



Akış Kanal Tasarımının PEM Yakıt Hücresi Performansına Etkisinin İncelenmesi

Program Kodu: 1002

Proje No: 116M732

Proje Yürütücüsü:
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KAHRAMAN

Araştırmacı(lar): -

Danışman(lar): -

Bursiyer(ler): -

İÇİNDEKİLER

KAPAK.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ	iii
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
AMAÇ VE KAPSAM.....	1
MATERYAL VE YÖNTEM.....	4
ANALİZ VE BULGULAR.....	13
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	17
KAYNAKLAR.....	20
PROJE İÇİN KULLANILAN BÜTÇE İLE İLGİLİ AÇIKLAMALAR.....	21

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. PEM yakıt hücresinin çalışma prensibi.....	3
Şekil 2. Hidrojen ve oksijen tüpleri.....	5
Şekil 3. Tüp basınç regülatörü.....	6
Şekil 4. Kütle akış kontrol ediciler.....	6
Şekil 5. Nemlendirici.....	7
Şekil 6. Düzenekte kullandığımız PEM yakıt hücresi.....	8
Şekil 7. Deneysel düzenek.....	9
Şekil 8. Deneysel düzeneğin şematik gösterimi.....	10
Şekil 9. Relief vana.....	10
Şekil 10. Akım toplayıcı ve grafit plakaların işlenmesi.....	11
Şekil 11. Tasarımı ve üretimi yapılan grafit akış plakaları.....	12

ÖZET

Anahtar kelimeler: PEM yakıt pili, akım yoğunluğu dağılımı

Bu proje kapsamında yakıt hücresinin aktif alanındaki akım dağılımının homojen olması için gerekli çalışmaların yapılması planlanmıştır. Proje bütçesi ile temin edilecek olan hızlı bağlantı elemanı ile hücrenin homojen basınç dağılımının sağlanması planlanmaktadır.

Ancak proje başvurusunun 15 aylık bir süre sonunda sonuçlanması bizi başka çözümler bulmaya yönlendirmiştir.

Bu çalışma doktora tezimin bir kısmı olduğu için projenin sonuçlanmasını beklemeden farklı bir yol izlenmiştir. Fujifilm markalı basınç ölçüm kâğıtları (Pressure measurement film - prescale) ile yakıt hücresinin homojen basınç altında çalışmasını sağlayacak tasarım deneme yanılma ile tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre yakıt hücresi testleri yapılmış ve akım yoğunluğunun eski tasarımlara göre daha homojen akım yoğunluğuna sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu yüzden proje bütçesi kullanılmadan istenilen sonuçlara ulaşılabilmektedir.

SUMMARY

Key Words: PEM fuel cell, current density distribution

In this project, it is planned to carry out that the current distribution in the active area of the fuel cell is homogeneous. It was planned that the homogenous pressure distribution of the cell would be provided by the fast connection element which will be provided by the project budget. However, the conclusion of the project application after a period of 15 months led us to find other solutions.

Since this work was part of the doctoral thesis, a different route was followed without expecting the outcome of the project. With Fujifilm branded pressure measurement papers, the design is tested by trial and error to ensure that the fuel cell operates under homogeneous pressure.

According to the results obtained, fuel cell tests have been carried out and it has been observed that the current density has a more homogeneous current density than the old designs. Therefore, the desired results can be achieved without using the project

ÖNSÖZ

Bu projede PEM tipi yakıt hücresinin aktif alanı üzerine homojen basınç sağlayacak bir cihaz (Quick connect fixture) satın alınması planlanmakta idi. Bu cihaz sayesinde hücrenin 50cm²'lik aktif alanından homojen bir şekilde akım çekileceği hedefleniyordu. Ancak proje başvurusunun beklenen süre içinde tamamlanmaması bizi başka çözümler bulmaya yönlendirmiştir.

Bu yüzden yakıt hücresi içindeki grafit plakaların arasına basınç ölçüm filmleri yerleştirilip, basınç dağılımının görselleştirilmesi planlanmıştır. Bu yöntem ile hücrenin tasarımında yapılan değişiklikler ile sıkma torkunun hücre üzerine homojen basınç uygulaması sağlanmıştır.

Proje bütçesine hiç dokunulmadan, kendi imkânlarımızla projeden elde edilmesi planlanan sonuçlara ulaşılmıştır. Proje bütçesinin TÜBİTAK'a geri iade edilmesi planlanmıştır.

1. AMAÇ VE KAPSAM

Enerji tüketimi, nüfus artışına, sanayileşmeye ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak hızla artmaktadır. Artan enerji talebinin yanı sıra fosil enerji kaynaklarının rezervleri de hızla azalmaktadır. Fosil yakıtların yakılması ile meydana gelen karbon dioksit, karbon monoksit, azot oksitler, metan, kükürt dioksit gibi gazların sürekli ortama yayılmasından dolayı meydana gelen küresel ısınma, iklim değişikliği ve sera etkisi gibi çevre sorunlarına yol açmaktadır.

Sera etkisi yenilenebilir enerji kaynaklarını gündeme taşıyan çevre sorunlarının başında yer almaktadır. Fosil yakıtların tüketiminin azaltılması, bu yakıtların yüksek verimle yanmalarının sağlanması, yanma sırasında oluşan CO_2 'in absorpsiyon gibi yöntemlerle tutulması ve karbon sayısı düşük veya hiç karbon içermeyen yakıtların kullanılması sera gazlarının etkisinin azaltılması için alınan bazı önlemlerdir. Emisyonların azaltılması için, ulaşım sektöründe yakıt tüketiminin azaltılması, alternatif yakıtların kullanılması, ulaşım planlaması, trafik düzenlenmesi gibi önlemler alınmaktadır [1].

Günümüzde fosil yakıtlara alternatif olarak doğal enerji kaynakları (Güneş, Rüzgar, Jeotermal, Hidroelektrik vb.) ve nükleer enerji ele alınmaktadır. Ancak bu kaynakların hiçbiri fosil yakıtların en kritik olduğu alanda yani taşıtlarda kullanılmaya uygun değildir. Güneş pilleri, gündüz gece zaman dilimine ve mevsimlere göre değişen ışık şiddetine bağlı olarak elektrik enerjisi üretirler. Benzer biçimde bir rüzgâr türbininin üreteceği elektrik enerjisi de, rüzgâr hızına dolayısıyla iklim şartlarına bağlıdır. Bu amaçla yeni enerji kaynağı arayışları devam etmektedir. 19. yüzyılın ortalarında yakıt pillerinin elektriksel enerji dönüşüm sistemi olarak bulunması Sir William Grove'a atfedilebilir fakat prensip olarak Basle Üniversitesinde bir profesör olan Christian Friedrich Schönbein tarafından keşfedilmiştir. Bu yıllarda ortaya konan yakıt pili fikri birincil enerji kaynaklarının bolluğu ve ucuzluğu sebebi ile ihmal edilmiştir [2].

20. yüzyılın başlarında kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesi elektriğin kullanım alanlarının artmasından dolayı çok önemli bir hale gelmiştir. Yeni yüzyılın enerjisi olarak adlandırılan Hidrojen Enerjisi, bu arayışların önemli sonucudur. Yapılan çalışmalar sonucunda maliyetlerin hızla düşmeye başlaması ve temiz enerji kaynağı ihtiyaçlarının

ortaya çıkması, tersine elektroliz olarak da adlandırılabilir işlemi gerçekleştirmeye yarayan sistemi yani yakıt pillerini (Fuel Cell) ortaya çıkarmıştır [3].

Yakıt pili özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısında hızlı bir gelişim süreci sergilemiş yeni bir enerji üreticidir. Isı makinelerinde söz konusu olan “yakıt kimyasal enerjisi-ısı enerjisi-mekanik enerji” dönüşümü yerini yakıt pilinde, “yakıt kimyasal enerjisi-elektrik enerjisi-mekanik enerji” dönüşümüne bırakmaktadır. Yakıt pilinde yanma olmaksızın, elektrokimyasal bir dönüşüm ile elektrik üretilmektedir. Bu elektrik ise istenilen herhangi bir amaçla kullanılabilir. Örneğin bir elektrik motoru tahrik edilerek taşıta hareket sağlanması mümkündür. Yani yakıt pilinin taşıta kullanılması halinde mekanik enerji; krank-biyel mekanizması yerine, elektrik motoru ile sağlanarak; pek çok karmaşık ve günümüze göre hantal denilebilecek mekanizma ortadan kalkmaktadır. Bu mekanizmaların yol açtığı titreşim, gürültü, mekanik kayıplar, karışık yapı, yüksek sıcaklık ve zararlı emisyonlardan kurtulmak mümkün olabilmektedir [4].

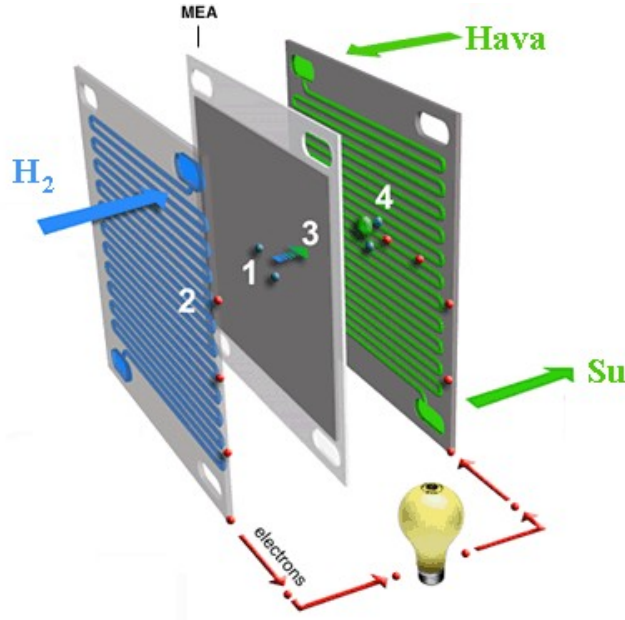
Son yıllarda yakıt pili teknolojilerine olan ilgi gittikçe artmaktadır. Özellikle polimer elektrolit membranlı (proton değişim membran, PEM) yakıt pillerinde büyük gelişmeler kaydedilmiştir. PEM yakıt pilleri; düşük çalışma sıcaklıkları, yüksek güç yoğunlukları ve yüksek enerji dönüşüm verimlerinden dolayı otomobiller ve sabit uygulamalar için potansiyel bir güç kaynağı olarak oldukça dikkat çekmektedir. [5]

Pek çok yakıtın kullanımına uyumlu olabilen yakıt pilinde hidrojenin yakıt olarak kullanımı halinde reaksiyon sonrası emisyon olarak yalnızca su oluşmaktadır. Yüksek verimlilik, yakıt pili tipine bağlı olarak düşük çalışma sıcaklığı, hareketli parça içermemesi ve bu nedenle titreşimsiz çalışma, hızlı cevap süresi ve az mekanik aksam temel üstünlükleri olarak sayılabilir [4].

Bağımsız ve dağınık biçimde enerji üretimine olanak sağlayan yakıt hücreleri, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de giderek önem kazanacak ve geniş uygulama alanları bulacaktır.

Polimer elektrolitik membran yakıt pilleri taşınır uygulamalarda Birleşik Devletler Enerji Departmanı (DOE) tarafından içten yanmalı motorların yerine geçebilecek en önemli aday olarak kabul edilmiştir. Metalik çift kutuplu plaka ve membran elektrot birleşimi (MEA) PEM güç yığınının çok önemli öğeleridir ve bu iki elemanın dayanıklılığı ile imalat maliyetleri

piyasada yerini alabilmesi ve diğer enerji kaynakları ile rekabet edebilmesi için geliştirilmelidir. Pem yakıt hücresinin çalışma prensibi de Şekil 4.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. PEM yakıt hücresinin çalışma prensibi

Çift kutuplu plakalar bir hidrojen yakıt pili güç stağının omurgasını oluşturmaktadır. Hücreler arasında akım toplayıcı olarak görev yapar, hidrojen ve oksijen olarak adlandırılan reaktant gazlarına kanal vazifesi görür. Çift kutuplu tabakalar seri imalat ile üretilir, bu yüzden üstün imal edilebilir özellikteki malzemeler kullanılmalı ve otomatikleştirilmiş üretim sistemlerine uyumlu, uygun maliyette malzemeler kullanılmalıdır. Şu an grafit kompozitleri düşük yüzey temas dirençleri ve yüksek korozyon dayanımı/direnci sebebiyle dikkate alınan metalik çift kutuplu tabaka malzemeleridir. Ne yazık ki grafit ve grafit kompozitleri kırılgan ve gaz geçirgen, işlenmesi ve seri üretimi zor malzemelerdir. Düşük maliyetle ve kolayca işlenebilen alüminyum, paslanmaz çelik, nikel, titanyum vb. PEM yakıt pili çift kutuplu plakalarda kullanılmaya aday malzemelerdir. Metaller mekanik gerilme, şok ve darbelere daha dayanıklı, gaz geçirgenliği düşük, karbon-karbon, karbon-polimer olarak adlandırılan karbon tabanlı materyallere kıyaslandığında daha uygun maliyet ve kolay üretilebilirlik göstermektedir. Ancak metal bipolar plakalarda temel engeller PEM yakıt pillerinin içindeki sert asidik ve nemli ortamın sebep olduğu korozyona karşı metal malzemenin dayanıksızlığı, PEM yakıt pilinin çıkış gücünün düşmesine sebep olan pasif tabakanın oluşması ve plaka yüzeyinden kopup membran ve katalizöre zarar veren metal iyonlardır [6] .

Ülkemizde sadece üniversiteler ve araştırma kurumları tarafından şimdilik deneysel olarak kullanılan ve yurt dışından yüksek ücretler karşılığında sipariş edilebilen PEM yakıt hücresinin tasarımını özgün olarak yapmak, daha sonra ise ortaya çıkan ürünün ticarileşmiş örnekleri ile rekabet edebilmesi için performans analiz ve geliştirme çalışmalarını yaparak Ülkemize yakıt hücresi teknolojisini kazandırma bu projenin amaçlarındandır.

Yakıt hücresi verimini ve hücre ömrünü artırabilmek için aktif bölgede homojen akım ve sıcaklık dağılımının sağlanması gerekmektedir. Bunun için de reaktant ve oksidantın aktif bölgede homojen dağıtılması ve sonlandırıcı plakalar ile hücrenin tüm yüzeylerinin eş basınç ile sıkıştırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada basınç ölçüm filmleri hücre içine yerleştirilerek, hücrenin homojen basınç altında çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiştir. Tasarım bu yönde revize edilerek akım yoğunluğu ölçümleri yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

PEM yakıt hücresinin performansını iyileştirmek için birçok parametre (çalışma koşulları, kütle transferi, elektrokimyasal reaksiyonların kinetiği vb.) optimum noktada tutulmalıdır. Bu parametrelerin tüm olumlu etkilerini yanlış tasarıma sahip bir bipolar plaka ortadan kaldıracaktır ve hücre performansını yarı yarıya düşürebilir. Bipolar plakaların akış kanalı tasarımının bu öneminden dolayı;

- Kütle transfer kayıplarını azaltacak,
- Su birikmesini minimuma indirecek,
- Basınç, hız ve konsantrasyon dağılımının homojen olmasını sağlayacak

plaka tasarımı üzerinde çalışılacaktır. Geliştirilecek plaka tasarımında maddelerin minimum enerji sarf edilerek taşındığı bitki yapraklarındaki damar profilleri örnek alınacaktır. Bu şekilde hücre performansına büyük etkisi olan kütle taşınımı, su yönetimi ile gazların basınç, hız ve konsantrasyon dağılımında performansı artırıcı yönde etkiler olacağı düşünülmüştür.

Polimer elektrolitik membran yakıt hücresinin çalışması için, birçok düzeneğe ihtiyaç vardır. Aşağıdaki kısımda düzenekte kullanılan tüm cihazlar sıralanacaktır. Şekil 2.'de yakıt hücresine reaktant gazlar olan hidrojen ve oksijeni sağlayan tüpler gösterilmiştir. Şekil 3.'de bu tüpler içinde bulunan 150 bar basıncındaki gazları yaklaşık 10 bar kullanılabilir basınca indiren regülatörler görülmektedir.



Şekil 2. Hidrojen ve oksijen tüpleri

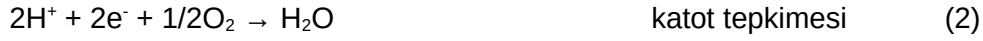


Şekil 3. Tüp basınç regülatörü



Şekil 4. Kütle akış kontrol ediciler

AALBORG marka kütle akış kontrol ediciler (mass flow controllers) yüksek hassasiyette, yakıt piline verilen gaz debisini ayarlamakta ve üzerindeki monitör yardımıyla kullanıcıya göstermektedir. Oksijen ve hidrojen için farklı hassasiyetlerde kütle akış kontrol ediciler kullanılmaktadır. Aşağıdaki Denklem (1)'de görülebileceği gibi reaksiyon için gerekli hidrojen ve oksijen gazı miktarı sırasıyla bire ikidir. Dolayısıyla kütle akış kontrol edicilerin hassasiyeti bu orana göre seçilmelidir.

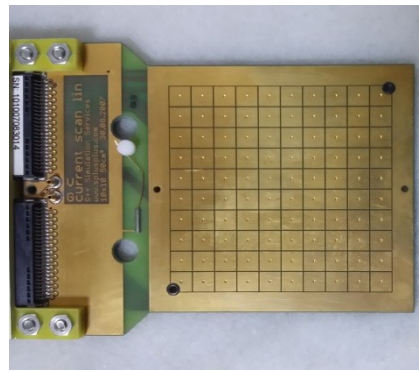
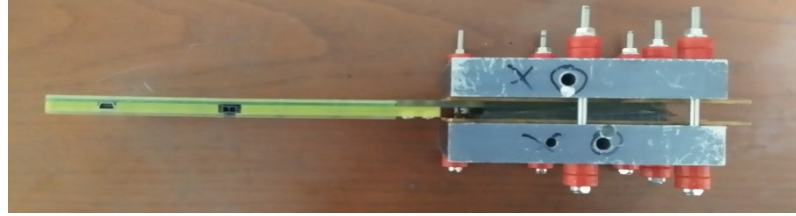


Şekil 5.'te görülen nemlendiricinin PEM yakıt pili için önemi büyüktür. Hidrojen ve oksijenin nemlendirilerek reaksiyona uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Nemlendirici içinde bulunan ısıtıcı ve sıcaklık sensörü ile hidrojen ve oksijenin uygun sıcaklıkta yakıt hücresine verilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 5. Nemlendirici

Şekil 6.'da tek hücre PEM yakıt hücresi görülmektedir. Dıştan içe doğru sırasıyla sonlandırıcı plakalar, akım toplayıcı plaka, grafit tek kutuplu plakalar, teflon sızdırmazlık contaları, GDL (gas diffusion layer), anot ve katot elektrotlar ve ortada da PEM bulunmaktadır. Şekil 7.'de PEM yakıt hücresi şematik olarak resmedilmiştir.



Gaz delikleri

Sabitlenme pimleri

**Sensör
segmentleri**

Şekil 6. Düzenekte kullandığımız PEM yakıt hücresi

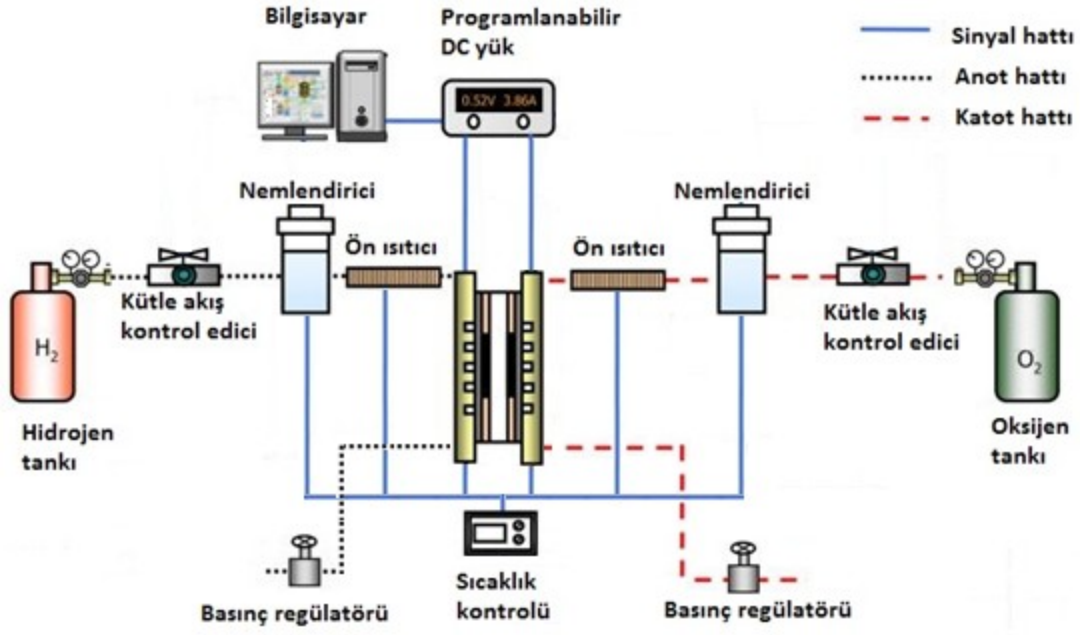
Bu proje çalışmasında kullanılan deneysel düzenek BAP 2010-05-04-009 numaralı "Polimer Elektrolitik Membran (PEM) Yakıt Pilleri için Bipolar Plaka Geliştirilmesi ve Yakıt Pili Performansına Etkisinin Deneysel olarak İncelenmesi" ile BAP2014-05-04-001 numaralı "Biyonik Akış Kanalı Tasarımının PEM Yakıt pili Performansına Etkisi" isimli BAP projeleri ile kurulmuştur. Deneysel düzeneği oluşturan elemanlar ve görevleri şu şekildedir: Hidrojen ve oksijen tüpleri reaktant gazlara depo vazifesi görmektedir. Kütle akış kontrol ediciler yakıt hücresine istenen miktarda gaz gönderilmesine olanak sağlamaktadır. Üzerindeki ayar vidası ile istenen reaktant debisi sağlanmakta ve stokiyometrik oranın etkilerini incelememize imkân vermektedir. Anot ve katot tarafında birer adet bulunan nemlendiriciler ise reaktant gazların belirlenen sıcaklığa getirilerek istenilen bağıl nem oranında hücre içine gönderilmesine olanak sağlamaktadır. Nemlendirici ile hücre arasındaki ısıtıcı hat ise gaz sıcaklığının hücre içine girene kadar istenilen değerde sabit kalmasını sağlamaktadır. Kendi tasarımı olan 50cm² aktif alana sahip yakıt hücresi üzerinde fişek rezistanlar bulunmaktadır. Bu

rezistanslar yakıt hücresini istenen sıcaklıkta tutmaktadır. Hücre üzerindeki bipolar plakaların akış kanal tasarımları değiştirilerek, yeni tasarımların performansa olan etkileri ve akım yoğunluğu dağılımı incelenebilmektedir. Çıkış hattının sonundaki basınç regülatörleri ise yakıt hücresi çalışma basıncını ayarlamaya yaramaktadır. Sıcaklık göstergeli ayar kutusu tüm sıcaklıkların istenen değerde tutulmasını sağlamaktadır. Programlanabilir DC yük, yakıt hücresinden istenen maksimum güç yoğunluğunu elde edilmesi için hücreye uygulanacak değişken yük miktarını ayarlamaktadır. Bu şekilde değişen yük ile farklı akım yoğunluğu değerlerine karşılık gelen gerilim değerlerinin gösterildiği polarizasyon eğrisi denilen grafikler elde edilmektedir.

Tüm deneylerde 50 cm² aktif alana sahip tek hücre yakıt hücresi kullanılmıştır. Elektrolit olarak Dupont firmasının Nafion® HP isimli ürünü ve 200 mikron kalınlığındaki AvCarb EP40 GDL tercih edilmiştir. Anot ve katot elektrotları karbon destek malzemesi üzerine sırası ile 0.4 ve 0.2 mg/cm² platin katalizörü yüklenerek elde edilmiştir.



Şekil 7. Deneysel düzenek



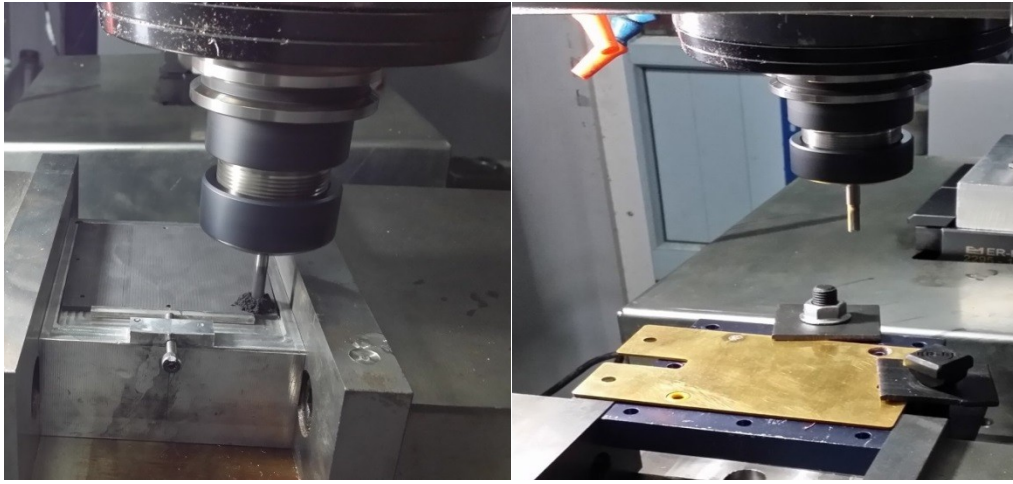
Şekil 8. Deneysel düzeneğin şematik gösterimi

Şekil 9.'da yakıt pili çıkış basıncını istenilen değerde tutmaya yarayan relief vana resmedilmiştir. Back pressure regulator olarak da adlandırılan bu vana yakıt pili performansı için büyük önem taşımaktadır.



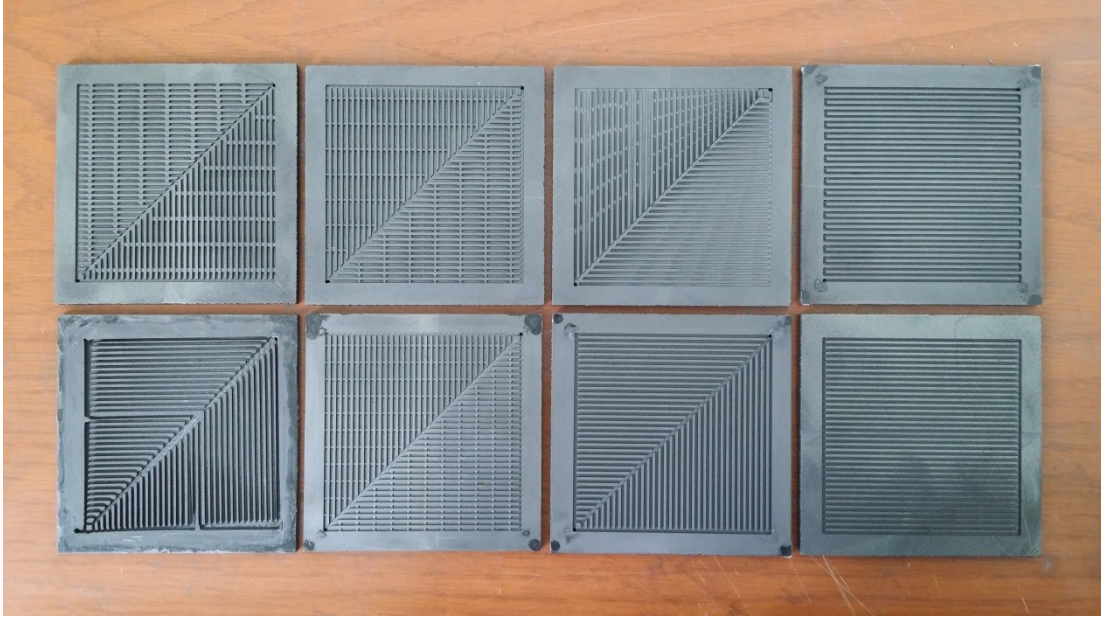
Şekil 9. Relief vana

Farklı tasarımlara sahip grafit akış plakalarının yakıt hücresi performansına yaptığı etki incelenmiştir. Tabakalar halinde satın alınan yüksek yoğunluktaki grafit plakalar uygun boyutlarda kesildikten sonra, yüzeylerindeki eğimin bertaraf edilmesi için her iki taraftan CNC vasıtası ile 0,2 mm talaş kaldırılmıştır. Tüm tasarımlar Dassault Systèmes firmasının CATIA V5R20 paket programı ile hazırlanmıştır. Hazırlanan programlar Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarında bulunan CNC tezgâhı ile grafit plaka yüzeylerine işlenmiştir (Şekil 10). Ayrıca hücre bileşenlerinden akım toplayıcı ve sonlandırıcı plakalar da bu tezgâhlarda işlenmiştir. Akım toplayıcı bakır plakanın temas direncini azaltmak amacıyla yüzeyine 300 mikron kalınlığında altın kaplama yaptırılmıştır.



Şekil 10. Akım toplayıcı ve grafit plakaların işlenmesi

Altı farklı akış kanal tasarımı ele alınmıştır (Şekil 11.). Bu tasarımlar: standart serpantin, yaprak, engelli yaprak, Murray, daralan kesit ve azalan derinlik tasarımlarıdır. Standart serpantin tasarımı literatürde oldukça fazla kullanılmış ve özgün tasarımlara referans olması amacıyla bu çalışmaya dâhil edilmiştir. Aşağıdaki bölümlerde tüm tasarımlar, karakteristik özellikleri, avantaj ve dezavantajları detaylı olarak açıklanacaktır.



Şekil 11. Tasarımı ve üretimi yapılan grafit akış plakaları



Şekil 12. Basınç ölçüm filmleri

Şekil 12.'de görülen basınç filmleri hücre içindeki grafit plakaların arasına yerleştirilerek homojen basınç dağılımı kontrol edilmiştir.

3. ANALİZ VE BULGULAR

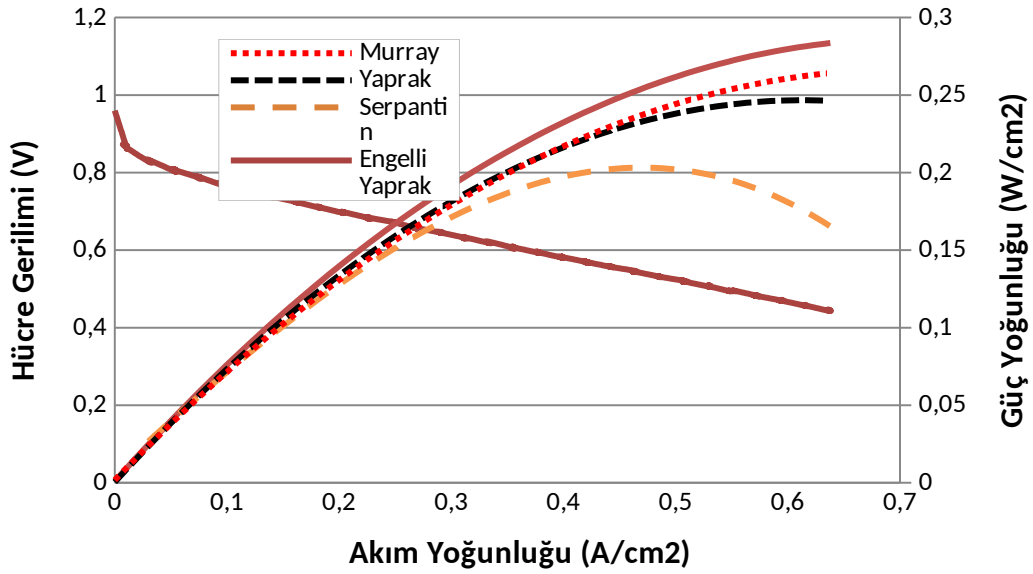
Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda, tasarım ve üretimi yapılan özgün kanal tasarımlarının performans testleri Tablo 1.'de verilen operasyon koşullarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 13.'te Yaprak, engelli yaprak, Murray ve standart serpantin tasarımlarının performans kıyaslaması görülmektedir. Sonuçlar 60°C hücre sıcaklığı, 1.5 bar çalışma basıncı, 100% bağıl nem, 1.6 Nm sıkıştırma torku ve anot katot eşit olmak üzere 2 stokiyometrik değerlerinde elde edilmiştir.

Yaprak ve Murray tasarımları standart serpantin tasarımından daha iyi performans göstermişlerdir. Bu fark bilhassa 0,4 A/cm² değerinden sonra daha belirgin görülmektedir. Düşük akım yoğunluğu bölgelerinde (<0,4 A/cm²) akış kanal tasarımının performansına önemli bir etkisi bulunmamaktadır. Çünkü bu bölgelerde gerçekleşen kayıplar aktivasyon ve direnç kayıplarıdır. Fakat yüksek akım yoğunluğu bölgelerinde reaksiyon sonucu hücre içinde daha fazla reaksiyon gerçekleştiği için üretilen sıvı su miktarı da artar. Dolayısıyla üretilen suyun tahliyesini daha iyi sağlayan akış tasarımı daha yüksek performans göstermektedir. Ayrıca reaktantların aktif bölge üzerinde daha homojen dağıtılması ile yaprak ve Murray tasarımları, serpantin tasarımından daha iyi performans sonucu vermiştir. Maksimum güç yoğunluğu açısından incelendiğinde serpantin tasarıma göre 10-15% gibi bir güç yoğunluğu artışı söz konusudur. Murray tasarımı da yaprak tasarımına göre daha üstün görülmektedir. Yaprak tasarımının tüm kanal genişlik ve yükseklikleri 1mm olarak işlenmiştir. Ancak Murray tasarımında durum farklıdır. Bu tasarımda dallanan kanalların daralma oranına sahiptir. Bu daralma oranı ile yakıt hücresi içindeki konsantrasyon kayıpları bir nebze olsun azalmakta ve yaprak tasarıma göre daha yüksek güç değerleri elde edilebilmektedir.

Tablo 1. Şekil 13. için operasyon ve deney koşulları

Operasyon sıcaklığı (K)	333
Operasyon basıncı (bar)	1,5
Anot stokiyometrisi	2
Katot stokiyometrisi	2
Bağıl nem (%)	50-70-100
Sıkıştırma torku (Nm)	1,6
Hücre akım aralığı (A)	0 - 40
Akım artış miktarı (A)	2
Akım artma periyodu (s)	40

Şekil 13.



Yaprak, engelli yaprak, Murray ve standart serpantin tasarımlarının performans kıyaslaması

Şekil 15.'te serpantin tasarımın aktivasyon ve polarizasyon kayıplarının baskın olduğu bölgelerdeki akım dağılım ölçümleri görülmektedir. Düşük akım bölgesinde akım dağılımı homojene yakındır. Bu esnada hücreden 20A akım çekilmekte ve bu değer 0,4A/cm² değerine karşılık gelmektedir. 50cm² aktif alana sahip bir yakıt hücresi için bu değer oldukça düşüktür. Üretilen akımın düşük olması, daha az miktarda reaktantın reaksiyona girdiği ve az miktarda sıvı suyun üretildiği anlamına gelmektedir. Dolayısıyla az miktardaki sıvı su, reaktantları bloke etmeden hücre dışına tahliye edilebilmektedir. Bu yüzden akım dağılımı elektrot yüzeyinden dengeli bir şekilde elde edilmektedir. Fakat hücre gerilimi artan akım ile düştükçe, serpantin tasarımda elektrot yüzeylerinde üretilen akım homojenliğini kaybetmektedir. Artan akım miktarı, hücre içinde daha fazla reaksiyon demektir. Daha fazla reaksiyon ise daha fazla su üretimi anlamına gelmektedir. Artan reaksiyon hızı ile daha fazla reaktant gazın elektrotlardaki platin katalizör taneciklerine ulaştırılması gerekmektedir. Bu kütle taşınım sürecini hücre içinde üretilen ve serpantin tasarımın karakterinden ötürü dış ortama etkili bir şekilde atılamayan sıvı su olumsuz etkilemektedir. Aktif bölgedeki katalizör taneciklerine ulaşamayan bölgelerde reaksiyon hızı düşmekte ve dolayısıyla akım dağılımı bölgesel olarak farklı değerler göstermektedir. Akım dağılımının homojen olmamasının sonuçları daha önceki bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmıştı. Bu projenin hedeflerinden birisi de akım dağılımının homojen olmasını sağlamaktır.

PEM tipi yakıt hücrelerinde akım dağılımı üniform değildir. Yakıt hücresi elektrot yüzeyinin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için reaktant gazların bu alanın tüm noktalarına homojen bir şekilde dağıtılması gerekmektedir. Ayrıca reaksiyon ürünü olan ve membranı nemlendirmesi gereken sıvı suyun fazlalık kısmının ise akış kanalları vasıtasıyla hücre dışına atılması gerekmektedir. Su yönetimi olarak adlandırılan bu olay daha önceki bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır.

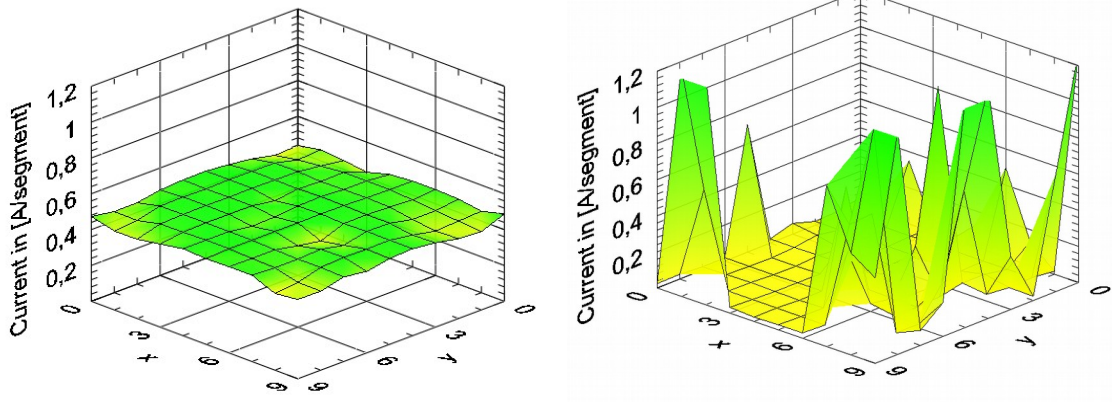
Tasarımı yapılan akış plakalarının yukarıda bahsi geçen görevi etkin bir şekilde yerine getirip getirmediğini anlamanın diğer bir yolu da elektrot yüzeyinde üretilen akımın görselleştirilmesidir. Bu şekilde tüm aktif yüzey üzerinde hangi noktalarda ne kadar reaksiyon gerçekleştiği yani akım üretildiği gözlemlenebilmektedir. Bu gözlem sonucunda akış kanal tasarımının reaktant dağıtım performansı ve su tahliye kabiliyeti gözler önüne serilmiş olmaktadır. Akım dağılım ölçümleri yerel elektrokimyasal reaksiyon şartlarının bir göstergesidir.

Bu proje çalışmasında hücre içine akışı rahatsız etmeyecek şekilde yerleştirilen akım dağılım kartı ile akım ve sıcaklık dağılım ölçümleri yapılmıştır. Yaprak tasarımı için elde edilen akım ve sıcaklık dağılımı ölçümleri yine standart serpantin tasarımın sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Şekil 14.'te de görüldüğü gibi yakıt hücresi aktif alanındaki basınç dağılımının homojen olmaması, aktif alandaki akım dağılımının da homojen olmamasına sebep olmaktadır. Tasarım güncellenerek Şekil 12.'de görülen basınç ölçüm filmleri hücre içine yerleştirilerek basınç dağılımı ölçülmüştür.



Şekil 14. Basınç dağılım ölçümleri; modifikasyon öncesi (sağda) ve sonrası (solda)



Şekil 15. Homojen akım dağılımı (solda), homojen olmayan akım dağılımı (sağda)

Şekil 14.'de görüldüğü gibi basınç dağılımının daha homojen hale getirilmesi, Şekil 15.'de görülen akım yoğunluğu dağılımının daha homojen olmasına sebep olmuştur. Bu proje kapsamında ulaşılmak istenen hedef, daha önce satın alınması planlanan cihaz olmadan da sağlanabilmiştir. Bu yüzden cihazın satın alınmasına gerek duyulmamıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yakıt hücrelerinde bazı olaylar akım yoğunluğunun dengesiz olmasına sebep olur. Bunlardan birisi dengesiz akış dağılımıdır. Akış kanalları reaktant gazları akış kanalı boyunca büyük hız ve basınç gradyeni oluşmadan dağıtılmalıdır. Akış hızı gaz akımının suyu GDT'den tahliye etmesinin yanı sıra reaktantların ne kadar çabuk ikmal edildiğine de bağlıdır. Basınç bir bölgede diğerine göre çok yüksek olduğunda reaktantların katalizör yüzeyine ve GDT içine girme kabiliyetini etkileyen hızda değişiklikler olmaktadır. Bu durum da reaksiyon hızlarında değişikliklere sebep olur.

Su yönetiminin yetersizliği de dengesiz akım yoğunluğu dağılımına sebep olabilir. Su yönetimi membranın proton iletkenliğini en üst seviyede tutacak kadar suyun membran üzerinde kalması ve reaktant gazların ilgili alanlara ulaşabilmesi için de suyun tahliyesini içermektedir. Eğer membran kurursa proton iletim kabiliyeti azalır ki bunun anlamı katot tarafındaki reaksiyon hızının azalması dolayısıyla akım yoğunluğunun azalması demektir. Benzer şekilde eğer bir bölgede su miktarı artmaya başlarsa, reaktantlar reaksiyon bölgesine ulaşamaz bu durumda da bölgesel akım yoğunluğu düşüşleri görülmektedir.

Yakıt pillerinde dengeli bir akım yoğunluğu dağılımı birçok sebepten dolayı istenir. İlk olarak bölgesel "soğuk noktalar" mesela reaksiyon hızının ve bununla ilişkili olan ısı salınımının ortalamasının altında olan bölgeler hücre performansını azaltmaktadır. Benzer şekilde reaksiyon hızının ve buna bağlı olan ısı salınımının ortalama değerden yüksek olduğu bölgeler olan "sıcak noktalar" da aynı etkiyi doğurmaktadır. Dengesiz akım yoğunluğu düşük yakıt tüketimi, düşük güç yoğunluğu ve platin katalizörün verimsiz kullanılması anlamına gelmektedir. Fakat en önemlisi dengesiz akım yoğunluğunun sebep olduğu bölgesel sıcak noktaların önemli ölçüde hücre ömrünü azaltmasıdır.

Yukarıda bahsi geçen olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için farklı modellerde akış kanalları tasarlanmış ve bir dizi testler ile bu hedeflere ulaşmadaki tutarlılık gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar bir önceki bölümde detaylı olarak işlenmiştir. Aynı ifadeleri tekrarlamamak için sadece genel bir bakış yapılacaktır.

1. Hücre voltajının 0,5V değerinden düşük olduğu durumlarda, akış kanal tasarımlarının akım yoğunluğu üzerine etkileri belirgin hale gelmektedir.
2. Yaprak tasarımı, serpantin tasarıma göre çok daha yüksek performans göstermiştir.
3. Yüksek akım yoğunluğu bölgelerinde yaprak tasarımı serpantin tasarıma göre daha homojen akım ve sıcaklık dağılımı göstermiştir.
4. Doğadan esinlenen tasarımların her biri (yaprak, engelli yaprak, Murray tasarımları) serpantin tasarıma göre daha dengeli reaktant dağılımı gerçekleştirmektedir. Bu durumda yeni tasarımların gaz tüketim oranı da daha yüksek olmaktadır.
5. Sabit akım deneylerinde yaprak, engelli yaprak ve Murray tasarımları, serpantin tasarıma göre aynı akım değerinde iken daha yüksek hücre gerilim değerlerine çıkabilmektedir.
6. Akış kanalları içindeki engeller, yarı hücreleri için çok önemli bir konu olan kütle transfer mekanizmasına olumlu yönde katkı sağlamıştır. Yüksek yoğunluğu bölgelerinde (akım yoğunluğu $> 0,4A/cm^2$) oldukça fayda sağlamıştır. Engelli yaprak tasarımı, yaprak ve Murray tasarımlarına nispeten daha iyi su tahliye kabiliyetine sahip olduğunu göstermiştir.
7. Hücrenin maruz kaldığı sıkma torkunun hücre aktif alanı üzerinde homojen olması gerektiği tespit edilmiştir. Aksi takdirde, hücre içinden ölçülen akım dağılımı da homojen olmamaktadır.

PEM yakıt hücrelerinde güç dizini oluşturulması söz konusu olduğunda, homojen basınç uygulanması daha da önemli hale gelmektedir. İleriye yönelik çalışmalarda, yakıt hücresi üretimi yapılırken, tüm plakaların hassas bir şekilde işlenmesi gerektiği görülmüştür. Güç dizininin bir sıkıştırma mekanizması ile dışarıdan basınç uygulanarak birleştirilmesi faydalı olabilir. Ayrıca uygulanacak sıkıştırma basıncının hassas ve doğru büyüklüklerde olması için sıkıştırma mekanizmasının pnömatik güç ile kontrol edilmesi sağlanabilir. Bu şekilde güç dizini üzerine uygulanacak basınç istenilen değerde tutulabilir.

Ayarlanabilen sıkıştırma basıncı sayesinde, yüksek akım yoğunluğu bölgelerinde, hücre içinde yüksek miktarda üretilen sıvı suyun gaz akış kanallarında birikmemesi, GDT içindeki gözeneklerin artırılması ile engellenebilir. Azaltılacak sıkıştırma basıncı sayesinde GDT gözenekleri büyüyecek ve bu tabakanın su tutma kabiliyeti artırılmış olur. Hücre düşük akım yoğunluğu değerlerinde çalışırken ise sıkıştırma basıncı artırılarak hücre içindeki tabakalar arasında temas direnci azaltılabilir. Temas direncinin azalması ile yakıt hücresinin dirençsel kayıpları en aza indirilmiş olur.

Bu yaklaşım, hücrenin ürettiği akım ile ters orantılı bir sıkıştırma basıncı uygulanması anlamına gelmektedir. Anlık akım değişiklikleri karşısında, yakıt hücresinin sıkıştırma basıncını değiştirebilmek için ayrıca çok disiplinli bir proje ile çalışma yapılabilir. Pnömatik sıkıştırma mekanizmasını üretilen akıma göre kontrol eden bir yazılım desteği ile aktif değişken sıkıştırma basıncı uygulaması gelecek çalışmalarda uygulanabilecek yenilikçi bir yaklaşım olacaktır.

KAYNAKLAR

- [0] ÇETİNKAYA, M., KARAOSMANOĞLU, F., "21. Yüzyılın Enerjisi; Hidrojen Enerji Sistemi", IV. Güneş ve Diğer Yenilenebilir Enerjiler Sergisi ve Sempozyumu, İzmir, 1-3, 2003
- [0] BOSSEL, U., The birth of the FuelCell; European FuelCell Forum: Oberrohrdorf, 2000.
- [0] OĞUZ, A.E., 'Hidrojen Yakıt Pilleri ve PEM Yakıt Pili'nin Analizi', Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Nisan 2006.
- [0] KORDESCH, K., SIMADER, G., Fuel Cells and Their Applications, John Wiley & Sons, Inc., 1996
- [0] COSTAMAGNA, P., SRINIVASAN, S., Quantum jumps in the PEMFC science and technology from the 1960s to the year 2000: Part II. Engineering, technology development and application aspects, Journal of Power Sources, Volume 102, Issues 1-2, 1, Pages 253-269, 2001
- [6] HENTALL, P.L., LAKEMAN, J.B., MEPSTED, G.O., ADCOCK, P.L., MOORE, J.M., Journal of Power Sources 80-235, 1999.

EKLER

A. Projede kullanılan cihazlar ile ilgili açıklamalar

ALBORG marka GFC17S-VADL2AO hidrojen gazı için kütle akış kontrol sistemi maksimum akış 2lt. / dk.	1 adet	2.750,00
ALBORG marka GFC17S-VADL2AO oksijen gazı için kütle akış kontrol sistemi maksimum akış 5lt. / dk.	1 adet	2.750,00
40 LT HİDROJEN TÜPÜ	1 adet	2.300,00
40 LT OKSİJEN TÜPÜ	1 adet	800,00
O2 REGÜLATÖR	1 adet	75,00
HİDROJEN REGÜLATÖR	1 adet	75,00
PEM Yakıt Pili 5cm2 Aktif Alan	1 adet	1.100,00
Low-Flow Humidity Bottle Assembly	2 adet	5.680,00
Teflon Sızdırmazlık Contası (5cm2 yakıt piline uygun)	2 adet	120,00
Relief Valf (0-4 Bar)	2 adet	1.170,00
Manometre (0-4 Bar)	2 adet	684,00
Sıcaklık Kontrol Ünitesi	1 adet	4.000,00
DC Elektronik Yük	1 adet	12.000,00
Membran 50cm2	20 adet	5.000,00
Grafit plaka	40 adet	2.500,00

B. Proje kapsamında alınan makine teçhizat ile ilgili bilgiler

CİHAZ İSMİ	DEMİRBAŞ NO

NOT: Proje kapsamında herhangi bir alım yapılmamıştır. Projenin kabul süreci 15 ay sürdüğü ve bu süreçte doktora tezimi tamamlamam gerektiğinden, ben projenin başvuru sürecinin tamamlanmasını beklemeden, mevcut sorunun çözümünü başka yollarla çözmeye çalıştım. Dolayısıyla proje bütçesine hiç dokunmadım.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	HÜSEYİN KAHRAMAN
Proje No:	116M732
Proje Başlığı:	Akış Kanal Tasarımının Pem Yakıt Hücresi Performansına Etkisinin İncelenmesi
Proje Türü:	1002 - Hızlı Destek
Proje Süresi:	6
Araştırmacılar:	
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	SAKARYA Ü. TEKNOLOJİ F. MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/05/2017 - 01/11/2017
Onaylanan Bütçe:	24635.0
Harcanan Bütçe:	0.0
Öz:	<p>Bu proje kapsamında yakıt hücresinin aktif alanındaki akım dağılımının homojen olması için gerekli çalışmaların yapılması planlanmıştır. Proje bütçesi ile temin edilecek olan hızlı bağlantı elemanı ile hücrenin homojen basınç dağılımının sağlanması planlanmakta idi. Ancak proje başvurusunun 15 aylık bir süre sonunda sonuçlanması bizi başka çözümler bulmaya yönlendirmiştir.</p> <p>Bu çalışma doktora tezimin bir kısmı olduğu için projenin sonuçlanmasını beklemeden farklı bir yol izlenmiştir. Fujifilm markalı basınç ölçüm kağıtları (Pressure measurement film - prescale) ile yakıt hücresinin homojen basınç altında çalışmasını sağlayacak tasarım deneme yanılma ile tespit edilmiştir.</p> <p>Elde edilen sonuçlara göre yakıt hücresi testleri yapılmış ve akım yoğunluğunun eski tasarımlara göre daha homojen akım yoğunluğuna sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu yüzden proje bütçesi kullanılmadan istenilen sonuçlara ulaşılabilmektedir.</p>
Anahtar Kelimeler:	PEM yakıt pili, akım yoğunluğu dağılımı
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır