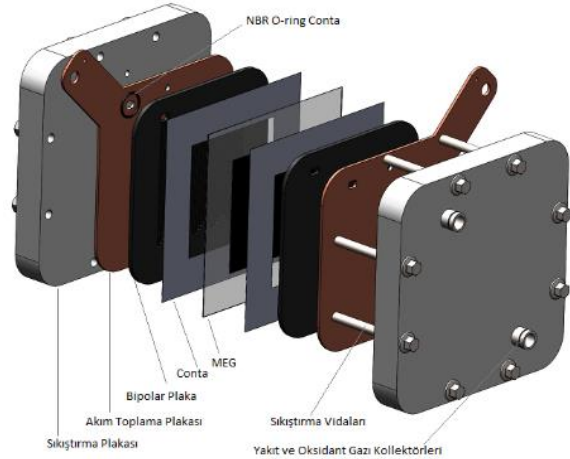
PEM yakıt pilleri anot ve katot olmak üzere iki adet elektrot içerir. Bu elektrotlar birbirlerinden polimer membran elektrolit ile ayrılmışlardır. Her iki elektrot bir kenarlarından ince platin katalizör tabakası ile örtülmüştür. Yakıt olarak kullanılan hidrojen, yakıt hücresinin anot kenarından beslenir. Anotta, platin katalizör varlığında, serbest elektronlar ve protonlar ayrışır. Serbest elektronlar, dış çevrimde kullanılır ve elektrik akımını oluştururlar. Protonlar, polimer membran elektroliti geçerek katoda doğru hareket ederler. Katotta, havadaki oksijen dış çevrimden gelen elektronlar ve protonlar saf su ve ısı oluşturmak üzere birleşmektedirler (Şekil 1). Tek bir yakıt hücresi teorik olarak 1,23 Volt, gerçekte ise 1 Volt civarında potansiyel üretir. İstenilen elektriksel güç miktarını karşılamak için yakıt hücreleri seri ya da paralel olarak birleştirilmektedir. Bu şekilde birleştirme ile oluşan sistem literatürde “Yakıt Pili Yığını, Yakıt Hücre Grubu, Yakıt Pili Stağı (Fuel Cell Stack)” olarak adlandırılmaktadır.

Bipolar veya akış plakaları üzerindeki akış kanalları genellikle kare kesitli olmakla beraber ikizkenar yamuk, üçgen, yarım çember gibi tasarımlar üzerine literatürde çalışmalarda yapılmıştır [1]. Akış kanalı, sürtünmeden kaynaklanan basınç düşümlerinin mümkün olan minimal seviyede olması için 1-2 mm kanal genişliği ve derinliğinde imal edilmektedir. Akış plakalarının imalatı için yaygın olarak freze ile talaş kaldırma metodu kullanılmaktadır. Bunun dışında alternatif olarak elektro-oksidasyon yöntemleri, kalıpla presleme yöntemleri de kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en ucuz ve seri üretime uygun olanı pres ile imalat metodudur.

Literatürde yapılan simülasyon çalışmalarında optimum performans sağlayan kanal derinliği, kanal genişliği ve taban genişliği için sırasıyla 1,5; 1,5; 0,5 mm olduğu rapor edilmiştir [2]. Kanaldaki taban genişliğinin azalması anot katalizörüne yakın yüzeydeki hidrojen konsantrasyonunu arttıracak ve performansa olumlu etki sağlayacaktır. Bunun için sıfıra yakın taban genişliklerine sahip üçgen ve yarı çember kesit alanlı akış kanalında hidrojen anot yüzeyine daha yoğun temas edebilmektedir. Pratikte ise bu tasarım önerilerini kısıtlayan bazı imalat ve performans kaybı sonuçları ortaya çıkmaktadır. Performans kaybının en önemli sebeplerinden birisi ise suyun yayılarak yüzeye tutunması ve uzaklaştırma problemidir. Yakıt hücreleri temel olarak Membran Elektrot Grubu (MEG), akış plakaları (bipolar plaka), akım toplama plakaları, sıkıştırma plakaları ve bunların bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Şekil 2’de bir yakıt pili hücresini oluşturan elemanlar gösterilmiştir.



Şekil 1. PEM tipi yakıt hücresinin çalışma şeması



Şekil 2. PEM tipi yakıt hücresini oluşturan elemanlar

Literatürde yakıt pilleri için kullanılan birçok farklı akış alanı tasarımları bulunmaktadır. Bunlardan temel tasarım olarak kullanılan paralel, serpantin, iğne ve kapalı (interdigitated) tip akış alanı tasarımlar Şekil 3’te verilmiştir.

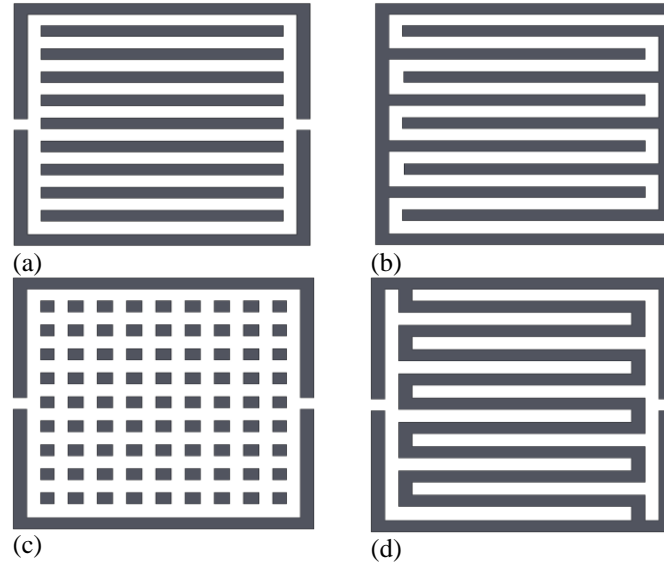
Düz veya paralel tasarım (Şekil 3a), giriş ve çıkışlara bağlı birçok sayıda ayrı paralel akış kanalından meydana gelmiştir [3]. Yakıt pillerinde uzun süreli çalışmalar için düşük ve kararsız voltaja sebep olmaktadır. Bu tasarımda gaz ve sıvı dağılımı homojen olmamaktadır. Bu sıkıntının giderilmesine yönelik birçok düzenlenmiş paralel akış tasarımı geliştirilmiştir [4-6]. Bu tasarımlar diğer yakıt pillerinde de kullanılmaktadır.

Serpantin akış alanı (Şekil 3b) elektrokimyasal tepkime sonucunda oluşan suyun belli bölgelerde tıkanma yapmasını engellemek için akış kanallarının sürekli olduğu bir tasarımdır. Bu tasarım reaksiyona giren maddelerin tüm aktif alan boyunca ilerlemesini sağlar. Böylece reaksiyona giren malzemeler için ölü alan

AKIŞ KANALI TASARIMININ PEM YAKIT PİLİ PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

kalmaz. Yüksek akım yoğunlukları için tasarıma birbirine paralel birkaç akış kanalı açılabilir. Cavalca ve ark. [7] seri ve paralel tasarımları birleştirerek bölümlere ayırmışlar ve yeni tip birleştirilmiş çoklu akış alanı oluşturmuşlardır. Bu tasarımda akışın ulaşmadığı yüzey olmadığı dikkat çekmektedir. Reaksiyona giren maddeler aktif alan boyunca düzgün dağılmaktadır. Özellikle PEM (hidrojen yakıtlı) ve metanol yakıt pilleri için yaygın olarak kullanılmaktadır [8-10]. Fakat yüksek akış direncinden dolayı katı oksit yakıt pilleri (KOYP) için kullanılması tercih edilmemektedir.

İğne tipi akış alanında (Şekil 3c) katot ve anot plakaları, genellikle dairesel veya dikdörtgen şeklindeki çıkıntılardan oluşmaktadır. Bu tasarımda basınç düşümü çok azdır ve reaksiyona giren gazlar en az direnç ile karşılaştıkları yoldan gitme eğilimindedirler [11-13]. Bu durum PEM yakıt pilleri için kütle akışının olmadığı ölü bölgelerin oluşmasına, akışın düzgün dağılmamasına, dolayısıyla da düşük hücre performansına neden olabilmektedir. Fakat KOYP gibi yüksek sıcaklıklarda yüksek gaz dinamiklerine sahip sistemlerde kullanılabilir.



Şekil 3. Literatür yaygın olarak kullanılan akış geometrileri

Kapalı (interdigitated) akış alanı (Şekil 3d) yukarıda belirtilen klasik akış alanlarına göre çok farklı bir tasarıma sahiptir. Kanalların uçları kapalıdır, bu yüzden reaksiyona giren maddelerin üzerinde bir basınç oluşur. Bunun sonucunda reaksiyona giren maddeleri elektrot yüzeyine doğru iter, bundan dolayı yüksek güç yoğunluğunda yüksek performans elde edilebilmektedir. Fakat bu tasarımda büyük basınç kayıpları ve buna bağlı olarak yüksek pompalama ihtiyacı doğmaktadır. Ayrıca oluşan suyun tahliyesi için bazı sıkıntılar oluşmaktadır. Bu yüzden küçük boyutlu hücreler ve PEM tipi yakıt pilleri için daha uygun olmaktadır [14].

Yukarıda açıklanan akış alanlarına ek olarak biomimetic (bio-inspired-yaprak damarları, akciğer hava kanalları vb.) akış alanı, fractal akış alanı ve elek akış alanları da yakıt hücreleri için kullanılabilir. Literatürde patenti alınmış veya sayısal ve deneysel çalışmalarda incelenen akış alanları bu temel akış alanlarından yola çıkarak, yakıt ve oksitleyicinin homojen dağılımı ve oluşan su ve ısının yönetimini iyileştirmek için geliştirilmiş akış alanlarından oluşmaktadır. Saripella ve ark. [15] yaprak deseni tasarımına benzeyen (bio-inspired) bir tasarımı kapalı tip akış alanı ile birleştirerek sayısal ve deneysel olarak karakterize etmiştir. Elde ettiği sonuçları tek kanallı serpantin akışlı yakıt pili ile karşılaştırmış ve geliştirmiş oldukları akış alanının daha yüksek güç değerlerine ulaştığını bildirmişlerdir.

Literatürde görüldüğü gibi birçok akış alanı tasarımı bulunmaktadır. Bunların da birçoğunda deneysel çalışmaların pahalı olması sebebiyle sadece sayısal modelleme yolu ile performans ve akış analizleri yapılmıştır. Yakıt pilleri için içerisinde sıvı ve gaz akışının birlikte bulunduğu, elektrokimyasal, fiziksel ve ısı transferi çözümlerinin bir arada bulunduğu karmaşık bir sayısal çalışmaya ihtiyaç duymaktadır. Çözüm parametrelerinin çok olması sayısal çalışmanın küçük alanlarda yapılması ile sınırlı kalmaktadır. Birçok sayısal çalışma varsayımlar ile gerçek şartlardan çok uzaklaşmaktadır. Bu nedenle yakıt pilleri için bazı çalışmaların deneysel olarak da yapılması önem arz etmektedir.

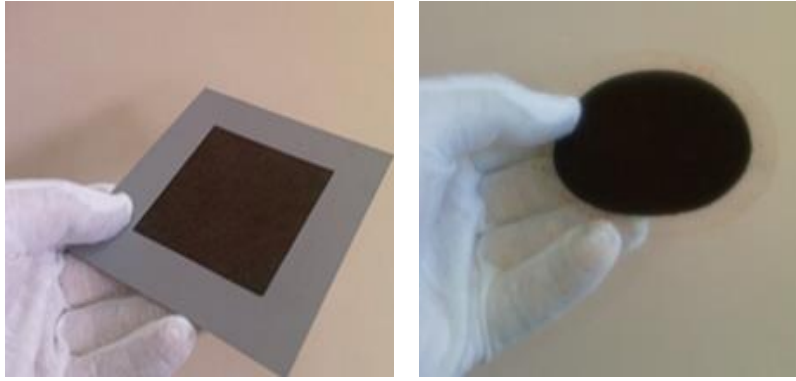
Bu çalışmada literatürde yaygın olarak kullanılan serpantin ve paralel tip akış alanları modifiye edilerek farklı basınç değerlerinde performansları deneysel olarak ölçülmüştür.

S. ÇELİK

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Membran Elektrot Grubu (MEG)

PEM yakıt pillerinde MEG, temel reaksiyonların meydana geldiği kısımdır. PEM yakıt pillerinde elektrolitin temel görevi pozitif hidrojen iyonlarını (H⁺) geçirip elektronların (e⁻) geçişine izin vermemesidir. Böylece hidrojen protonlarının elektronlarından ayrılması sağlamaktadır. Polimer elektrolit membran; iyon (H⁺) iletkenliği aynı zamanda elektriksel yalıtkanlık, asidik özellik, kimyasal ve mekanik olarak da kararlı bir yapıya sahip olmak gibi temel özellikler içermektedir. PEM yakıt pillerinde genellikle perflorokarbon-sülfonik asit iyomeri kullanılmaktadır. Bunlar tetrafloroetilen kimyasal bileşikleri ve çeşitli florosulfon monomerlerinin birleştirilmeleri ile oluşturulmaktadır. Günümüzde membran üretiminde kullanılan Dupont firmasının geliştirdiği Nafion, bilinen en iyi polimer malzemedir. Aşağıdaki şekilde Nafion'un genel kimyasal yapısı (omurgası) politetraflouroetilen-asit (PTFE-asit) gösterilmektedir. Burada PTFE-asit iki temel yapıdan meydana gelmektedir [16]. Deneysel çalışmalar Paxitech firmasından (Echirolles, Fransa) alınan 50 µm membran kalınlığında, %70 Pt/C ve 0,5 mg Pt/cm², 50 cm² aktif alana sahip membran elektrot grupları kullanılmıştır. MEG'nun üzerinde karbon bez sıcak pres ile yapıştırılmıştır. Sızdırmazlık elemanı olarak silikon conta kullanılmıştır. Şekil 4'te deneysel çalışmalarda kullanılan karesel MEG'a ait fotoğraf gösterilmiştir.



Şekil 4. Deneysel çalışmada kullanılan kare ve dairesel MEG

2.2. Bipolar (Çift kutuplu) Plakalar

Yakıt pillerinde Membran Elektrot Grubu (MEG) için gazların dağılımının sağlanmasında ve oluşan akımın ve suyun toplanmasında kullanılan bipolar plakalar MEG'den sonra en önemli sistem elemanıdır. Tek bir MEG'den oluşturulan ve tekli hücre adı verilen yakıt pili hücresinde iki adet bipolar plaka bulunmaktadır. Bu plakaların üzerinde, MEG'in gaz difüzyon tabakasına yakıt ve oksidantı sağlayan akış kanalları bulunmaktadır. Yakıt hücreleri seri olarak birleştirildiğinde akış plakasının bir yüzeyinde anot gazı (veya sıvı-metanol) diğer yüzeyinde ise katot gazı geçmektedir. Aynı plakanın üzerinde hem anot hem katot kutupları bulunduğu için "Bipolar Plaka (Çift kutuplu plaka)" olarak adlandırılmıştır. Yakıt pili staklarında soğutma işlemi için ekstra plaka da kullanılabilir.

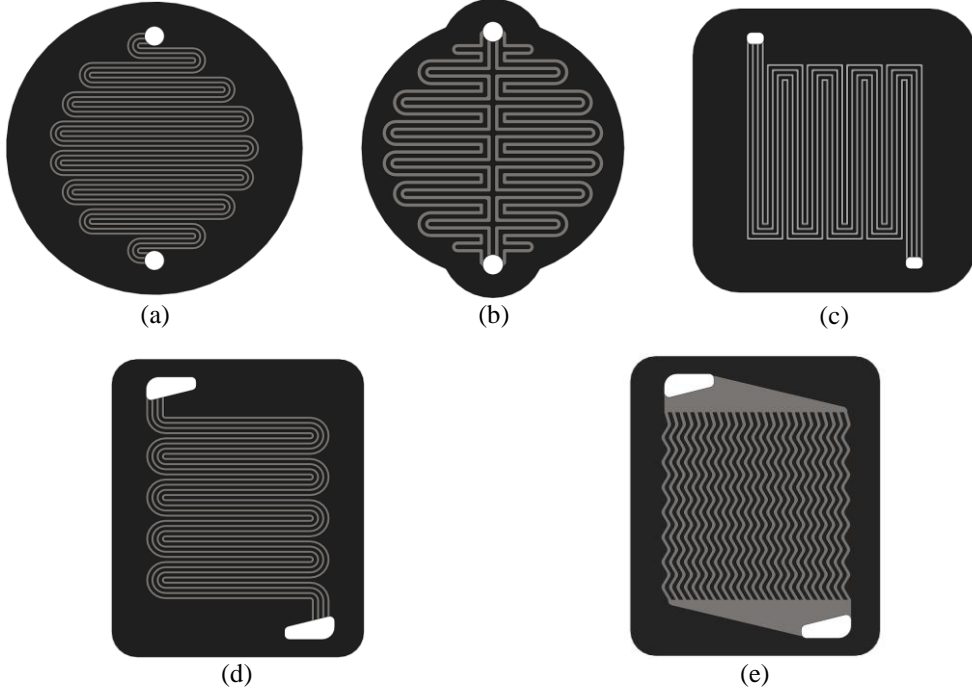
Bipolar plakalar (BPP) PEM yakıt pili staklarında performansı doğrudan etkileyen, iyi bir stak performansı ve çalışma süresi için en önemli parçalardan birisidir. Bipolar plakalar üzerinde bulundukları akış alanları ile elektrotlara reaktant gazlarının temasını sağlarlar ve elektrokimyasal hücre staklarında bir hücreden diğerine elektriksel olarak bağlanmasını sağlarlar. Ayrıca plakalar, mekanik olarak zayıf ince olan MEG'lere yapısal olarak destek sağlamaktadır. Bunun yanında hücrelerde oluşan suyun yönetimini kolaylaştırmak için de kullanılmaktadır. Soğutma plakalarının bulunmadığı sistemlerde ise ısı yönetimi sağlarlar. Plakanın malzemesi ve kanal tasarımı bu fonksiyonların geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Kanal tasarımı, düz akış, serpantin akış veya interdigitated akış (engelli akış), içten kolektörlü, içten nemlendirme ve içten soğutma vb. kapsamaktadır. BPP tasarımı üzerinde birbirine zıt birçok fonksiyonel gereklilikler bulunduğu için BPP için optimal tasarımın belirlenmesi gerekmektedir.

Bipolar plakalar için temel gereklilik fizikokimyasal karakteristiklerinden beklenir. Yani, reaktant gazların konsantrasyon kaybı yaşamadan elektrot yüzeylerine düzgün bir şekilde dağılması gerekmektedir. Bunun yanında akım toplamak için yüksek elektriksel iletkenlik değerlerine, stak bütünlüğü için yüksek mekanik dayanım değerine, güvenli çalışma için reaktant gazları sızdırmama özelliğine, uzun çalışma ömrü için zorlu

AKIŞ KANALI TASARIMININ PEM YAKIT PİLİ PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

hücre çalışma şartlarına ve korozyona karşı yüksek dirence, kolay imalata ve düşük maliyete sahip olması beklenmektedir.

BPP için anlatılan gereksinimlere en uygun olan malzeme kompozit grafit plakalar olmuştur. Günümüzde yakıt pillerinin özelliklerine uygun şekilde imal edilmiş kompozit grafitler ticari olarak satılmaktadır. Bu çalışmada Schunk (Neckar, Almanya) marka, kompozit grafit plakalar kullanılmıştır. Grafit plakalar CNC freze ile farklı akış geometrisine sahip olacak şekilde işlenmiştir. Şekil 5'te performans karşılaştırması için imalatı yapılan akış plakası tasarımları gösterilmiştir, Şekil 6'da imalat sonrası fotoğrafları gösterilmiştir. Bu tasarımların kanal boyutları ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.








Şekil 5. Deneysel çalışmada kullanılan akış plakası tasarımları (a) Serpantin akış dairesel tasarım (Tasarım 1), (b) modifiye edilmiş dairesel serpantin akış (Tasarım 2), (c) karesel serpantin akış (Tasarım 3), (d) modifiye edilmiş serpantin akış (Tasarım 4), (e) paralel akış (Tasarım 5)



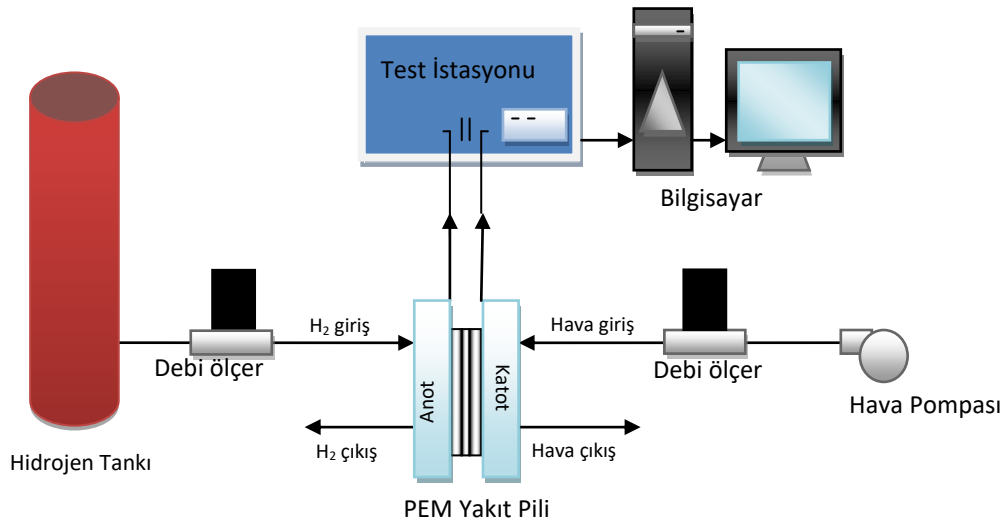
Şekil 6. İmalatı tamamlanmış tasarımlardan örnek fotoğraflar

Tablo 1. Akış geometrilerinin teknik özellikleri

| Tasarım No | Tasarım Tipi | Kanal | | Aktif Alan | Görsel |
|------------|--------------------------------------|-----------|-----------|--------------------|--|
| | | Genişliği | Derinliği | | |
| Tasarım 1 | Dairesel 3'lü Serpantin | 1 mm | 1 mm | 50 cm ² |  |
| Tasarım 2 | Dairesel 4'lü Serpantin | 1,5 mm | 1,5 mm | 50 cm ² |  |
| Tasarım 3 | Karesel 4'lü serpantin | 1 mm | 1 mm | 50 cm ² |  |
| Tasarım 4 | Karesel 4'lü serpantin, geniş radius | 1 mm | 1 mm | 50 cm ² |  |
| Tasarım 5 | Karesel paralel akış | 1 mm | 1 mm | 50 cm ² |  |

Deneysel çalışmalar Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Prof. Dr. T. Nejat Veziroğlu Temiz Enerji Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapılmıştır. Deneyde kullanılan MEG'ler için US Fuel Cell Council (USFCC) tarafından yayınlanan standart tek hücre testi için hazırlama prosedürleri uygulanmıştır [17]. Deneysel çalışma esnasında Akım-Voltaj ve Akım-Güç eğrileri oluşturulmuştur. Deneylerdeki MEG'lerin, diğer deneylerde de kullanılabilmesi ve erken bozulmaması için MEG'ler 50°C sıcaklıkta test edilmiştir. Hücreler ortam atmosferi ve 30 PSI iç basınç değerlerinde, hidrojen stikometrisi 2, hava stikometrisi 3 olacak şekilde test edilmiştir.

Deneysel çalışmada ElectroChem (Woburn, ABD) marka yakıt pili test istasyonu kullanılmıştır. Yakıt ve hava 50°C sıcaklığındaki nemlendiriciden geçirilerek yakıt piline gönderilmiştir. Böylece hücrenin nemli kalması ve aynı zamanda sıcaklığını koruması sağlanmıştır. Sisteme ait deneysel akış şeması şekil 7'de gösterilmiş olup deneysel düzeneğe ait laboratuvar görüntüsü şekil 8'de verilmiştir.

**şekil 7.** Deneysel kurulum diyagramı

AKIŞ KANALI TASARIMININ PEM YAKIT PİLİ PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

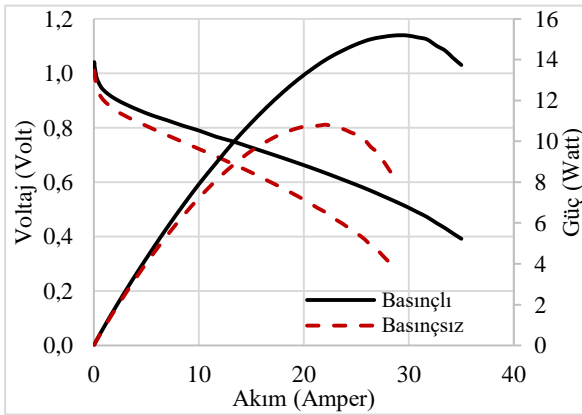


Şekil 8. Deneysel düzeneğin fotoğrafı

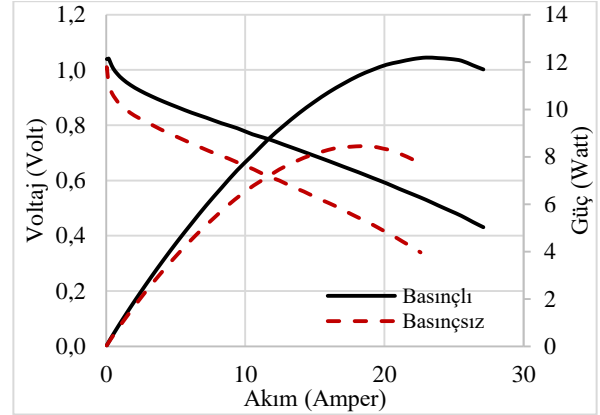
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 9-13'te tüm akış tasarımlarının performans grafikleri basınçlı ve basınçsız olacak şekilde gösterilmiştir. Tüm akış tasarımlarında basınçlı durumlarındaki Voltaj-Akım ve Güç-Akım grafiği ise Şekil 14'te karşılaştırılmıştır. Buna göre en iyi performansı yaklaşık 15 Watt güç sergileyen karesel serpantin akış (Tasarım 3) sağlamıştır (Şekil 5c). İkinci en iyi performans dairesel serpantin akış (Tasarım 1) ile elde edilmiştir (Şekil 5a). İki sonuç birbirine yakın çıksa da karesel tasarım, aktif alanın tüm yüzeyde maksimum kullanılması sonucu biraz daha iyi performans sergilemiştir. Bu iki tasarımdan sonra gelen Tasarım 2 ve 4 birbirine yakın performans sergilemiş ve 12-13 Watt güç değerinde bir performans elde edilmiştir. Dikkat edilirse bu tasarımlarda akışın daha kolay olması için akış kanallarında dairesel dönüşler oluşturulmuştur. Bu dönüşler akış için olumlu olsa bile aktif alanda gazın ulaşamayacağı bölgelerin oluşmasına neden olmuştur. Bu ölü bölgeler performansın düşük çıkmasının nedeni olarak görülmektedir. Bu beş tasarımdan en düşük performansı modifiye edilmiş paralel akış tasarımı sergilemiştir. Bu tasarım katotta oluşan su damlacıklarının yerçekimi ile tahliyesinin kolaylaşması için tasarlanmıştır. Yüksek güç yoğunluklarında oluşan su miktarı performansta önemli düşümlere yol açabilmektedir. Fakat düşük güç yoğunluğu nedeniyle oluşan su damlacıklarının performansa etkisi daha az olduğu için diğer tasarımlar su birikiminden dolayı çok fazla performans kaybı yaşamamıştır. Yakıt difüzyon etkisinin az olması nedeniyle bu tasarımdan beklenen performans elde edilememiştir. Akış alanı tasarımları 50 cm² aktif alan için test edilmiş olup daha büyük aktif alanlarda farklı sonuçların çıkma ihtimali bulunmaktadır.

Şekil 15'te basınçlandırmanın hangi tasarımı ne oranda etkilediğini incelemek için bir karşılaştırma yapılmıştır. Buna göre paralel tasarım (Tasarım 5) basınçlandırma sonucunda en yüksek performansı veren tasarım olmuştur. Bunun en önemli nedeni olarak basınç etkisi ile yakıtın aktif yüzeye olan temasının artmış olması olarak görülmektedir. Diğer tasarımlarda yakıt zorlanmış bir şekilde yüzeye ile uzun süre temas halinde kalırken paralel akışta yüzey ile kontak teması daha kısa sürmektedir.

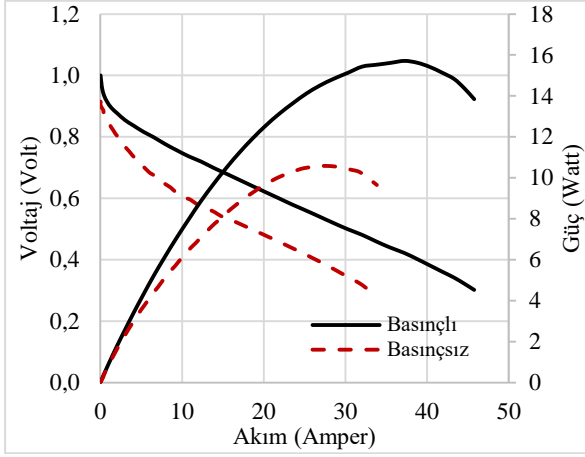


Şekil 9. Dairesel tasarım serpantin akış için performans sonuçları (Şekil 5a)

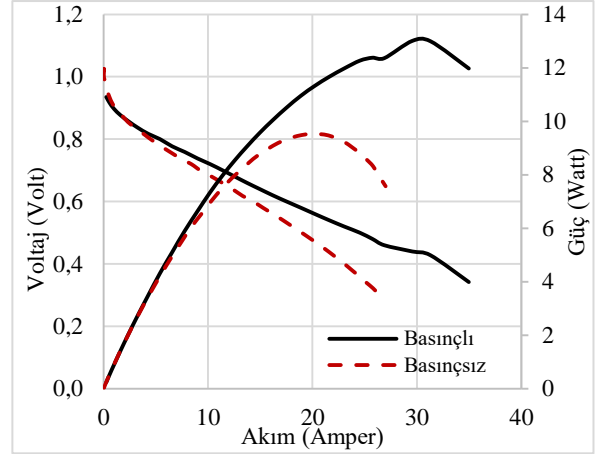


Şekil 10. Modifiye edilmiş dairesel tasarım serpantin akış için performans sonuçları (Şekil 5b)

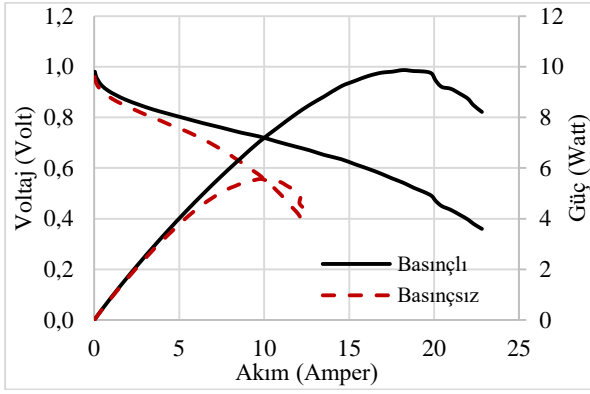
S. ÇELİK



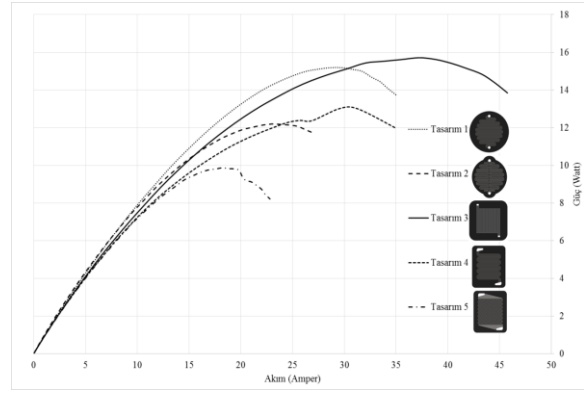
Şekil 11. Karesel tasarım serpantin akış için performans sonuçları (Şekil 5c)



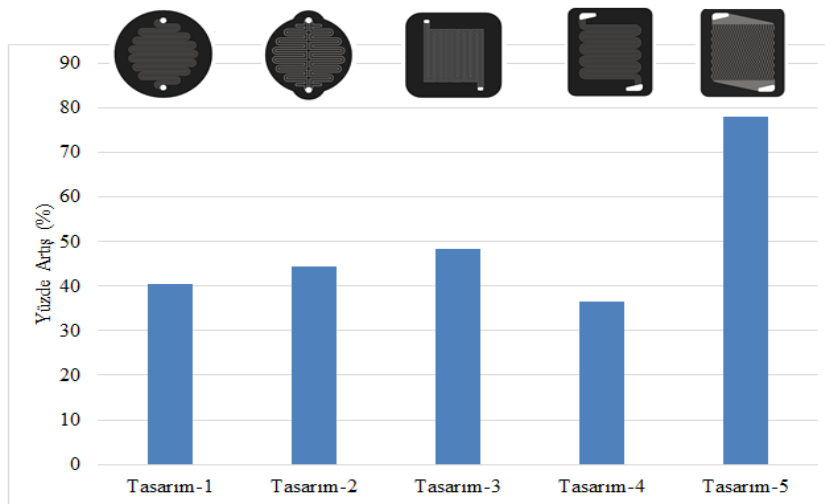
Şekil 12. Modifiye edilmiş karesel tasarım serpantin akış için performans sonuçları (Şekil 5d)



Şekil 13. Paralel akış için performans sonuçları (Şekil 5e)



Şekil 14. Tüm akış geometrilerinin basınçlı performans sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 15. Tüm akış geometrilerinin basınçlı durumdaki performans artış yüzdelerinin karşılaştırılması

*AKIŞ KANALI TASARIMININ PEM YAKIT PİLİ PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ***4. SONUÇLAR**

Bu çalışma sonucunda, PEM yakıt pili akış alanı tasarımının etkilerinin gözlemlenmesi için literatürde var olan akış geometrileri de göz önünde bulundurularak 5 farklı tasarım geliştirilmiştir. Bu tasarımlar dairesel aktif alana sahip 3'lü serpantin akış kanallı tasarım (Tasarım 1), yine dairesel aktif alanlı tasarım 4'lü serpantin ve daha geniş akış kanalı tasarımı (Tasarım 2), karesel aktif alanlı 4'lü serpantin (Tasarım 3), karesel aktif alanlı 4'lü serpantin ve akış dönüşleri kavisli (Tasarım 4), karesel aktif alanlı paralel akış (Tasarım 5) tasarımlarıdır. Tasarımlarda aktif alanlar karesel ve dairesel olarak iki farklı kategoride, akış kanalı genişliğinin etkisinin görülmesi için dairesel tasarım üzerinde daha geniş aktif alanın açılarak karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca karesel tasarımda akış kanallarının dönüşlerinin kavisli olup olmaması ve paralel akış ile karşılaştırılmasının yapılması sağlanmıştır. Tüm deneyler hem ortam atmosferinde hem de akış alanı basıncının artırılması ile sabit sıcaklık ve nem değerlerinde test edilmiştir. Buna göre elde edilen deneysel sonuçlar rapor edilmiştir.

Deneysel sonuçlara göre dairesel ve karesel tasarımlarda en iyi performansı çok az farkla karesel tasarım vermiştir. Öte yandan dairesel tasarımın aktif alanında tasarım gereği ölü bölgeler bulunmakta ve bu ölü bölgeleri de göz önüne kattığımızda dairesel tasarımın da homojen sıkıştırılabilme özelliğinden ötürü tercih edilebilecek bir tasarım olduğu söylenebilir. Dairesel tasarımda serpantin kanal genişlik ve derinliği 1 mm'den 1,5 mm ye çıkarılmış ve serpantin tasarımı üzerinde düzenlemeler yapılmıştır. Daha geniş kanal tasarımının performansa olumsuz bir etkisi olduğu, yaklaşık %25 performans kaybı olduğu Şekil 14'teki karşılaştırmada görülmektedir.

Karesel tasarımlar içerisinde performansı en iyi çıkan akış geometrisi karesel aktif alanlı 4'lü serpantin (Tasarım 3) olmuştur. Paralel akış için performans en düşük çıkan tasarım olmuştur. Bunun en önemli nedeni olarak hidrojenin yüzey ile teması için yeterince zamanı olmadığı ve kanalı hızlı terk etmesi olarak gösterilebilir. Yine bu paralel akışlı tasarımda akış alanının basınçlandırılması sonucunda performansı yüzde olarak en çok artan tasarım çıkmıştır. Bu sonuç performansın düşük çıkma nedenini ispat niteliğindedir.

Karesel tasarımlar içerisinde akış kanallarının dönüş kısımlarının daha geniş çapta yapılması performansa olumsuz etki etmiştir (Tasarım 4). Bu tasarımın amacı yüzeydeki su zerreciklerinin daha keskin köşelerden oluşan Tasarım 3'e göre daha rahat tahliyesinin sağlanması ve akışın daha düzgün ilerlemesini sağlamak olmakla birlikte kanal dönüşlerinde geniş çaptan dolayı oluşan ölü bölgeler sistemin aktif alanının tam olarak kullanılmasını kısıtlamıştır.

Sonuç olarak akış geometrisi olarak çoklu serpantin akışı performansa olumlu sonuç vermiştir. Kanal genişlik ve derinliğinin 1 mm olması performans için yeterli seviyededir. Bu sonuçlar nem ve sıcaklığın sabit tutulması neticesinde elde edilmiş sonuçlardır. Farklı sıcaklık ve nem oranlarında farklı sonuçlar verebilecektir. Belirlenen sıcaklık ve nem değerleri otonom çalışma şartlarına uygun olması sebebi ile sabitlenmiş ve sadece akış geometrisinin etkisinin ortaya çıkması gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının 009TGSD.2011 kapsamında desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] HONTANON E., ESCUDERO M.J., BAUTISTA C., GARCIA-YBARRA P.L., DAZA L., "Optimisation of Flow-Field in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells Using Computational Fluid Dynamics Techniques", Journal of Power Sources, 86, 363-8, 2000.
- [2] KUMAR A., REDDY R.G., "Effect of Channel Dimensions and Shape in The Flow-Field Distributor on The Performance of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells", Journal of Power Sources, 113, 11-8, 2003.
- [3] PELLEGGRI A., SPAZIANTE P.M., "Bipolar Separator For Electrochemical Cells And Method Of Preparation Thereof", Google Patents, 1980.
- [4] JOHNSON M.C., WILKINSON D.P., KENNA J., VANDERLEEDEN O.R., ZIMMERMAN J., TABATABAIAN M., "Differential Pressure Fluid Flow Fields For Fuel Cells", Google Patents, 2003.
- [5] YANG J.Y.S., DESANCTIS G.D., WOODCOCK G.R., REHG J.T., "Fuel Cell Having Improved Condensation and Reaction Product Management Capabilities", Google Patents, 2003.
- [6] MARIANOWSKI L.G., "Sheet Metal Bipolar Plate Design for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells", Google Patents, 2001.

S. ÇELİK

- [7] CAVALCA C., HOMEYER S.T., WALSWORTH E., “Flow Field Plate For Use in a Proton Exchange Membrane Fuel Cell”, Google Patents, 1997.
- [8] WATKINS D.S., DIRCKS K.W., EPP D.G., “Fuel Cell Fluid Flow Field Plate”, Google Patents, 1992.
- [9] WOODCOCK G., ISSACCI F., REHG T., “Fuel Cell Flow Field Design”, Google Patents, 2004.
- [10] ROCK J.A., “Serially-Linked Serpentine Flow Channels for Pem Fuel Cell”, Google Patents, 2001.
- [11] BAI D., CHOUINARD J.G., ELKAIM D., “Flow Field Plate for Use in Fuel Cells”, Google Patents, 2009.
- [12] REISER C.A., SAWYER R.D., “Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell Stack Water Management System”, Google Patents, 1988.
- [13] REISER C.A., “Water and heat management in solid polymer fuel cell stack”, Google Patents, 1989.
- [14] SPURRIER F.R., PIERCE B.L., WRIGHT M.K., “Fuel Cell Plates with Improved Arrangement of Process Channels for Enhanced Pressure Drop Across the Plates”, Google Patents, 1986.
- [15] SARIPELLA B.P., KOYLU U.O., LEU M.C., “Comparisons of Performances and Liquid Water Distributions within Bio-Inspired and Single-Serpentine Pem Fuel Cell Channels”, Proceedings of the Asme 13th Fuel Cell Science, Engineering, and Technology Conference, 2016.
- [16] GROT W., Fluorinated Ionomers (2nd ed.), William Andrew Publishing, Pennsylvania, USA, 2011.
- [17] <http://www.members.fchea.org/core/import/PDFs/Technical%20Resources/MatComp%20Single%20Cell%20Test%20Protocol%2005-014RevB.2%20071306.pdf> (erişim tarihi 01.12.2017).