

# Bir Polimer Elektrolit Membran Yakıt Piliinde Kullanılmak Üzere Gaz Akış Plakaları Tasarımı ve Denenmesi

Yakup İÇİNGÜR<sup>\*1</sup>, Levent KİREÇ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği,  
06500 Teknikokullar, ANKARA

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

Geliş/Received : 28.04.2011, Kabul/Accepted : 17.05.2011

## ÖZET

Her geçen gün artan çevre kirliliği kaygıları ve fosil yakıtların yakın zamanda tükenme ihtimalinin yüksek olmasından dolayı alternatif enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır. Yakıt pilleri de %70'e varan verimleri, sessiz çalışmaları ve modüler olmaları gibi özellikleri ile giderek yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada yakıt pili çeşitlerinden, taşıtlarda kullanımı en uygun olan, PEM yakıt pillerinin performansına etki eden parametreler üzerine bir çalışma yapılmıştır. Parametrik çalışmalara geçilmeden önce naftion 115 membran kullanılarak alüminyum ve paslanmaz çelik SS 316 malzemelerinden iki adet yakıt pili paketi tasarlanmıştır. Ardından yakıt pillerinin üretimi ve parametrik çalışmaların yapılabilmesi amacıyla bir ilk örnek geliştirilmiştir. Tüm bu işlemlerin sonra sıcaklık, basınç, nemlendirme gibi parametrelerin yakıt pili performansına etkisi üzerinde çalışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda alüminyum yakıt pilinde maksimum 2,98 volt, paslanmaz çelik yakıt pilinde de maksimum 3,12 volt gerilim değerleri elde edilmiştir. Yapılan ölçümlerin ışığında basınç, sıcaklık ve nemlendirme gibi parametrelerin yakıt pili performansını artırdığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** PEM yakıt pili, Gaz akış plakaları

## Design and Trials of the Gas Flow Plates in A Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell

### ABSTRACT

Because of increasing of environmental problems and possibility of depletion of fuels day by day, people are trying to find alternative energy sources. Fuel cells with the characteristics of high efficiency up to %70, functioning in silence, being modular etc. have evolved with spreading use. This study shows the parameters effects on performance of PEM fuel cells which is the most suitable kind for being used in vehicles among fuel cells. Before starting parametric studies two packets of aluminium and stainless steel material SS 316 fuel cells were designed with the use of naftion 115 membranes. After these processes a prototype was developed with the aim of production of fuel cells and implementing parametric studies. After the whole process mentioned above parameters like temperature, pressure and moisture which have effect on performance of fuel cell were studied. In these experimental studies, for aluminum fuel cell the maximum 2,98 Volt potential level; for stainless steel fuel battery the maximum 3,12 Volt potential level were reached. As a result of these experimental studies the parameters like temperature, pressure and moisture increased performance of fuel cell fairly.

**Keywords:** PEM Fuel Cell, Gas flow plates

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Odun, kömür gibi enerji kaynaklarının kullanıldığı dönemlerden petrol ve petrol ürünlerinin kullanılmaya başlandığı dönemlere gelindiğinde uzun süre bu enerji kaynağına bağımlı kalınarak teknolojiler geliştirilmiştir. Ancak artan enerji ihtiyaçları, petrol kaynaklarındaki sınırlılık ve bunun bir sonucu olan petrol fiyatlarındaki artışlar, çevre kirliliğinin artması ve hatta bir dönemden sonra karşılaşılan kaynakların tükenme ihtimali, insanoğlunu hem eldeki kaynakları daha tasarruflu kullanmaya ve hem de farklı enerji kaynaklarına yönelmeye zorlamıştır.

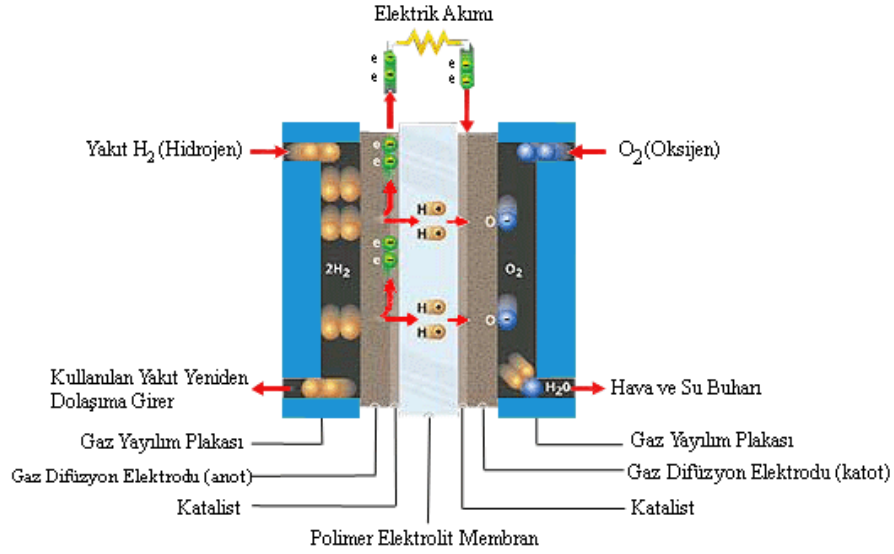
Yakıt pilleri yukarıda bahsedilen ihtiyaçlara karşılık verebilecek enerji kaynaklarına en iyi alternatiflerden biridir. Yakıt pillerinin, özellikle doğada en fazla bulunan hidrojen elementi ile çalışıyor olması ve atık olarak çevreye sadece su vermesi, bunun yanında %70'lere varan hiç de küçümsenmeyecek değerlerdeki verime sahip olması onu neredeyse ideal bir alternatif enerji kaynağı haline getirmektedir.

Benzin motorlarının iki üç katı olan % 60 'ın üzerindeki termik verimlerine ek olarak [9, 10] düşük gürtü düzeyi, düşük egzoz emisyonları ve düşük ısı atma talebi bakımından da avantajlıdır. Yakıt pillerinin temiz taşıt teknolojisinde devrim yapacağı iddia edilmektedir [11]. Reformler ve elektrikli dönüştürücülere bağlı olarak toplam sistem verimlerinin % 37 kadar olduğu belirtilmektedir.

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: [icingur@gazi.edu.tr](mailto:icingur@gazi.edu.tr)

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2011.14.1, 31-37



Resim 1. PEM yakıt pilinin çalışması

Bu çalışmada gelecekte hemen her alanda birçok enerji ihtiyacını karşılamaya aday olan PEM yakıt pillerinde kullanılan gaz akış plakalarının yakıt pili performansına etkileri ele alınarak incelenmiştir.

## 2. YAKIT PİLİ TEORİSİ (FUEL CELL THEORY)

### 2.1. Yakıt Pilleri (Fuel Cells)

İlk olarak bilim adamı William Grove, 1839 yılında yakıt pilinin nasıl çalıştığını göstermiştir [1].

Yakıt pilleri kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine çeviren elemanlardır. Yakıt pili, fosil yakıtlarının veya hidrojen gibi enerji kaynaklarının yakılması yerine, yakıt ile oksijenin elektro-kimyasal reaksiyonu sonucunda enerji üreten bir tür bataryadır. Yüksek verimleri sayesinde enerji tasarrufu sağlayan bir güç kaynağı olarak yakıt pilleri, gelecekteki otomotiv kullanımı için ümit vermektedir. Benzin motorlarının iki-üç katı olan % 60'ın üzerindeki termik verimlerine ek olarak düşük emisyon değerleri ve düşük ısı kayıpları bakımından da avantajlıdır [2] [3]. Yakıt pillerinin temiz taşıt teknolojisinde devrim yapacağı iddia edilmektedir [4]. Ayrıca metanolden hidrojen elde edilen sistemlerde, metanolden hidrojeni ayrıştıran reformer metodunun gerekliliği de ortadan kaldırmıştır.

Direkt metanol yakıt pilleri de aslında bir polimer elektrolit membran yakıt pilidir. Sadece metanol bağını koparmak için anotta katalizör olarak platinin yanında rutenyum (Ru) kullanılması gereklidir. Çalışma sıcaklığı aynı PEM gibi 80-100°C civarlarındadır [5].

### 2.2. Polimer Elektrolit Membran Yakıt Pilleri (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells)

Polimer elektrolit membran yakıt pilleri ince, geçirgen yaprak şeklindeki polimer bir elektrolit ile çalışır. Bu membran küçük ve hafif olmakla beraber düşük sıcaklıkta da çalışmaktadır [6].

Gaz yayılım plakaları vasıtasıyla membran üzerinde dolaştırılan hidrojen atomlarının elektronları membran üzerindeki aktif madde sayesinde hidrojen

kopartılarak elektrotlar vasıtasıyla toplanıp elektrik alıcısına gönderilir. Bu esnada membran hidrojen ve oksijenin geçişine izin vermezken iyon halindeki hidrojenin geçişine müsaade eder ve H<sup>+</sup> iyonu oksijen(katod) tarafına geçiş yapar (Resim 1). Elektrik alıcısı üzerinden iş yapan elektron, pilin katod tarafına geçiş yapar ve burada şu reaksiyon gerçekleşir;



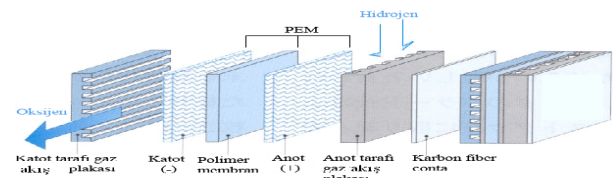
Yakıt pili ünite tasarımında oluşan değişkenler şunlardır; Elektrolit-elektrot çiftinin aktif alanı,

Ünitenin büyüklük oranı, Pillerin sayısı, Plaka malzemesinin cinsi, Akış şekli, Gaz yayılım plakası kanalı tasarımı, Gaz yayılım plakası derinliği, Gaz dağıtım sistemi, Ünitenin yapısı ve montaj şekli olarak sıralanmaktadır.

Yakıt pillerinin performansını etkileyen önemli parametreler ise; basınç, sıcaklık ve nemlendirme olarak literatürde yer almaktadır [7]

### 2.3. Yakıt Pilinin Temel Parçaları (Basic Parts Of The Fuel Cell)

Yakıt pili elemanları elektrot-elektrolit çifti, gaz difüzyon plakası ve gaz yayılım plakaları olmak üzere üç temel parçadan oluşurlar (Resim 2). Elektrolit olarak adlandırılan kısım genellikle katıdır. Yoğun gaz atomlarının geçişine izin vermeyip iyon halindeki atomların elektrotlar arasındaki geçişini çok iyi sağlamalıdır.



Resim 2. Yakıt pili elemanı parçaları

Elektrotlar ise aktif maddelerin çözeltileri şeklinde hazırlanır ve hidrojenden elektron koparma amacıyla kullanılırlar [5].

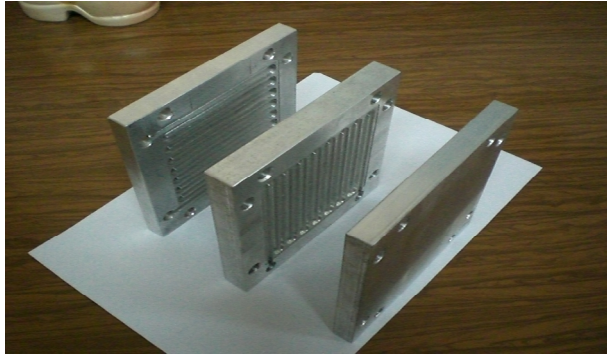
### 3. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHODS)

Temiz güç üretim sistemi, yüksek verim, düşük sıcaklıkta çalışabilme gibi üstün özellikleriyle alternatif enerji kaynakları arasında ilk sıralarda gelen PEM yakıt pilleri günümüzde giderek yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmamızda da alüminyum PEM yakıt pili tasarımı yapılmış ve bu tasarımın değişik çalışma koşullarındaki performansının belirlenebilmesi için bir prototip tasarlanmıştır.

#### 3.1. Deney Düzenegi (Test Setup)

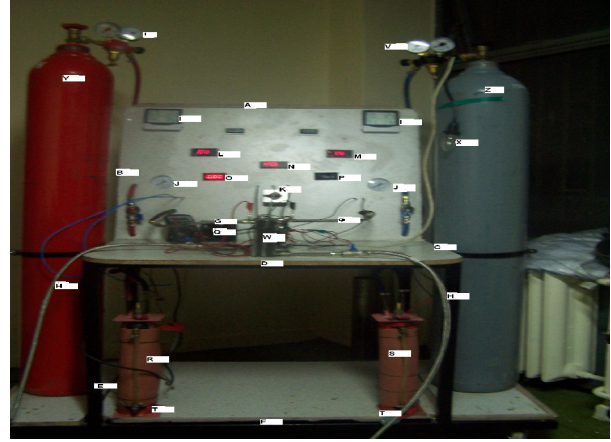
Deney düzenegi yakıt pili ve prototip olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır.

**Yakıt Pili;** Deney düzeneginin kalbini teşkil eden yakıt pili tasarımına geçilmeden önce yakıt pilinin hangi malzemeden yapılacağı üzerinde durulmuştur. Yapılan literatür araştırmalarından, bu çalışmada alüminyum ve paslanmaz çelik malzemelerinin özellikle performans, maliyet ve kolay bulunabilme vb. gibi özelliklerinden ötürü kullanımını öne çıkartmıştır. Bu çalışmamızda ise alüminyumdan yapılmış PEM yakıt pilinin parametrik incelemesi ile hem paslanmaz çelik hem de alüminyum plakaların tasarımı üzerinde durulmuştur (Resim 3-4)



Resim 3. PEM yakıt pili gaz akış plakaları

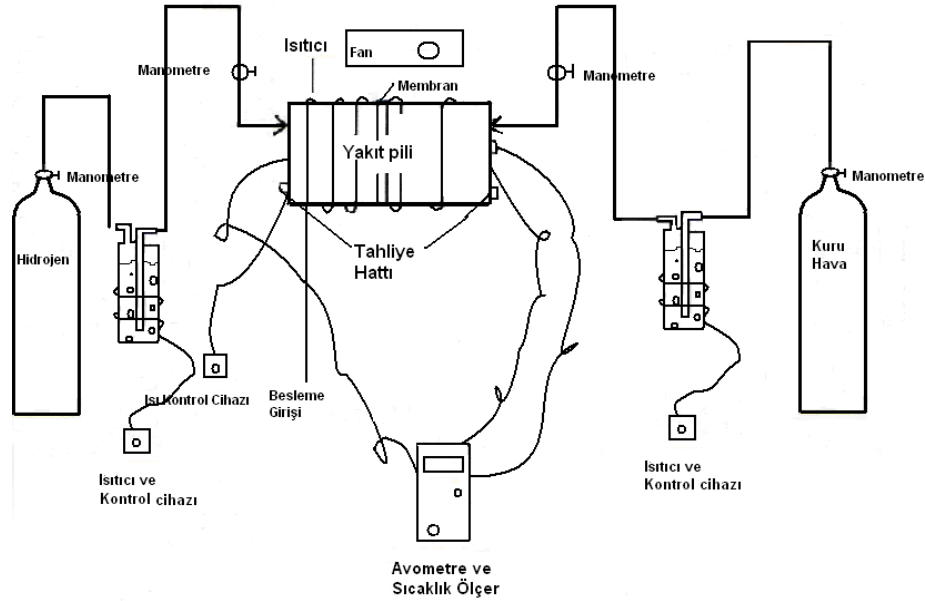
**Prototip;** Yakıt pilinin bipolar plaka tasarımı aşamasından sonra yakıt pili paketinin çalışma koşullarının performansa etkilerinin incelenebilmesi için bir prototip tasarlanmıştır. Malzeme seçiminden sonra, çalışmalarımızda kullanılacak yakıt pilinin boyutları ve sayısının belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada küçük bir yakıt pili paketinin oluşturulması düşünülmüş ve iki adet yakıt pilinden oluşan bir yakıt pili paketi oluşturulmuştur. Yakıt pili paketi 135x135x20 mm boyutlarında iki adet tek yönlü ve bir adet çift kutuplu bipolar plakadan oluşmaktadır.



Resim 4. PEM yakıt pili ve prototipi

#### Prototipin teknik ölçüleri ve elemanları:

- G- Isıya dayanıklı hidrojen ve oksijen giriş hortumları
- H- Isıya dayanıklı, esnek yakıt pili çıkış boruları
- J- Hidrojen ve kuru hava manometreleri
- K- Anahtar (elektrik akımın kontrolü için)
- L- Hidrojen nemlendiricisi sıcaklık göstergesi
- M- Kuru hava nemlendiricisi sıcaklık göstergesi
- N- yakıt pili sıcaklık göstergesi
- I- Yakıt pilinin anot tarafı nemlendirici ve ortam nem ve ısı göstergesi
- İ- Yakıt pilinin katot tarafı nemlendirici ve ortam nem ve ısı göstergesi
- O- Voltmetre (DC)
- P- Ampermetre
- R- Hidrojen nemlendiricisi
- S- Kuru hava nemlendiricisi
- T- Isıtıcı (şerit tip,5m)
- U- Hidrojen tüpü basınç kontrol ünitesi (manometre)
- V- Kuru hava basınç kontrol ünitesi (manometre)
- Y- Hidrojen tüpü
- Z- Kuru hava tüpü
- X- Kontrol lambası
- W- PEM yakıt pili
- Q- Soğutucu fan
- A- 130 cm
- B- 120 cm
- C- 90 cm
- D- 130 cm
- E- 105 cm
- F-175cm



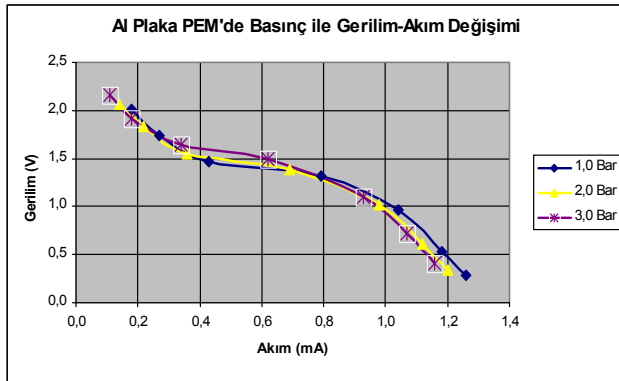
Şekil 1. Deney setinin şematik gösterimi

#### 4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (TEST RESULTS AND DISCUSSION)

Deney setinin kurulmasından sonra alüminyum ve paslanmaz çelik gaz akış plakalı yakıt pili prototipleri ile performans deneyleri yapılmıştır. Yapılan performans deneylerinde basınç, sıcaklık ve nem gibi parametrelerin etkileri incelenmiştir. Tükek ve Erşan'da benzer parametrik çalışmaları Sarıdemir'in tasarladığı membranlar kullanarak yapmışlar ve 0,8 volt gerilim ile 0,6 amper akım değerlerine ulaşmışlardır [3,8].

##### 4.1. Alüminyum Gaz Akış Plakalı PEM Yakıt Pili ile Yapılan Parametrik Çalışmalar (Aluminum gas flow plate PEM fuel cell and the parametric studies)

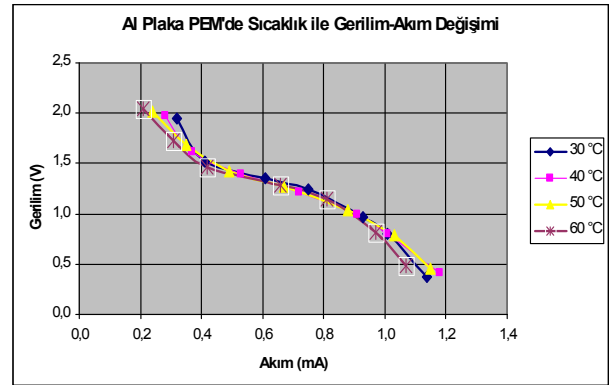
Alüminyum gaz akış plakalı PEM yakıt pili ile yapılan deneysel çalışmalarda aşağıdaki grafikler elde edilmiştir. Basıncın değişmesi hacmin değişmesine bağlı olarak düşünülmelidir.



Şekil 2. Alüminyum gaz akış plakalı PEM' de basınç değişimine bağlı yakıt pili performansı

Hacim değişirse reaksiyona giren tüm madde derişimleri değişeceğinden hız da değişmektedir. Pilin çalışma sıcaklığı yaklaşık 60 °C olarak belirlenmiş ve

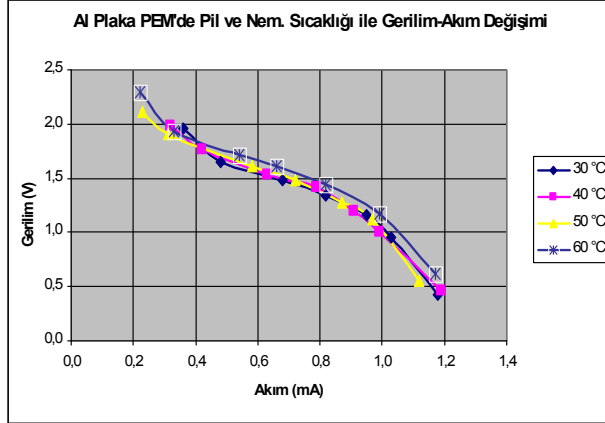
nemlendirici kullanılmıştır. Ortam sıcaklığı 21 °C' dir. Ortam nemi %25 olarak ölçülmüştür. Pilin çalışma sıcaklığı 35 °C'dir. Şekil 2'de görüldüğü üzere hidrojen ve kuru hava, basınç artışına bağlı olarak gerilim ve akım değerleri artmaktadır. Bu değerlerin artmasının temel nedeni olarak, basıncın kimyasal reaksiyonu hızlandırdığı söylenebilir. Yapılan prototiplerde, sızdırmazlık ve optimum hidrojen + kuru hava karışımının sağlanması halinde, performans değerlerinin daha yüksek olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 3. Alüminyum gaz akış plakalı PEM' de sıcaklık değişimine bağlı yakıt pili performansı

Şekil 3'de, Pilin çalışma basıncı 2 bar olarak belirlenmiş ve nemlendirici kullanılmıştır. Ortam sıcaklığı 28 °C' dir. Ortam nemi %25 olarak ölçülmüştür. Hidrojen gazı %60, kuru hava %25 oranında nemlendirilmiştir. Nemlendiricilerin sıcaklığı 30 °C' dir. Şekil 3'de görülebileceği gibi sıcaklık artışına bağlı olarak kimyasal reaksiyonun hızlanmasından dolayı elde edilen voltaj değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Sıcaklığın artırılması bütün tepkimelerin hızını artırır. Fakat bu yükseliş eğiliminin belirli noktadan sonra yavaşladığı ve tepe noktasından sonra düşme eğilimine girdiği görülmektedir. Belirli bir sıcaklık değerinden sonra değer

düşmesinin bir diğer nedeni olarak, pilin anot tarafında elektrolit-elektrot ara yüzeyinde oluşan su filminin, hidrojen iyonları ile dış devreden gelen elektron ve oksijenin reaksiyona girmesine sınırlandırdığı söylenebilir. Bu durum pilin anot tarafında su oluşumuna karşı direnç oluşturmaktadır. Dolayısıyla hidrojen iyonları, oksijen ve dış devreden gelen elektronlar yeteri oranda birleşemeyeceği için pil verimi düşmektedir.

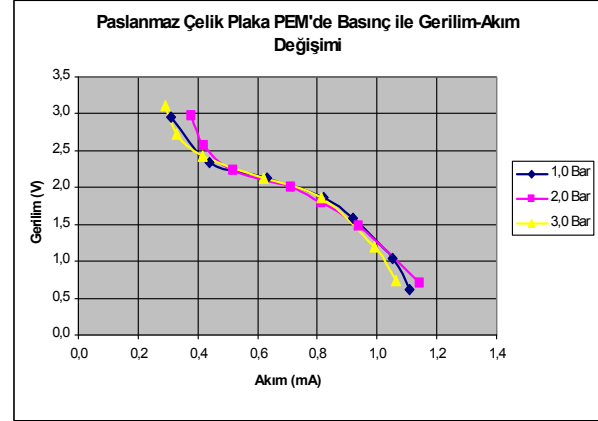


Şekil 4. Alüminyum gaz akış plakalı PEM' de nemlendirici ve pil sıcaklığına bağlı yakıt pili performansı

Şekil 4'de PEM yakıt pilinin ortam çalışma sıcaklığı 28 °C' dir. Ortam nemi %25 olarak ölçülmüştür. Ünitenin nemlendirilmesi pil performansı için oldukça önemlidir. Sistemde kullanılan gazlar sisteme girmeden önce nemlendirilmiştir. Sisteme sürüldüklerinde sistem içerisindeki diğer elemanların da nemlendirilmesini sağlamaktadır. Düşük sıcaklıklarda nemlendirme minimum düzeylerde olduğundan yakıt pili performansı en az düzeydedir. Bu durumun katalizör katmanındaki su eksikliğinden aktif katalizör yüzeyinin düşmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca deneyler esnasında kullanılan suyun yumuşak, damıtık olmasının da gerekliliği deneyler esnasında ortaya çıkmıştır. Çünkü şebeke suyundaki kirecin yüksek olmasından dolayı katalizör yüzeylerinde şeritler halinde tabakaların oluştuğu görülmüştür.

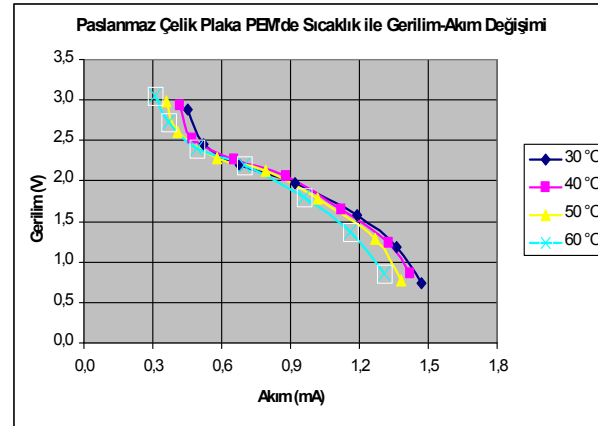
#### 4.2. Paslanmaz Çelik Gaz Akış Plakalı PEM Yakıt Pili İle Yapılan Parametrik Çalışmalar (Stainless Steel Gas Flow Plate PEM Fuel Cell And The Parametric Studies)

Paslanmaz çelik gaz akış plakalı PEM yakıt pili ile yapılan deneysel çalışmalarda aşağıdaki grafiksel veriler elde edilmiştir. Şekil 5'de yakıt hücresinin çalışma sıcaklığı yaklaşık 35 °C olarak belirlenmiş ve nemlendirici kullanılmamıştır. Ortam sıcaklığı 24 °C' dir. Ortam nemi %28 olarak ölçülmüştür. Şekil 5'te görüldüğü üzere hidrojen ve kuru hava basınç artışına bağlı olarak voltaj değerleri paslanmaz çelik yakıt hücresinde de artmaktadır. Basıncın kimyasal reaksiyonu hızlandıran bir etmen olmasının yanında, sistemdeki sızdırmazlık kayıplarının iyileştirilmesi ve sıcaklığın daha kararlı bir şekilde sabit tutulabilmesi, yakıt pili performansının iyileşmesinde önemli bir rol aldığı düşünülmektedir.



Şekil 5. Paslanmaz çelik gaz akış plakalı PEM' de basınç değişimine bağlı yakıt pili performansı

Ayrıca reaksiyona giren maddelerin gaz halinde olmasının da reaksiyonu hızlandırıp dolayısı ile de performansı artırdığı düşünülmektedir. Aynı şekilde optimum düzeyde sızdırmazlık ve hidrojen – kuru hava karışımı (yakıt) kombinasyonunun sağlanması durumunda, daha yüksek değerler elde edilebileceği düşünülmektedir.

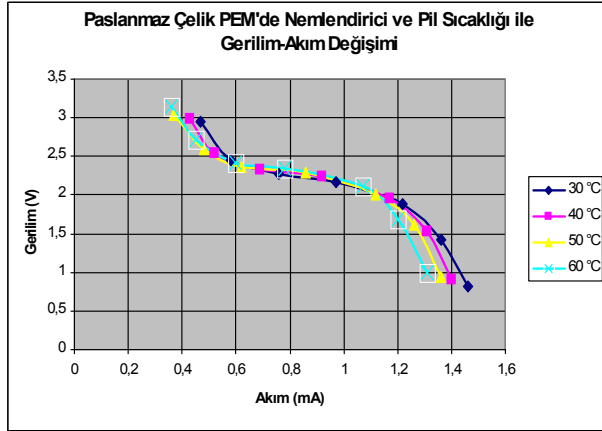


Şekil 6. Paslanmaz çelik gaz akış plakalı PEM' de sıcaklık değişimine bağlı yakıt pili performansı

Şekil 6'da pilin çalışma ortam sıcaklığı 26 °C' dir. Ortam nemi %24 olarak ölçülmüştür. Şekil 6 da görülebileceği gibi sıcaklık artışına bağlı olarak kimyasal reaksiyonun hızlanmasından dolayı elde edilen voltaj değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Kimyasal reaksiyona giren ürünlerin molekül hızlarının artması, çarpışma sayılarının artması, ortalama kinetik enerjilerinin artması reaksiyonun hızlı gerçekleşmesine neden olduğu söylenebilir. Yakıt pilinin sıcaklığının artmasıyla değişen akım yoğunluğu, aktivasyon kayıplarının azalmasından dolayı arttığı düşünülmektedir. Pil sıcaklığı artırıldığı zaman polarizasyon eğrilerinin yüksek akım yoğunluklarında, yüksek voltaja doğru kaymasının membran iletkenliğinin artmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Paslanmaz çelik yakıt hücresinde elde edilen performansın belirli bir oranda alüminyum yakıt hücresinden daha yüksek değerlerde seyrettiği görülebilmektedir. Bu performans artışının nemlendiricilerde şebeke suyu yerine distile su kullanılarak yüzeyde oluşan oksit

ve kireç katmanlarının azaltılmasından ayrıca yakıt pili sıcaklığının daha kararlı düzeylerde tutulabilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 7. Paslanmaz çelik gaz akış plakalı PEM' de nemlendirici ve pil sıcaklığına bağlı yakıt pili Performansı

Şekil 7'de yakıt pilinde nemlendirici kullanımının pilin performansını arttırdığı görülmektedir. Pilin çalışma ortam sıcaklığı 25 °C' dir. Ortam nemi %27 olarak ölçülmüştür. Gerilim artışının, sıcaklığın artışına paralel olarak proton iletkenliğinin artması ve akım yoğunluğunun değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca reaktif gazların nemlendirilmesiyle meydana gelen kimyasal reaksiyonu hızlandırmasının da bu değişimde önemli rol oynadığı düşünülmektedir. Alınan ölçümler sonucunda yüksek akım değerlerinde bir taraftan oluşan fazlalık su yoğunluğunun ozmotik dengeyi bozarak yakıt hücresinin performansında kayıplara neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu açıdan da yakıt hücresinde su yönetiminin önemli bir yer tuttuğu görülmüştür. Meydana gelen gerilim artışlarının alüminyum plakaya göre daha kararlı ve yüksek değerlerde olduğu görülmektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada öncelikli olarak yakıt pilinin yapısı ve çeşitleri incelenmiş bunlardan PEM yakıt pilinin otomotiv endüstrisinde kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuca ulaşılmasındaki en büyük etkenlerin başında yakıt pillerinin termal enerji sistemlerine göre daha yüksek verimle çalışmasıdır. Termal sistemlerden elektrik üretiminde sistemin verimi "Carnot Çevrimi Kriterleri"nden etkilenirken, yakıt pili sistemlerinde bu etkileşim yoktur. Termal sistemlerde elektrik üretimindeki verim %35-40'ı geçemezken, yakıt pili sistemlerinde %70'e yakın verimle çalışılmaktadır.

Yakıt pilinde meydana gelen emisyon miktarı, diğer yakıtlara göre ihmal edilecek kadar azdır. Yan ürün olarak bir tek su oluşmaktadır. Yakıt pillerinde CO, NOx, yanmamış hidrokarbonlar ve kirletici diğer maddeler oluşmazken, oksitleyici olarak hava kullanıldığında ihmal edilecek kadar az miktarda azot oksitler, hidrokarbonlar kullanıldığında ise çok düşük miktarda CO2 oluşur. Günümüzde çevre kirliliği ve insan sağlığı için birçok yasal kısıtlamaların uygulandığı

bu zamanda, diğer teknolojilerde maliyeti çok fazla arttırmaktayken, bu sistemin çevre dostu olması çok değerli bir alternatif yakıt olmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada parametrik çalışmalara geçilmeden önce yakıt pillerinin üretimi, modifiye edilmesi ve aynı zamanda parametrik çalışma için düzeneğin kurulması sağlanmıştır. Deney düzeneğinin tamamlanmasından sonra da yakıt pili performansına etki eden parametrelere basınç, sıcaklık ve nemlendirme parametreleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Silva ve arkadaşları da, ticari paslanmaz çelik, Ni bazlı alaşımlar ve nitrit kaplı çelikler ile, polimer elektrolit yakıt pillerinden kullanılan bipolar plaka üretmiş ve bu malzemelerdeki yüzey temas dirençlerini ve korozyon dirençlerini hem anot hem de katot çalışmalarında incelemişlerdir. Paslanmaz çelikte yüksek yüzey temas direnci ve her iki kutupta da korozyon gözlemlenmiştir [12].

Yapılan deneysel çalışmalarda basınç, sıcaklık, nemlendirme gibi parametrelerin yakıt pili performansını artırdığı görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar Silva ve arkadaşlarının yaptığı deneysel çalışmalarla da paralellikler arz etmektedir. Sıcaklık, basınç ve nemlendirici kullanımının kimyasal reaksiyonu hızlandırmasından ötürü yakıt pili performansını artırdığı düşünülmektedir. Bunun yanında paslanmaz çelik PEM yakıt pili performansının, alüminyum PEM yakıt pili performansına nazaran daha yüksek olduğu ve daha kararlı değerler elde edildiği görülmektedir. Bu durumun nedeninin alüminyumun reaktif metal olmasından dolayı çalışma esnasında kararlı oksit katmanı oluşturmasından; paslanmaz çeliğin ise korozyondan, hareketsiz oksit katman olan krom oksit ile korunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ölçülen gerilim değerlerinin aşırı direnç, yüzeyde oluşan su, gaz debisinin optimize edilememesi gibi nedenlerin daha yüksek ve kararlı değerlere ulaşılmasını engellediği ve bu problemlerin aşılmasıyla daha yüksek voltajların elde edilebileceği düşünülmektedir. Bunun yanında 65 °C sıcaklık değerlerinin üstüne çıkıldığında yüksek debi ve karışım oranından kaynaklandığı düşünülen balon patlamasına benzer patlamalar ve parlamalar görülmüştür. Meydana gelen olayın engellenmesi için yüksek gaz debilerinde çalışılmaması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca PEM plakalarının gaz giriş-çıkış slotlarının modifikasyonu yoluna da gidilmiştir. Bu işlemle de daha yüksek verimler elde edilmiştir. Devre bileşenlerinin, öz direnci düşük malzemeden seçilmesi, plakaların titanyumdan üretilmesi veya altın, gümüş gibi metallerle kaplanması, gaz debisinin hassas kontrolü, plakalardaki kanalların daha sığ dizayn edilmesi gibi bir takım düzenlemelerle daha yüksek performans elde edilebileceği düşünülmekte ve yapılan bu çalışmanın da yol gösterici olabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- 1) LIEBHAFSKY, H.A. and CAIRNS, E.J., "Fuel Cells and Fuel Batteries", John Wiley and Sons Inc. (1968).

- 2) Guvelioğlu, G. H. , Stenger, H. G., “Computational fluid dynamics modeling of polymer electrolyte membrane fuel cells” , *Journal of Power Sources*, 147 : 95-106 (2005).
- 3) Sarıdemir, S. "Gelecekte taşıtlarda yaygın olarak kullanılması düşünülen PEM yakıt pilleri için membran geliştirilmesi ve denenmesi", Ankara (2003).
- 4) Amerika Enerji Departmanı (DOE) "High-Efficiency, Direct-Hydrogen Fuel Cell System For Automobiles" <http://www.energy.gov/>, (1999).
- 5) Hermann, A. Chaudhuri, T. Spagnol, P. “Bipolar plates for PEM fuel cells: A review” , *International Journal of Hydrogen Energy*, 30:1297-1302 (2005)
- 6) Bulut, Ş. “Polimer elektrolit membran (PEM) yakıt pillerinde kullanılabilir bir gaz difüzyon plakasının geliştirilmesi”, Yüksek lisans tezi, *G.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2007).
- 7) Oğuz, A. E. Çelikkol F, “Hidrojen Yakıt Pilleri ve PEM Yakıt Pillerinin Analizi” , Yüksek lisans tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 987-996 (2006).
- 8) Tükek, S.,Erşan.K. "Gelecekte taşıtlarda yaygın olarak kullanılması düşünülen yakıt pillerinin paket haline getirilmesi ve denenmesi" Yüksek Lisans Tezi *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2004)
- 9) "High-Efficiency, Direct-Hydrogen Fuel Cell System For Automobiles" The U.S. Department of Energy (DOE), internet, 1999.
- 10) "Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle". The Times @ Toyota, Wittmann, Arizona, internet, April 1997.
- 11) WEBB, R. "Fuel Cell" Updated: Webb-Berger Foundation, internet, February 24, 1999.
- 12) Silva, R. F., Franchi, D., Leone, A., Pilloni, L., Macsi, A., Pozio, A. “Surface conductivity and stability of metallic bipolar plate materials for polymer electrolyte fuel cells”, *Electrochimica Acta*, 51: 3592-3598 ,(2005)