

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çakır İsmail KÖROĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet KOLİP

Eylül 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BEŞ HÜCRELİPEM TİPİ YAKIT PİLİ TASARIMI, ÜRETİMİ VE
DENEYSEL ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çakır İsmail KÖROĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 09/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Doç. Dr.
Ahmet KOLİP
Jüri Başkanı



Dr. Öğr. Üyesi
Hüseyin KAHRAMAN
Üye



Doç. Dr.
Emrah BULUT
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.


Çakır İsmail KÖROĞLU

09.09.2019

TEŞEKKÜR

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı ve aynı zamanda danışman hocam olan Doç. Dr. Sn. Ahmet KOLİP'e verdiği tüm desteklerden dolayı teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin KAHRAMAN ve arkadaşım Bekir DUZCAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, Sayın Hasan GÜREL ve Naci DURMUŐ'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans süresince manevi desteklerini esirgemeyen anneme, babama, kızım ve değerli eşime gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2017-50-01-072) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	iv
TABLolar LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
YAKIT HÜCRELERİ VE GENEL ÖZELLİKLERİ.....	2
2.1. Yakıt Hücresinin Tarihçesi.....	2
2.2. Temel Çalışma Prensibi	5
2.3. Yakıt Hücresi Çeşitleri	6
2.3.1. Doğrudan Metanol Yakıt Hücreleri	7
2.3.2. Fosforik Asitli Yakıt Hücresi	8
2.3.3. Erimiş Karbonat Yakıt Hücresi	9
2.3.4. Katı Oksit Yakıt Hücresi.....	10
2.3.5. Alkali Yakıt Hücreleri.....	11
2.3.6. Polimer elektrolit membranlı yakıt hücresi.....	12
BÖLÜM 3.	
PEM YAKIT HÜCRESİ BİLEŞENLERİ	14
3.1. Elektrolit.....	15
3.2. Elektrotlar	15
3.3. Bipolar/Gaz Akış Plakaları.....	16
3.4. Gaz Difüzyon Tabakaları	18
3.5. Sonlandırıcı Plakalar	19
3.6. Akım Toplayıcı Plakalar	20
3.7. Contalar	20

BÖLÜM 4.	
DENEYSEL METOT	21
4.1. Deneysel Düzenek	21
4.2. Bipolar Plaka Üretimi ve Akış Kanal Tasarımı	23
4.3. Membran Elektrot Birleşimi Hazırlama	25
4.4. Hidrolik pres tasarımı ve üretimi	26
4.5. Performans Testleri	26
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL BULGULAR.....	28
5.1. Performans Test Sonuçları	28
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	34
KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ.....	37

KISALTMALAR

AFC	: Alkalin yakıt hücreleri
DMFC	: Doğrudan metanol yakıt hücreleri
GDT	: Gaz difüzyon tabakası
MCFC	: Eriyik karbonat yakıt hücreleri
PAFC	: Fosforik asit yakıt hücreleri
PEM	: Polimer elektrolit membran

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1 : Bipolar plakaların ana fonksiyon ve gereksinimleri (Kahraman 2016)...	17
Tablo 3.2 : Bazı grafit/grafit kompozitleri ile metalik bipolar plakaların seçilmiş özellikleri.....	18
Tablo 3.3 : Ticari karbon kağıtlarına örnekler ve özellikleri	19
Tablo 5.1 : Sıkıştırma torkunun etkisi için operasyon koşulları	29



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 : Grove'un 1839 yılındaki gaz bataryası ve 1842 yılındaki gaz zinciri (Cook 2001).	3
Şekil 2.2 : Bacon'un hidrojen- oksijen yakıt hücresi yığını.	4
Şekil 2.3 : Apollo uzay aracının 1,5 kW yakıt hücresi yığını.	5
Şekil 2.4 : Yakıt hücresinin genel çalışma prensibi.	6
Şekil 2.5 : Yakıt hücresi çeşitleri çalışma sıcaklıkları ve reaksiyonları (Yılmaz 2006).	7
Şekil 2.6 : Doğrudan Metanol Yakıt Hücresi Çalışma prensibi.	8
Şekil 2.7 : Fosforik Asitli Yakıt Hücresinin Çalışma Prensibi.	9
Şekil 2.8 : Erimiş Karbonat Yakıt Hücresinin Çalışma Prensibi.	10
Şekil 2.9 : Katı Oksit Yakıt Hücresinin Çalışma Prensibi.	11
Şekil 2.10 : Alkali Yakıt Hücresinin Çalışma Prensibi.	12
Şekil 3.1 : PEM tipi yakıt hücresi bileşenleri.	15
Şekil 3.2 : PEM tipi yakıt hücresi bileşenleri.	16
Şekil 3.3 : Güçlendirilmiş sonlandırıcı plaka örnek tasarımları.	19
Şekil 4.1 : Deneysel düzenek.	22
Şekil 4.2 : Deneysel düzeneğin şematik gösterimi.	23
Şekil 4.3 : Grafit plakaların işlenmesi.	24
Şekil 4.4 : Tasarımı ve üretimi yapılan grafit akış plakaları.	24
Şekil 4.5 : Yaygın olarak kullanılan akış tasarımları: a. Paralel, b. Serpantin, c. Izgara tip, d. Yönlendirmesiz tip.	25
Şekil 4.6 : Yakıt hücresi güç yığını hidrolik sıkıştırma mekanizması.	26
Şekil 4.7 : Tipik bir i-V ve i-W grafiği.	27
Şekil 4.8 : Programlanabilir elektronik yük ara yüzü.	27
Şekil 5.1 : Tek hücre performansının gözlenmesi.	30

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

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

DESIGN, PRODUCTION AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF FIVE CELL PEM TYPE FUEL CELL

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 convert the chemical energy directly into the electrical energy, have high efficiency and are 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 to measure the performance of the stack. The performance measurements of the cells were carried out by the experimental setup.

Keywords: PEM Fuel Cell, Energy, PEM Fuel Cell, Hydrogen

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanoğlunun varlığının her geçen gün hızla artmasından insanların ihtiyaçları da doğru orantıda artmaktadır. Yaşam kalitesinin artması için istekler ve taleplerde artış göstermektedir. Yaşam standartlarını arttırmak istemeleri enerjiye duyulan ihtiyacı da paralelinde arttırmaktadır. Kullanılan katı fosil yakıtların gün geçtikçe azalması ve yakın gelecekte bitmesi öngörülmektedir. Bu katı fosil yakıtların tüketiminde ortaya çıkan gazların çevreye ve doğaya verdiği zarar da göz önüne alındığında da İnsanoğlunun enerji ihtiyacını karşılayabilmesi için alternatif enerji kaynaklarına yönelmesi kaçınılmaz olmuştur (Kaplan 2008).

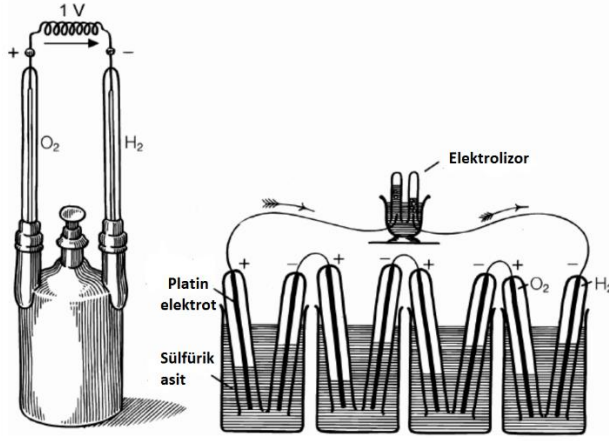
Yakıt hücresi teknolojisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında verimlilik, uygulama alanlarının geniş olması ve temiz çalışması açısından daha fazla ön plandadır. Hidrojen alternatif yakıtlar olarak geleceğin enerji taşıyıcısı olarak ön görülmektedir. Hidrojenin kimyasal enerjisini yanma olayı gerçekleşmeden direk elektrik enerjisine dönüştürebilen yakıt hücresi, içten yanmalı motorlara alternatif olacak bir enerji sistemidir(Kahraman 2016).

BÖLÜM 2. YAKIT HÜCRELERİ VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Polimer Elektrolit Membranlı veya Proton Değişim Membranlı olarak adlandırılan yakıt hücresi çeşidine kısacası PEM tipi yakıt hücresi denir. PEM tipi yakıt hücrelerinde bulunan elektrolitler iyonik olarak iletken fakat elektronik iletkenliği bulunmayan ve gazların geçmesine olanak vermeyen polimer membranlar kullanılır. PEM tipi yakıt hücreleri oksitleyici olarak hava veya oksijen kullanılır. Yakıt olarak ise hidrojen kullanılmaktadır. Katoda oksijen gazı veya hava indirgenirken Anotta hidrojen gazı yükseltgenir (Kahraman 2016).

2.1. Yakıt Hücresinin Tarihçesi

Yakıt hücresini 1838 yılında Alman bilim adamı Christian Friedrich Schönbein tarafından keşfedilmiş ve o dönemde yayınlanan bilimsel dergide yer verilmiştir[Wand, 2008]. Bu bilimsel dergide yayınlanan çalışmayı esas alan Galli yargıç ve aynı zamanda fizikçi olan William Robert Grove, Magazine and Journal of Science [Grove, 1839] adlı derginin 1839 yılında ki sayısında ilk yakıt hücresini göstermiş ve bundan 3 yıl sonra da tasarımını da aynı dergide yayınlamıştır [Grove, 1842]. William Grove'un yayınlamış olduğu yakıt hücresinin malzemeleri günümüzde kullanılan fosforik asitli yakıt hücresinde olan malzemelere benzemektedir. Şekil 2.1 Sol tarafta ki Grove'un 1839 yılında ürettiği 'gaz aküsü' yaklaşık 1 voltluk bir voltaj üretti. Sağ tarafta ki Grove' un 1942 yılında ürettiği elektrolize güç veren Grove'un gaz zinciri(Cook 2001).

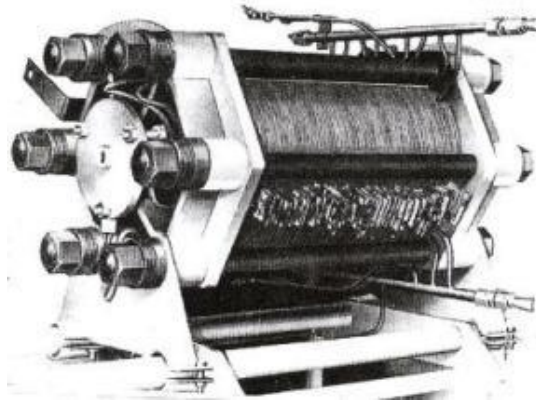


Şekil 2.1 : Grove'un 1839 yılındaki gaz bataryası ve 1842 yılındaki gaz zinciri (Cook 2001).

Yakıt hücresini terim olarak ilk 1889 yılında Charles Langer ve Ludwing Mond tarafından William Grove'un çalışmalarından faydalanılarak ortaya konulmuştur. (Gross 2002)

Charles Langer ve Ludwing Mond oksijen kaynağı olarak havayı kullanmış, hidrojen kaynağı olarak ise endüstriyel kömür gazını kullanarak %50 çalışma verimliliğine sahip 1,5 watt güç üreten bir yakıt hücresi geliştirmişlerdir. Daha sonra 1894 yılında Wilhwm Oswalt, katı fosil yakıtlar ile çalışan bir elektrokimyasal hücre tasarlamıştır.

1932 yılında ise Francis T. Bacon ilk başarılı yakıt hücresini geliştirmiştir. 1932'de, İngiltere'deki Cambridge Üniversitesi'nden bir mühendislik profesörü olan Francis Thomas Bacon (1904-1992), önceki Mond ve Langer pillerini değiştirmek için çalışmaya başladı. Yüksek aşındırıcı asidik çözeltiler yerine Bacon, bir alkali (potasyum hidroksit) elektrolit kullandı. Nikel tozundan yapılmış gözenekli gaz difüzyon elektrotlarını kullandı. İlk alkalin yakıt hücresi olan Bacon hücresi 1959'da patenti alındı. 1960'da 5-6 kW'lık bir güç üreten bir yakıt hücresi yığınının genel bir gösteri yaptı. Elektrokimyasal işlemleri hızlandırmak için Bacon, yüksek bir çalışma sıcaklığı (200 oC'den fazla, 392 oF'den fazla) ve yüksek gaz basınçlarını (40 atmosfere kadar) kullandı ve çok büyük ve ağır bir yığın tasarımına yol açtı. Bacon'un yakıt hücresi gösterimi bilimsel ve teknik topluluktan büyük ilgi gördü ve birçok ülkede bu alanda araştırma ve geliştirme çalışmaları büyük ölçüde başladı.



Şekil 2.2 : Bacon'un hidrojen- oksijen yakıt hücresi yığı.

Aynı yılın sonlarına doğru Harry Karl Ihring, 20 beygir gücüne sahip yakıt hücresiyle çalışabilen bir traktör tasarlamıştır. Aynı zamanda bu buluş, günümüzde yakıt hücresiyle çalışan makinaların da öncüsü olmuştur. 1955 yılında kimyager W. Thomas Grubb çalıştığı şirkette, iyon değişimli sülfonlanmış polisitren zarı elektrolit olarak kullanarak yakıt hücresinin tasarımını geliştirmiştir. Bundan 3 yıl sonra yine aynı şirketin çalışanı olan kimyacı Leonard Niedrach oksijen indirgenmesi ve hidrojen yükseltgenmesi reaksiyonunda katalizör görevi yapacak olan platinin, polimer zarın üzerine yüklenmesini başarmış ve daha sonraları bu hücre 'Grubb-Niedrach Yakıt Hücresi' olarak anılmıştır.

1960'lı yılların başında NASA, yakıt hücresine oldukça ciddi yatırımlar yaparak bu teknolojiyi geliştirmeye çalışmıştır. Uçak motoru üreticisi Pratt ve Whitney Bacon yakıt hücresini kullanmak için bir lisans aldı. Bu şirketin mühendisleri, gaz basıncını, çalışma sıcaklığını ve elektrik santralinin ağırlığını azaltmak için basitleştirmek amacıyla baca tasarımında önemli değişiklikler yaptılar (Ehsani M., Gao Y. 2018).



Şekil 2.3 : Apollo uzay aracının 1,5 kW yakıt hücresi yığını.

Bu P&W yakıt hücreleri, 1960'ların sonunda, Apollo'nun aya uçuşu programında kullanılmıştır. P&W'nin United Technology Corporation (UTC Power) ile birleşmesinden sonra, bu tür bir alkalın yakıt hücresinin (Şekil 2.3) yeni bir versiyonu geliştirildi, bu da verimliliği arttırdı. Bu hücre, NASA tarafından 1970'lerin ortasından günümüze kadar uzay mekiklerinde kullanılmıştır. Bu yakıt hücrelerinde, hava yerine saf oksijen kullanılır, ayrıca bu alkalın elektrolitinin havadaki karbon dioksit tarafından kontaminasyonunu da önler.

1970'li yıllarda General Motor, "Elektrovan" adlı yakıt hücresiyle çalışan bir araç geliştirmiştir. 1970'li yıllarda devlet destekli yakıt hücresi araştırmaları başlamış ve bu amaçla Los Alamos Ulusal Laboratuvarı ve Brookhaven Ulusal Laboratuvarları kurulmuştur.

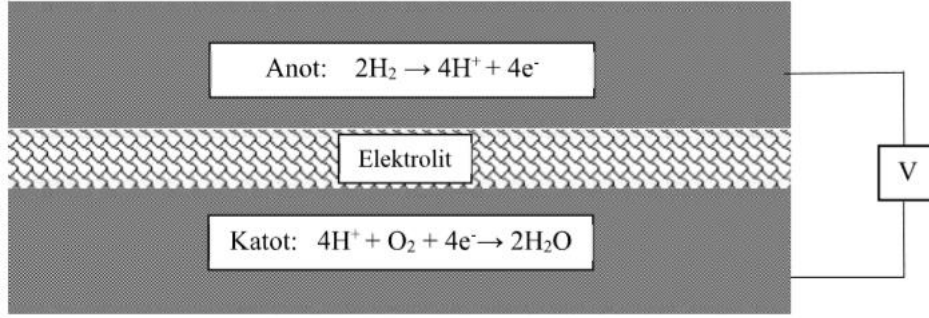
2.2. Temel Çalışma Prensibi

Hidrojen ve oksijenin elektrokimyasal bir tepkimeye girmesi sonucu elektrik akımını üretmesi mantığına dayanan bir yöntemdir. Hidrojen, oksijen ile birlikte basit katalitik tepkimesine girmesi olayıdır.



Aslında birden fazla farklı adımda meydana gelen bu tepkimede, hidrojen içinde bulundurduğu elektrotu serbest bırakır, serbest kalan bu elektronun hareketi elektrik akımının meydana gelmesini sağlar. Anot tarafında serbest halde dolaşan elektron katı

elektrolitin içerisinde diğer tarafa yani katot tarafına geçemez. Elektrolitten geçen elektrona ait olmayan hidrojen molekülleri yani protonlar katot tarafında elektrolit harici farklı bir yol takip eden elektronla birleşir. Bu sistemin temel çalışma prensibi Şekil 2.4'de görülmektedir.



Şekil 2.4 : Yakıt hücresinin genel çalışma prensibi.

Yakıt beslemesi bakımından içten yanmalı motorlara benzemektedir. Yakıt hücrelerinde hareket eden parçaların bulunması bu bakımdan yakıt hücrelerini avantajlı olması, gürültüsüz çalışması, zararlı gazların salınımının olmaması, boyut çeşitliliğinin olması gibi durumlar içten yanmalı motorlara oranla daha avantajları bulunmaktadır. Öte yandan yüksek maliyetli olmaları, birim hacimde ürettikleri güç oranının içten yanmalı motorlara oranla daha düşük seviyelerde olması, yakıtın yani hidrojenin üretilip depolanması konusundaki sorunlar ve CO zehirlenmelerine neden olacak pratik uygulamalar yakıt hücrelerinin dezavantajlarıdır.

2.3. Yakıt Hücresi Çeşitleri

Genel olarak yakıt hücreleri elektrolitlerinin özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Yakıt hücresinde kullanılacak yakıt, sıcaklık ve performans elektrolit malzemenin özelliğine göre değişkenlik gösterir. İçerdiği elektrolit tipine göre 6 çeşit yakıt hücresi vardır.

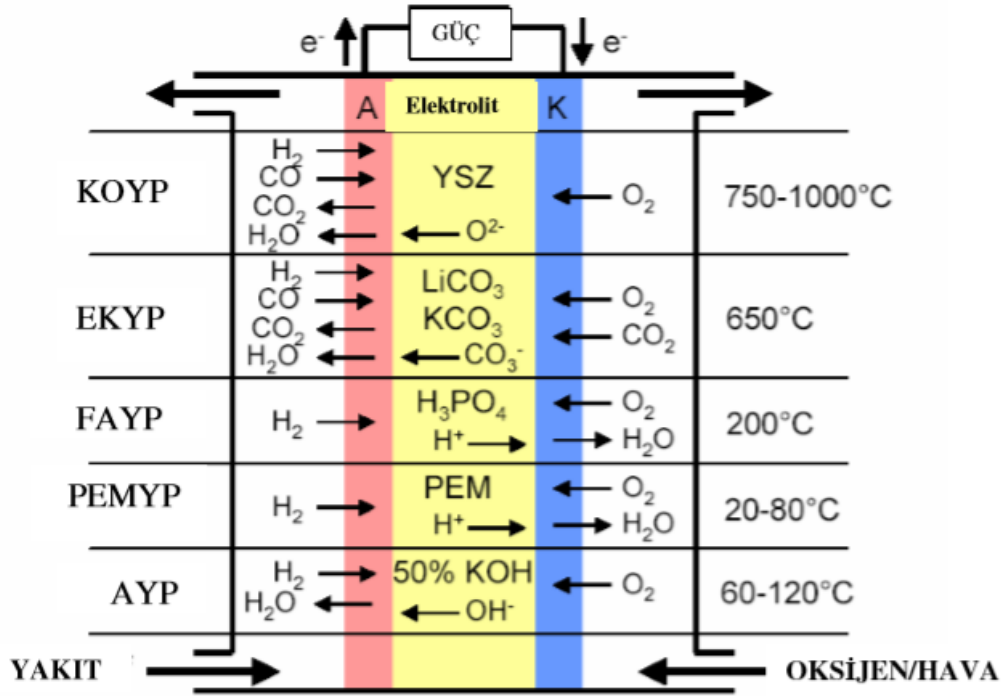
Bunlar;

- a. Polimer elektrolit membranlı yakıt hücresi
- b. Doğrudan metanol kullanılan yakıt hücresi
- c. Fosforik asitli yakıt hücresi
- d. Erimiş karbonat yakıt hücresi

- e. Katı oksit yakıt hücresi
- f. Alkali yakıt hücresi

Bu yakıt hücrelerini sınıflandıracak olursak sıcaklıklarına göre düşük, orta ve yüksek sıcaklıkta olmak üzere 3 farklı sınıfta sıralayabiliriz. Düşük sıcaklıkta ki yakıt hücreleri, Polimer elektrolit membranlı yakıt hücresi ile Doğrudan metanol kullanılan yakıt hücresi orta sıcaklıktaki Fosforik Asitli Yakıt Hücresi. Yüksek sıcaklıklarda çalışan yakıt hücreleri ise Erimiş Karbonat Yakıt Hücresi ile Katı Oksit Yakıt Hücresi.

Yakıt hücresi çeşitlerinin sahip oldukları elektrolit, anot ve katot gazları ve çalışma sıcaklıkları şekil 2.5 de verilmiştir.



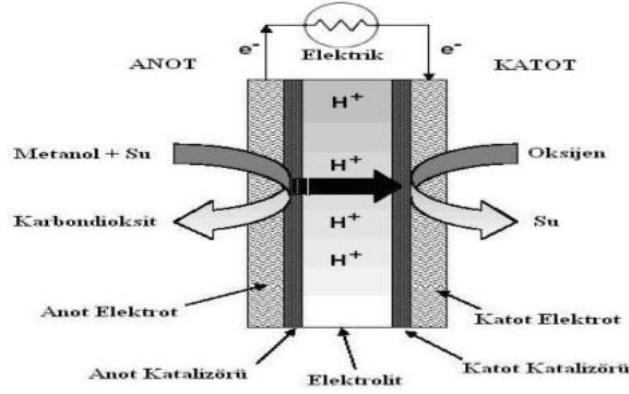
Şekil 2.5 : Yakıt hücresi çeşitleri çalışma sıcaklıkları ve reaksiyonları (Yılmaz 2006).

2.3.1. Doğrudan Metanol Yakıt Hücreleri

Çalışma sıcaklıkları ortalama 60-120 °C aralığında olup elektrolit olarak da polimer zar kullanılmaktadır.

Çalışma presibi anotta ki metanolün elektrokimyasal reaksiyonu sonucu parçalanması ile ortaya çıkan proton, elektron ve karbondioksitlerin hareket ederek polimer elektrolit

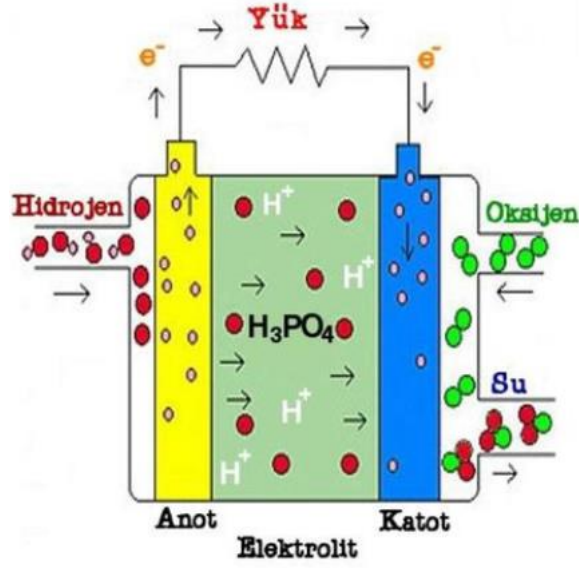
zardan geçerek katoda ulaşması ve burada oksijen ile reaksiyona girerek suyun meydana gelmesi şeklindedir. Burada oluşan reaksiyon sonucunda termodinamik potansiyellerin meydana gelmesi sonucu iletken tellerden yapılan dış devrede gerilimin oluşması sonucu elektrik üretimi meydana gelmektedir. Şekil 2.6 da çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 2.6 : Doğrudan Metanol Yakıt Hücresi Çalışma prensibi.

2.3.2. Fosforik Asitli Yakıt Hücresi

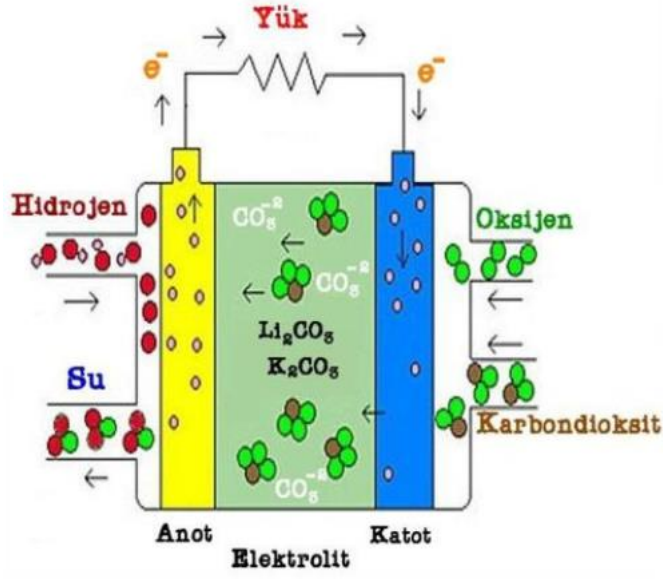
Fosforik asitli yakıt hücresinde adından da anlaşılacağı gibi elektrolit olarak fosforik asit kullanılır. Çalışma sıcaklıkları yaklaşık olarak 150- 210 °C aralığındadır. Katalizör olarak hücrenin kullanılmasına elektrotlar izin verir. Verimlilikleri ortalama %45 ile %50 arasındadır. Isı ve güç termodinamikleri yaklaşık olarak %75 civarındadır. Ticari olarak kullanılan ilk yakıt türüdür. Yakıt hücreleri arasında en büyük gelişimi gösteren yakıt hücresi türüdür. 200 kW enerji üretim kapasitesine kadar olan fosforik asitli yakıt hücreleri ticari amaçlı kullanılmaktadır. 10 MW kapasiteli sistemler test aşamasındadır. Anotta bulunan hidrojen gazları elektronları ve hidrojen iyonları üretmek için iyonize olur. Elektronlar anottan katoda bir dış çevrim vasıtası ile iletilir. Elektrolit ile hidrojen iyonları katoda iletilir. Katot da ise hidrojen iyonları ve elektron, oksijen ile reaksiyona girerek suyun meydana gelmesini sağlarlar. Şekil 2.7 çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 2.7 : Fosforik Asitli Yakıt Hücresinin Çalışma Prensibi.

2.3.3. Erimiş Karbonat Yakıt Hücresi

Erimiş Karbonatlı yakıt hücreleri ortalama 600-700 °C sıcaklığı aralığındadır. Bu yakıt hücrelerinde elektrolit olarak kullanılan alkali potasyum lityum karbonat bulunmaktadır. Çalışma prensibi incelendiğinde diğer yakıt hücrelerinden çok farklı olduğu görülmektedir. Katot tarafını oksijen ile karbondioksit birlikte besler. Bu şekilde karbonat oluşumu sağlanır. Oluşan karbonatlar iyonların iletilmesini sağlar. Çalışma prensibi Şekil 2.8' de gösterilmiştir. Karbonat iyonları elektrolitin içinden geçerek anoda ulaşır. Anotta hidrojen ile reaksiyona girer. Burada elektronları açığa çıkarır ve aynı zamanda su ile karbondioksit meydana gelir. Elektronlar diğer yakıt hücrelerinde olduğu gibi devreyi takip eder, elektrik enerjisini meydana getirip katoda döner. Anotta meydana gelen oksijen ve karbondioksit elektronlar ile reaksiyona girerek karbonat iyonlarını meydana getirir. Daha önce boşalan elektrolit bu işlem sonrası tekrar doldurulmuş olur.



Şekil 2.8 : Erimiş Karbonat Yakıt Hücresinin Çalışma Prensibi.

Avantajları, çalışma sıcaklıkları yüksek olduğundan katalizör kullanımında değerli metallere ihtiyaç duyulmaması, karbon monoksit den meydana gelen zehirlenmelere karşı dayanıklı olması. Yüksek çalışma sıcaklıkları, açığa çıkan yüksek ısının kojenarasyon ile yeniden kullanımına olanak sağlaması.

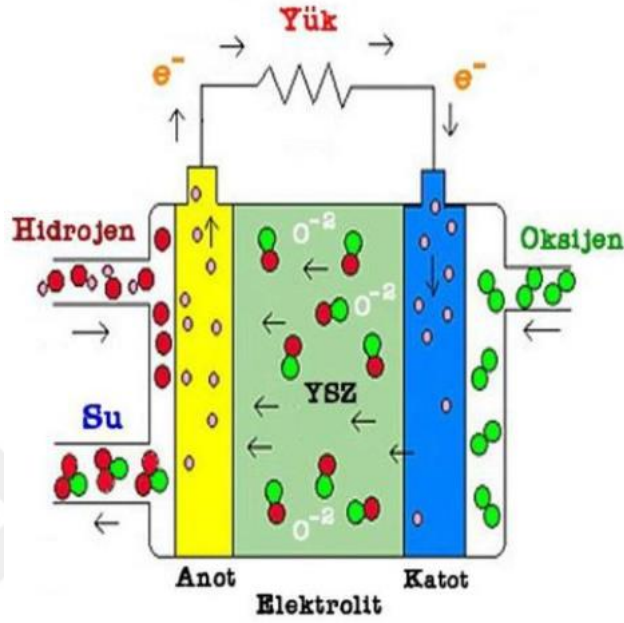
Dezavantajları, karbonat iyonlarının anotta reaksiyona girmesi sonucunu çok çabuk harcanması ve sürekli katoda karbondioksit enjeksiyonu gerekmesi, ayrıca çalışma sıcaklıklarının yüksek olmasından dolayı ve korozif elektrolit kullanımı parçaların ömrünün kısa olmasına sebep oluyor.

2.3.4. Katı Oksit Yakıt Hücresi

Katı oksit yakıt hücresi çalışma sıcaklıkları bakımından en yüksek sıcaklıklarda çalışan yakıt hücresidir. Çalışma sıcaklıkları ortalama 700-1000 °C derecedir.

Yüksek sıcaklıklarda çalıştığı için kullanılan elektrolit, oksijen iyonlarına karşı iletkenlik özelliğine sahip ince aynı zamanda katı seramik ince malzeme olan katı oksit. Elektrolit katı olduğu için kullanılan hücreler düzlemsel, silindirik veya tek parça şeklinde çeşitleri bulunmaktadır. Korozyon sorunları oldukça azdır. Bunun sebebi birim hücrenin katı seramik bir yapıya sahip olmasıdır. Bu yakıt hücreleri, büyük ölçekli merkezi elektrik santralleri ve sanayi için uygundur. Bu hücrelerde uygun çalışma sıcaklıklarına ulaşmak

için geçen süre oldukça fazladır. Elektrik talebindeki değişimlere geç cevap verir. Elektrik üretimi için alınan verim diğer yakıt hücrelerine oranla daha yüksektir. Çalışma prensibi şekil 2.9’da gösterilmektedir (Turkmen 2012).



Şekil 2.9 : Katı Oksit Yakıt Hücresinin Çalışma Prensibi.

Avantajları, yüksek sıcaklıklarda çalışmaları için katalizör olarak değerli metal kullanımına ihtiyaç yoktur. Doğalgaz başta olmak üzere hidrokarbon içeren yakıtları kullanılabilmesi, ısı kaynağı olarak egzoz ısısından çıkan ısının farklı proseslerde kullanımı.

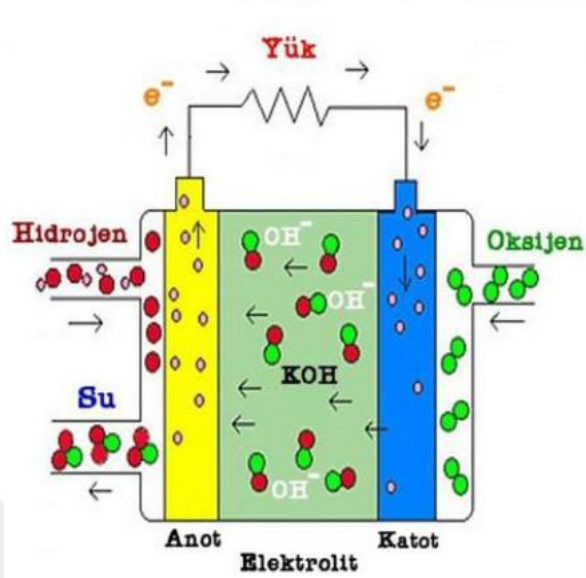
Dezavantajları, verimli çalışmaya başlama zamanlarının uzun olması, yüksek sıcaklıklarda çalışmasından kaynaklı olarak yüksek sıcaklıklara dayanımlı malzemelerin geliştirilmesine duyulan ihtiyaç, yüksek maliyetli olmaları (Ata 2015).

2.3.5. Alkali Yakıt Hücreleri

Alkali yakıt hücrelerinin çalışma sıcaklıkları ortalama 80 °C civarındadır. Suda çözülmüş potasyum hidroksit elektrolit olarak kullanılır.

Çalışma prensibi kısaca hidroksil iyonlarının katottan anot tarafına doğru ilerlemesiyle, anotta bulunan hidrojen gazının OH⁻ iyonları ile reaksiyona girmesi, bunun sonucunda suyun meydana gelmesi, elektronların ortaya çıkması şeklindedir. Şekil 2.10’da da

görüldüğü gibi ortaya çıkan bu elektronlar, katoda dönmek için harici bir devre ile elektrik enerjisi sağlanmakta, daha sonra hidrosil iyonu üretmek için oksijen ve su ile reaksiyona girerler (Bıykoğlu 2003).



Şekil 2.10 : Alkali Yakıt Hücresinin Çalışma Prensibi.

Avantajları, diğer tüm yakıt hücresi sistemleri içinde en fazla voltaj verimine sahip olan yakıt hücresidir. Kullanılan katalizörlerin soy metal olmaması, bunun yanı sıra uzay araçlarında kullanılmaktadır. Uzay araçlarında kullanılmasının en önemli sebebi meydana gelen suyun tüketilebilir niteliğe sahip olması.

Dezavantajları, karbondioksit karşı çok hassas olmaları, saf halde hidrojene ihtiyaç duyulması, ortamda çok az da olsa karbondioksitin bulunması durumunda ortamda ki karbondioksit ile potasyum hidroksit reaksiyona girerek potasyum karbonat oluşmasına sebep oluyor. Bunun sonucunda elektrolitin yapısı değişiyor ve hücrenin çalışmaz hale gelmesine neden oluyor (Ata 2015).

2.3.6. Polimer elektrolit membranlı yakıt hücresi

Yaklaşık olarak 80 °C sıcaklığında çalışma kapasitesine sahiptir. Elektrolit olarak geçirgen ince katı bir polimer kullanılır.

Çalışma prensibi yakıt olarak kullandığımız hidrojenin yakıt hücresinin anot tarafından beslenmesi, anotta bulunan platin katalizörden hidrojenin proton ve elektronlarına

ayrışması, ayrışan protonların polimer membrandan geçerek katota doğru hareket etmesi şeklindedir. Elektronlar dış çevrimin etkisi ile elektrik akımını meydana getirir. Bunların etkisi ile katota havadan gelen oksijen, dış çevrimden meydana gelen protonlar ve elektronlar birleşerek ısı ve suyun meydana gelmesini sağlarlar.

Avantajları, düşük çalışma sıcaklıklarına karşı yüksek verim elde edilmesi, sessiz çalışması, atık olarak sadece saf suyun meydana gelmesi.

Dezavantajları, kullanılan platin katalizörlerin pahalı olması, çalışma sıcaklıkları arttıkça ve nem oranları düştükçe membranların performanslarının düşmesine neden olması.

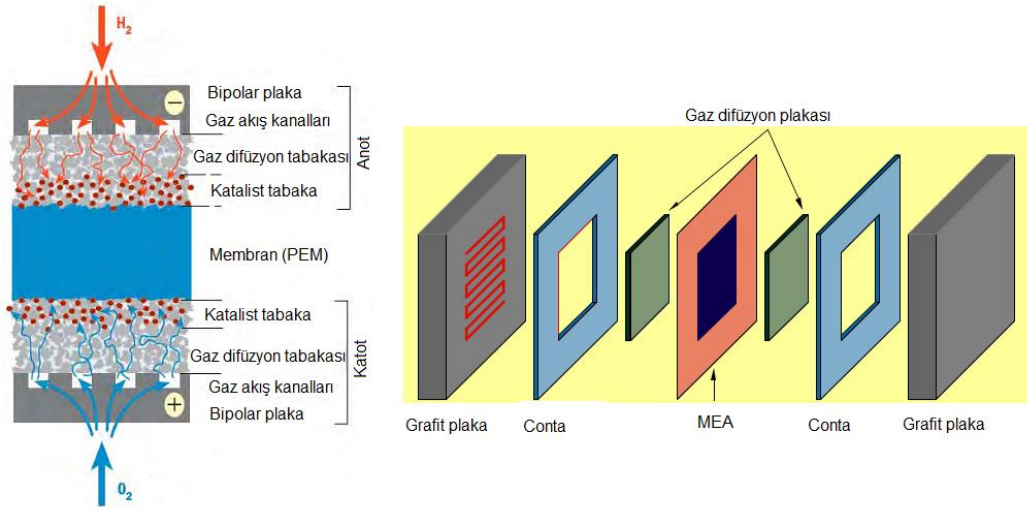
Bu tez çalışmasında 5 hücreli polimer elektrolit membranlı yakıt hücresinin tasarımı, üretimi ve deneysel analizi yapılmıştır. 3. Bölümde yakıt hücresi detaylı olarak incelenmiş ve bileşenleri hakkında bilgiler verilmiştir.

BÖLÜM 3. PEM YAKIT HÜCRESİ BİLEŞENLERİ

Bu bölümde PEM yakıt hücrelerini oluşturan bileşenler hakkında genel bir bilgi sağlanacaktır. Spesifik yakıt hücresi uygulamalarında en ideal yöntem materyal geliştirmek, hassas çalışma alanıdır. Bu tez çalışmasında Nafion temelli elektrolitler ve Pt/C katalistler ağırlıklı çalışılacaktır. Genel olarak PEM yakıt hücresi bileşenleri şunlardır;

- a. Elektrolit (iyon iletken membran)
- b. Gaz difüzyon tabakası
- c. Gaz difüzyon tabakası ve membran arasında bir elektrot
- d. Gazların akış kanalları
- e. Akım toplayıcısı
- f. Sonlandırıcı plaka
- g. Conta

Sonraki bölümlerde yakıt hücresinin bileşenleri (Şekil 3.1.) incelenecektir.



Şekil 3.1 : PEM tipi yakıt hücresi bileşenleri.

3.1. Elektrolit

Elektrolitin iki işlevi vardır. Elektrotlar arasında iyonik yüklerin taşınmasını bir de çözülmüş olan reaksiyon gazlarının elektroda taşınmasını sağlar.

Yakıt hücrelerinde sıvı, eriyikler ve sıvı katı polimerler elektrolit olarak kullanılmaktadır. Kullanılan yakıt hücresinin özelliğine göre yakıt hücresinin sıcaklığı da değişiklik gösterebilmektedir. Sulu ve polimer elektrolitli hücrelerde 80-200 °C (düşük ve orta sıcaklıklı yakıt hücresi), eriyiklerde ise 600-1000 °C (yüksek sıcaklıklı yakıt hücreleri) aralığında olmaktadır (Spiegel, 2007).

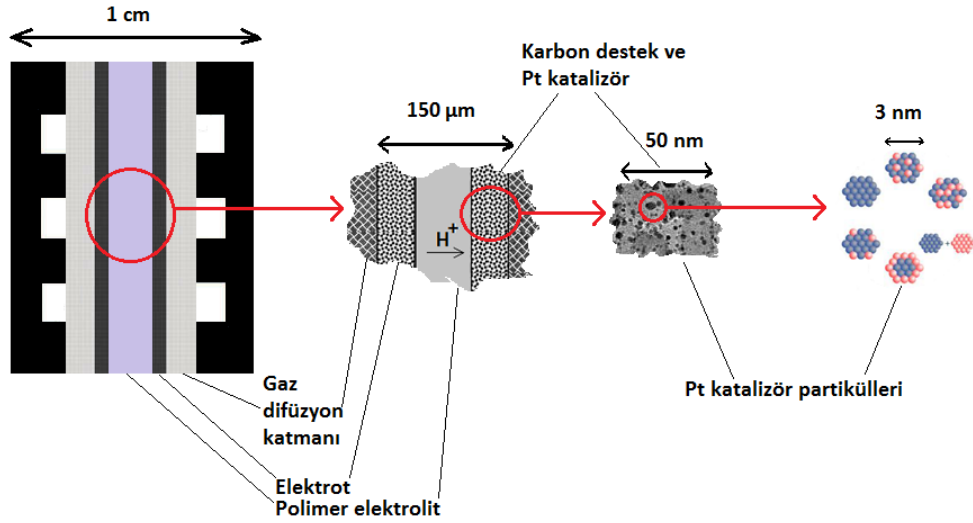
3.2. Elektrotlar

Yakıt hücrelerinde gaz elektrotları gözenekli olarak kullanılmaktadır. Bunun sebebi reaksiyon hızını sınırlayabilen kullanılabilir reaksiyon alanıdır. Gözenekli elektrotlar yüksek yüzey alanına sahip olduklarından daha yüksek yoğunlukta akım elde edilmesini sağlamaktadır. Gözenekli elektrotun yakıt hücresindeki fonksiyonlarını şöyle sıralayabiliriz;

1. Sıvı/gaz iyonizasyon veya deiyonizasyon reaksiyonlarının gerçekleşeceği bir yüzey elde etmek.

2. Bir kez meydana geldikten sonra iyonların ,Á fazlı ara yüzeye/ara yüzeyden uzağa iletmek (bu nedenle elektrotun elektriği iletkenliği yüksek malzemeden yapılmış olması gerekir).
3. Elektroliti yakıt gaz fazı ile ayıracak fiziksel engel görevi de bulunmaktadır. Elektrotun ilk görevini gerçekleştirebilmesi için ve reaksiyon hızını arttırabilmesi için gözenekli bir yapıya sahip olması gerekmektedir.

Elektrotun katalitik fonksiyonu düşük sıcaklıklı yakıt hücrelerinde daha önemlidir. Bunun sebebi iyonizasyon reaksiyonunun hızı sıcaklıkla doğru orantılı olarak artmaktadır. Sıcaklığın arttırılmadığı durumlarda reaksiyon hızı katalizör kullanımı ile arttırılmaktadır. Bir diğer önemli nokta ise gözenekli elektrotların hem gazları hem de elektroliti geçirebilmesi ancak gazların kurumasına ya da elektrolit taşınmasına izin vermemesidir. Şekil 3.2’de elektrot ve iç yapısı şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.2 : PEM tipi yakıt hücresi bileşenleri.

3.3. Bipolar/Gaz Akış Plakaları

Membran elektrot birleşimi ile gaz difüzyon tabakaları gaz akış plakalarının arasında olacak şekilde konumlandırılır. Reaktantların aktif bölge üzerinde dağılmasını, meydana gelen suyun tahliyesini ve hücreler arasında ki elektriksel bağlantıyı sağlar. Ayrıca çoklu hücrelerin bulunduğu bir yakıt hücresi yığınının omurgasını oluşturur. Üzerlerindeki soğutucu sıvı kanallarının yanı sıra gaz akış kanalları da grafit plakaların üzerine

işlenebilmektedir. Bipolar plakalar toplam maliyetin %30'unu yakıt hücresi stak ağırlığının ise %60'ını teşkil etmektedir.(Li ve Sabir 2005).

Tablo 3.1.'de bipolar plakaların ana fonksiyonları ve bu fonksiyonları sağlamak için ilgili özelliklerle alakalı minimum gereksinimler verilmiştir.

Tablo 3.1 : Bipolar plakaların ana fonksiyon ve gereksinimleri (Kahraman 2016).

İşlev	İlgili özellik	Gereksinimler
Seri halindeki hücrelerin elektrik bağlantısı	İletken olmalıdır	$> 100 S cm^{-1}$
Bitişik hücrelerdeki gazları ayırır	Gaz geçişini engellemelidir	$< 2 * 10^{-6} cm^3 cm^{-2} s^{-1}$
Yığına mekanik destek sağlar	Dayanıklı ve hafif olmalıdır	$> 2 MPa$
Aktif hücrelerden soğutucu hücrelere ısı transferi sağlar	Isı iletkenliği iyi olmalı	$> 20 W/mK$
Kimyasal dayanıklılık	Korozyon dayanımı	$< 16 \mu A cm^{-2}$
Ekonomik ve üretilebilir	Ucuz ve seri üretime uygun malzemelerden üretilmeli	$< \$10/kW$

Metaller mekanik gerilme, darbelere ve şoka daha dayanıklı, gaz geçirgenliği düşük, karbon-polimer, karbon-karbon olarak adlandırılan karbon tabanlı materyallere kıyaslandığında daha kolay üretim ve daha az maliyet 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 hücresinin çıkış gücünün düşmesine sebep olan pasif tabakanın oluşması ve plaka yüzeyinden kopup katalizöre ve membrana zarar veren metal iyonlardır. Tablo 3.2.'de bazı grafit ve metalik malzemelerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.2 : Bazı grafit/grafit kompozitleri ile metalik bipolar plakaların seçilmiş özellikleri.

Özellik	Birim	Grafit/Kompozit				Metalik			
		Grafi	BBP4	PPG	BMC	SS	AL	Ti	Ni
		t	SGL	86	940				
Yoğunluk	$g\ cm^{-3}$	1.78	1.97	1.85	1.82	7.95	2.7	4.55	8.94
İletkenlik	Scm^{-1}	680	200	56	100	14,00	377,0	23,000	146,0
Isıl iletkenlik	$Wm^{-1}K^{-1}$	95	20.5	14	19.2	15	223	17	60.7
Termal genişleme	$\mu m\ m^{-1}K^{-1}$	7.9	3.2	27	30	18.5	24	8.5	13
Gerilme Mukavemeti	MPa	60			30	500	90	434	450
Eğilme gerilmesi	MPa	90	50	35	40				
Basma Gerilmesi	MPa	145	76	50		240	760	970	760
Korozyon Hızı	$\mu m/yıl$	<15	<15	<15	<15	<100	~ 250	<100	>100 0

3.4. Gaz Difüzyon Tabakaları

Gaz difüzyon tabakaları Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi, katalist tabaka ile bipolar plaka arasına konumlandırılmaktadır. Bipolar plaka ve elektrotlar arasında elektriksel iletimi sağlar ve gazları katot ve anot tabakalarına homojen olarak dağıtır. Ayrıca bipolar plaka ile elektrotlar arasında suya geçitler sağlayarak, reaksiyon sonucu üretilen suyun elektrot yüzeylerinden tahliyesine olanak sağlar. (Kopanidis ve ark., 2011). Gaz difüzyon tabakalarının beş ana işlevi aşağıda verilmiştir:

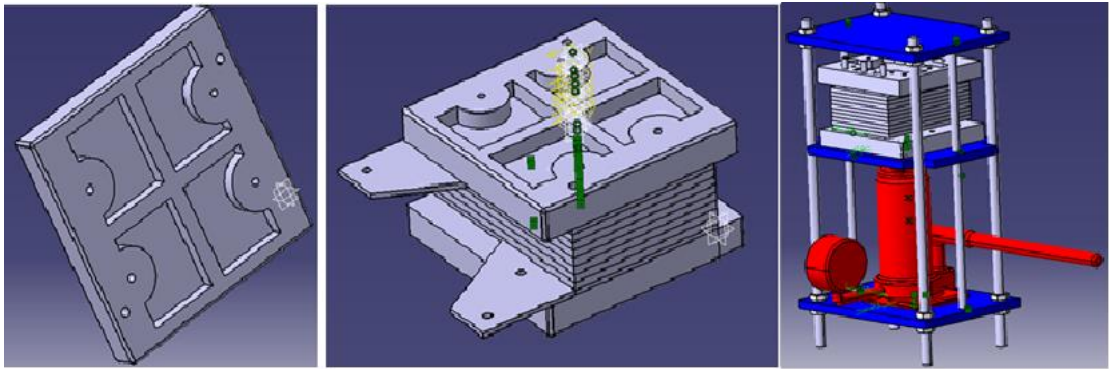
1. Elektronik iletkenlik
2. Membrana mekanik destek
3. Katalizör için gözenekli ortam
4. Reaktantların katalist tabakaya geçişi
5. Üretilen suyun elektrotlardan tahliyesi

Tablo 3.3 : Ticari karbon kağıtlarına örnekler ve özellikleri.

Karbon Kâğıt	Kalınlık (mm)	Gözeneklilik (%)	Yoğunluk (g/cm ³)
Toray TGPH 090	0.30	77	0.45
LyFlex(C332) non-pyrolized	0.33	79.5	0.37
Kureha E-715	0.35	60-80	0.35-0.40
Ballard (AvCarb P50)	0.17	-	0.28
Spectracarb 2050A-1041	0.25	60-90	0.40
SIGRACET (GDL-20BA)	0.22	83	0.29
AvCarb EP40	0.2	-	0.20

3.5. Sonlandırıcı Plakalar

Yakıt hücresinin iki dış yanına konumlandırılır. Yakıt hücresinde bulunan elemanları bir arada tutmak ve homojen sıkıştırma basıncını uygulayabilmek için kullanılır. İşlevinden ötürü sonlandırıcı plakalar bazı gereklilikleri sağlamaktadır. Bunlardan en önemlisi direnç kaybını azaltmak için gerekli olan homojen sıkıştırmayı düzgün bir şekilde sağlamaktadır. Sonlandırıcı plakalar deforme olmadan yeterli dayanıklılık ve sabitlemeye sahip olmalıdır. Plakaların dayanımı kalınlığına bağlı olduğu bir gerçektir. Sağlam bir sonlandırıcıya sahip olmak için kalınlığını atırmak özellikle otomotiv uygulamaları için pratik bir çözüm olmamaktadır. Bu yüzden daha ince plakalar ile daha yüksek dayanım elde etmek amacıyla Şekil 3.3.'de gösterilen destekli yapılar kullanılmaktadır.



Şekil 3.3 : Güçlendirilmiş sonlandırıcı plaka örnek tasarımları

Ayrıca bu plaka ile ilk olarak oksijen hidrojen ve soğutma sıvısı temas etmektedir. Hücreye giren bu gazların değişik kimyasal özellikleri karşısında sonlandırıcı plaka inert

olmalıdır. Ayrıca soğutucu sıvının eksi sıcaklıklarda donmaması için içine glikol eklenir. Sonuç olarak korozyona karşı sonlandırıcı plakalar dirençli olmalıdır.

3.6. Akım Toplayıcı Plakalar

Akım toplayıcı plakalar, bakır, titanyum, alüminyum ve başka birçok iletken metalden üretilebilir. Altın kaplamalı bakır da oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Grafit plaka ile sonlandırıcı plaka arasında, elektron toplamak için kullanılırlar. Akım toplayıcı plaka olarak metaller dışında bazı malzemelerde kullanılmaktadır. Özellikle yüksek performansı ile grafiol dikkat çekmektedir (Daniels ve ark., 2014).

3.7. Contalar

PEM tipi yakıt hücrelerinde bazı bölgelerde sızdırmazlığı sağlamak amacıyla kullanılması gerekmektedir. Genellikle teflon ve silikon contalar kullanılmaktadır. (Dündar, 2011). Bu malzemelerini karşıladıkları gereksinimler aşağıda sıralanmaktadır. Ayrıca kopolimer reçinesi, floro silikon kauçuk, sıvı silikon kauçuk, etilen ve propilen monomer kauçuk gibi malzemeler ile ilgili çalışmalar da yapılmaktadır (Lin ve ark., 2011).

1. Gazların sızmasını engellemek
2. Titreşim ve şokları emmek
3. Uzun süreli kullanımlarda dahi kimyasal olarak inert
4. Asitlere karşı dayanıklı olmak
5. Sıkıştırılmaya karşı dayanıklı olmak (200 N/cm²)
6. Hidrojen ve oksijenle tepkimeye girmemek
7. Erime ve kopmalara karşı dayanıklı olmak
8. Katalizörleri zehirleyebilecek malzemeleri içermemek

BÖLÜM 4. 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 uygulanış şeklinde yapılan değişiklikler performansı etkilemektedir.

4.1. Deneysel Düzenek

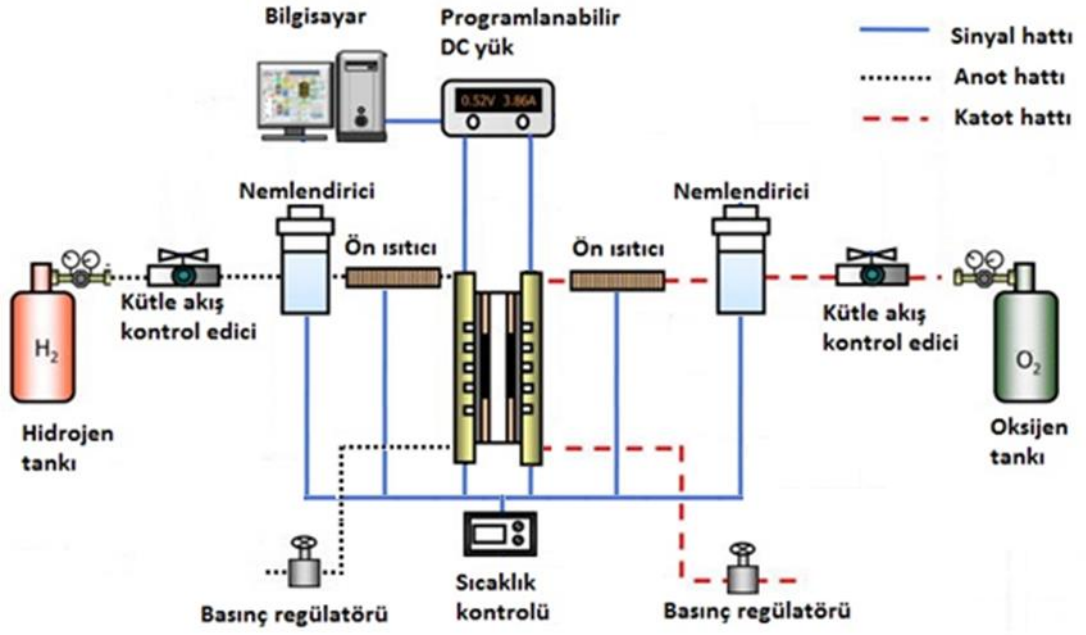
Bu tez çalışmasında kullanılan deneysel düzenek BAP 2010-05-04-009 numaralı “Polimer Elektrolitik Membran (PEM) Yakıt Pilleri için Bipolar Plaka Geliştirilmesi ve Yakıt Pili Performansına Etkisinin Deneysel olarak İncelenmesi” ile BAP2014-05-04-001 numaralı “Biyonik Akış Kanalı Tasarımının PEM Yakıt pili Performansına Etkisi” isimli BAP projeleri ile kurulmuştur. Deney düzeneğini 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 4.1 ve Şekil 4.2 'de gösterilen deneysel düzenek kurulmuştur.



Şekil 4.1 : Deneysel düzenek.



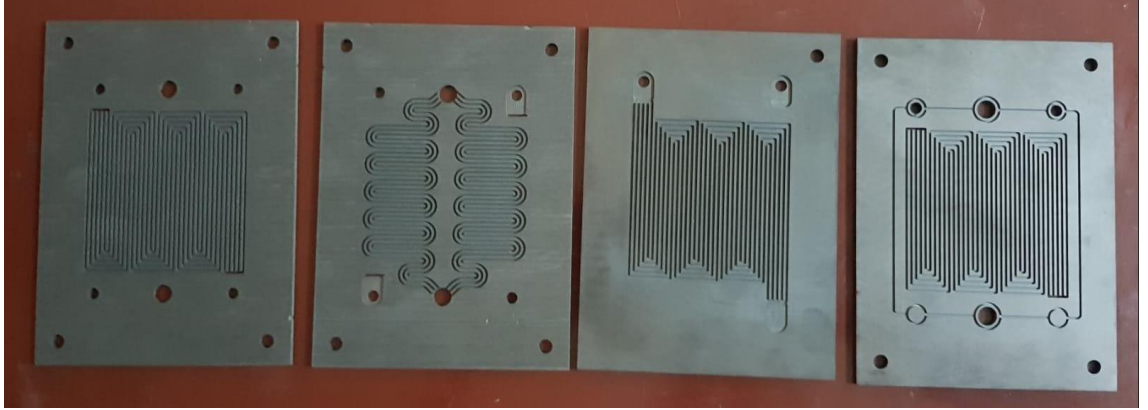
Şekil 4.2 : Deneysel düzeneğin şematik gösterimi.

4.2. Bipolar Plaka Üretimi ve Akış Kanal Tasarımı

Bu tez çalışmasında 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 4.3) Ayrıca hücre bileşenlerinden akım toplayıcı ve sonlandırıcı plakalarda bu tezgahda işlenmiştir.

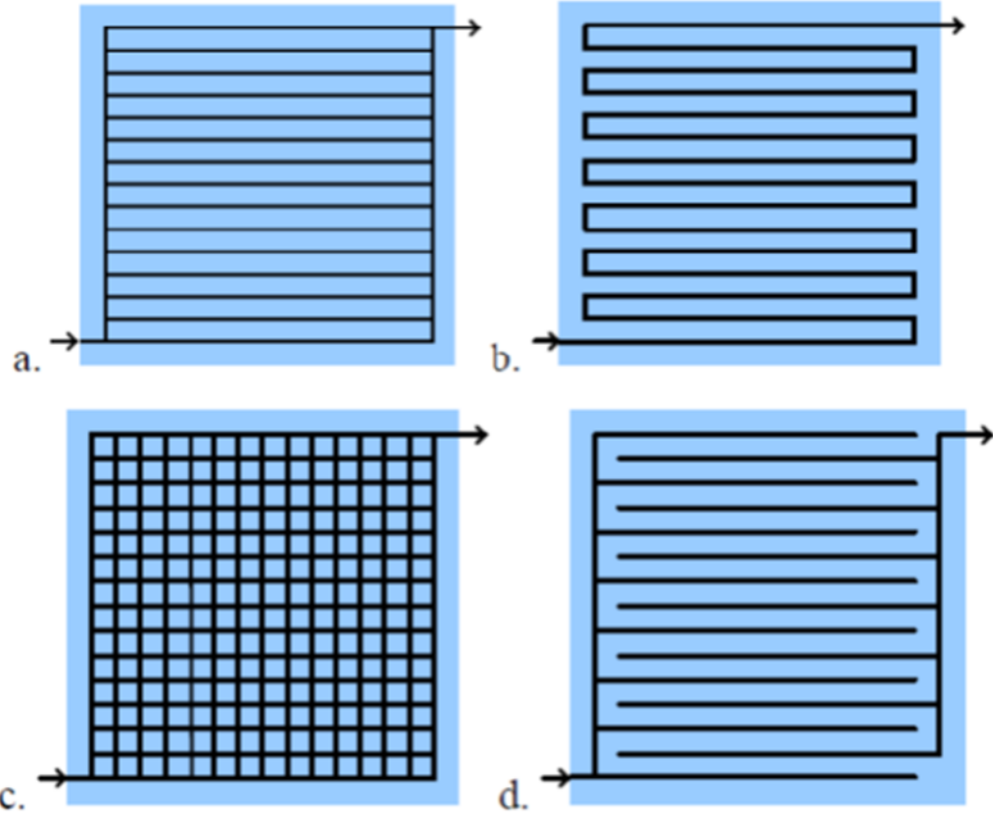


Şekil 4.3 : Grafit plakaların işlenmesi.



Şekil 4.4 : Tasarımı ve üretimi yapılan grafit akış plakaları.

Şekil 4.5 de görülen bu akış alanı desenleri en çok kullanılan çeşitleridir. Bunların dışında da farklı tasarımlar da akış alanı desenleri bulunmaktadır. Diğer tasarımlar genellikle bu yaygın tipteki tasarımların iki ve ya üçünün bileşimi olduğu gibi farklı tasarımlarda bulunmaktadır. (Wang 2007)



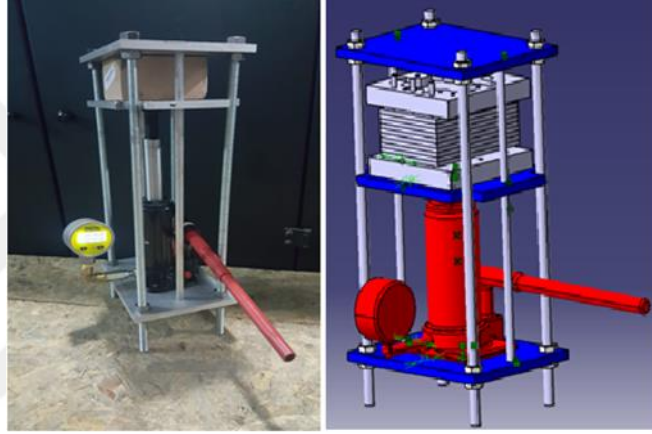
Şekil 4.5 : Yaygın olarak kullanılan akış tasarımları: a. Paralel, b. Serpantin, c. Izgara tip, d. Yönlendirmesiz tip.

4.3. Membran Elektrot Birleşimi Hazırlama

Reaksiyonun oluşabilmesi için yakıt hücrelerinde reaksiyon aktivasyon enerjilerini azalacak katalizörlere ihtiyaç vardır. Genel reaksiyonda katalizörler gözükmeyip 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 arasından en kolay iyonlaşan ve içinde en az istenmeyen iyonlardan bulunduran başlangıç malzemesi tercih edilmelidir. Platin için hegzakloroplatinik asit başlangıç malzemesi ideal bir başlangıç malzemesidir. MEA hazırlık sürecinde Dr. Furkan Dündar'ın doktora tezinden istifade edilmiştir.(Dündar 2011)

4.4. Hidrolik pres tasarımı ve üretimi

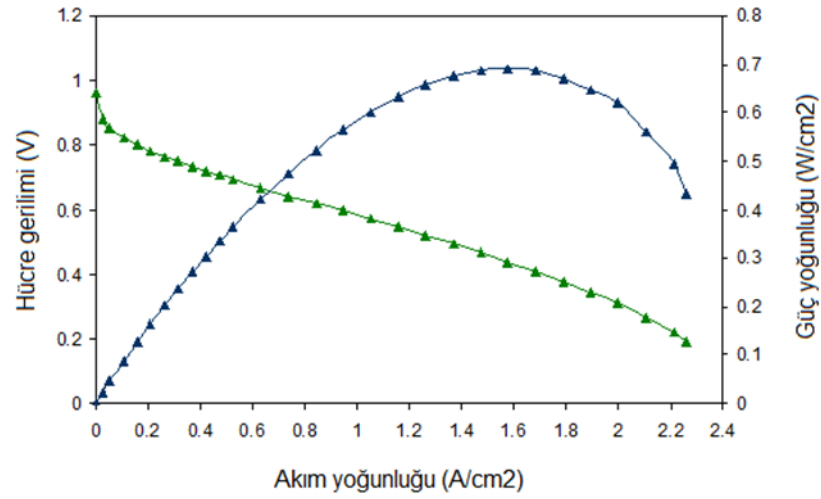
Yakıt hücrelerinde sıkıştırma işlemleri performansı doğrudan etkilemektedir. Klasik sistemlerde hücrenin sıkıştırılması sonlandırıcı plakanın çevre kısmındaki bağlantı elemanları ile sağlanmaktadır. Bu yöntem hücrenin orta noktalarındaki sıkıştırma oranının düşük olmasına sebep olmaktadır. Homojen olmayan bu sıkıştırma türü yakıt hücresi performansını olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada homojen basınç dağılımı sağlanabilmesi için şekil 4.6 da görüldüğü gibi basıncı ayarlanabilen hidrolik bir sıkıştırma mekanizması ile hücrenin aktif yüzeyi üzerine homojen bir basınç dağılımı amaçlanmıştır.



Şekil 4.6 : Yakıt hücresi güç yığına hidrolik sıkıştırma mekanizması.

4.5. 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.



Şekil 4.7 : Tipik bir i-V ve i-W grafiği.

Şekil 4.6'da tipik bir yakıt hücresi akım yoğunluğu-hücre gerilimi ile akım yoğunluğu-güç yoğunluğu verilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan programlanabilir elektronik yük arayüzü şekil 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4.8 : Programlanabilir elektronik yük ara yüzü.

BÖLÜM 5. DENEYSEL BULGULAR

Bu tez çalışmasında 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.

5.1. 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 bölümde tez çalışması kapsamında yapılan deneysel performans sonuçları verilecektir. Ayrıca performans farklılıklarının sebepleri tüm detayları ile incelenecektir.

İlk olarak deneysel düzeneğin ve ölçüm cihazlarının doğru ve tutarlı ölçüm yaptıklarını ispatlamak ve daha sonraki deneylerin yapılacağı optimum deney şartlarını tespit etmek için, literatürde daha önceden yapılmış operasyon şartları ile ilgili standart bir dizi deney yapılmıştır. Bu sonuçlar beklendiği gibi davranış göstererek, kurulan deneysel düzeneğin sağlıklı bir şekilde çalıştığını ortaya koymuştur. Aşağıda operasyon şartlarının yakıt hücresi performansına etkisi incelenmiştir.

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 (5.1) ile bulunabilir.

$$i \times t \times A = n \times z \times F \quad (5.1)$$

i: akım yoğunluğunu, A/cm²

t: süreyi, sn

A: elektrot yüzey alanının, cm²

n: mol sayısını

z: reaksiyondaki elektron sayısını

F: ise Faraday sabitini

ifade etmektedir. Akım yoğunluğu yerine, denklem (5.2) ifadesi koyulursa;

$$i \times A = I \quad (5.2)$$

anot ve katot tarafları için gerekli yakıt miktarları denklem 5.3 ve 5.4 ile bulunabilir.

$$n_{\text{hidrojen}} = I/2F \quad (5.3)$$

$$n_{\text{oksijen}} = I/4F = n_{\text{hidrojen}}/2 \quad (5.4)$$

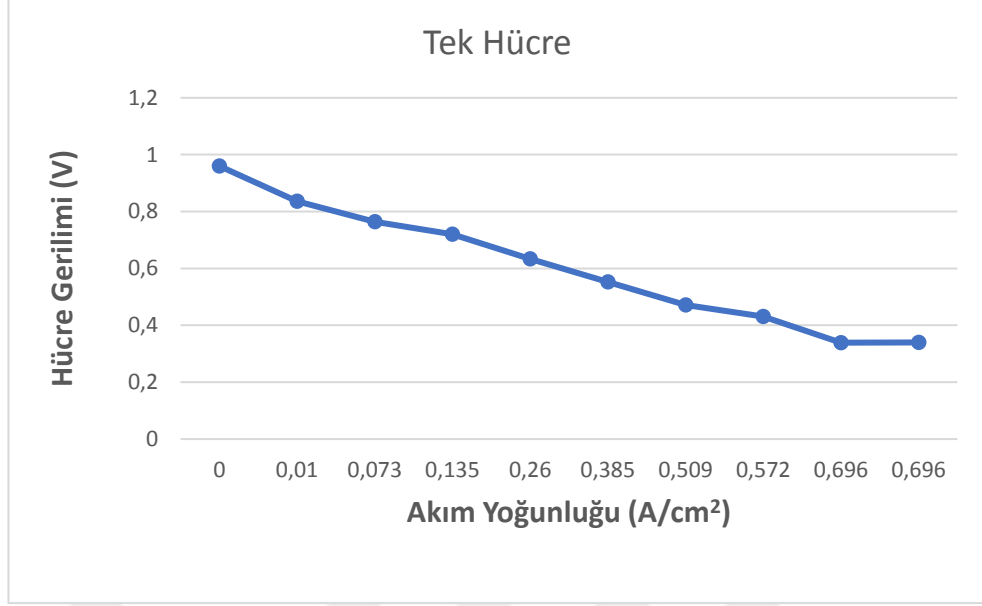
Yakıt hücresi kompresyon değerinin de performansa etki ettiği de bilinen bir gerçektir.

Bu etkiyi incelemek için farklı sıkıştırma değerlerinde performans testleri yapılmıştır.

Tablo 5.1.'de bu operasyon şartlarını ve sıkıştırma değerleri verilmiştir.

Tablo 5.1 : 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 5.1 : 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. 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.

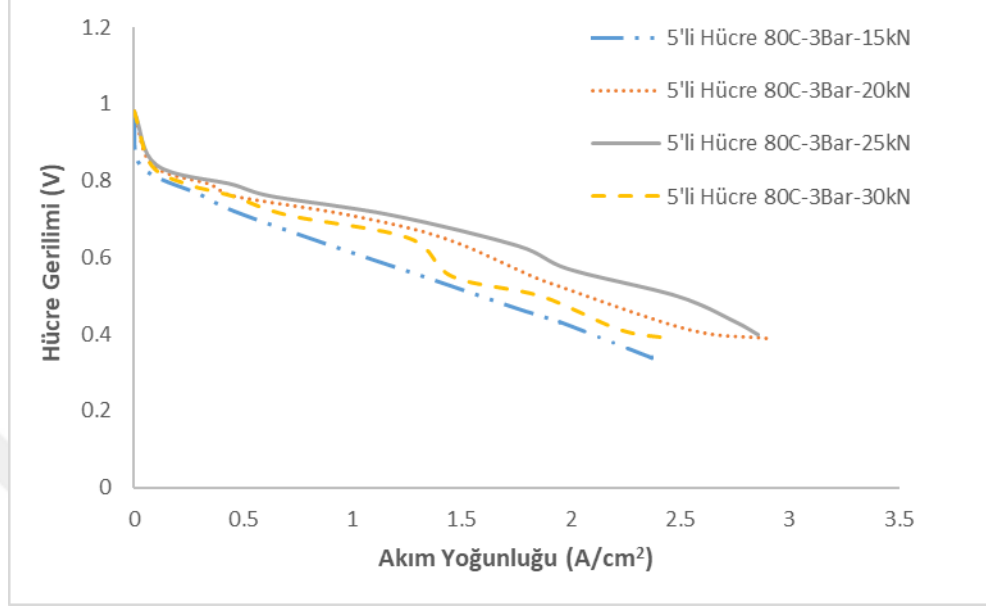
Akım yoğunluğu-güç eğrisindeki maksimum güç yoğunluğuna karşılık gelen akım yoğunluğu, dirençsel kayıp bölgesinin eğimine bağlıdır. Dirençsel kayıp bölgesinin eğimi, sıkıştırma kuvvetinin etkilediği kontak direnci ve transfer direnci tarafından kontrol edilmektedir.

Bu tez çalışmasındaki temel amaç yakıt hücresi güç yığını yerli olarak üretmektir. Aynı zamanda ticari uygulamalarda da görülen standart üretim yakıt hücrelerinden bazı farklılıklar da gözetilmiştir. Klasik hücrelerde sıkıştırma işlemi bir dizi civata 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 tez çalışmasında Şekil 4,6'da 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 civata somun bağlantısının tek tek sökülüp takılması yerine tek bir sıkıştırma elemanının basma kuvveti ayarlanarak monte-demonte işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

Deneysel sistemlerin 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. Deneysel 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 tez çalışmasındaki 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.

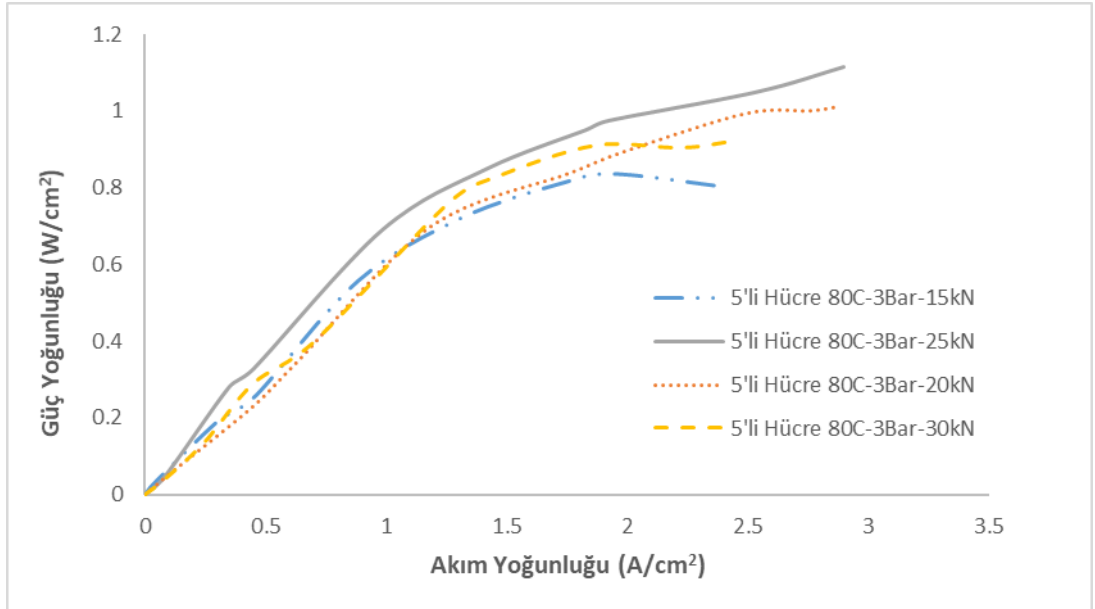
Deneysel hücre sıcaklığı 80 derece, çalışma basıncı 3 bar ve sıkıştırma basınçları ise 4 farklı değerde (15, 20, 25, 30kN) gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar Şekil 5.2'de görülmektedir. Beklendiği gibi performans sonuçlarından akım gerilim grafiği incelendiğinde; sıkıştırma kuvveti 15 kN'dan 25kN'a 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

üretileen 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 5.2 : Sıkıştırma torkunun beş hücre performansına etkisi (gerilim-akım eğrisi).

Benzer şekilde Şekil 5.3'te de görüldüğü gibi hücrenin akım yoğunluğu/güç yoğunluğu eğrilerinde 25kN sıkıştırma kuvveti uygulandığında en iyi performans elde edilmiştir.



Şekil 5.3 : 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. $0.5-2A/cm^2$ 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 $2A/cm^2$ 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 yığıcı 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 yığıcı 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 sınırlarını da optimum aralıkta tutulmaktadır

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

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 (800°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

- Ata, S. (2015). *PEM yakıt hücresinin membran performansının deneysel olarak incelenmesi ve enerji ayrışımı olayının bulanık mantık yöntemi ile modellenmesi* (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Barbir, F., PEM fuel cells: theory and practice, Elsevier Academic Press, 2005
- Bıyıkoğlu, A. (2003). Yakıt Hücrelerinin Tarihsel Gelişimi, Çalışma Prensipleri ve Bugünkü Durumu. *GÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 16(3), 523-542.
- Cook, B. (2002). Introduction to fuel cells and hydrogen technology. *Engineering Science & Education Journal*, 11(6), 205-216.
- Daniels, F. A., Attingre, C., Kucernak, A. R., & Brett, D. J. L. (2014). Current collector design for closed-plenum polymer electrolyte membrane fuel cells. *Journal of Power Sources*, 249, 247-262.
- Dundar, F. (2011). Topaklaşma ve Karbon Korozyonu Sorunlarının Giderilmesi Amacıyla Özgün Yapıda Katalizör Sentezi ve Yakıt Hücresi Çalışma Koşullarının Geliştirilmesi (Doctoral dissertation, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü).
- Ehsani, M., Gao, Y., Longo, S., & Ebrahimi, K. (2018). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles*. CRC press.
- Ekiz, A. (2010). *Pem tipi yakıt pilleri için çift kutuplu akış plakalarının modellenmesi / Modelling of bipolar plates for proton exchange membrane fuel cells* (Doctoral dissertation, TOBB Ekonomi Ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Fettah, S. (2010). Katı Oksit Yakıt Pilinin Atık Isısından Elektrik Enerjisi Üretim Sisteminin Deneysel Analizi. *Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Hoberecht, M. (2011). NASA PEMFC Development Background and History.
- İÇİNGÜR, Y., & KİREÇ, L. (2011). Bir Polimer Elektrolit Membran Yakıt Pilinde Kullanılmak Üzere Gaz Akış Plakaları Tasarımı ve Denenmesi. *Politeknik Dergisi*, 14(1), 31-37.
- Kahraman, H., Çevik, I., & Coşman, S. (2014). Sıkıştırma basıncının PEM yakıt pili performansına etkisi. *ISITES2014*, 1-10.
- Kahraman, H., & Orhan, M. F. (2017). Flow field bipolar plates in a proton exchange membrane fuel cell: Analysis & modeling. *Energy Conversion and Management*, 133, 363-384.
- Kahraman, H. (2010). *Polimer elektrolitik membran (PEM) yakıt pillerinde kullanılacak metalik çift kutuplu plakanın geliştirilmesi / Evaluation of metallic bipolar plate for polymer electrolyte membrane fuel cell* (Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kahraman, H. (2016). *Akış kanal tasarımının polimer elektrolit membran yakıt hücresi performansına etkisinin incelenmesi / Effect of flow field design to the performance of PEM fuel cell* (Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Karaoğlan, M. U., & Kuralay, N. (2014). PEM YAKIT HÜCRESİ MODELİ. *Engineer & the Machinery Magazine*, (657).
- Kaplan, R. (2008). *İmal edilen ve ticari PEM tipi yakıt hücrelerinin performanslarının kıyaslanması / Performance comparison of a manufactured PEM to a commercial pem fuel cell* (Doctoral dissertation, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

- Kazmierkowski, M. P. (2010). 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*, 4(1), 75-75.
- Kopanidis, A., Theodorakakos, A., Gavaises, M., & Bouris, D. (2011). Pore scale 3D modelling of heat and mass transfer in the gas diffusion layer and cathode channel of a PEM fuel cell. *International Journal of Thermal Sciences*, 50(4), 456-467.
- Larminie, J., & Dicks, A. (2005). Fuel Cell Systems Explained. ISBN 10 0-470-84857-X.
- Li, X., & Sabir, I. (2005). Review of bipolar plates in PEM fuel cells: Flow-field designs. *International journal of hydrogen energy*, 30(4), 359-371.
- Lin, C. W., Chien, C. H., Tan, J., Chao, Y. J., & Van Zee, J. W. (2011). Dynamic mechanical characteristics of five elastomeric gasket materials aged in a simulated and an accelerated PEM fuel cell environment. *international journal of hydrogen energy*, 36(11), 6756-6767.
- Mat, A. (2011). Katı Oksit Yakıt Pilleri İçin İletken Pasta Geliştirilmesi. *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Spiegel, C. (2007). *Designing and building fuel cells* (Vol. 87). New York: Mcgraw-hill.
- Turkmen, İ. (2012). *PEM tipi yakıt pillerinin iki ve üç boyutlu modellenmesi 2-D and 3-D modeling of proton exchange membrane fuel cells* (Doctoral dissertation, TOBB Ekonomi Ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Wang, X. D., Duan, Y. Y., & Yan, W. M. (2007). Novel serpentine-baffle flow field design for proton exchange membrane fuel cells. *Journal of Power Sources*, 173(1), 210-221.
- YILDIZBİLİR, F. (2006). Yakıt pili ile elektrik enerjisi üretimi/Generating electricity from fuel cell.
- Yılmaz, B. (2006). *Polimer Elektrolit Membranlı Yakıt Pilleri İçin Anot Üretimi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

ÖZGEÇMİŞ

Çakır İsmail KÖROĞLU, 31.07.1986' da Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara'da tamamladı. 2004 yılında Çayırhan Turgay Ciner Çok Programlı Lisesinden mezun oldu. 2006 yılında Ahi Evran Üniversitesi Meslek Yüksek Okuluna başladığı yükseköğrenimini 2009' da tamamladı. 2009 yılında Lisans eğitimine başladığı Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv öğretmenliği bölümünden 2014 yılında mezun oldu. Daha sonra Yüksek Lisans eğitimine başladı. Halen Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.