

BEŞ HÜCRELİ PEM TİPİ YAKIT PİLİ TASARIMI, ÜRETİMİ VE DENEYSEL ANALİZİ

¹Hüseyin KAHRAMAN *² Ahmet KOLİP
ve *³Çakır İsmail KÖROĞLU

^{1,2,3}Sakarya Uygulmalı Bilimler üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümü, Esentepe Kampüsü 54100 Sakarya

Özet

Dünya nüfusunun hızla artması enerjiye olan ihtiyacında artmasını paralelinde getirmektedir. Fosil yakıtlar ile karşıladığımız enerji ihtiyacımız çevreye zarar vermektedir. Bunun önüne geçebilmek için alternatif enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yakıt hücreleri alternatif enerji kaynaklarının en önemlilerinden birisidir. Yakıt hücreleri yüksek verime sahip, elektrokimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürebilen, çevreye zarar vermeyen elektrik dönüşüm araçlarıdır. Bir yakıt hücresi temel olarak iki elektrot arasına yerleştirilen elektrolitten oluşur. Yakıt hücreleri tasarlanırken seçilen katalizörün verimliliği önemli bir etkidir.

Bu çalışmada, 250 cm² elektrot yüzeyine sahip PEM tipi yakıt pilinde, aktif olarak kullanılan alan üzerine homojen şekilde dağılımını sağlayarak hücre içerisinde elektrokimyasal reaksiyon sonucunda meydana gelen suyun tahliyesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. . Membran olarak Nafion 115 kullanılmıştır. Akış kanalları grafit plakaların üzerine işlenmiş ve bu çalışmalar deneysel olarak incelemek için yakıt hücresi deney düzeneği kurulmuştur. Kurulan deney düzeneği ile hücrelerin performans, ölçümleri yapılmıştır

Anahtar kelimeler : PEM Yakıt Hücresi, Enerji, Akış Kanalları, Hidrojen

Summary

With the rapid increase in the world population, the need for energy is increasing. To meet the energy needs with fossil fuels is harmful to the environment. Alternative energy sources are needed to prevent this environmental pollutant. Fuel cells are one of the most important alternative energy sources. Fuel cells are devices that converts the chemical energy directly into the electrical energy, have high efficient and environmentally friendly. A fuel cell is basically composed of the electrolyte disposed between two electrodes. The efficiency of the selected catalyst is an important factor when designing fuel cells. In this study, a fuel cell that has 250cm² active area (5 cells) has been used to measure the performance. The cell has been designed with a high water removal capacity. Nafion 115 was used. The flow channels were processed on the graphite plates. An experimental setup has been established for measure the performance of the stack. The performance measurements of the cells were carried out by the experimental setup.

Anahtar kelimeler : PEM Fuel Cells, Energy, Flow fields, Hydrogen

1. Giriş

Yakıt hücresi teknolojisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında verimlilik, uygulama alanlarının geniş olması ve temiz çalışması açısından daha fazla ön plandadır. Hidrojen alternatif yakıtlar olarak geleceğin enerji taşıyıcısı olarak ön görülmektedir. Hidrojenin kimyasal enerjisini yanma

olayı gerçekleşmeden direk elektrik enerjisine dönüştürebilen yakıt hücresi, içten yanmalı motorlara alternatif olacak bir enerji sistemidir [1].

Yakıt hücrelerinde stokiyometri; hücreden çekilen anlık yük miktarı için gerekli yakıt miktarı olarak tanımlanır. Rakamla ifade edecek olursak, yakıt hücresinin bir birim akım değeri üretmesi için on birim gaz gerekiyor ve hücreye on birim gaz veriliyor olsun. Bu durumda stokiyometrik değer 1 olmuş olur. Benzer şekilde hücreye yirmi birim gaz verilirse, stokiyometri 2 denilir. Anot ve katot için stokiyometrik değer ayrı ayrı ifade edilir. PEM tipi yakıt hücrelerinde, belli bir akım değeri için gerekli hidrojen ve oksijen miktarları Faraday yasası (1) ile bulunabilir [2-3].

$$i \times t \times A = n \times z \times F \quad (1)$$

i : akım yoğunluğunu, A/cm^2

t : süreyi, sn

A : elektrot yüzey alanının, cm^2

n : mol sayısını

z : reaksiyondaki elektron sayısını

F : ise Faraday sabitini

ifade etmektedir. Akım yoğunluğu yerine, denklem (2) ifadesi koyulursa;

$$i \times A = I \quad (2)$$

anot ve katot tarafları için gerekli yakıt miktarları denklem (3) ve (4) ile bulunabilir.

$$\dot{n}_{\text{hidrojen}} = \frac{I}{2F} \quad (3)$$

$$\dot{n}_{\text{oksijen}} = \frac{I}{4F} = \frac{\dot{n}_{\text{hidrojen}}}{2} \quad (4)$$

Yakıt hücresi kompresyon değerinin de performansa etki ettiği de bilinen bir gerçektir. Bu etkiyi incelemek için farklı sıkıştırma değerlerinde performans testleri yapılmıştır [4]. Tablo 1.'de bu operasyon şartlarını ve sıkıştırma değerleri verilmiştir.

2. Deneysel Metot

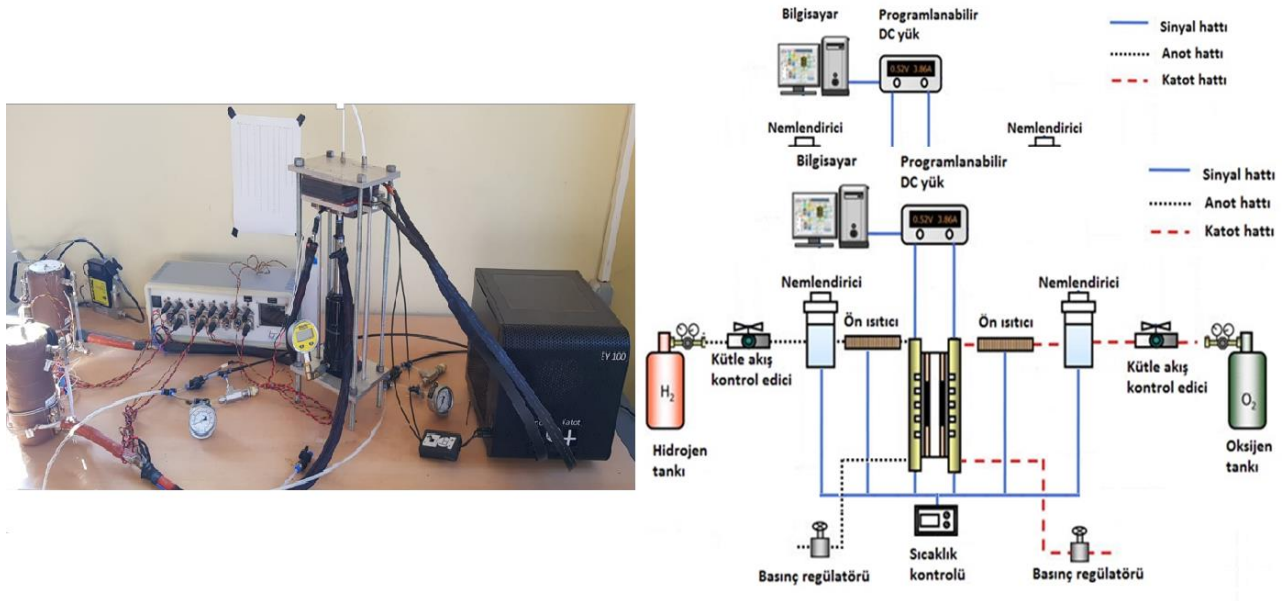
Yakıt hücrelerinin performansları incelendiğinde çevre şartları, operasyon koşulları ve bileşenlerin etkilerinden kaynaklı değişkenlik göstermektedir. Operasyon koşulları dendiğinde hücrenin çalışma sıcaklıkları, basınç değerleri, bağıl nem oranları, sıkıştırma torku vb. Bu parametrelerde yapılan herhangi bir değişiklik ile yakıt hücresi performansında değişkenlik göstermektedir. Bu değişiklikleri hücreye uygulamak ve hücre performansını değiştirmek için genellikle tek hücreli yakıt hücrelerinde performans testleri yapılmaktadır. Ayrıca yakıt hücrelerinin bileşenlerinin tasarımında uygulanan şekilde yapılan değişiklikler performansı etkilemektedir.

2.1. Deneysel Düzenek

Deney düzenliğini oluşturan başlıca elemanlar ve görevlerini sıralacak olursak, Oksijen ve hidrojen

tüpleri reaktant gazlara depo vazifesi görmektedir. Kütle akış kontrol ediciler yakıt hücresine istenilen oranda gaz gönderimini sağlamaktadır. Üzerinde bulunan ayar vidası ile istenilen ayar debisi sağlanmaktadır. Anot ve katot tarafında bulunan nemlendiriciler ise reaktant gazların istenilen bağıl nem oranda yakıt hücresine gönderimini sağlamaktadır. Nemlendirici ile hücre arasındaki ısıtıcı hat ise gaz sıcaklığının hücre içine girene kadar istenilen sıcaklıkta sabit kalmasına olanak sağlamaktadır. Tasarlanmış olduğumuz 50 cm² aktif alana sahip yakıt hücreleri üzerinde fişek rezistanslar bulunmaktadır. Bu rezistanslar yakıt hücresinin istenilen sıcaklıkta sabit tutulmasını sağlamaktadır. Hücre üzerindeki bioplar plakaların sıcaklıkları değiştirilerek performansa olan etkileri ve akım yoğunluğu incelenebilmektedir. Çıkış hattının sonundaki basınç regülatörleri yakıt hücresi çalışma basıncının ayarlanması için kullanılmaktadır. Sıcaklık göstergeli ayar kutusu ise tüm sıcaklıkların istenilen değerlerde tutulmasını sağlamaktadır. Programlanabilir DC yük, yakıt hücresinde istenilen maksimum güç yoğunluğunun elde edilmesi için hücreye uygulanacak değişken güç miktarını ayarlamaktadır. Bu şekilde değişken yük ile farklı akım yoğunluğuna denk gelen gerilim değerlerinin gösterildiği polarizasyon eğrisi denilen grafikler elde edilmektedir.

Tüm deneylerde 250 cm² aktif alana sahip beş hücre yakıt hücresi kullanılmıştır. Elektrolit olarak Dupont firmasının Nafion® HP isimli ürünü ve 200 mikron kalınlığındaki AvCarb EP40 GDL tercih edilmiştir. Şekil 1 deneysel düzenek gösterilmektedir.

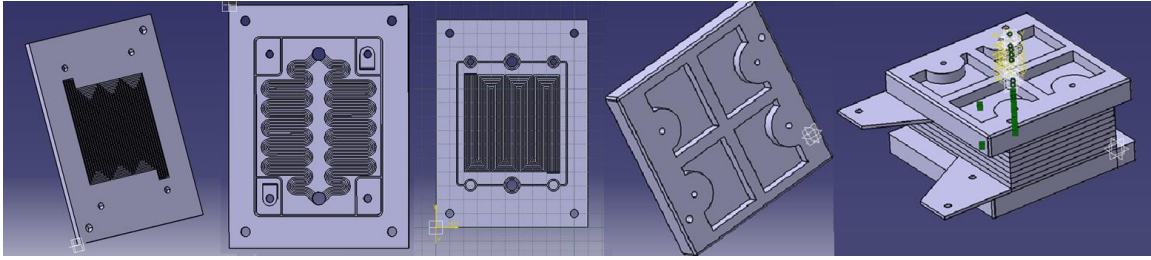


Şekil 1. Deneysel Düzenek

2.2. Bipolar Plaka Üretimi ve Akış Kanal Tasarımı

Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan serpantin akış kanalına sahip yakıt hücresi tasarımı tasarlanıp performans testleri incelenecektir. Tabakalar halinde satın alınan yüksek yoğunluktaki grafit plakalar uygun boyutlarda kesildikten sonra yüzeylerindeki eğim berteraf edilmesi için iki taraftan CNC vasıtası ile yüzeylerden 0,2 mm talaş kaldırılmıştır. Yapılan bu tasarımlar Dassault Systèmes firmasının CATIA V5R20 paket programı ile hazırlanmıştır. Hazırlanan programlar Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarında bulunan CNC

tezgâhı ile grafit plaka yüzeylerine işlenmiştir. (Şekil 2.) Ayrıca hücre bileşenlerinden akım toplayıcı ve sonlandırıcı plakalarda bu tezgahda işlenmiştir.



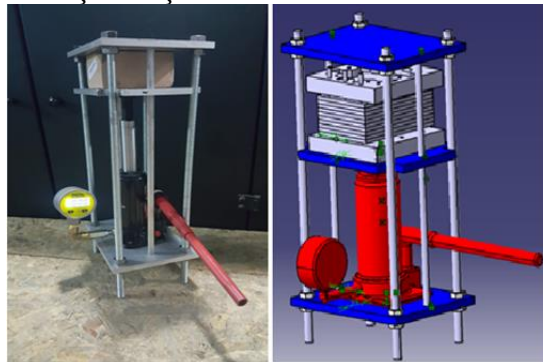
Şekil 2. Tasarımı yapılan grafit akış plakaları ve sonlandırıcılar

2.3. Membran Elektrot Birleşimi Hazırlama

Reaksiyonun oluşabilmesi için yakıt hücrelerinde reaksiyon aktivasyon enerjilerini azalacak katalizörlere ihtiyaç vardır. Genel reaksiyonda katalizörler gözükmeyp ara basamaklar oluşmasını sağlayıp bu reaksiyonların daha kolay gerçekleşmesini sağlamaktadır. Katalizör malzemesi olarak PEM tipi yakıt hücrelerinde genellikle nadir bulunan metaller, yaygın olarak da platin kullanılmaktadır. Daha çok katalizör tanesinin reaksiyona girmesini sağlamak amacıyla katalizörler bir destek malzemesi üzerinde dağıtılırlar. Katalizör olarak kullanılacak malzemeyi elde etmek için kullanılan başlangıç malzemeleri arasında en kolay iyonlaşan ve içinde en az istenmeyen iyonlardan bulunduran başlangıç malzemesi tercih edilmelidir. Platin için hegzakloroplatinik asit başlangıç malzemesi ideal bir başlangıç malzemesidir [5].

2.4. 4.4. Hidrolik pres tasarımı ve üretimi

Yakıt hücrelerinde sıkıştırma işlemleri performansı doğrudan etkilemektedir. Klasik sistemlerde hücrenin sıkıştırılması sonlandırıcı plakanın çevre kısmındaki bağlantı elemanları ile sağlanmaktadır. Bu yöntem hücrenin orta noktalarındaki sıkıştırma oranının düşük olmasına sebep olmaktadır. Homojen olmayan bu sıkıştırma türü yakıt hücresi performansını olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada homojen basınç dağılımı sağlanabilmesi için Şekil 3 de görüldüğü gibi basıncı ayarlanabilen hidrolik bir sıkıştırma mekanizması ile hücrenin aktif yüzeyi üzerine homojen bir basınç dağılımı amaçlanmıştır.

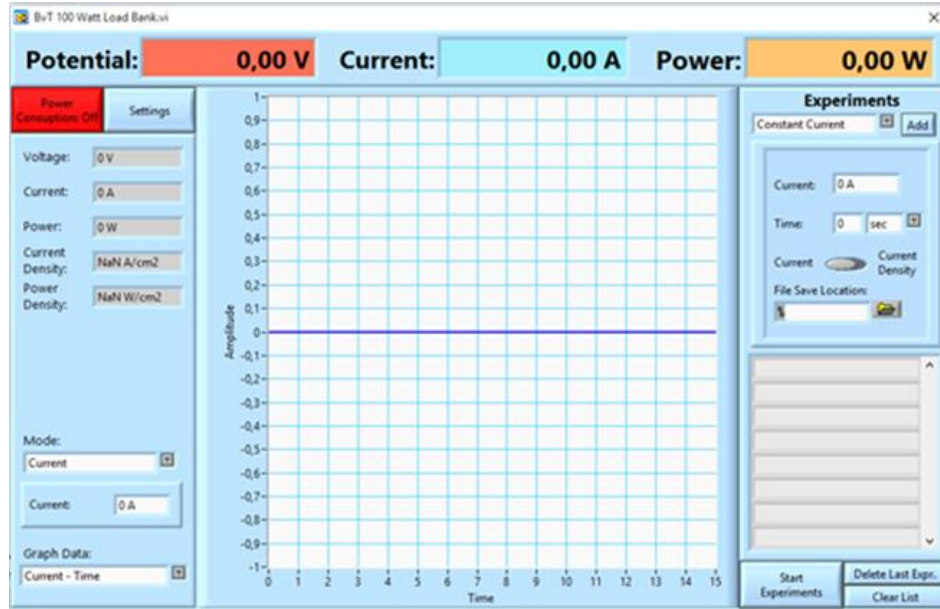


Şekil 3. Yakıt hücresi güç yığımlı hidrolik sıkıştırma mekanizması

2.5. Performans testleri

Yakıt hücresinin performansını belirlemenin en uygun yöntemlerden biri hücreden çekilen akım değerine karşılık hücre geriliminin gözlenmesi ve akım yoğunluğu-gerilim grafiklerinin oluşturulmasıdır. Aynı zamanda yakıt hücresi akım yoğunluğu ile güç yoğunluğuda performans kıyaslaması için kullanılan grafik türleridir.

Bu çalışmada kullanılan programlanabilir elektronik yük arayüzü şekil 4’de görülmektedir.



Şekil 4. Programlanabilir elektronik yük ara yüzü

3. Deneysel Bulgular

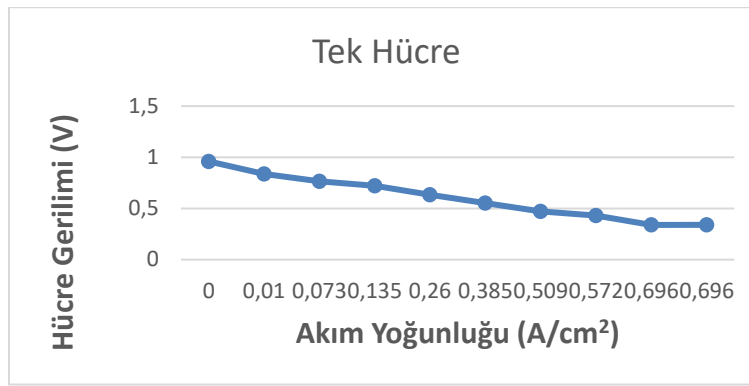
Bu çalışmada serpantin tipi akış kanalına sahip tek hücreli yakıt pilinin sıkıştırma basıncına olan etkisi ile serpantin tipi akış kanalına sahip beş hücreli yakıt pilinin sıkıştırma basıncına göre olan etkisi kıyaslanmıştır. Yapılan tasarımın amaçlanan hedeflere ulaşip ulaşmadığını gözlemlemek amacıyla yakıt hücresi performans testleri yapılmıştır.

3.1. Performans Test Sonuçları

Yakıt hücresi performansını analiz etmek için, hücreden çekilen akıma karşın gerilim değerlerinin belirlenip grafikler vasıtasıyla farklı operasyon şartlarında veya farklı bileşen tasarımlarında elde edilen sonuçların karşılaştırmak en yaygın yöntemdir. Bu çalışma kapsamında yapılan deneysel performans sonuçları verilecektir. Ayrıca performans farklılıklarının sebepleri tüm detayları ile incelenecektir.

Tablo 1. Sıkıştırma torkunun etkisi için operasyon koşulları

Operasyon sıcaklığı (°C)	80
Operasyon basıncı (bar)	3
Anot stokiyometrisi	2
Katot stokiyometrisi	2
Bağıl nem (%)	70
Sıkıştırma kuvveti (kN)	15, 20, 25, 30

**Şekil 5.** Tek hücre performansının gözlenmesi

Sıkıştırma basıncının yüzey temas direnci ve gözeneklilik arasında iki zıt etkisi bulunmaktadır;

1. Yüksek sıkıştırma basıncı düşük temas direnci sağlar
2. Gaz Difüzyon Tabakası (GDT) gözenekliliği artan sıkıştırma basıncı ile azalır

Bu etkilerden temas direncinin azalması hücre iç direncini dolayısıyla dirençsel kayıpları azaltırken, gözenekliliğin azalması ise sistem verimini azaltmaktadır. Yüksek temas direncine sahip omuz bölgesi için düşük sıkıştırma basınçlarında yüzey temas direnci hayati bir önem taşımaktadır. Ancak yüksek sıkıştırma basınçlarında bu tarz bir yüzey ve karbon GDT için temas direnci azalmaktadır. Bu durumda ise güç yoğunluğunun tespit edilmesinde GDT deformasyonu çok önemli bir etkiye sahip olmaktadır.

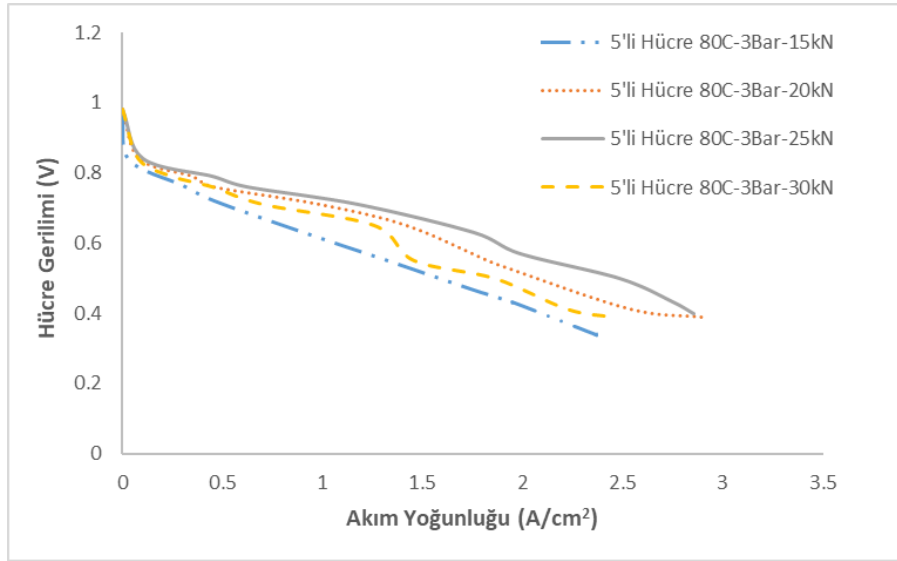
Bu analizler sonucunda bir yakıt hücresi için optimum sıkıştırma basıncının uygulanması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Güç yoğunluğu artan sıkıştırma kuvveti ile direnç kayıplarının etkisinin GDT gözenekliliğinden kaynaklanan etkilerden küçük olduğu durumda azalmaktadır.

Akım yoğunluğu-güç eğrisindeki maksimum güç yoğunluğuna karşılık gelen akım yoğunluğu, dirençsel kayıp bölgesinin eğimine bağlıdır. Dirençsel kayıp bölgesinin eğimi, sıkıştırma kuvvetinin etkilediği kontak direnci ve transfer direnci tarafından kontrol edilmektedir.

Bu çalışmadaki temel amaç yakıt hücresi güç yığınınını yerli olarak üretmektir. Aynı zamanda ticari uygulamalarda da görülen standart üretim yakıt hücrelerinden bazı farklılıklar da gözetilmiştir. Klasik hücrelerde sıkıştırma işlemi bir dizi cıvata somun bağlantı elemanları ile sağlanmaktadır. Bu sıkıştırma elemanları hücrenin çevre kısmında konuşlandırıldıkları için hücre içindeki membran ve GDT üzerindeki basınç dağılımı homojen olmamaktadır. Yakıt hücresi performansını önemli ölçüde olumsuz etkileyen bu durumu ortadan kaldırmak için bu çalışmada Şekil 3’de görülen hidrolik sıkıştırma sistemi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bu uygulama ile hidrolik basınç elemanı ile hücre gövdesine orta tüm yüzey üzerine sıkıştırmabasıncı uygulanmaktadır. Ayrıca uygulanacak sıkıştırma basıncı da istenen değere ayarlanabilmektedir. Bu şekilde hem sıkıştırma basıncı hücre üzerine homojen dağılmakta ve hücre performansına olumlu etki yapmakta hem de optimum sıkıştırma basıncı ile yukarıda bahsi geçen su yönetimi-iç dirençler konularında minimum kayıp elde edilmektedir. Sistemin bir diğer avantajı ise hücre elemanlarının pratik bir şekilde sökülüp geri toplanmasıdır. Yaklaşık onaltı adet cıvata somun bağlantısının tek tek sökülüp takılması yerine tek bir sıkıştırma elemanının basma kuvveti ayarlanarak monte-demonte işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

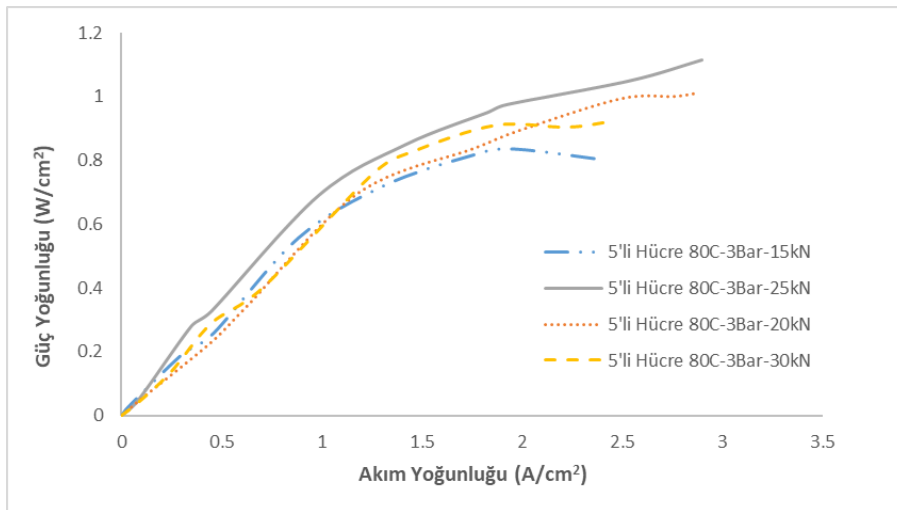
Deneylerde sistemin doğru bir şekilde çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için öncelikle tek hücre testi yapılmıştır. Ardından 5 hücre montajı gerçekleştirilip farklı sıkıştırma kuvvetleri uygulanarak performans testleri yapılmıştır. Deneylerdeki sıkıştırma basınç değerlerinin tespit ederken aşağıdaki hesaplamalar göz önüne alınmıştır. Yakıt hücrelerinde cm kare başına 140N (140N/cm²) kuvvet uygulanması en iyi performansı vermektedir. Bu çalışmadaki 11x15 cm boyutlarındaki plakalar için yaklaşık 23000N’luk bir kuvvetin en iyi sonuç vereceği hesaplanmıştır. Deneysel olarak da bu hesabın doğrulanması için bir dizi deney gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde hücre sıcaklığı 80 derece, çalışma basıncı 3 bar ve sıkıştırma basınçları ise 4 farklı değerde (15, 20, 25, 30kN) gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar Şekil 5 ve Şekil 6’da görülmektedir. Beklendiği gibi performans sonuçlarından akım gerilim grafiği incelendiğinde; sıkıştırma kuvveti 15 kN’dan 25kN’a kadar artırıldığında performansın iyileştiği görülmektedir. Bunun sebebi yukarıda da açıklandığı gibi sıkıştırma kuvvetinin artmasıyla birlikte hücre içindeki tabakaların birbirine daha iyi temas etmesi ve iç iletim dirençlerinin düşmesi ile açıklanabilir. Ancak 25kN’un üzerine çıkıldığında, yüksek akım yoğunluğu bölgelerinde performansın azaldığı görülmüştür. Bunun sebebi hücre içinde üretilen sıvı su yüksek akım yoğunluğunda artmaktadır. Artan sıvı su üretimi hücre içinde reaktant gazların katalizörlere ulaşmasını engellemekte ve reaksiyon hızını yavaşlatmaktadır. Bu şekilde performans düşüşü gözlemlenmektedir.



Şekil 6. Sıkıştırma torkunun beş hücre performansına etkisi (Gerilim – akım eğrisi)

Benzer şekilde Şekil 7’de de görüldüğü gibi hücrenin akım yoğunluğu/güç yoğunluğu eğrilerinde 25kN sıkıştırma kuvveti uygulandığında en iyi performans elde edilmiştir.



Şekil 7. Sıkıştırma torkunun beş hücre performansına etkisi (Güç-akım eğrisi)

Yukarıdaki deney sonuçları incelendiğinde yakıt hücrelerinin performansı üzerinde sıkıştırma torkunun büyük önem taşıdığı görülmektedir. Bu uygulama hem yakıt hücresi iç dirençlerine hem de üretilen sıvı su tahliyesine büyük oranda etki etmektedir. Birinci durumda yakıt hücresi ne kadar sıkıştırılırsa iç dirençlerin de o kadar düştüğü söylenebilir. Bunun sebebi, hücre içindeki tabakaların birbirlerine daha çok temas etmesiyle hücre iç direnç kayıplarının azalmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu sonucu performans grafiklerinin düşük akım yoğunluğu bölgelerinde gözlemlemek mümkündür. 0.5-2A/cm² akım yoğunluğu bölgeleri direnç kayıplarının etkili olduğu bölgedir ve bu bölgelerde daha yüksek sıkıştırma basınçlarının daha iyi performans verdiği görülmektedir. Sıkıştırma basıncının bir diğer etkisi ise yüksek akım yoğunluğu bölgeleridir. Bu bölge 2A/cm² değerinin üzerindeki akım değerlerinin üretildiği kısımdır. Yüksek akım yoğunluğu bölgelerinde

hücre içindeki reaksiyon hızı artmış ve üretilen sıvı su miktarı da buna bağlı olarak artmıştır. Artan sıvı su varlığı GDT gözeneklerini doldurup hücre içinde birikmeye başlamıştır. Bu sıvı katot elektrotundaki katalizör partiküllerinin yüzeyini kaplayarak reaksiyonun aynı hızda devam etmesine engel olmaktadır. Bu sebeple belli bir sıkıştırma torkunun üzerinde performans olumsuz etkilenmiştir.

Aynı zamanda hücrelerin aktif yüzeyinde her noktada eşit akım üretimi beklenmektedir. Klasik yakıt hücresi yığını sıkıştırma mekanizmalarında bunu sağlamak oldukça zordur. Hücre sadece çevresel olarak bağlantı elemanları ile sıkıştırıldığı için orta bölgelerdeki basınç kenarlara göre daha az olmaktadır. Bunun sonucunda homojen akım dağılımı sağlanamamaktadır. Homojen olmayan sıkıştırma membran ve elektrot yüzeylerinde homojen olmayan akım dağılımına, bu da bölgesel sıcak noktalara sebep olmaktadır. Yani tabakaların birbirine çok basan bölgeleri diğer kısımlara göre daha fazla reaksiyon üretmektedir. Membran ve elektrot üzerindeki bu homojen olmayan üretim termal gerilimlere sebep olarak bölgesel katalizör yıpranmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen yakıt hücresi güç yığını sıkıştırma mekanizması ile hücre tüm aktif yüzey boyunca sıkıştırılmakta ve homojen basınç dağılımı sağlanmaktadır. Ayrıca hücre istenilen basınç değeri ile sıkıştırılabilmekte ve iç direnç kaybı-sıvı su tahliyesi sınırlarında optimum aralıkta tutulmaktadır.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada beş hücreli PEM tipi yakıt hücresinin yerli imkânlar ile tasarım ve üretimi yapılmıştır. Üretilen güç yığınının performans testleri Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Makine Mühendisliği Yakıt Hücresi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve performans farklılıkları detaylı olarak önceki bölümde irdelenmiştir. Sonuç olarak homojen sıkıştırma basıncının hücre-yığın performansına olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca en iyi performans özel olarak hücreyi sıkıştırması için imal edilen hidrolik pres ile elde edilen 25kN sıkıştırma kuvveti uygulandığında elde edilmiştir.

Sonraki çalışmalara ışık tutacağını düşündüğüm bazı hususlara da burada değinmek isterim. Beş hücreli bir güç yığınının ilk bakışta tekli hücrenin beş katı kadar bir güç değeri üreteceği düşünülebilir. Ancak bu değer deneylerde sağlanamamıştır. Bunun sebebi tüm hücrelere tek bir girişten reaktant sağlanmasıdır. Girişteki hücrelerde tükenen reaktantlar sondaki hücrelere kadar azalan bir konsantrasyon ile iletildiğinden sondaki hücrelerin ürettiği güç miktarı daha az olmuştur. Bunu engellemek için tüm hücrelere ayrı kanallar ile reaktant sağlanmasıdır. Ayrıca tekli hücrelerde uygun operasyon sıcaklığının korunması için ısıtma uygulanmaktadır. Ancak çoklu hücrelerde bunun tersine olarak operasyon sıcaklığının istenen değerin (80°C) üzerine çıktığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden hücreler arasına yerleştirilecek soğutma plakaları ile sistemin istenen sıcaklıkta kalması için soğutulması, katalizörlerin zarar görmemesi ve membranın kurumaması açısından faydalı olacaktır.

Kaynaklar:

- [1] Kahraman, Hüseyin. Akış kanal tasarımının polimer elektrolit membran yakıt hücresi performansına etkisinin incelenmesi / Effect of flow field design to the performance of PEM fuel cell. 2016. PhD Thesis. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2] KAZMIERKOWSKI, Marian P. Electric power systems (review of " Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design, ; Ehsani, YG and Emadi, A.; 2010)[Book News]. IEEE Industrial Electronics Magazine, 2010, 4.1: 75-75.
- [3] EHSANI, Mehrdad, et al. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. CRC press, 2018.
- [4] KAHRAMAN, H.; ÇEVİK, I.; COŞMAN, S. Sıkıştırma basıncının PEM yakıt pili performansına etkisi. ISITES2014, 2014, 1-10.
- [5] Dündar, Furkan. Topaklaşma ve Karbon Korozyonu Sorunlarının Giderilmesi Amacıyla Özgün Yapıda Katalizör Sentezi ve Yakıt Hücresi Çalışma Koşullarının Geliştirilmesi. 2011. PhD Thesis. Gebze İleri teknoloji Enstitüsü.
- [6] İÇİNGÜR, Yakup; KİREÇ, Levent. Bir Polimer Elektrolit Membran Yakıt Pilinde Kullanılmak Üzere Gaz Akış Plakaları Tasarımı ve Denenmesi. Politeknik Dergisi, 2011, 14.1: 31-37.