

**HİDROJEN YAKIT PİLLERİ
VE
PEM YAKIT PİLİNİN ANALİZİ**

Abdullah Ersan OĞUZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2006
ANKARA**

Abdullah Ersan OĞUZ tarafından hazırlanan HİDROJEN YAKIT PİLLERİ VE PEM YAKIT PİLİNİN ANALİZİ adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr.Fadıl ÇELİKKOL
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr.Beycan İBRAHİMOĞLU _____

Üye : Yrd.Doç.Dr.Fadıl ÇELİKKOL _____

Üye : Yrd.Doç.Dr.Timur AYDEMİR _____

Tarih : 28/04/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

**HİDROJEN YAKIT PİLLERİ
VE
PEM YAKIT PİLİNİN ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Abdullah Ersan OĞUZ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Nisan 2006**

ÖZET

Hidrojen yakıt pilleri gelecekte enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılacak güvenli temiz enerji çevrim araçlarıdır. Fosil yakıt kaynaklarının hızla tükenmesi, yarattığı çevre kirliliği ve enerji verimliliği alternatif kaynak arayışlarını hızlandırmıştır. Alternatif enerji olarak nükleer ve doğal kaynaklar (Güneş, rüzgar, jeotermal ve hidroelektrik) düşünülmektedir. Ancak bu kaynaklarla üretilen enerjinin fosil yakıtlar yerine kullanılması için yakıt pillerine ihtiyaç duyulacaktır. Hidrojen enerji sistemi olarak adlandırılan sistemde hidrojenin enerji taşıyıcısı, yakıt pillerinin de elektrokimyasal enerji dönüştürücüsü olarak kullanılması düşünülmektedir. Sistemin uygulamasına yönelik proje geliştirme ve uygulamaları devam etmektedir. Hidrojenin elde edilmesi, depolanması, taşınması ve dönüştürülmesinin en ucuz, kullanışlı ve verimli şekilde yapılması için bilim adamları yoğun çalışmalar içindedirler. Bu çalışmada hidrojen enerji sistemi ve bu sistemin ana konusu olan hidrojen elde edilmesi, depolanması, taşınması ve yakıt pilleri konuları irdelenmiş ve proton değiştiren zar yakıt pilinin çalışma şekli formülize edilerek elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Bilim Kodu : 905
Anahtar Kelimeler : Yakıt Pilleri, Proton Değiştiren Zar Yakıt Pili
Sayfa Adedi : 85
Tez Yöneticisi : Yrd.Doç.Dr.Fadıl ÇELİKKOL

**HYDROGEN FUEL CELLS
AND
PEM FUEL CELL ANALYSIS
(M.Sc. Thesis)**

Abdullah Ersan OĞUZ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
April 2006**

ABSTRACT

Hydrogen Fuel Cells are clean, safe energy converting tools that are used for covering the energy needs in the future. The speedy exhaustion of fossil fuels and its environmental pollution, low energy yield speeded up the new energy sources. Nuclear and natural sources (Solar, wind, geothermal and hydroelectric) are thought as an alternative energy. However using these energy that are produced with these sources instead of fossil fuels need Fuel Cells. In the hydrogen energy system, hydrogen is the energy carrier and the Fuel Cells are the elektrochemical energy converter. Research and development and the application of the Project is going on Scientists are working extensively for making the production, storage, distribution and conversion of hydrogen in the cheapest, useful and productive way. In this work hydrogen energy system and the backbone of the system that is the production, storage, distribution of the hydrogen and Fuel Cells are examined. In addition, the scheme of the Proton Exchange Membrane is formulated and the results are compared with the experimental ones.

Science Code : 905

Key Words : Fuel Cell, Proton Exchange Membran Fuel Cell

Page Number: 85

Adviser : Yrd.Doç.Dr.Fadıl ÇELİKKOL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd.Doc.Dr.Fadıl ÇELİKKOL'a, yakıt pilleri konusunu bana sevdiren, çalışmalarımda beni yönlendiren, desteğini yardımını esirgemeyen, kıymetli bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Prof.Dr.Beycan İBRAHİMOĞLU'na , ayrıca Teknisyen Zekeriya ALPAGUT'a ve 3 ncü HİBM K.lığında görevli tüm çalışma arkadaşlarıma, manevi destekleriyle yaşadığım tüm problemlerde yanımda olan annem Seval OĞUZ ve babam Fikret OĞUZ'a, bu çalışmadaki en büyük destekçim eşim Ayşe Ezgi OĞUZ'a teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. HİDROJEN ENERJİ SİSTEMİ	5
2.2. Hidrojen	6
2.3. Hidrojen Elde Edilmesi	7
2.3.1. Fosil yakıtlardan hidrojen elde edilmesi	7
2.3.2. Sudan hidrojen elde edilmesi	10
2.4. Hidrojen Dağıtımı ve Depolanması	11
2.5. Hidrojen Enerji Sistemi Programları	14
3. YAKIT PİLLERİ	17
3.1. Yakıt Pillerinin Tarihsel Gelişimi	17
3.2. Yakıt Pilleri	19
3.3. Kullandıkları Elektroda Göre Yakıt Pilleri	21
3.3.1. Alkali yakıt pili (AFC)	21
3.3.2. Polimer elektrolit veya proton değıştiren zar yakıt pili (PEMFC)	22

	Sayfa
3.3.3. Fosforik asit yakıt pili (PAFC).....	22
3.3.4. Erimiş karbonat yakıt pili (MCFC).....	23
3.3.5. Katı oksit yakıt pili (SOFC)	24
4. PEM YAKIT PİLİ, ÇALIŞMASI, VERİMLİLİK HESABI, ÖLÇÜMLERİ, VE YAKIT PİLLERİNİN GELECEĞİ	30
4.1. Polimer Elektrolit veya Proton Değiştiren Zar Yakıt Pili'nin Çalışması	30
4.2. Yakıt Hücresinin Verimlilik Hesabı.....	33
4.3. Yakıt Pillerinin Gerilim/Akım Karakterizasyonları.....	35
4.4. Yakıt Pili'nin Gücü	41
4.5. PEM Hücresi Ölçümleri.....	43
4.6. Tek Hücrede Çift Membranlı PEM Yakıt Pili	52
4.6. Yakıt Pillerinin Geleceği.....	58
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	62
EKLER.....	64
EK-1 Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili faydalı model belgesi.....	65
EK-2 Anuvu 1,5kw cell kataloğu.....	76
EK-3 Hyundai basın bülteni.....	78
ÖZGEÇMİŞ	85

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Hidrojen özellikleri	6
Çizelge 2.2. Hidrojen depolama şekli ve yoğunluğu	13
Çizelge 2.3. Hidrojen depolama araçları, kapasite ve yoğunluğu.....	14
Çizelge 3.1. Yakıt pilleri genel özellikleri	26
Çizelge 3.2. Yakıt pilleri kimyasal tepkimeleri	27
Çizelge 4.1. Polimer zarların bazı fiziksel-kimyasal özellikleri.	33
Çizelge 4.2. Bazı elamanlar için (η_T) değerleri.....	34
Çizelge 4.3. PEM yakıt pili tek hücre kullanılarak yapılan ölçüm değerleri	46
Çizelge 4.4. Paralel bağlı PEM yakıt pili çift hücre ölçüm değerleri	49
Çizelge 4.4. Tek hücre çift membranlı PEM yakıt pili ölçüm değerleri.....	55

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Hidrojen enerji sistemi.....	5
Şekil 2.2. Doğal gazlardan buharlaştırma ile H ₂ elde edilmesi öbek resmi.....	8
Şekil 2.3. Kısmi oksijenleme öbek resmi.....	9
Şekil 2.4. Kömür gazlaştırılması öbek resmi.....	9
Şekil 3.1. Alkali yakıt pili	21
Şekil 3.2. Polimer elektrolitik zar ve fosforik asit yakıt pili	23
Şekil 3.3. Erimiş karbonat yakıt pili	24
Şekil 3.4. Katı oksit yakıt pili	25
Şekil 3.5. Yakıt pilleri polarizasyon eğrileri	27
Şekil 3.6. Yakıt pilleri çalışma prensipleri.....	28
Şekil 3.7. Yakıt pillerinin verimliliği	29
Şekil 3.8. Yakıt pilleri ile diğer enerji kaynaklarının atık gaz karşılaştırması.....	29
Şekil 4.1. PEM yakıt pili yapısı	31
Şekil 4.2. Tipik yakıt pili yığını	32
Şekil 4.3. PEM yakıt pili gerilim-akım karakteristik eğrisi	38
Şekil 4.4. PEM yakıt pili kutuplanma eğrisi	38
Şekil 4.5. Yakıt hücresi yüzeyin güç çekimi grafiği	42
Şekil 4.6. Hücre gerilimi ile güç arasındaki ilişki grafiği	42
Şekil 4.7. Deney düzeneği blok şeması.....	45
Şekil 4.8. PEM yakıt pili gerilim-akım grafiği	47
Şekil 4.9. PEM yakıt pili gerilim-güç grafiği.....	48

Şekil	Sayfa
Şekil 4.10. Paralel bağlı PEM yakıt pili çift hücre gerilim-akım grafiği	50
Şekil 4.11. Paralel bağlı PEM yakıt pili çift hücre gerilim-güç grafiği	51
Şekil 4.12. Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili yapısı.....	53
Şekil 4.13. Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili gerilim-akım grafiği.....	56
Şekil 4.14. Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili gerilim-güç grafiği	57
Şekil 4.15. Yakıt pilleri tahmini pazar payları grafiği	58

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Küçük ölçekli elektroliz sistemi.....	10
Resim 4.1. 10-12V 1,5 kw güç üreten yakıt pili yığını.....	31
Resim 4.2. Deneyde kullanılan PEM yakıt pili.....	43
Resim 4.3. PEM yakıt pili yandan görünüşü	44
Resim 4.4. Ölçüm düzeneği	44
Resim 4.5. Gerilim-akım ölçümü için kullanılan ölçü aletleri.....	45

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
Ω	Ohm
η_T	Termodinamik verimlilik
H	Hidrojen
O	Oksijen
Pt	Platin
Pd	Paladyum
Li	Lityum
Na	Sodyum
K	Potasyum
Y	Yitriyum
Zr	Zirkonyum
Ni	Nikel
Co	Kobalt
Mg	Magnezyum
Fe	Demir
Ti	Titanyum
Mn	Manganez
La	Lantan
CH₄	Metan
H₂O	Su
CO	Karbonmonoksit
OH⁻	Hidroksit
NaBO₂	Sodyum Borat
NaBH₄	Sodyum Borhidrit
aq	Sulu Çözelti, Eriyik

Simgeler**g****Açıklama**

Gaz

Kısaltmalar**PEM****Açıklama**Polimer Elektrolitik Zar
Proton Değiştiren Zar**AMU**

Atomik Kütle Birimi

AFC

Alkali Yakıt Pili

PEMFCPolimer Elektrolitik Zar Yakıt Pili
Proton Değiştiren Zar Yakıt Pili**PAFC**

Fosforik Asit Yakıt Pili

MCFC

Erimiş Karbonat Yakıt Pili

SOFC

Katı Oksit Yakıt Pili

1.GİRİŞ

Tarihe bakıldığında savaşların kaynaklara sahip olma amacıyla çıktığı görülmektedir. Geçmişte üretim kaynakları yani değerli madenler ön planda iken bugün enerji kaynakları, özellikle petrol alanlarının kontrolü önem kazanmaktadır.

Dünyada kullanılan enerjinin büyük bölümü fosil yakıtlardan (petrol ve doğal gaz gibi) sağlanmaktadır. Fosil yakıtların yarattığı hava kirliliği ve dünya dengesine verdiği zararlar son yıllarda daha iyi anlaşılmıştır. Dünya üzerindeki fosil yakıt kaynakları hızla tükenmekte ve gelecekte oluşacak enerji ihtiyacının nasıl karşılanacağı insanların kafasını kurcalayan önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır.

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. Bu amaçla yeni enerji kaynağı arayışları devam etmektedir. 1800'lü yıllarda ortaya konan ancak fosil yakıtların kullanımına yönelik içten yanmalı motorların keşfi ile ihmal edilen yakıt pilleri yapımı son yıllarda uzay çalışmalarının yarattığı ihtiyaçlarında etkisiyle önem kazanmıştır.

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.

Yakıt pilleri; Gelecekte ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bölümünü karşılaması düşünülen enerji çevrim araçlarıdır. Temiz, güvenli ve yüksek verimlilik gibi özellikleri yakıt pillerine olan ilgiyi artırmaktadır.

Hidrojen, fosil yakıtlar gibi doğadan elde edilememektedir. Hidrojen elde etmek için ana enerji kaynağı olarak nükleer ve güneş enerjisinin kullanılması düşünülmektedir.

Türkiye ve özellikle de Ankara ili şartlarında metrekaresine düşen güneş ışınımı yüksekliği göz önüne alındığında bu hidrojen üretimi için fotovoltaiik pillerin kullanılmasının uygun olacağı değerlendirilebilir.

Bu tezin amacı, yakıt pilleri temelinde Hidrojen Enerji Sisteminin işleyişini anlatmak, dünyada yürütülen çalışmaları ve üretilen projeleri ortaya koymak, ve yakıt pilleri arasında taşınabilir olarak kullanıma en uygun olan PEM yakıt pilinin analizini yapmak ve gelecek yıllara yönelik planlamaları ve ulaşılacak noktaları ortaya koymaktır.

Tezin Birinci bölümünde Hidrojen enerji sistemi, Hidrojen elementinin kimyasal özellikleri, elde edilme yolları, dağıtımı, depolanması ve yürütülen projeler anlatılacaktır.

Bu bölümde vurgulanmak istenen en önemli şey hidrojen elementinin doğadan elde edilen bir maden değil hidrojen enerji sistemi içinde enerji taşıyıcı olarak kullanılan bir araç olduğudur. Günümüzde bile pek çok insan bu konuda yanılgıya düşmekte ve sanki hidrojeni bir enerji temel kaynağı sanmaktadır.

Hidrojen sisteminde temel enerji kaynağı olarak nükleer enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve (her ne kadar temiz enerji kaynağı amacına ters düşse de) fosil yakıtlar kullanılabilir.

Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için bu bölüm içerisinde hidrojen enerji sisteminin genel bir tanımlaması yapılmış ve şematize edilmiştir.

Temel enerji kaynağı kullanılarak hangi yöntemlerle hidrojen elde edileceği de bu bölüm içerisinde ayrıntılı olarak yer almaktadır. Günümüzde neredeyse yakıt pilleri

üzerine yürütülen çalışmalar kadar hidrojen depolama için de çalışmalar yapılmaktadır. Bu bölüm içerisinde bu konuya da değinilmiş olup hidrojenin depolanması ve taşınması ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Günümüz uygulamalarından örnekler verilmiş olup özellikle otomobil üzerinde durulmuştur.

Birinci bölümün son kısmında ise hidrojen enerji sistemine yönelik uluslar arası projeler den örnekler verilerek tez konumuz olan yakıt pillerinin dünyada ne kadar önemli bir konuma geldiği ayrıntılı olarak vurgulanmaya çalışılmıştır.

Tez'in ikinci bölümü yakıt pillerine ayrılmıştır. Bu bölümde yakıt pillerinin genel çalışma esasları ve sınıflandırmaları anlatılmış. Kullandıkları elektrotta göre sınıflandırma baz alınarak ayrıntılandırılmıştır. Yakıt pillerinin karakter özellikleri ve çalışma şekilleri ortaya konulmuştur.

Bu bölüm içerisinde günümüzde üzerinde yoğun şekilde çalışmalar yürütülen Katı Oksit yakıt pili (SOFC) üzerinde ayrıntılı durulmuştur. Katı Oksit yakıt pillerinin hücre ve tüp şekli uygulamalarına yer verilmiş ve Yüksek Güç Yoğunluklu (High Power Density Cell - HPD) Hücre üzerindeki çalışmalar anlatılmıştır.

Üçüncü bölüm PEM (Polimer Elektrolitte Membran – Polimer Elektrolit Zar) yakıt pili ayrıntılı olarak anlatılmış ve kimyasal analizi yapılmıştır. Bölüm içerisinde bir hücrenin Güç analizi yapılarak ideale yakın grafikleri ortaya konmuştur.

Yakıt pilleri Elektrokimyasal güç dönüştürücüsü olarak da adlandırılmaktadır. Bunun sebebi yakıt pili hücrelerinde oluşan işlevin elektrokimyasal olmasıdır. Bu nedenle bir hücrenin kimyasal yapısı, çalışma şeklinin kimyasal ifadesi ve formülasyonu ortaya konularak analiz edilmeye çalışılmıştır. Burada kullanılan formüller temel kimya formülleridir.

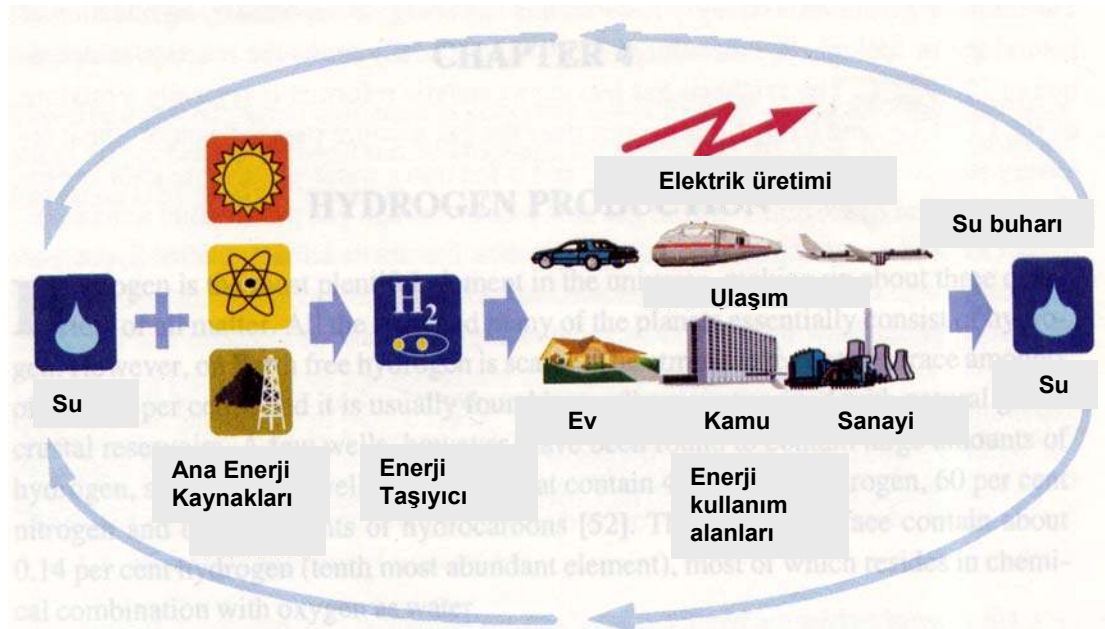
Bu bölüm içerisinde deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Deneysel çalışmada elektroliz yoluyla hidrojen elde edilmiş ve bu hidrojen kullanılarak PEM yakıt pilinin

Gerilim, akım grafiği çıkarılmış güç eğrisi oluşturulmuştur. Bu bölümde yeni bir tasarım olan tek hücrede çift membranlı yakıt pili anlatılarak Gerilim, akım grafiği çıkarılmış güç eğrisi oluşturulmuştur.

2. HİDROJEN ENERJİ SİSTEMİ

Hidrojen enerji sistemi: hidrojen gazının yakıt pilleri yardımıyla kimyasal tepkimeye sokularak elektrik enerjisi üretilen sistemlerdir. Yakıt pilleri ise temiz, çevreye zarar vermeyen ve yüksek verime sahip enerji dönüşümleridir. Bu sistemde bir buhar kazanı yada türbin kullanılmadan sadece kimyasal tepkime ile elektrik enerjisi üretilir. Hidrojen ve Oksijen arasındaki elektrokimyasal tepkime ile elde edilen ve verimliliği %90'lara kadar ulaşabilen bu sistem yakıt pilleri olarak da isimlendirilir. Bu sistemde atık olarak su elde edilmesi temiz enerji olarak adlandırılmasını sağlamaktadır.

Hidrojen enerji sisteminin ana konularını Hidrojen, üretimi, dağıtımı, depolanması ve elektrokimyasal enerji dönüştürücü olan yakıt pilleri oluşturmaktadır. Birinci bölümde Hidrojen, üretimi, dağıtımı ve depolanmasını ele alacağız.



Şekil 2.1. Hidrojen enerji sistemi[1]

2.2. Hidrojen

Doğada hidrojenin 3 izotopu vardır. Bunlar: protium, dueterium and tritium dur. Bilinen standart hidrojen atomu (protium) en basit element olarak bilinir ve bir proton ve elektrondan oluşur. Hidrojen molekülü (H_2) iki ayrı şekilde bulunur ortho- ve para- hidrojen. Her iki şekilde aynı kimyasal özelliklere sahiptir. Oda sıcaklığında bulunan hidrojenin %75'i ortho- ve %25'i para-hidrojendir. Para hidrojen düşük sıcaklıklarda durağan bir yapıya sahiptir ve sıcaklık düştükçe yoğunluğu artar, sıvı hidrojenin neredeyse tamamı bu şekilde bulunur.

Çizelge 2.1. Hidrojen özellikleri[1]

Molekül Ağırlığı	Amu (mol/gr)	2,016
Yoğunluk	Kg/m ³	0,0838
Üst Enerji Değeri	MJ/kg	141,90
	MJ/m ³	11,89
Alt Enerji Değeri	MJ/kg	119,90
	MJ/m ³	10,05
Kaynama Sıcaklığı	K	20,3
Sıvı Hal Yoğunluğu	Kg/m ³	70,8
Kritik Değerler		
Sıcaklık	K	32,94
Basınç	Bar	12,84
Yoğunluk	Kg/m ³	31,40
Kendi Kendine yanma sıcaklığı	K	858
Havada Yanma Limiti	(vol.%)	4-75
Havadaki Stoichiometric karışım	(vol.%)	29,53
Havada Yanma Sıcaklığı	K	2,318
Difüzyon Katsayısı	cm ² /s	0,61
Özgül Isı (c_p)	kJ/(kg-K)	14,89

Hidrojen renksiz ve kokusuz bir gazdır. Molekül ağırlığı 2,016 olup en hafif elementtir. Yoğunluğu havadan 14 kat azdır (Normal şartlar altında 0,08376 kg/m³). Hidrojen 20,3°K ve bir atmosfer basınç altında sıvı hale geçmektedir. Hidrojen çoğu yakıttan daha yüksek enerjiye sahip bir moleküldür. Hidrojenin enerji kapasitesi 141,9 MJ/kg olup benzinin neredeyse 3 katına eşittir.

2.3. Hidrojen Elde Edilmesi

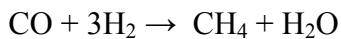
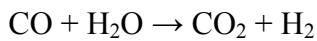
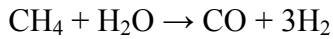
Bilindiği gibi hidrojen doğada fosil yakıtlar gibi bulunmamaktadır. Ancak fosil yakıtlar içinde de hidrojen bulunmaktadır. Bu nedenle çeşitli kimyasal işlemler ile hidrojen elde edilmesi gerekmektedir.

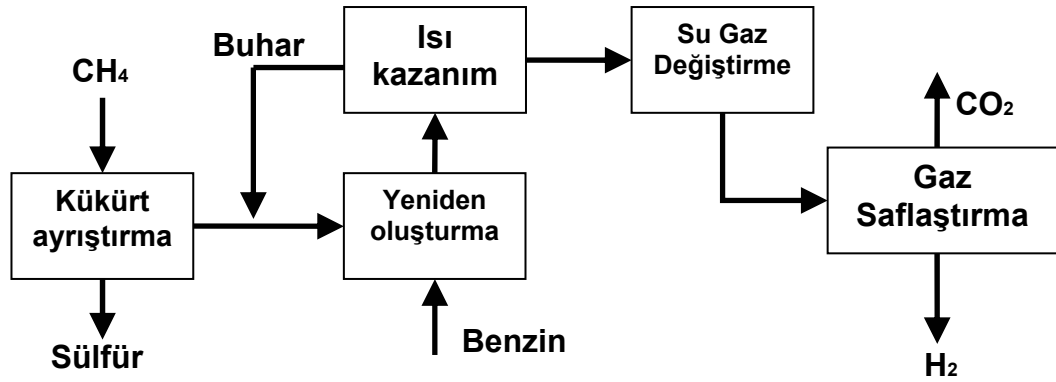
2.3.1 Fosil yakıtlardan hidrojen elde edilmesi

Hidrojen fosil yakıtlara alternatif olarak düşünülse de fosil yakıtların içerisinde hidrojen atomu bulunduğu da bir gerçektir. Bu kısımda fosil yakıtlardan hidrojen elde etme yöntemleri ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

Doğal gazlardan buharlaştırma

Doğal gazlardan buharlaştırma en etkili ve verimli hidrojen elde etme yöntemidir. İlk basamak gaz sentezlenmesi, ikinci basamak su gaz değişimi üçüncü basamak ise gaz saflaştırmasıdır. Bu işlem sırasında ısı 700-925°C ye kadar çıkmaktadır. İşlem verimliliği %65-75 olup hidrojen maliyeti 6\$/GJ'dur.

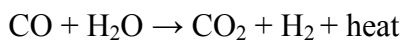
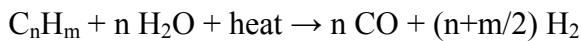




Şekil 2.2. Doğal gazlardan buharlaştırma ile H₂ elde edilmesi öbek resmi[2]

Kısmi oksijenleme

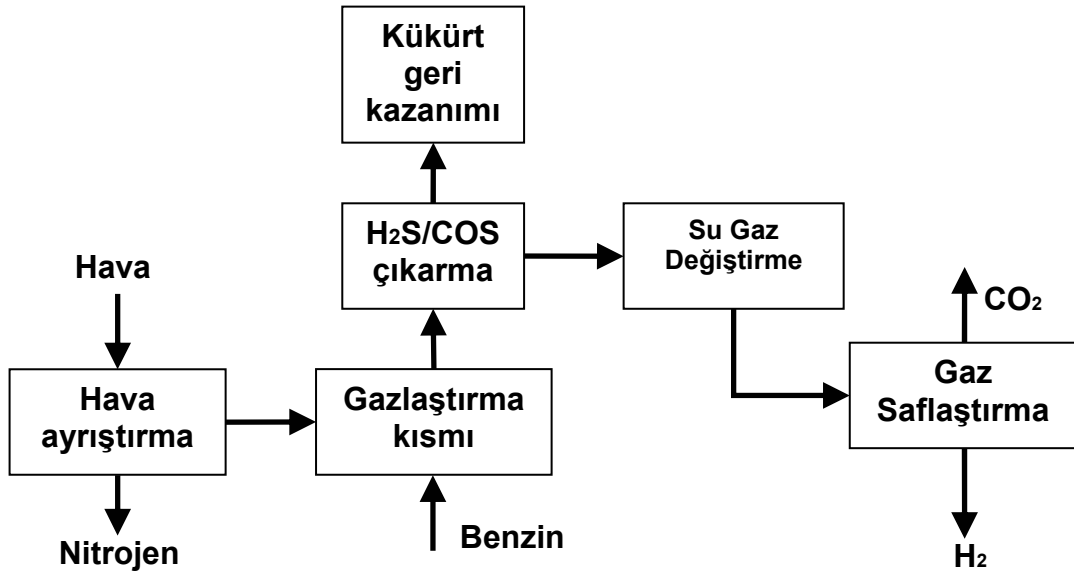
Kısmi oksijenleme doğal gazlardan buharlaştırmanın gerçekleştirilemediği neftyağından daha ağır hidrokarbonlarda (ethanol ve benzinde) kullanılan bir yöntemdir. Genel olarak kısmi oksijenleme üç basamakta gerçekleştirilir. İlk basamak gaz sentezlenmesi, ikinci basamak su gaz değişimi üçüncü basamak ise gaz saflaştırmasıdır. Bu işlem sırasında ısı 1150-1315°C ye kadar çıkmaktadır. İşlem verimliliği %50 olup hidrojen maliyeti 4\$/GJ dir.



(artık fueloil de n=1 ve m=1.3)

Doğal gazlarda ısı parçalaması

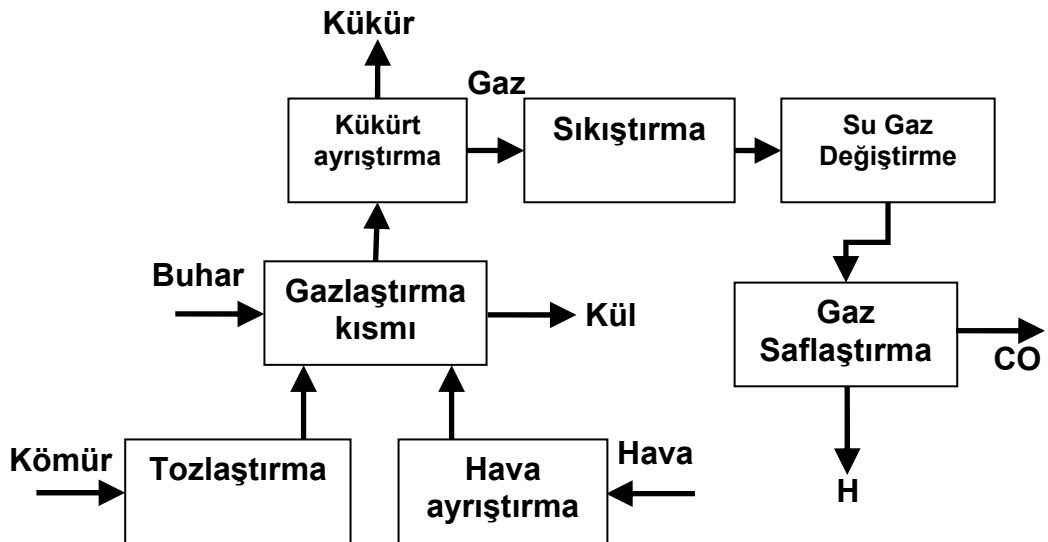
Doğal gaz 1400°C kadar sıcak hava ile ısıtılır ve hava akımı kesilir. Metan gazı bu ısıda ayrılır. Daha sonra ısı 800°C ye düşürülür ve hidrojen ayrıştırılır. Bu işlemde CO₂ oluşmaz.



Şekil 2.3. Kısmi oksijenleme öbek resmi[2]

Kömür gazlaştırması (Koppers-Totzek process)

Toz haline getirilen kömür sıcak buhar yardımıyla yakılarak kül haline getirilir ve kükürtün ayrışması sağlanır oluşan ürün su ile saflaştırılarak karbonmonoksit ve hidrojenin ayrıştırılması sağlanır. Bu işlemde verimlilik %97 olup hidrojen maliyeti 12\$/GJ dir.



Şekil 2.4. Kömür gazlaştırılması öbek resmi[2]

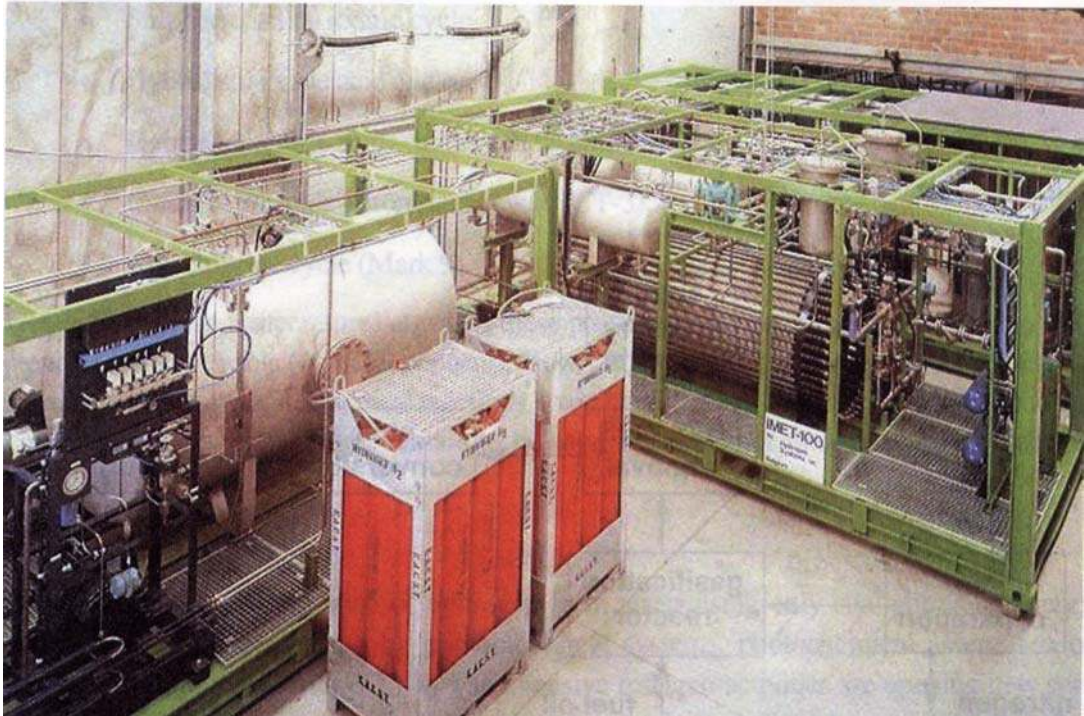
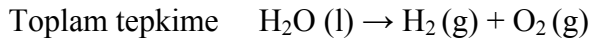
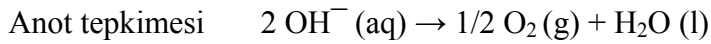
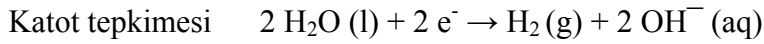
2.3.2 Sudan hidrojen elde edilmesi

Dünya üzerindeki en büyük hidrojen kaynağı su olarak bilinmektedir. Bu nedenle sudan hidrojen elde edilmesi önemli bir kaynak yaratmaktadır.

Elektroliz

Elektroliz en çok bilinen, kullanılan ve fosil yakıtlardan hidrojen elde etmeden 50 yıl daha eski bir teknolojidir. Elektrolizde anot ve katot arasında oluşan elektron akımı ile hidrojen oluşturulur. Su içine NaCl, KOH, NaOH katılarak elektrik iletimi artırılır. Elektroliz için 1.75-2.05V yeterlidir[3].

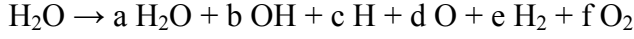
İşlem basamakları :



Resim 2.1. Küçük ölçekli elektroliz sistemi[3]

Thermolysis (Doğrudan ısı ayrıştırma)

Su 2000°K üzerinde kendiliğinden hidrojen ve oksijen atomlarına ayrılmaya başlar. Ancak ısı arttıkça verimlilik artar 2000K %1, 2500K %8.5, 3000K %24. Çok yüksek sıcaklıklarda verimli sonuçlar elde edilmesi bu yöntemin en büyük dezavantajıdır[4].



Termokimyasal dönüşüm

Direk ısı ayrışma çok yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Direk ısı ayrışmanın düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesi için su içerisine kimyasal maddeler katılması gerekmektedir. Su içerisine kimyasal maddeler karıştırılarak düşük ısılarda direk ısı ayrışma gerçekleştirilmesine termokimyasal dönüşüm denir. 1960'lardan beri kullanılan bir yöntemdir. Ancak verimliliğin istenen düzeyde olması için 2000-3000 kez işlemin tekrarlanması gerekebilmektedir[5].

Photolysis (Güneş ışığı ile elektroliz)

Direk güneş ışığı kullanılarak sudan hidrojen elde etme yöntemidir. Su içerisine redox katalizör, değişik mikro organizmalar katılarak güneş ışığı yardımıyla oluşan kimyasal reaksiyon sonucunda hidrojen elde edilir[6].

2.4. Hidrojen Dağıtımı ve Depolanması

Hidrojen dağıtımı ve depolanması yakıt pilleri'nin gelişimi ile birlikte üzerinde en çok düşünülen konulardan biri olmuştur.

Kapalı çevrim sistemlerde saf suyun elektrolizi ile Hidrojen elde edilmesi ve uygun bir tank içerisinde depolanarak ihtiyaç duyulduğunda kullanılması öngörülmektedir. Bu durumda bile depolama bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tankın boyutu,

basınç dayanımı, imal edileceği malzeme gibi pek çok etken ön plana çıkmaktadır. Kaldı ki Hidrojen Enerji Sisteminde enerji taşıyıcı olan Hidrojen taşıtlar (uçak, otomobil vb.), işyerleri, ev ve uzay çalışmaları gibi geniş bir alanda kullanılacaktır.

Hidrojen ilk çalışmalarda gaz halinde depolanacağı ve taşınacağı düşünülmüştür. Bu durumda yapılacak boru hatlarının, taşıma tankerlerinin ve depolama tanklarının devasa boyutlarda olması gerekmiştir. Bu nedenle basınç altında taşınması gündeme gelmiş bu da tankların basınç dayanımını ve dolayısı ile ağırlığını arttırmıştır. Bu şekilde kapasite kısıtlamaları da ortaya çıkmıştır.

Hidrojen çelik tüplerde 200 –250 atm. Basınç altında depolanırsa çelik tüpün kütlesi Hidrojenden 100 kat daha ağır olmaktadır. Son yıllarda kompozit tüpler de geliştirilmiştir. Bu tüpler hafif ve daha yüksek basınçlarda (500–700) atm. Kullanılmaktadır. Çelik tüplerle kıyasladıkta kütlesi 3 defa azalmıştır. Ancak kütlesinin düşürülmesine rağmen halen çok pahalıdır.

Prototip aşamasında olan otomobillerin büyük kısmı 350 bar basınçlı hidrojen tankları taşımaktadır. ABD Chino-California da 350 bar basınçlı Hidrojen dolumu yapan bir istasyon 2005 yılı içerisinde faaliyete geçmiştir.

Hidrojenin sıvı olarak depolanması da mümkündür. Ancak Hidrojen -253°C de buharlaşmaya başlamaktadır. Sıvı halde depolanan Hidrojenin büyük tanklarda (10 Milyon m^3 civarı) günde yaklaşık % 0,1'i Küçük ve taşınabilir tanklarda ise günde % 2-3'ü buharlaşma ile kaybedilmektedir.

Hidrojen depolanması için Metal Hidritlerden faydalanılması düşünülmüş (Hidrojenin kimyasal tepkime ile ağır metallere tutturularak depolanması), ancak kütle ağırlığı yüksek olduğu için uygun olmamıştır. MgH_2 depolama yoğunluğu 0,07 kgH_2 / kg 'dır.

Çizelge 2.2.Hidrojen depolama şekli ve yoğunluğu

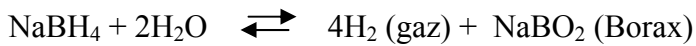
Depolama Şekli	kgH ₂ /kg	KgH ₂ /m ³
Yüksek kapasite (10 ² -10 ⁴ m ³)		
Yer altı	-	5-10
Yer üstü (Basınç altında)	0.01-0.014	2-16
Metal hidrit	0.013-0.015	50-55
Sıvı Hidrojen Tankı	~1	65-69
Düşük Kapasite (Sabit) (1-100m ³)		
Basınçlı Silindirik	0.012	~15
Metal hidrit	0.012-0.014	50-53
Sıvı Hidrojen Tankı	0.15-0.50	~65
Araç Tankları (0.1-0.5m ³)		
Basınçlı Silindirik	0.05	15
Metal hidrit	0.02	55
Sıvı Hidrojen Tankı	0.09-0.13	50-60

Çalışmalarda gelinen aşama Hidrojenin daha efektif depolanması ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle çalışmalar bu yönde devam etmektedir.

Günümüzde Bor mineralinden metal hidritlerde olduğu gibi Hidrojen depolama amacıyla faydalanma yönünde çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Bu amaçla LaNi₅ ve NaBO₂ genel adlarıyla üçüncül Lantan Nikel alaşımı ve Sodyum Borat kullanımı denenmiştir. 2,5 atm. Ve 25°C sıcaklıkta saf LaNi₅ sıvı hidrojenden iki kat sıkıştırılmış gaz hidrojenden 12 kat fazla hidrojen depolayabilmektedir. Enerji yoğunluğu olarak ise sıvı hidrojenden 1,1 kat sıkıştırılmış gaz hidrojenden de 9 kat fazladır[7].

Çizelge 2.3. Hidrojen Depolama araçları, kapasite ve yoğunluğu[8]

Depolama Aracı	İçerdiği Hidrojen (kg/kg)	Depolama Kapasitesi (hacim için kg/l)	Enerji Yoğunluğu (kj/kg)	Enerji Yoğunluğu (hacim için kj/l)
MgH ₂	0.070	0.101	9,933	14,330
Mg ₂ NiH ₄	0.0316	0.081	4,484	11,494
VH ₂	0.0207	-	3.831	-
FeTiH _{1.95}	0.0175	0.096	2,483	13,620
TiFe _{0.7} Mn _{0.2} H _{1.9}	0.0172	0.090	2,440	12,770
LaNi ₅ H _{7.0}	0.0137	0.089	1,944	12,630
R.E.Ni ₅ H _{6.5}	0.0135	0.090	1,915	12,770
Sıvı H ₂	1.00	0.071	141,900	10,075
Gaz H ₂ (100 bar)	1.00	0.0083	141,900	1,170
Gaz H ₂ (100 bar)	1.00	0.0166	141,900	2,340
Petrol	-	-	47,300	33,500



Hidrojenin Sodyum Borat kullanılarak depolanması kimyasal denklemi yukarıdaki gibidir.

2.5. Hidrojen Enerji Sistemi Programları

Çok değişik fikirler ortaya atılmasına rağmen biz burada önemli gördüklerimize değineceğiz.

Hydro-Hidrojen projesi Kanada ile Almanya arasında 100 MW_{el} bir enerji üretimini hedeflemektedir. Bu projeyle Quebec'te bulunan ve temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olan hidroelektricity kullanılarak elektroliz yoluyla hidrojen elde edilecek ve avrupaya likit olarak gemilerle nakledilecektir. Avrupaya getirilen hidrojen de elektrik üretme, ısı kaynağı, araçlarda, uçaklarda ve fabrikalarda ayrıca doğal gazlar gibi evlerde ve endüstri ihtiyaçları gibi değişik alanlarda kullanılacaktır[9].

Benzer bir proje Norveç ile Almanya arasında yapılmaktadır. Bu proje ile Norveç de surplus hidro enerji ile hidrojen üretilcek. Üretilen hidrojen sıvı olarak gemilerle Almanya'ya taşınacaktır. Bu proje Alman son kullanıcıları için Hydro-Hidrojen projesine göre daha hızlı, ucuz hidrojen üretimi, taşınması ve dağıtım zincirini öngörmektedir[10].

Mini Solar Hydrogen Energy System Nürnberg Almanya da kurulacak Solar-Wassersoft-Bayer Hidrojen test ve uygulama tesislerinden oluşacaktır. Bu tesis Fotovoltaik piller, elektroliz ünitesi, yakıt pili, hidrojen depolama ünitesi, hidrojen üretimi, hidrojen yakıt istasyonu ve hidrojenle çalışan araçlar gibi solar hidrojen enerji sisteminin bütün parçalarını barındıracaktır[11].

El Jrushi (İsraili bilim adamı) yüksek kapasiteli Hidrojen üretiminin Libya çöllerinde güneş enerjisi ana kaynaklı olarak yapılmasını ve Avrupa'ya ihraç edilmesini projelendirmiştir[12].

HYSOLAR projesi Almanya ile Suudi Arabistan arasında Hidrojen üretimini hedeflemektedir. Bu proje ile Suudi Arabistan da güneş enerji panelleri ile elektrik elde edilecek ve bu elektrik elektrolizde kullanılarak Hidrojen üretilcektir. Üretilen hidrojen sıvı olarak gemilerle Almanya'ya taşınacaktır. Bu proje gelecekte çölde hidrojen üretilerek Avrupa'ya ihraç edilmesinin ekonomik, ticari ve teknolojik olarak uygun ve dizayn edilebilir olduğunu göstermiştir[13].

Japon WE-NET programı (Japon Ticaret ve Endüstri Bakanlığı tarafından desteklenmektedir.) en iddialı ve büyük projelerden biridir. Bu proje için kritik Hidrojen teknolojisinin Hidrojen Enerji Sistemi amacıyla kullanılabilmesi için 2020 yılına kadar 3 milyar ABD Doları harcama yapmayı planlamaktadır[14].

3. YAKIT PİLLERİ

3.1 Yakıt Pillerinin Tarihsel Gelişimi

Yakıt pili kavramı olarak ilk defa Jules VERNE'nin "The Mysterious Island" kitabında ortaya konmuştur[15].

"...water decomposed into its primitive elements... and decomposed doubtless, by electricity... will one day be employed as fuel,... hydrogen and oxygen which constitute it, used singly or together, will furnish an inexhaustible source of heat and light, of an intensity of which coal is not capable,... Water will be the coal of the future."

"...su iki ana elementine ayrılır... ve kuşkusuz ki elektrikle ayrılabilir... bir gün yakıt olarak kullanılacak,...suyu oluşturan hidrojen ve oksijen ayrı ayrı yada birlikte kullanılır, kömür yeterli değilken su tükenmeyecek bir ısı ve ışık kaynağı olacaktır,... su geleceğin kömürü olacaktır."

Yakıt pili, ilk olarak 1839 yılında suyun elektrolizi konusunda çalışmalar yapan Sir William Grove tarafından elektrokimyasal bir tepkime olarak ortaya konmuş ve gerçekleştirilmiştir.

1923 yılında Haldane rüzgar enerjisi ve elektroliz yöntemiyle hidrojen elde edilerek sıvı hidrojen olarak depolanabileceğini ve yakıt olarak kullanılabileceğini öngörmüştür. Bu öngörü 15 yıl sonra (1938 yılında) Sikorsky tarafından teknik detayları ile ortaya konmuş ve hidrojenin havacılıkta potansiyel yakıt olacağını da belirtmiştir[16].

1920'lerin başında Lawaczek hidrojen ile çalışan motor, araba ve tren kavramının ana hatlarını ortaya koymuştur. Bu kavrama göre elektroliz yardımıyla hidrojen elde edilecek ve böylece enerji doğal gazlar gibi hidrojen boru hatları ile taşınabilecekti.

1920-1930 döneminde konu üzerine çalışmalar devam etmiştir. Aynı dönemde Eren ve ekibindeki mühendisler pek çok araç motorunu multi-fuel sistem, yani hem benzin hem de hidrojen kullanabilir hale getirmiştir[17,18].

İlk başarılı yakıt pili 1932 yılında Francis Bacon'un çalışmaları sonucu ortaya çıkmıştır. Bacon, Mond ve Langer 1959 yılında bir kaynak makinesine güç sağlayan 5 kilowattlık pratik bir sistem kurmayı başarmışlardır. Bacon'un pili daha sonra modifiye edilerek Amerikan uzay programında kullanılmıştır[19].

1950'lerin sonunda NASA (Amerikan Ulusal Uzay Dairesi) insanlı uzay araştırmaları için panellere güç sağlamak üzere araştırmalar başlatmıştır. Nükleer reaktörlerin riskli olması, pillerin ve akülerin çok ağır ve kısa ömürlü olmaları nedeniyle NASA enerji kaynağı olarak yakıt pillerine önem vermiştir. Yakıt pilleri Apollo ve Gemini uzay mekiklerinde güvenli olarak elektrik ve su sağlayarak uzay çalışmalarındaki önemlerini ortaya koymuşlardır.

Güneş enerjisi kaynaklı hidrojen ekonomisi kavramı ilk olarak 1962 yılında Bockris tarafından ortaya konmuş, 1965 yılında Justi tarafından geliştirilerek şematize edilmiş, 1970 yılında Bockris ve Triner tarafından hidrojen ekonomisi olarak isimlendirilmiş, 1971 yılında Bockris ve 1972 yılında Bockris ve Appleby tarafından formülize edilmiş, 1972 yılında Gregory tarafından ölçülmüştür[20].

1972 yılında Marchetti Nükleer Hidrojen sistemini ortaya attı. Bu sistemde izole edilmiş bir adada nükleer enerji kullanılarak üretilen hidrojen sıvılaştırılmış olarak gemilerle taşınacak ve kullanılacaktı[21].

Bockris 1962 yılında Amerikan şehirlerinin Güneş enerjisi kaynaklı hidrojen ile desteklenmesi için plan hazırlamıştır. Bu plana göre yüzer fotovoltaik paneller oluşturulacak, elektroliz ile deniz suyundan hidrojen üretilerek boru hatları ile şehirlere nakledilecekti. Japonlar tarafından PORSHE (Planned Ocean Raft System

for the Hydrogen Economy) adlandırılan benzer bir kavram 1979 yılında Escher ve Ohta tarafından ortaya konmuştur[22].

1974 yılında Veziroğlu ilk uluslararası hidrojen enerji konferansını düzenlemiştir. THEME (The Hydrogen Economy Miami Energy Conference) konferansında herhangi bir ana enerji kaynağı ile hidrojen üretimi ve fosil yakıtlar yerine kullanılabilirliği tartışılmış, fosil yakıtların tükenmesi ve bu yakıtların kullanılması ile oluşan çevre kirliliği ile ilgili soruların cevaplanmasına çalışılmıştır[23].

Başlangıçta hidrojenden yakıt olarak faydalanılması düşünülürken yakıt pilleri değil de içten yanmalı motorlarda benzin yerine hidrojen yakılması düşünülmüş ancak araştırmalar sonucunda yakıt pilleri ortaya çıkmış, günümüzde ise her geçen gün önemi daha da artmaktadır.

3.2 Yakıt Pilleri

Yakıt pilleri elektrokimyasal bir süreç sonunda doğrudan elektrik enerjisi üretirler. Bu süreçte içten yanmalı motorlarda olduğu gibi yanma evresi olmadığından temiz enerji kaynağıdır.

Yakıt pillerinde ana enerji kaynağından (Güneş, Rüzgar, Nükleer vb.) elde edilen enerji ile önceki bölümde anlattığımız hidrojen elde etme yöntemlerinden biri kullanılarak elde edilen hidrojen kullanılır. Hidrojen havadaki oksijenle yakıt pili aracılığı ile yanarak su oluşturur. Tepkime egzotermik olup ısı açığa çıkar ancak oluşan ısı çok yüksek değerde olmadığından su ile yakıt pili dışına atılır yüksek ısı üreten yakıt pillerinde ise ayrıca soğutma ihtiyacı duyulabilir.

Genel olarak bir yakıt pili şöyle çalışır;

- Anotta hidrojen molekülü elektron verir ve H^+ şekline dönüşür,

- Elektronlar dış hat ile katota doğru ilerlerken bizim ihtiyacımız olan elektrik enerjisini üretirler.
- Hidrojen iyonları yakıt hücresinin tipine göre farklılık gösteren elektrolitten geçerek katota ulaşır.
- Katota geçen hidrojen iyonu ve havada bulunan oksijen dış hattan gelen elektronlarla birleşerek su oluşturur.

Yakıt pilleri kullandıkları yakıtta, elektrolit cinsine ve çalışma sıcaklığına göre farklı isimler alır.

Yakıt pillerinin kullandıkları yakıtta göre:

1. Proton geçiren polimeri zarlı yakıt Pili (PEMYP)
2. Direk metanol yakıt pili (DMYP)
3. Alkali yakıt pili (AYP)
4. Fosforik asit yakıt pili (FAYP)
5. Erimiş karbonatlı yakıt pili (EKYP)
6. Katı oksitli yakıt pili (KOYP)
7. Rejeneratif yakıt pili (RYP)
8. Silindirik yakıt pili (SYP)

Yakıt pillerinin çalışma sıcaklıklarına göre:

1. Düşük sıcaklıkta çalışan yakıt pilleri (0-100⁰C)
2. Orta sıcaklıkta çalışan yakıt pilleri (100-500⁰C)
3. Yüksek sıcaklıkta çalışan yakıt pilleri (500-1000⁰C)

Yakıt pillerinin kullandıkları elektrolite göre:

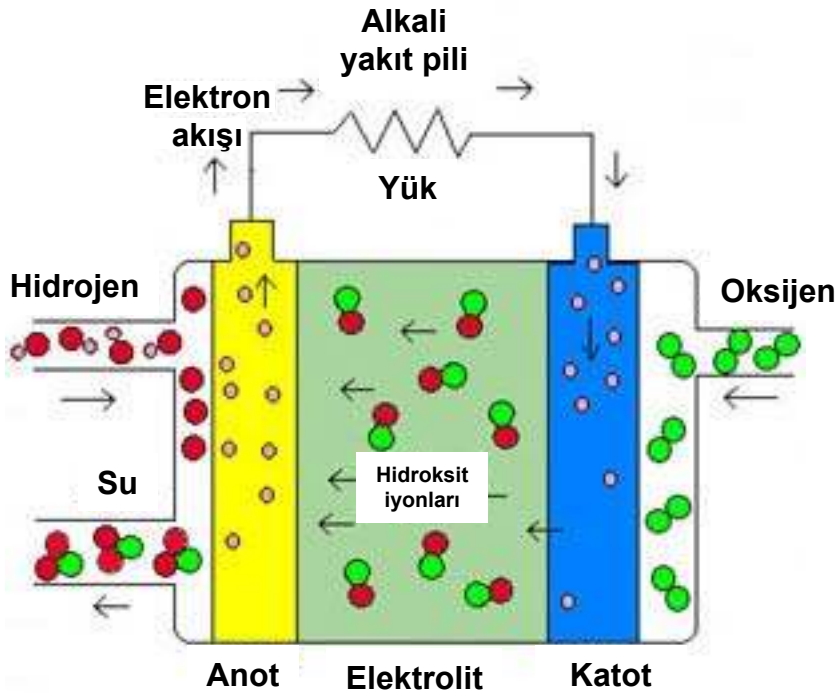
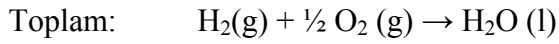
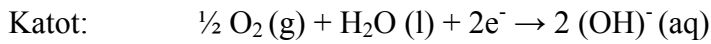
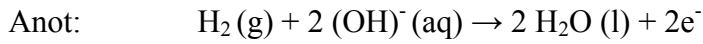
1. Alkali elektrolitli yakıt pilleri
2. Katı polimerili yakıt pilleri

3. Fosforik asit yakıt pilleri
4. Erimiş karbonatlı yakıt pilleri
5. Katı oksitli yakıt pilleri

3.3. Kullandıkları Elektrota Göre Yakıt Pilleri

3.3.1. Alkali yakıt pili (AFC)

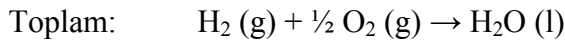
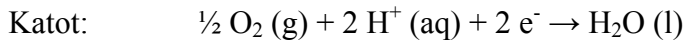
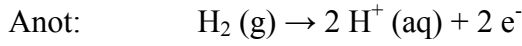
Elektrolit olarak %85 konsantrasyonunda KOH (potasyum hidroksit) kullanılır ve çalışma sıcaklığı 250°C dir. %35-50 konsantrasyonda KOH kullanıldığında çalışma sıcaklığı 120°C altına düşer. Katalizör olarak Ni (nikel), Ag (gümüş), metal oksitler veya özel bazı metaller kullanılır.



Şekil 3.1. Alkali yakıt pili[24]

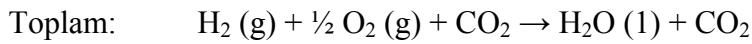
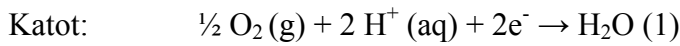
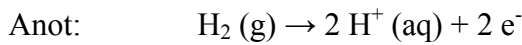
3.3.2. Polimer elektrolit veya proton değiştiren zar yakıt pili (PEMFC)

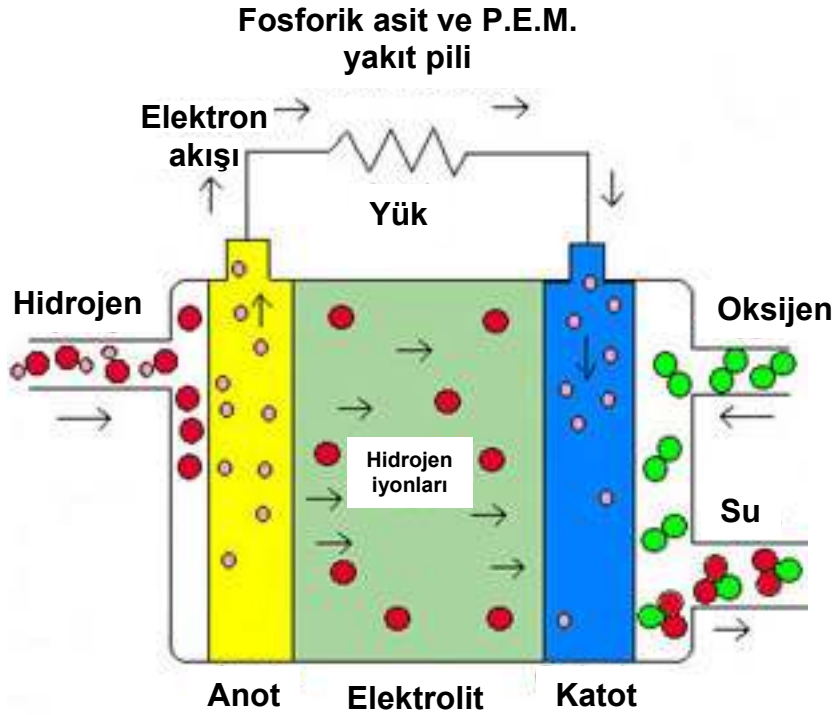
Elektrolit olarak yapısında flor bulunduran ve sulfonik asit polimerleri gibi iyon değiştirebilen çok ince polimer zar kullanılır. 12-20 mikron seviyesinde kalınlıkları vardır. Zar incelidikçe verimliliği artar. Katalizör olarak anot ve katotta Pt (platin) veya Pd (paladyum) gibi metaller kullanılmaktadır. Çalışma sıcaklığı genellikle 100°C altında olup çalışma sıcaklığı 60-80°C dir.



3.3.3. Fosforik asit yakıt pili (PAFC)

Elektrolit olarak ~%100 fosforik asit kullanılır. Çalışma sıcaklığı 150-220°C dir. Katalizör olarak anot ve katotta Pt (platinum black) veya Pd (paladyum) kullanılmaktadır.

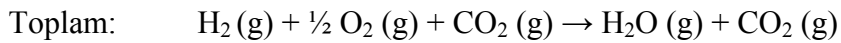
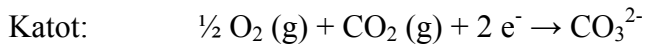
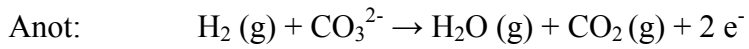


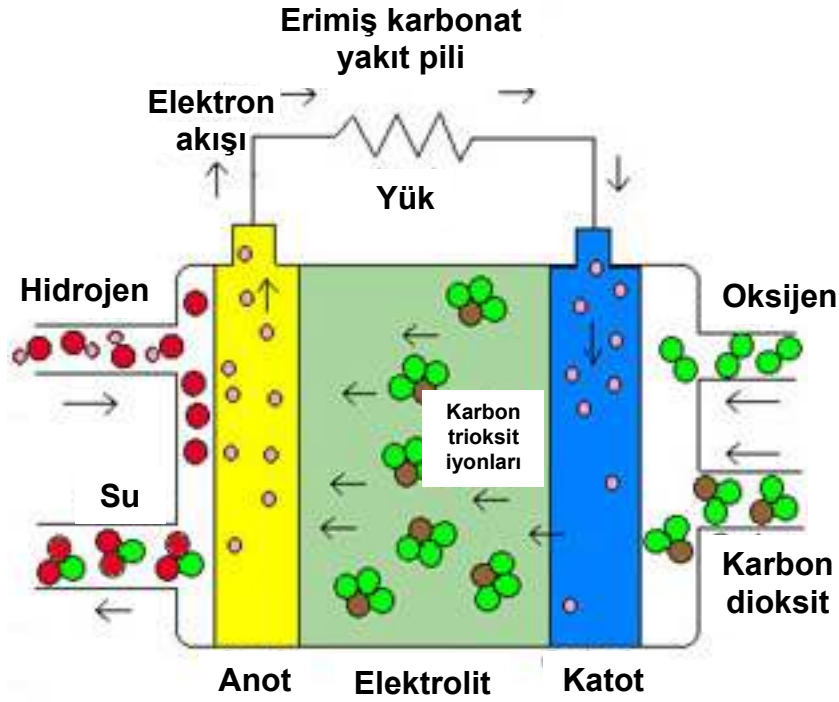


Şekil 3.2. Polimer elektrolitik zar ve fosforik asit yakıt pili [24]

3.3.4. Erimiş karbonat yakıt pili (MCFC)

Elektrolit olarak Li (lityum), Na (sodyum), K (potasyum) gibi alkali karbonatlarının LiAlO_2 biçimindeki seramikleri kullanılır. Çalışma sıcaklığı $600-700^\circ\text{C}$ dir. Katalizör olarak anotta Ni (nikel) katotta ise nikel oksitler kullanılmaktadır.

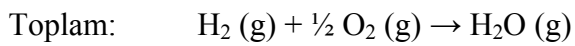
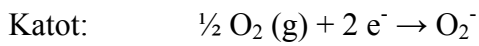
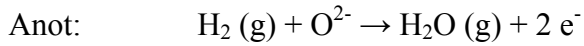


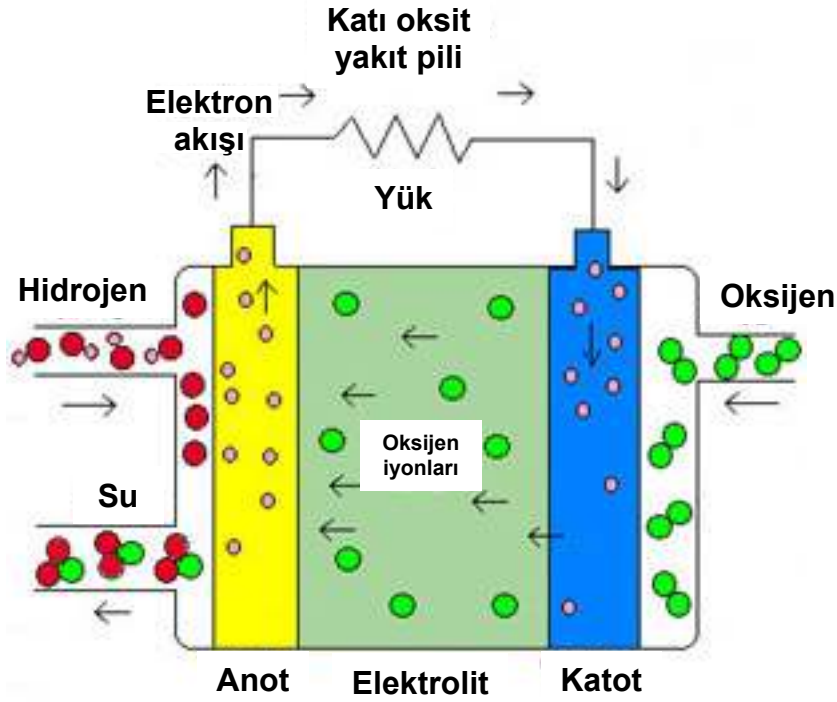


Şekil 3.3. Erimiş karbonat yakıt pili [24]

3.3.5. Katı oksit yakıt pili (SOFC)

Elektrolit olarak katı, gözeneksiz metal oksitler genellikle Y_2O_3 ile desteklenmiş ZrO_2 kullanılır. Çalışma sıcaklığı $650-1000^\circ C$ dir. Katalizör olarak anotta $Co-ZrO_2$ veya $Ni-ZrO_2$ katotta ise Sr ile desteklenmiş $LaMnO_3$ kullanılır[25].





Şekil 3.4. Katı oksit yakıt pili[24]

Yakıt pilleri arasında üzerinde en çok araştırma yapılan PEM ve SOFC'dir. Katı oksit yakıt pilleri yüksek ısıda çalışan (650-1000 °C) ancak yüksek enerji kapasitesine sahip yakıt pilleridirler.

Yüksek ısıda çalışmaları nedeniyle taşınabilir platformlarda kullanılmaları mümkün olmamaktadır. Ancak hem çalışma ısısından ısıtma amacıyla faydalanılabilmesi hem de doğalgazların hiçbir işleme tabi olmadan katı oksit yakıt pillerinde yakıt olarak kullanılmaları da ev ve ofis uygulamaları için avantaj yaratmaktadır.

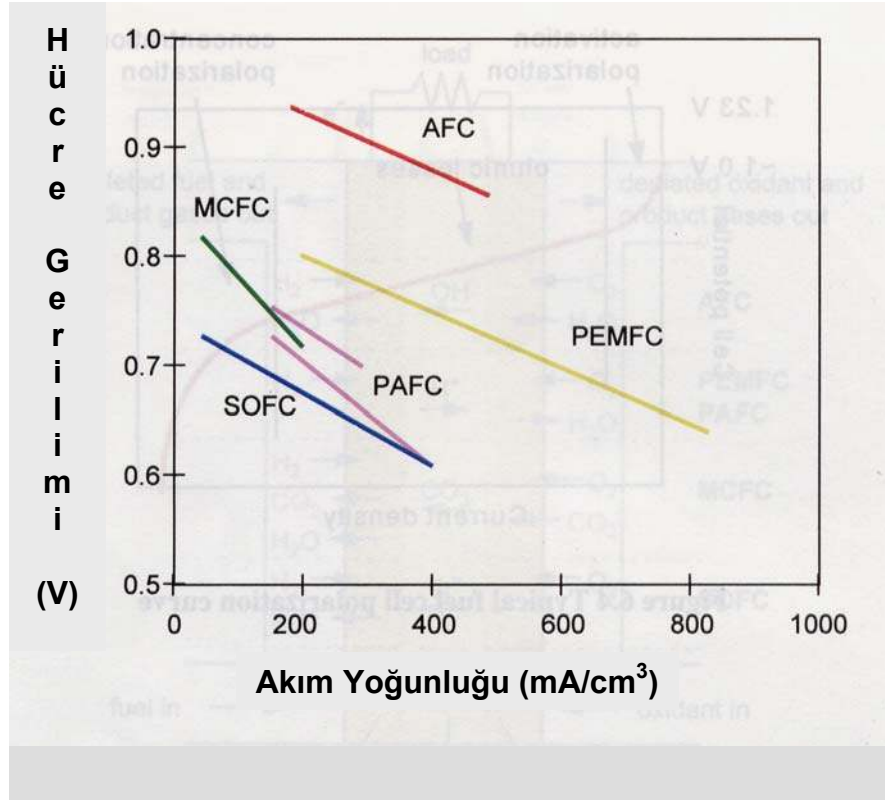
Yüksek enerji kapasiteleri nedeniyle katı oksit yakıt pillerinin yaygın bir kullanım alanı da elektrik santralleri olacağı tahmin edilmektedir.

Çizelge 3.1. Yakıt pilleri genel özellikleri[1]

	Fosforik asit yakıt pili	Alkali yakıt pili	Erimiş karbonat yakıt pili	Katı oksit yakıt pili	Proton değiştiren zar yakıt pili
Elektrolit	Fosforik asit	Potasyum hidroksit	Karbonat	Çinko üzerine tutturulmuş Yitrium (YSZ)	İyon değiştirici polimer zar
Çalışma sıcaklığı(°C)	200	100-250	600-700	650-1000	50-80
Yük taşıyıcı	H ⁺	OH ⁻	CO ₃ ⁻²	O ₂ ⁻²	H ⁺
Hücre malzemesi	Karbon	Karbon	Seramik	Nikel, paslanmaz çelik	Karbon
Güç yoğunluğu (W/kg)	120-180	35-105	30-40	15-20	350-1500
Katalizör	Platin	Nikel, gümüş	Nikel	Zirkonyum	Platin

Yakıt pillerinin genel yapıları Çizelge 3.2’de verilmiştir. Çizelgede bütün yakıt pillerinin çalışma sıcaklıkları incelendiğinde en düşük ve pratik uygulamanın en kolay olduğu soğutma için özel yapı oluşturulmasına en az ihtiyaç duyulananın proton değiştiren zar yakıt pili olduğu görülmektedir.

Şekil 3.9’da yakıt pilleri polarizasyon eğrileri görülmektedir. Grafikte verilen eğriler direnç kayıplarının olduğu yani gerçekte bizim bu pilleri çalıştırmamız gereken bölgeyi göstermektedir. Proton değiştiren zar yakıt pilinin akım değerinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

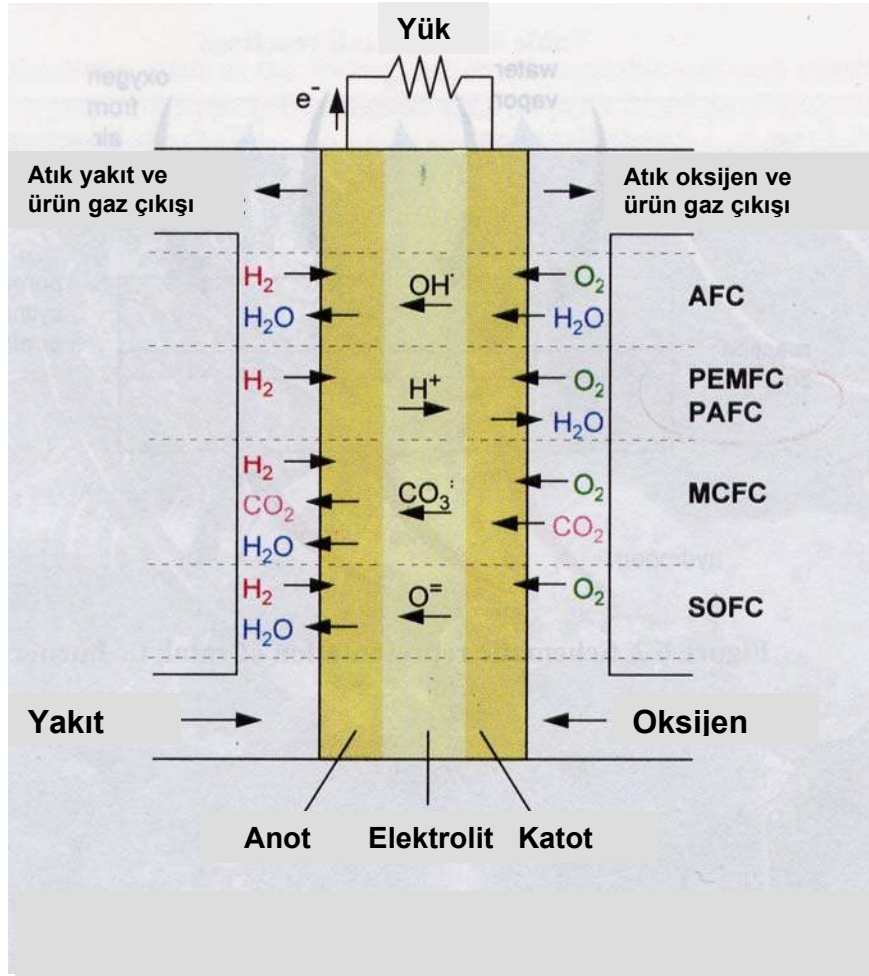


Şekil 3.5. Yakıt pilleri polarizasyon eğrileri [1]

Çizelge 3.3’de yakıt pillerinin kimyasal tepkimeleri görülmektedir. Kimyasal tepkimeler yakıt pillerine göre değiştiği gibi Çizelge 3.2’den görüldüğü gibi akım taşıyıcı iyon da değişmektedir.

Çizelge 3.2. Yakıt pilleri kimyasal tepkimeleri[1]

Yakıt pili tipi	Anot tepkimesi	Katot tepkimesi
Alkali	$H_2 + 2 (OH)^- \rightarrow 2 H_2O + 2 e^-$	$\frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2 e^- \rightarrow 2 (OH)^-$
Polimer elektrolit	$H_2 \rightarrow 2 H^+ + 2 e^-$	$\frac{1}{2} O_2 + 2 H^+ + 2 e^- \rightarrow H_2O$
Fosforik asit	$H_2 \rightarrow 2 H^+ + 2 e^-$	$\frac{1}{2} O_2 + 2 H^+ + 2 e^- \rightarrow H_2O$
Erimiş karbonat	$H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2 e^-$	$\frac{1}{2} O_2 + CO_2 + 2 e^- \rightarrow CO_3^{2-}$
Katı oksit	$H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2 e^-$	$\frac{1}{2} O_2 + 2 e^- \rightarrow O_2^-$



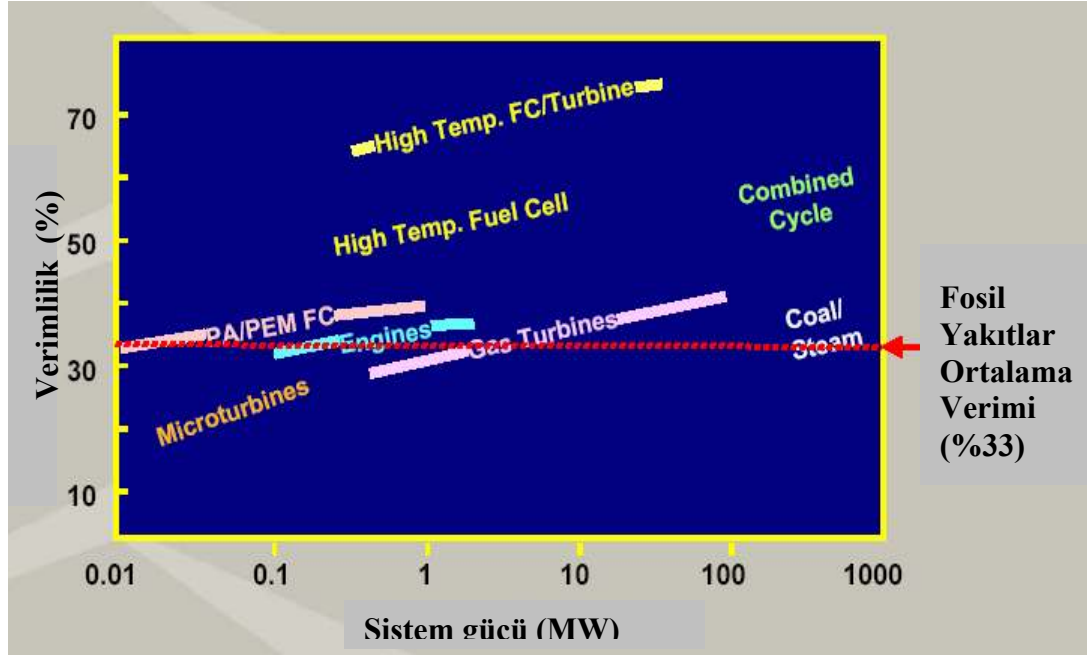
Şekil 3.6. Yakıt pilleri çalışma prensipleri

Şekil 3.10’da tüm yakıt pillerinin akım taşıyıcı iyonları, tepkimeye giren moleküller ve katalizörler görülmektedir. Burada dikkati çeken unsur tüm yakıt pillerinin Anot-Elektrolit-Katot yapısında olmasıdır.

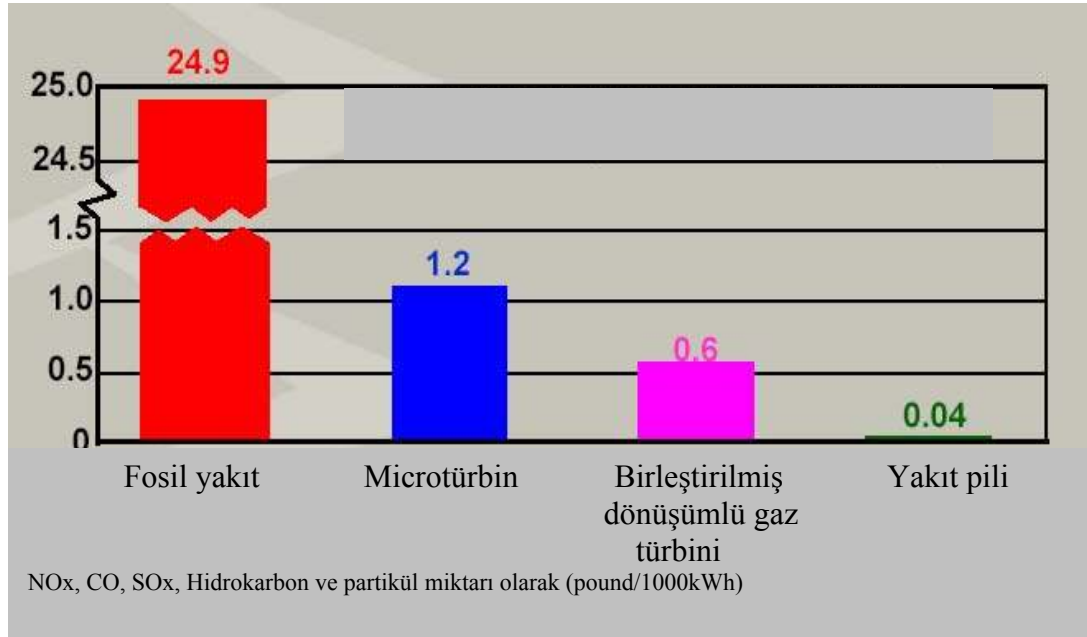
Şekil 3.11’de yakıt pillerinin verimliliği ortaya konmaya çalışılmıştır. Fosil yakıtların verimliliğinin %33 olduğu göz önünde tutulursa tüm yakıt pillerinin fosil yakıtlardan daha verimli olduğu görülmektedir.

Şekil 3.12’de ise yakıt pilleri ile diğer enerji kaynaklarının atık gaz karşılaştırması yapılmıştır. Grafikten görüleceği gibi yakıt pillerinin atık gaz neredeyse 0 (0,04) iken

fosil yakıtların 24,9 (pound/1000 kWh)dur. Bu durum da yakıt pillerinin dünya için ne denli önemli temiz enerji çevrim aracı olduğunun açık bir ispatıdır.



Şekil 3.7. Yakıt pillerinin verimliliği [26]



Şekil 3.8. Yakıt pilleri ile diğer enerji kaynaklarının atık gaz karşılaştırması

4. PEM YAKIT PİLİ, ÇALIŞMASI, VERİMLİLİK HESABI VE ÖLÇÜMLERİ, PEM TABANLI ENERJİ SİSTEMİ KURULMASI VE YAKIT PİLLERİNİN GELECEĞİ

4.1. Polimer Elektrolit veya Proton Değiştiren Zar Yakıt pilinin Çalışması

Temel olarak ince iyon (H^+) ileten polimer zar üzerine kaplanmış teflon gibi uygun maddeyle yapılmış anot ve katotları olan bunların üzerinde elektron toplayıcıları bulunan yakıt pilidir.

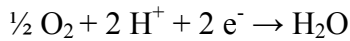
Polimer elektrolit yakıt pilinden elektrik üretimi şu şekilde gerçekleşmektedir:

Anot tarafından gelen hidrojen zar üzerindeki katalizöre gelir. Katalizörle temas eder ve elektron vererek (H^+) iyonuna dönüşür.

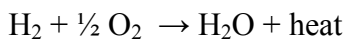


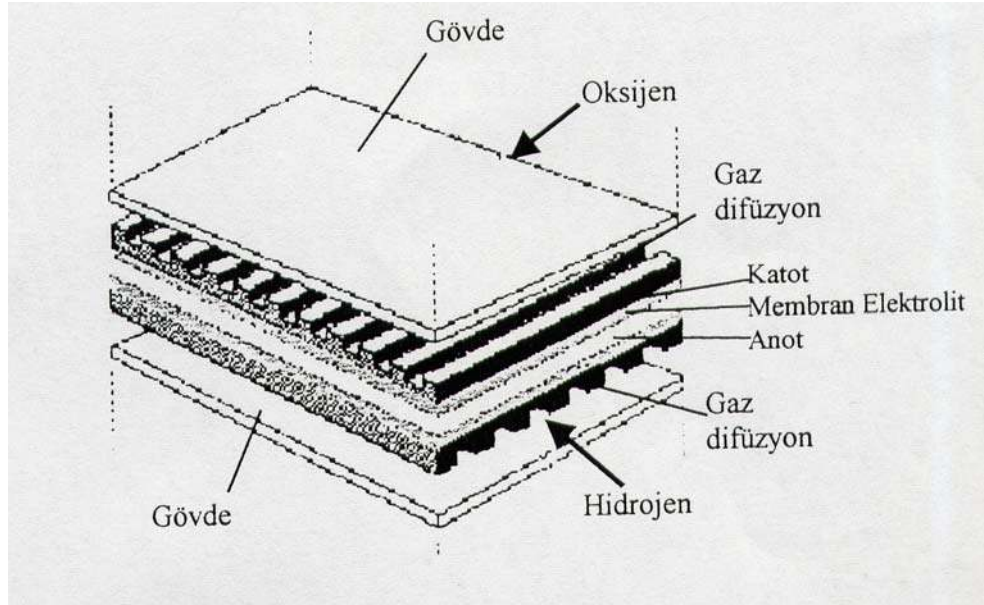
İyon haline dönüşen hidrojen sadece hidrojen iyonunu geçiren zar boyunca ilerleyerek katoda ulaşır. Bu sırada hidrojen tarafından verilen elektron dış devreden dolaşarak bizim ihtiyaç duyduğumuz elektrik akımını üretir.

Katotta hava içerisinde bulunan oksijen katotta bulunan platin aktif yüzeye ulaşır. Platin aktif yüzeyde zar içerisinde geçen hidrojen iyonu ve dış devreden gelen elektronlar ile birleşerek suyu oluşturur.



Toplam tepkime



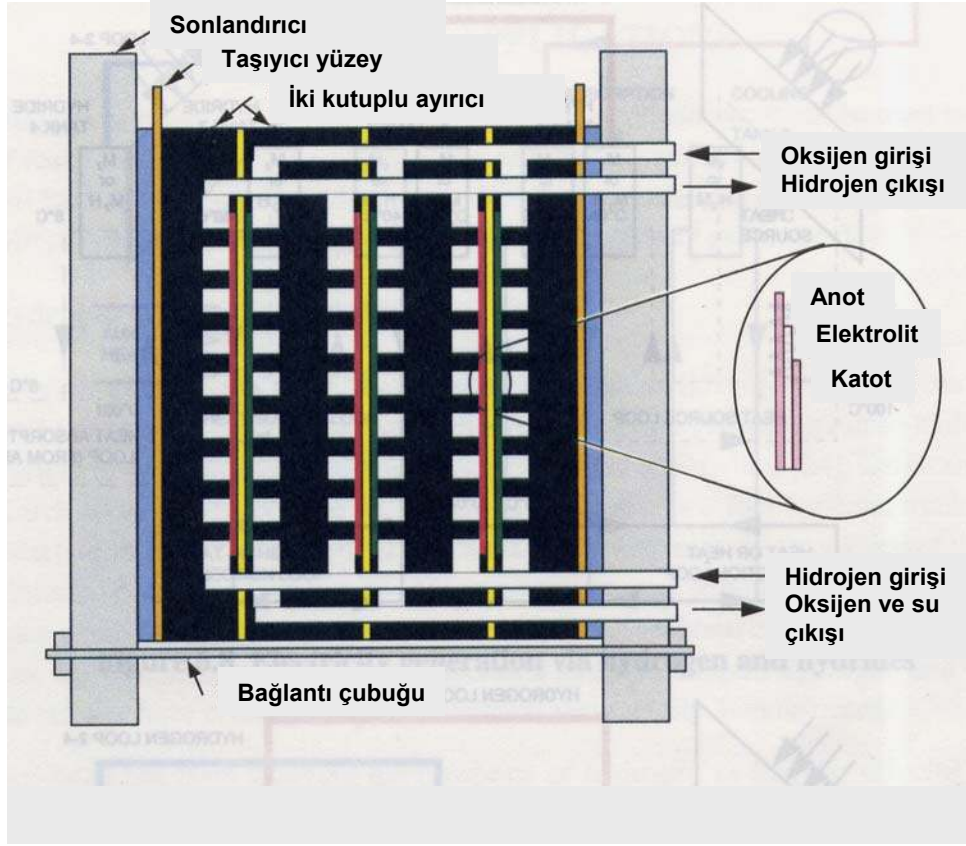


Şekil 4.1. PEM yakıt pili yapısı

Şeklinde ifade edilir. Tepkime sonucunda oluşan ısı katottan sistemi terk eder. Oluşan ısı ise su ile sistemden uzaklaştırılır. Oluşan su yoğunluğa bağlı olarak ısıtma amacıyla kullanılabileceği gibi uzay çalışmalarında olduğu gibi içme suyu olarak da kullanılabilir. PEM yakıt pili sistemi eğer hibrit bir yapıda ise dışardan soğutma ihtiyacı duyulabilir.



Resim 4.1. 10-12V 1,5 kW güç üreten yakıt pili yığını



Şekil 4.2. Tipik yakıt pili yığını[1]

PEM yakıt pilinden elde edilecek Gerilim ideal olarak 1,229V'tur (1 atm. 25°). Ancak uygulamada bu değer ortalama 0,6V'a kadar düşmektedir. İstenilen Gerilim ve akım değerine ulaşmak için PEM yakıt pilleri seri ve paralel olarak bağlanır.

Çizelge 4.1. Polimer zarların bazı fiziksel-kimyasal özellikleri

Zar	Kalınlık (μM)	Su miktarı (%)	Geçirgenlik (C/cm)
Nafion 117	175	34	0.020
Nafion 115	100	35	0.050
Nafion 112	60	36	0.100
Dov	125	54	0.114
Flemion	120	35	0.076
BAM3G	120	87	-
NASTAI	170	60	-
NASTATHI	120	30	-
Aciplex-S1104	120	43	0,108
MF-4CK	120	40	-

4.2. Yakıt Hücresinin Verimlilik Hesabı

Sistemin verimliliği, sistemden alınan enerjinin, sisteme verilen enerjinin miktarına olan oranıdır. Verimlilik, Termodinamik (ideal) ve gerçek olarak hesaplanmaktadır. Termodinamik (ideal) verimlilik (η_T) ısıl yani ısı veren yapıdadır. Isı tekniğinde ideal termik dönüşüm faktörü reaksiyonun yarattığı maksimum işin entalpiye oranıyla gösterilir.

$$(\eta_T) = \Delta G / \Delta H = 1 - (T \Delta S / \Delta H) .$$

Elektrokimyasal eleman için bu denklemi doğru kabul edersek aşağıdaki eşitliği yazmamız mümkündür

$$(\eta_T) = - nFE_e / (\Delta H).$$

Elemanda oluşan reaksiyon $\Delta H < 0$ olduğunda

$$\Delta S < 0 \quad \eta_T < 1,$$

$$\Delta S = 0 \quad \eta_T = 1,$$

$$\Delta S > 0 \quad \eta_T > 1,$$

Çizelge 4.2. Bazı elamanlar için (η_T) değerleri

Akım doğuran reaksiyon	Ee,V (Dengede)	($\partial Ee/\partial T$) ₂₉₈ Mv/K	η_T (İdeal)	η_e (Elektrik)
$H_2 + 1/2O_2 = H_2O_s$	1,23	-0,85	0,83	0,978
$H_2 + 1/2O_2 = H_2O_g$	1,19	-0,23	0,94	-
$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O_g$	1,04	-0,01	1,0	-
$C + O_2 = CO_2$	1,02	0,01	1	0,95
$C + 1/2 O_2 = CO$	0,71	0,47	1,2	0,334
$CO + 1/2 O_2 = CO_2$	1,33	-0,45	0	0,93

Görüldüğü gibi bazı elamanların bu metot ile ideal termodinamik verimliliği hesaplandığında, verimliliğin birden büyük olduğu görünmektedir. Buda termodinamik kurallarına terstir. Eğer $\Delta S > 0$ olduğu durumu teorik olarak elemanın çevreden ısı yuttuğu ile izah edilmesi mümkündür. Buna göre elemanın ideal termik verimlilik denklemi, bu durum için çevreden ısı yutulduğunu göstermektedir.

$$Q_{cev.} = - T\Delta S.$$

İçten yanmalı motorlarda ideal termodinamik verimliliğini, η_T^T

$$\eta_T^T = (T_2 - T_1) / T_2$$

Burada T_1 ve T_2 – İçten yanmalı motorun sıcaklık aralığını göstermektedir.

Hesaplamalar göstermektedir ki (hatta 1500⁰C bile) içten yanmalı motorların η_T değerleri yakıt pillerinden %30 - %40 düşüktür.

Genel verim η_e dersek, sistemden ayrılan çıkış alanının $e_{cık}$. Aygıtı dahil olan çıkış alanının $e_{gır}$. Oranını göstermektedir.

$$\eta_e = \Sigma e_{cık} / \Sigma e_{gır}.$$

Burada - $e_{cık}$ ve $e_{gır}$ uygun olarak çıkış alanının çıkış ve giriş göstermektedir. Çıkış (iş görme kabiliyeti) bir kısım enerjinin sınırsız olarak işe veya bir başka enerji formasına dönüşmesini göstermektedir.

Elemanlar için, ideal çıkış verimi her zaman bire eşittir. İdeal çıkış veriminin aşağıdaki denklemle ele alınması mümkündür.

$$H_e^1 = nFE_e / (e_o + e_i)$$

Bu durumda e_o , e_i - reaksiyon ürününde oksitlenme ve indirgenmedir.

4.3. Yakıt Pillerinin Gerilim/Akım Karakterizasyonları

Yakıt pillerini karakterize eden esas parametreler gerilim, akım dolayısıyla da güç dür. Volt/Amper karakteristiğine geçmeden önce normal elektrot potansiyelini ve elektrokimyasal sistemlerde kutuplanma tiplerini kısaca tanımlayalım.

Her bir elektronik iletkenliğe sahip metal ve yarı iletken malzeme elektrolitle temas halinde olduğunda, bu malzemenin elektrolitle kontak sınırında mikro kondansatör oluşur. Söz konusu mikro kondansatör elektrik yüklerinin yeni bir dizilişi sonucudur.

Bir başka deyişle, iki çeşitli faz arasında (hava-metal, metal-metal, metal-elektrolit v.b.) oluşan kontak potansiyel farkını göstermektedir ki buda bir metal ve veya

iletken malzeme ile iyonik elektrolit arasında oluştuğunda daha açıkça görünmektedir.

Bu potansiyel farkına elektrot potansiyeli denir (E_0) ve herhangi bir başvuru (kıyaslama) elektroduna göre ölçülebilir. Çeşitli elektrot tipleri mevcut olduğundan (metalik, gaz, redox v.s.) her bir hal için bu hale özel formülle hesaplanır.

Her bir yakıt pili basit halde iki elektrottan oluşur.

Örneğin H_2 | O_2 yakıt pili hidrojen ve oksijen yarı hücrelerde oluşur.

PEM polimer elektrolit zar kullanıldığı için anot (-) H_2 | Katalizör | PEM oluşur. Her iki elektrotta kullanılan gazların basıncına bağlı olarak açık devre koşullarında hidrojen ve oksijen arasında olan potansiyel farkı (elektromotor kuvveti) en yüksek değerde olur :

$$E = E^0 + (RT)/(2F) \ln[(P_{H_2} P_{O_2}^{1/2} / P_{H_2O})]$$

Burada;

P - kısmi basıncı göstermektedir.

$E^0 = -\Delta G^0 / nF$ ise standart elektromotor kuvvetidir.

Elektrotlar arasındaki potansiyel farkına yakıt pillerinin gerilimi denir.

Yakıt pillerinde oluşan gerilim açık devre, denge durumu ve sabit gerilimi olarak bir birlerinden farklılaşırlar.

Eğer bu fark açık devre halinde ise buna açık devre gerilimi denir ve bu halde en yüksek değere ulaşmaktadır.

Eğer elektrotlarda denge hali olmuşmuşsa, bu elektrot da oluşan potansiyele denge halinde ki potansiyel denir ve $U_{a.d.} = E_{denge}$ şekilde yazmamız mümkündür.

Fakat genelde elektrotlarda denge hali oluşmaz ve bu durumda oluşan potansiyeller genelde durağan, karışık, statik v.s. şeklinde adlandırılır.

Sistem elektik üretirken veya sistemden elektrik akımı geçerken sistemin gerilimi elektro motor kuvvetinden farklı olur.

Pil Halinde $\rightarrow U = E_e + \Delta E_e - \Delta U_{om}$

Burada :

ΔE_e -akım geçerken elektrotun toplam kutuplanmayı tanımlıyor.(akım altında elektrot potansiyeli ile akım olmadan oluşan elektrot potansiyelleri arasındaki fark.)

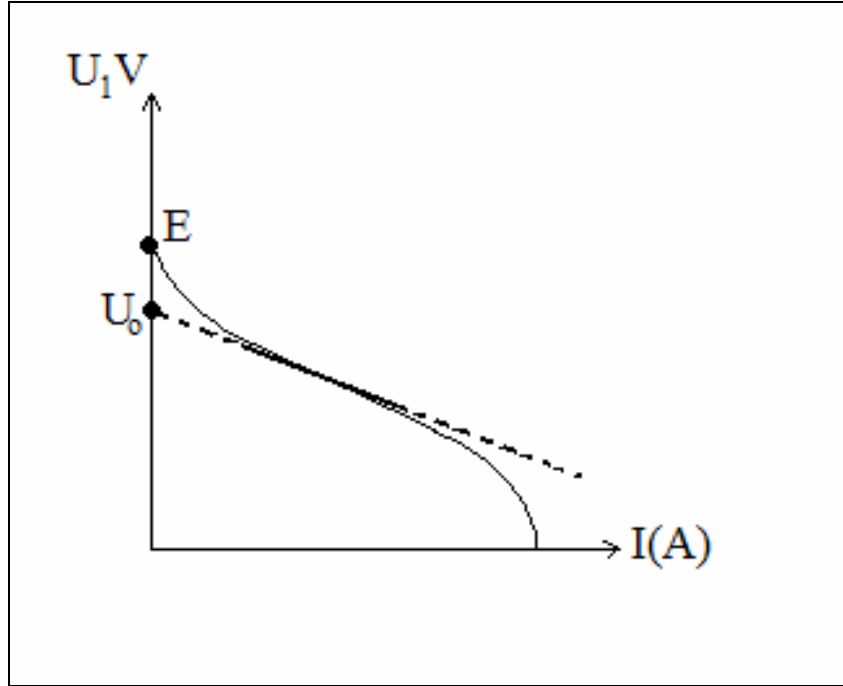
Bu farkın oluşma nedeni ise akım altında olan elektrotta oluşan elektrokimyasal, kimyasal veya difüzyon süreçleridir.

$E_e \rightarrow$ denge halinde elektrot potansiyelleri.

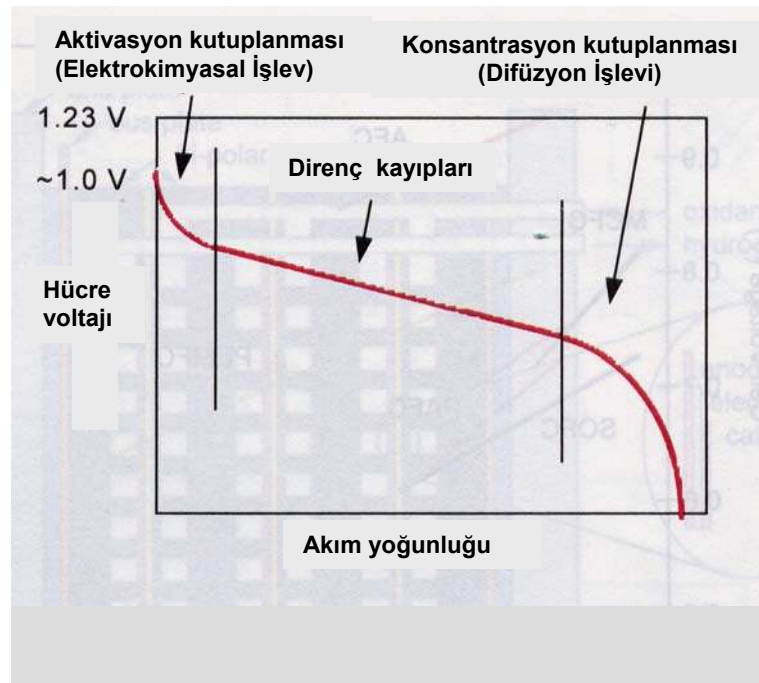
$\Delta U_{om} \rightarrow$ Akımın herhangi bir aktif dirençten geçtiğinde harcanan gerilim payıdır.

Pratikte yakıt pilinin tanımlaması için volt-amper eğrisinden yararlanılır.

Bu eğri aşağıdaki gibidir;



Şekil 4.3. Yakıt pili gerilim-akım karakteristik eğrisi



Şekil 4.4. PEM yakıt pili kutuplanma eğrisi

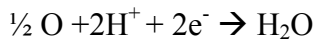
Grafikten görüldüğü gibi 3 bölge mevcuttur;

Birinci bölge: Gerilimin çok hızlı değiştiği durumdur. Bölgede kutuplanmanın ve dolayısıyla gerilimin nedeni elektro kimyasal sürecin en düşük hızda olmasıdır. Bu halde akımla gerilim değişmesi arasındaki fonksiyon üstel olarak değişir.

Bu bölgede Anotta hidrojenin iyonlaşması:



Katotta:



İndirgenme reaksiyonlarının oluştuğunu söylememiz mümkündür.

İkinci bölge : Aktif dirençten dolayı gerilimin azalmasını gösterir. Azalma eğrisi doğrusal olarak azalan fonksiyon ile tanımlanabilir. .

Üçüncü bölge : Gerilim hızlı Akımın ise çok düşük hızla değiştiği bölgedir. Bunun nedeni ise her iki elektrotun difüzyon ve elektrokimyasal kutuplanması ile izah edilmektedir. Bu bölümde akım yüksek olduğu için zar içerisinde geçiş çok hızlanmakta ve neredeyse zar yokmuş gibi atomlar anotdan katoda geçmekte yani düfize olmaktadır.

Her üç hal için ayrı-ayrı akımla akım-gerilim arasında olan analitik ifadeler aşağıdaki gibidir.

Elektro kimyasal işlev en zayıf hızlı aşama olduğundan ;

$$J = J_0 \left\{ \exp \left[\left(\frac{\beta n F}{RT} \right) \Delta E_{elk} \right] - \exp \left[\left(\frac{-\alpha n F}{RT} \right) \Delta E_{elk} \right] \right\}$$

Burada J_0 denge potansiyelinde akım yoğunluğu olup aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$J_0 = NFk_{OK} C_R \exp \left[\left(\frac{\beta nF}{RT} \right) E_r \right] = NFk_R C_{ox} \exp \left[\left(\frac{-\alpha nF}{RT} \right) E_r \right]$$

Akım yoğunluğunun büyük değerlerinde;

$$J = J_0 \exp \left[\left(\frac{\beta nF}{RT} \right) \Delta E_{ex} \right] \text{ veya } \Delta E_x = \frac{-2,3RT}{\beta nF} \log \frac{2,3RT}{\beta nF} \log J = a + b \log J$$

Görüldüğü gibi elektrokimyasal kutuplanması akım yoğunluğunun logaritmik bir fonksiyonudur.

Kimyasal polarizasyonun neticesinde (ΔE_K) ile akım yoğunluğu arasında bağıntı

$$\Delta E = + \frac{RT}{nF} \ln \left(1 - \frac{i}{i_{lim}} \right)$$

Burada i_{lim} – akımın yoğunluğunun limit değerini gösterir.

$$i_{lim} = nFkV_{kim}C^m \text{ uygun geliyor.}$$

Burada $V_{kim} \rightarrow$ kimyasal reaksiyonunun hızını göstermektedir.

$k \rightarrow$ reaksiyon hız sabiti

$C \rightarrow$ kimyasal malzemelerin yoğunluğu

$m \rightarrow$ reaksiyonun üssü

Difüzyon polarizasyonunun nedeni reaksiyon sonucu oluşan malzemelerin elektrot yüzeyinde difüzyon edilmesinin çok düşük hızda olmasıdır.

Bu halde polarizasyonla akım yoğunluğu arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$\Delta E = \frac{2,3RT}{nF} \log \left(1 - \frac{J}{J_D} \right)$$

Burada J_D = difüzyon akımın limit değeri olup aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$J_D = nFDC_V / \delta$$

Burada D difüzyon katsayısı olup birçok iyon ve moleküller için yaklaşık $10^{-9} \text{ m}^2/\text{sn}$ dir.

$C_V \rightarrow$ kimyasalların hacimsel konsantrasyonları.

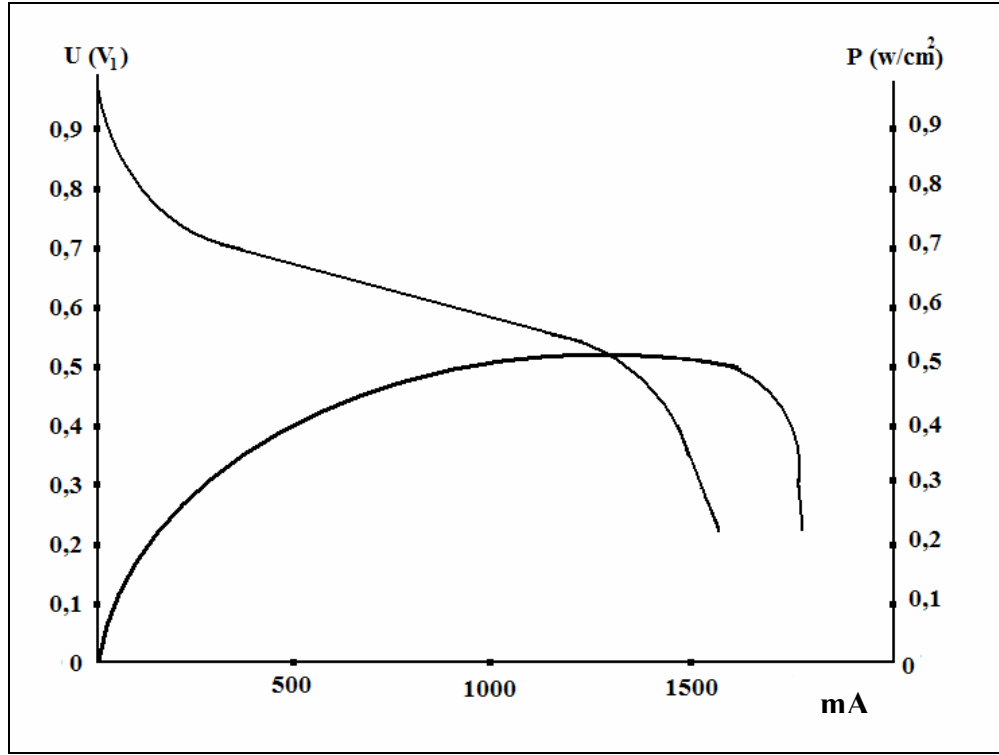
$\delta \rightarrow$ difüzyon tabakasının kalınlığıdır.

4.4. Yakıt Pilinin Gücü

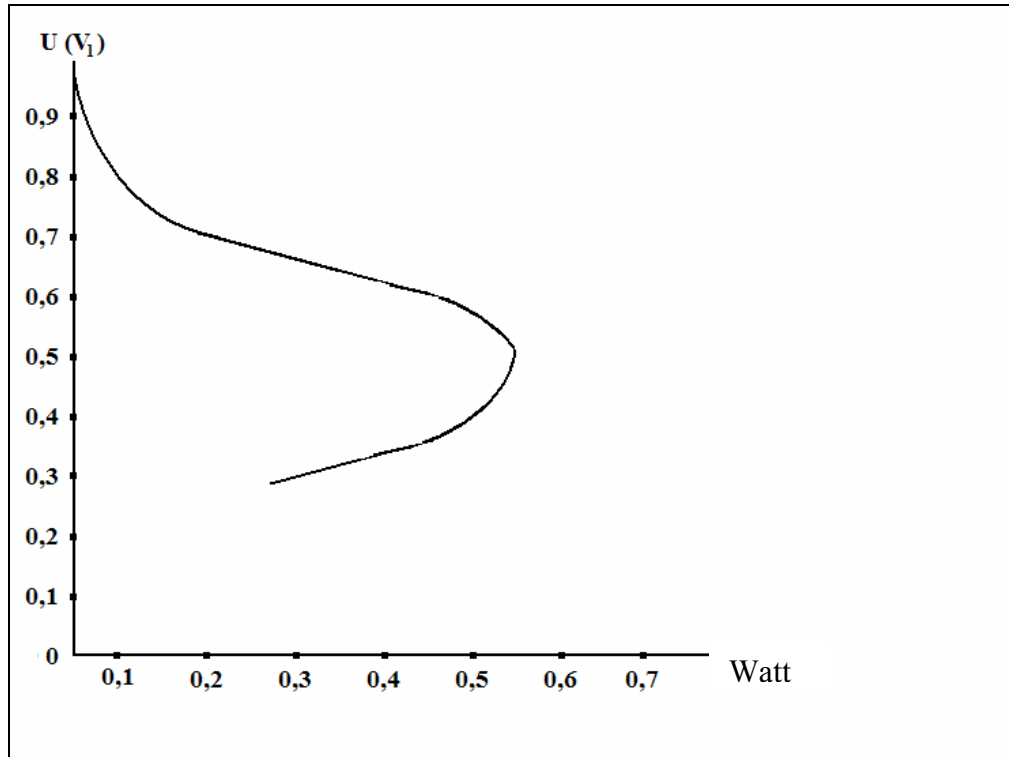
Elektriksel güç ifadesi $P = V.I$ dir.

Eğer yakıt pilinin gerilim/akım eğrisi belli ise o zaman eğrinin istenen noktasında güç hesaplanabilir. Aslında gerilim/akım eğrisinde hücre gerilimi ile akım yoğunluğu arasında grafik oluşturulduğunda bu grafik üzerinde P'yi watt/cm^2 yani yüzeyin güç çekimi diğer bir ifadeyle yakıt pilinin gücü gözükür.

Şekil 4.5'den görüldüğü gibi maksimum güç yaklaşık olarak 0,5 watt'dır.



Şekil 4.5. Yakıt hücresi yüzeyin güç çekimi grafiği

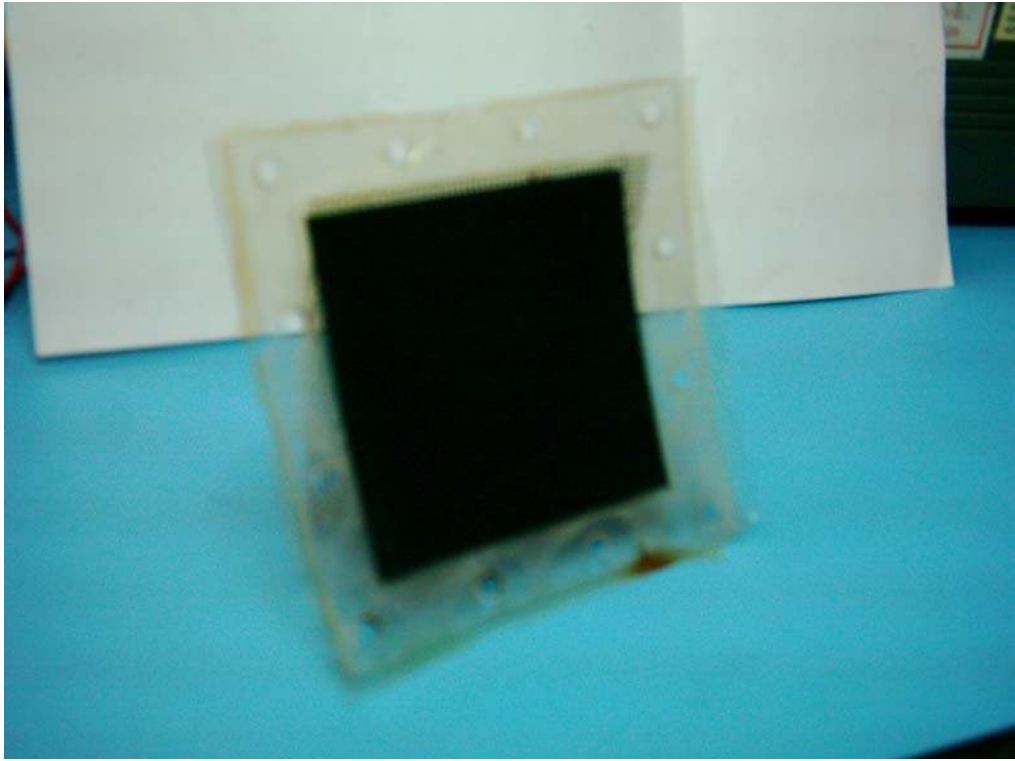


Şekil 4.6. Hücre gerilimi ile güç arasındaki ilişki grafiği

4.5. PEM Hücresi Ölçümleri

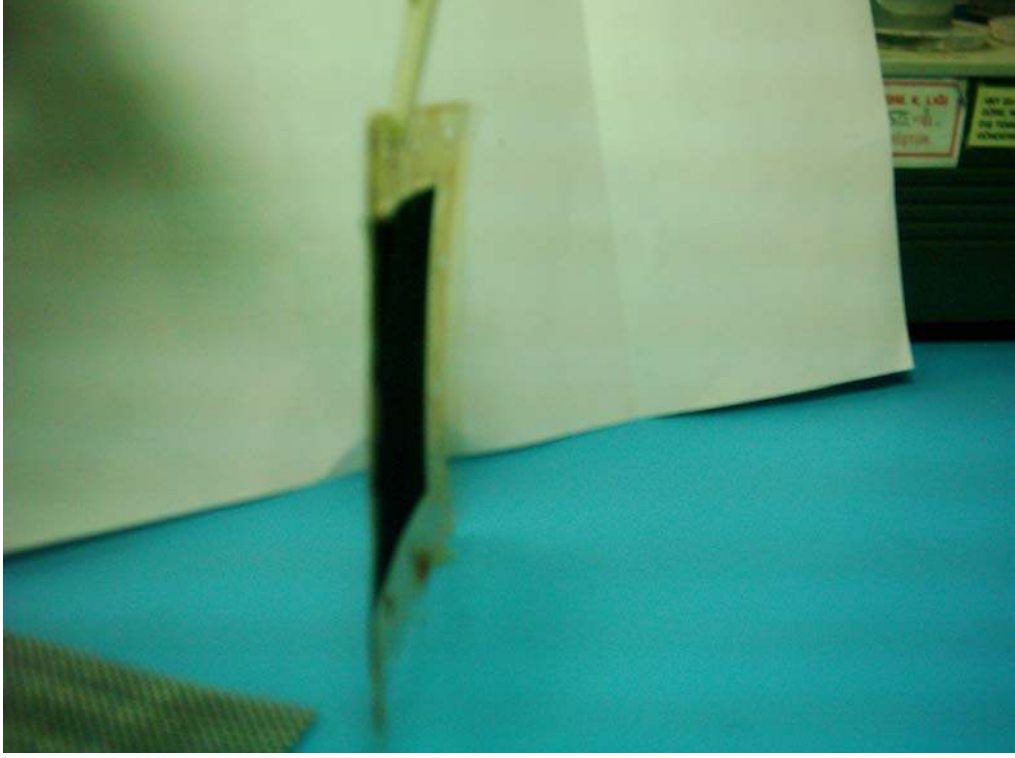
Önceki kısımda PEM yakıt pilinin çalışma şekli kimyasal formüllerle izah edilerek gerilim/akım karakteristiği ve güç eğrisi çizilmiştir. Bu bölümde ise deneysel ölçümlerle analiz yapılmaya çalışılacaktır.

Analiz için resimde görülen 7x7 cm² Nafion-117 zar kullanılmıştır.



Resim 4.2. Deneyde kullanılan PEM yakıt pili

Deney için elektroliz yoluyla elde edilen Hidrojen kullanılmış 2 ölçü aletiyle (Fluk77) anlık olarak Gerilim ve akım değerleri okunarak kayda geçirilmiştir. Yük olarak ayarlı direnç kutusu (1433-B Decade Resistor.) kullanılmıştır. Ancak minimum değer 1 Ω olduğu için en düşük değer 0,01 Ω dirence sahip kablo kullanılarak ölçülmüş olup yakıt pilinin iç direnç değerine yakın bir değer olduğu düşünülmektedir. Oluşturulan düzenek Resim 4.4’de görülmektedir.



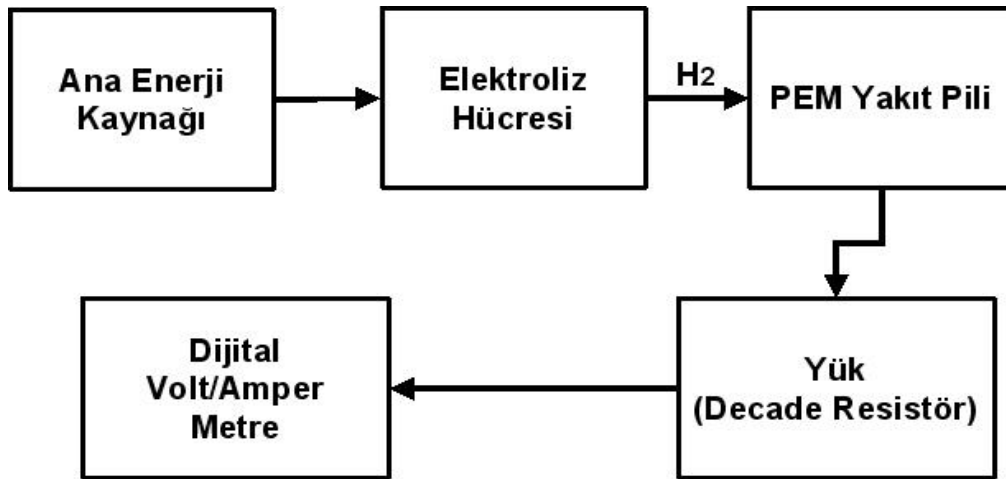
Resim 4.3. PEM yakıt pili yandan görünüşü



Resim 4.4. Ölçüm düzeneği



Resim 4.5. Gerilim-akım ölçümü için kullanılan ölçü aletleri

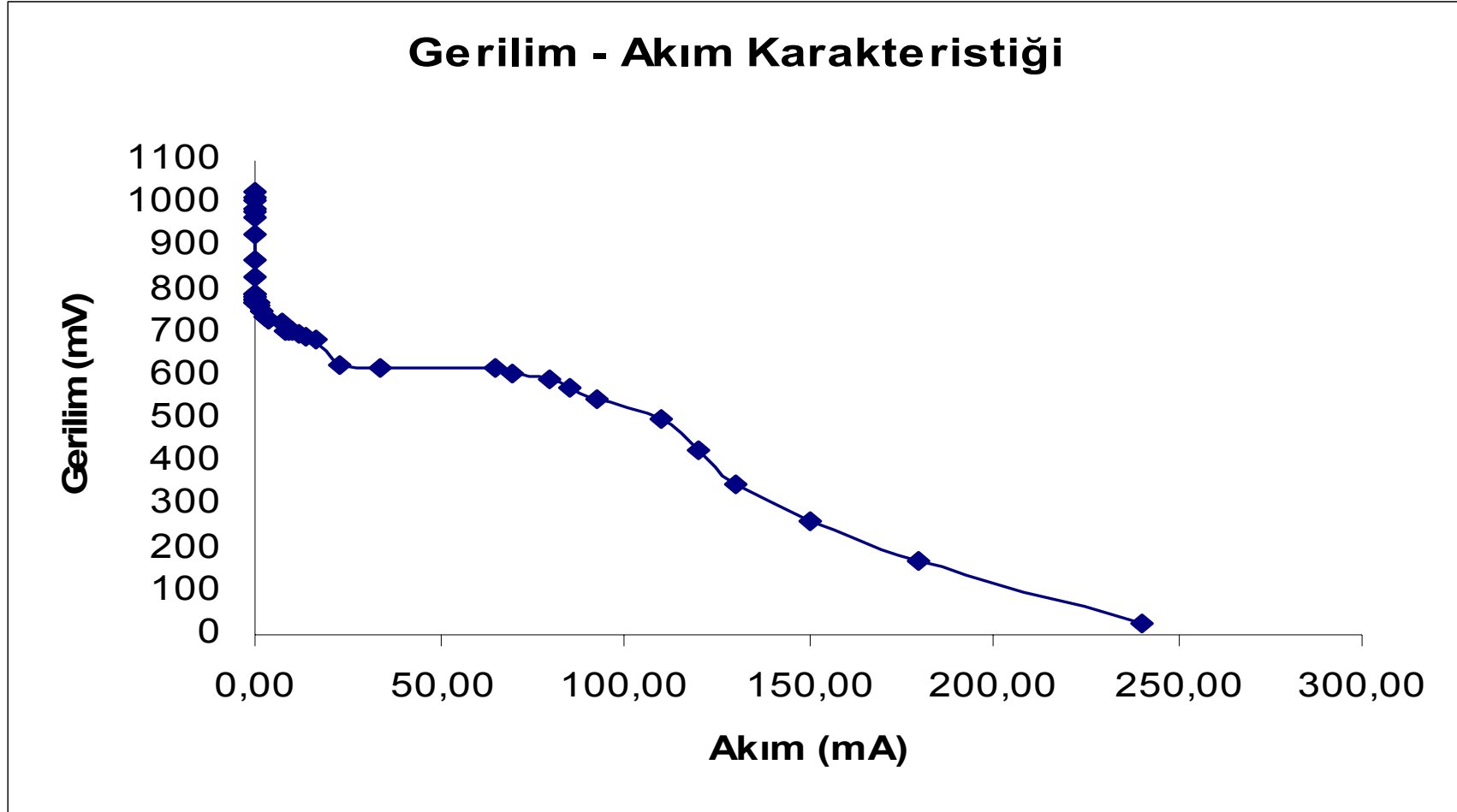


Şekil 4.7. Deney düzeneği blok şeması

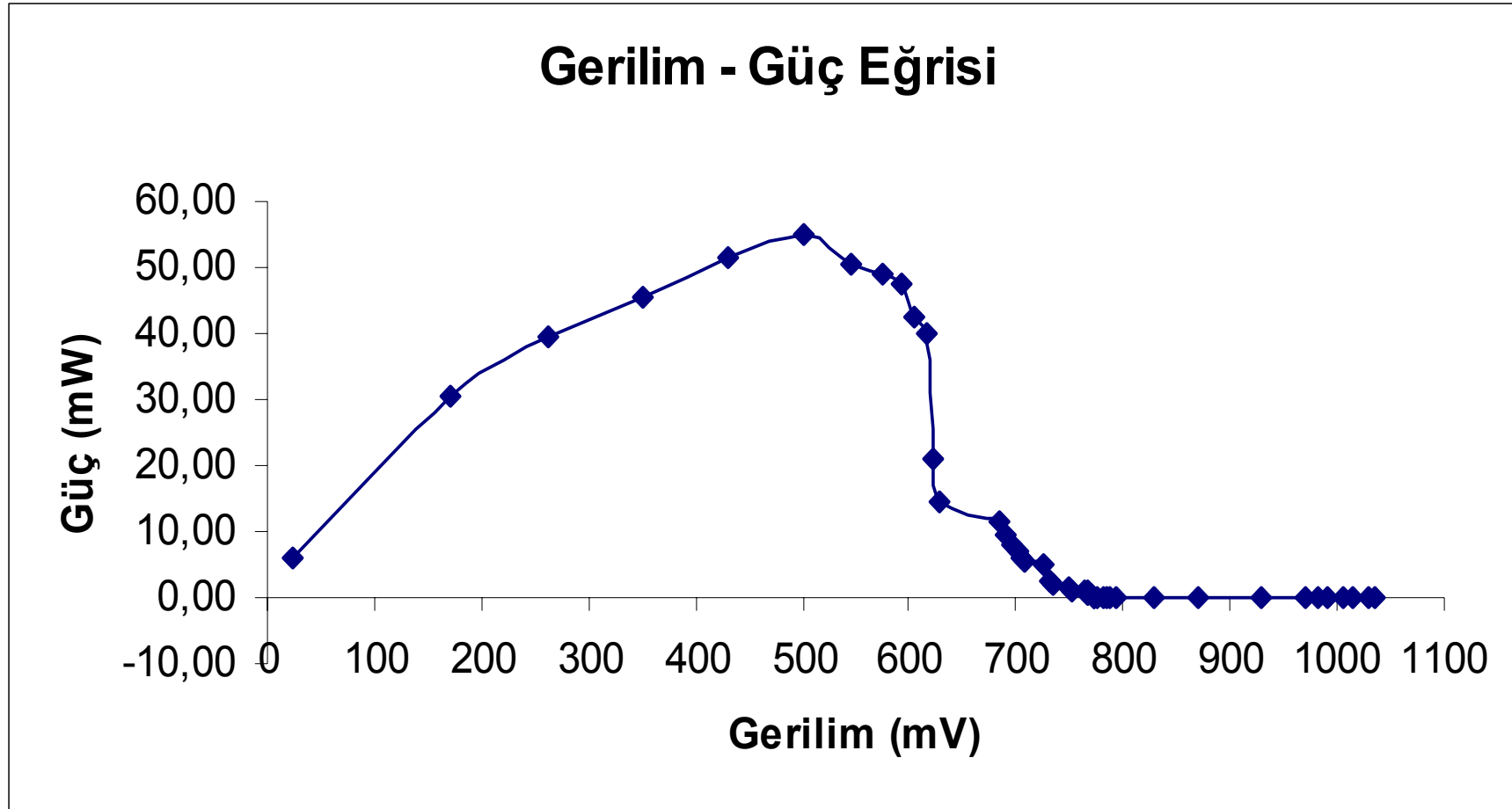
Yapılan ölçümlerde direnç kademesi değiştirilerek yük üzerinde oluşan gerilim ve yük üzerinden geçen akım değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Ölçüm değerleri Çizelge4.3’de verilmiştir. Bu değerler bir grafik altında toplanarak PEM yakıt pilinin gerilim/akım ve güç karakteristiği çizilmiştir.

Çizelge 4.3 PEM yakıt pili tek hücre kullanılarak yapılan ölçüm değerleri

Direnç (Ω)	Gerilim (mV)	Akım (mA)	Güç (mW)
0,01	25	240,00	6,00
1	170	180,00	30,60
2	263	150,00	39,45
3	350	130,00	45,50
4	430	120,00	51,60
5	500	110,00	55,00
6	545	92,28	50,29
7	576	85,00	48,96
8	593	80,00	47,44
9	606	70,00	42,42
10	616	65,00	40,04
20	622	34,10	21,21
30	628	23,06	14,48
40	685	16,95	11,61
50	691	13,80	9,54
60	697	11,65	8,12
70	703	10,07	7,08
80	704	8,86	6,24
90	707	7,98	5,64
100	725	7,21	5,23
200	730	3,70	2,70
300	735	2,48	1,82
400	749	1,88	1,41
500	752	1,44	1,08
600	765	1,23	0,94
700	766	1,05	0,80
800	767	0,94	0,72
900	768	0,83	0,64
1000	769	0,74	0,57
2000	771	0,37	0,29
3000	772	0,26	0,20
4000	774	0,19	0,15
5000	775	0,15	0,12
6000	781	0,13	0,10
7000	784	0,11	0,09
8000	788	0,10	0,08
9000	792	0,09	0,07
10000	830	0,08	0,07
20000	870	0,04	0,03
30000	930	0,03	0,03
40000	970	0,03	0,03
50000	981	0,02	0,02
60000	990	0,02	0,00
70000	1,005	0,01	0,00
80000	1,015	0,01	0,00
90000	1,029	0,01	0,00
100000	1,035	0,00	0,00



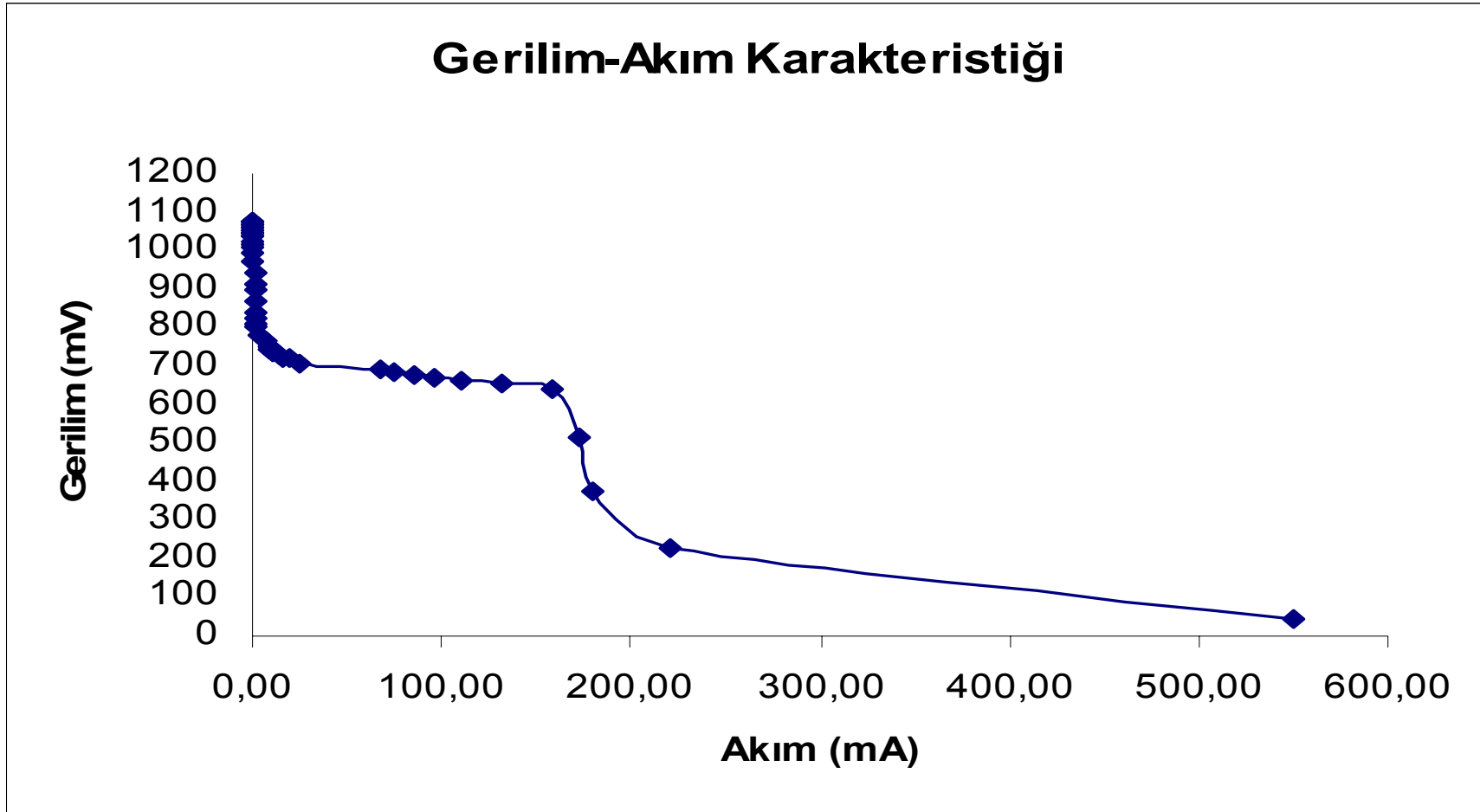
Şekil 4.8. PEM yakıt pili gerilim-akım grafiği



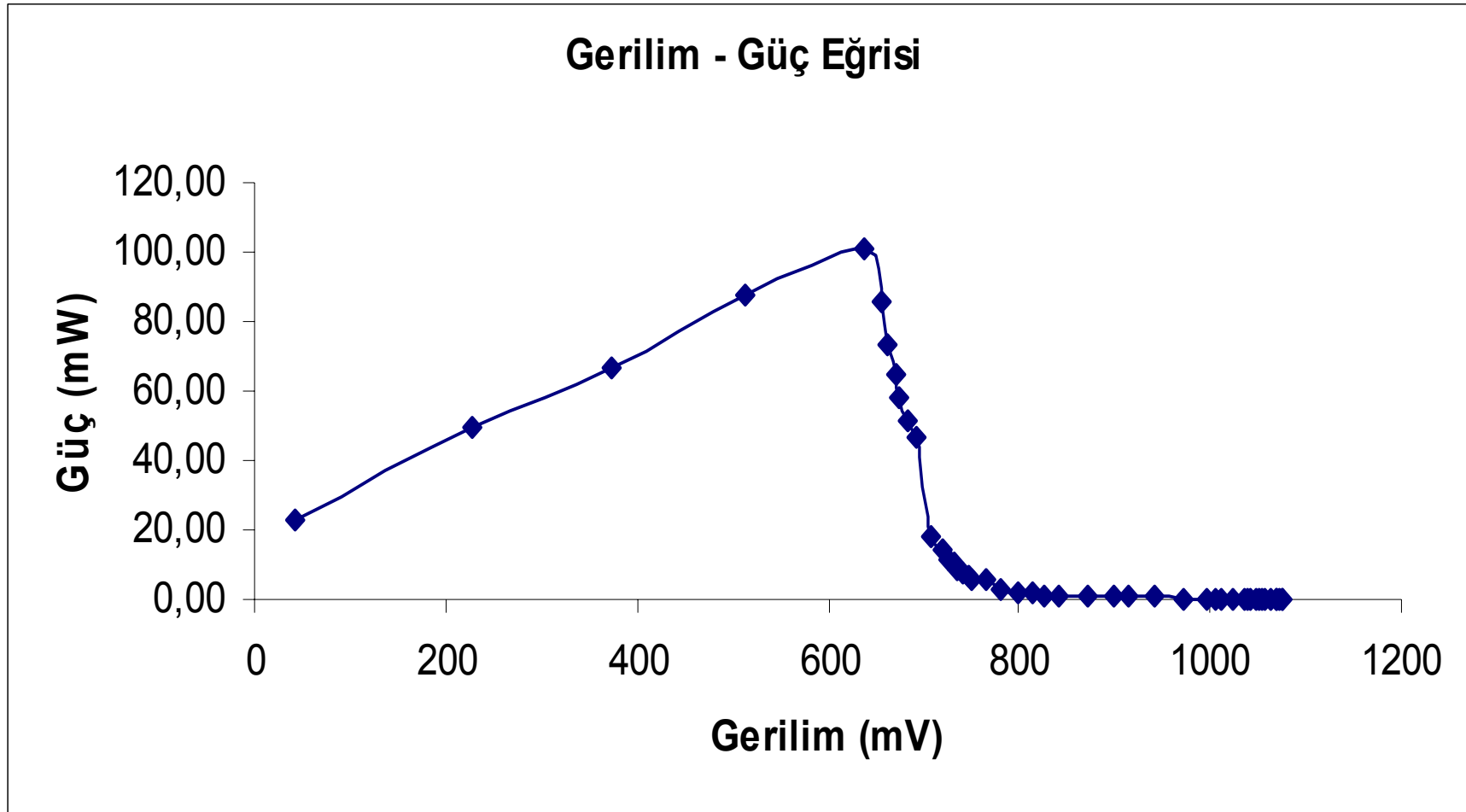
Şekil 4.9. PEM yakıt pili gerilim-güç grafiği

Çizelge 4.4. Paralel bağlı PEM yakıt pili çift hücre ölçüm değerleri

Direnç (Ω)	Gerilim (mV)	Akım (mA)	Güç (mW)
0,01	42	550,00	23,10
1	227	220,00	49,94
2	373	180,00	67,14
3	512	172,00	88,06
4	637	159,00	101,28
5	655	131,00	85,81
6	663	111,00	73,59
7	672	97,00	65,18
8	675	85,80	57,92
9	683	75,30	51,43
10	692	68,00	47,06
20	708	25,12	17,78
30	719	20,21	14,53
40	725	15,83	11,48
50	732	14,20	10,39
60	736	11,43	8,41
70	740	10,02	7,41
80	747	9,11	6,81
90	750	8,03	6,02
100	767	7,37	5,65
200	782	3,91	3,06
300	800	2,66	2,13
400	813	2,03	1,65
500	825	1,63	1,34
600	840	1,39	1,17
700	872	1,24	1,08
800	900	1,12	1,01
900	913	1,01	0,92
1000	941	0,93	0,88
2000	972	0,48	0,47
3000	995	0,33	0,33
4000	1007	0,25	0,25
5000	1013	0,20	0,20
6000	1024	0,17	0,17
7000	1035	0,14	0,14
8000	1039	0,13	0,14
9000	1043	0,12	0,13
10000	1047	0,11	0,12
20000	1052	0,06	0,06
30000	1055	0,04	0,04
40000	1057	0,03	0,03
50000	1063	0,02	0,02
60000	1068	0,02	0,02
70000	1070	0,02	0,02
80000	1073	0,01	0,01
90000	1075	0,01	0,01
100000	1075	0,01	0,01



Şekil 4.10. Paralel bağlı PEM yakıt pili çift hücre gerilim-akım grafiği



Şekil 4.11. Paralel bağlı PEM yakıt pili çift hücre gerilim-güç grafiği

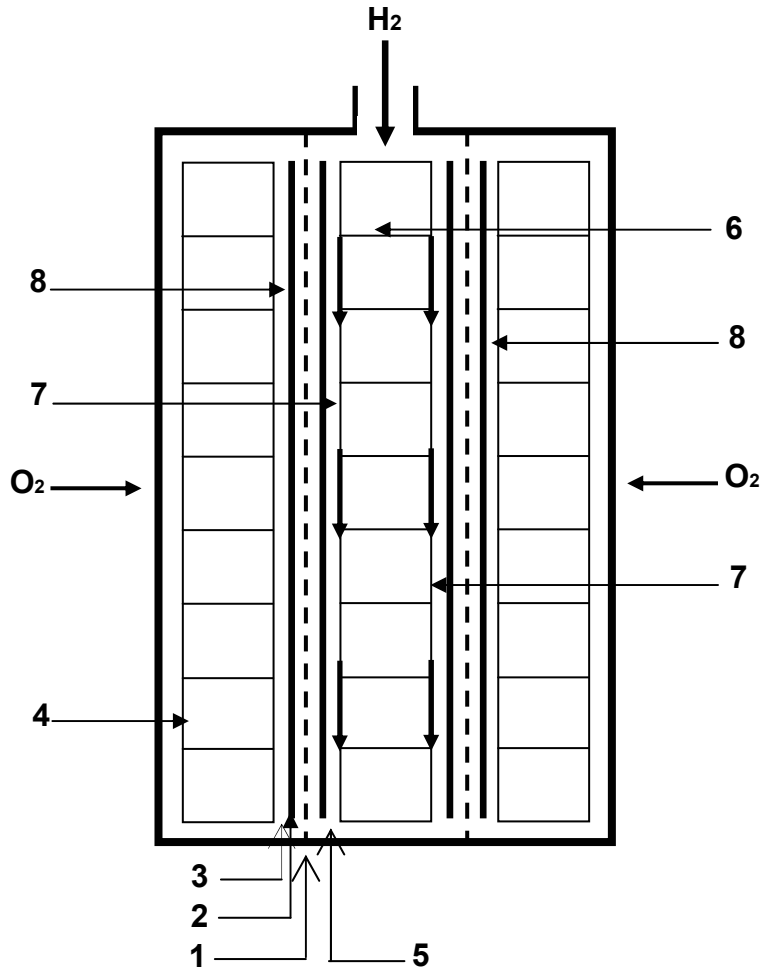
Çizelge 4.3, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'dan görüleceği gibi Tek hücreli PEM yakıt pili'nin en verimli çalışma aralığı 400-500 mV'dur. Bu aralıkta güç 0,5-0,55 mW değerinde olmaktadır. Ölçüm sonucunda elde ettiğimiz değer bir önceki bölümde hesaplamalarla elde ettiğimiz sonuçlara oldukça yakındır. Değerler arasındaki bazı farklılıkların kullandığımız hidrojenin basıncının düşük olması, yakıt pilimizin uzun süredir kullanılıyor olması, Ölçme hataları gibi sebeplerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak ideal değerler ile ölçüm arasında bir miktar fark olması da doğaldır.

İki tek hücreli yakıt pilinin paralel olarak bağlanması ile yapılan ölçümler Çizelge 4.4'de verilmiştir. Tek hücrede elde edilen güç en yüksek değer olarak 55 mW olarak ölçülmüştür. İki pil paralel bağlanarak yapılan ölçümde beklenen güç 110 mW olmasıdır. Ancak 101 mW değeri ölçülmüştür. Düşük bir deyişle iki hücrenin paralel bağlanması ile yaklaşık % 9 güç kaybı olmaktadır.

4.6. Tek Hücrede Çift Membranlı Yakıt Pili

Şu ana kadar incelediğimiz hücre Şekil 4.1'de görüldüğü gibi bir PEM ve iki yanında yerleştirilmiş gaz difüzyon tabakası ve akım toplayıcı ile oluşturulmuş ve bir yüzeye verilen hidrojenin elektro kimyasal reaksiyonu ile elektrik üretmesi prensibine bağlıdır. Bilindiği gibi yakıt pillerinde verimlilik kadar önemli bir unsur da boyut ve yakıtın aynı hız ve basınç ile hücrelere ulaştırılmasıdır.

Tek hücrede çift membranlı Yakıt pili bir hücre içerisinde yerleştirilmiş iki membran ve bunların ortasında tek akım toplayıcı kullanılarak oluşturulmuştur. Bu hücrede yakıt iki membran arasına verilmektedir. Bu uygulama ile hem boyutta tasarruf sağlanmakta hem de yakıt her iki membrana aynı hız ve basınçta ulaşarak reaksiyon oluşturmakta, hücreler arasında potansiyel kaybı oluşmasının önüne geçilerek verimlilik arttırılmaktadır.



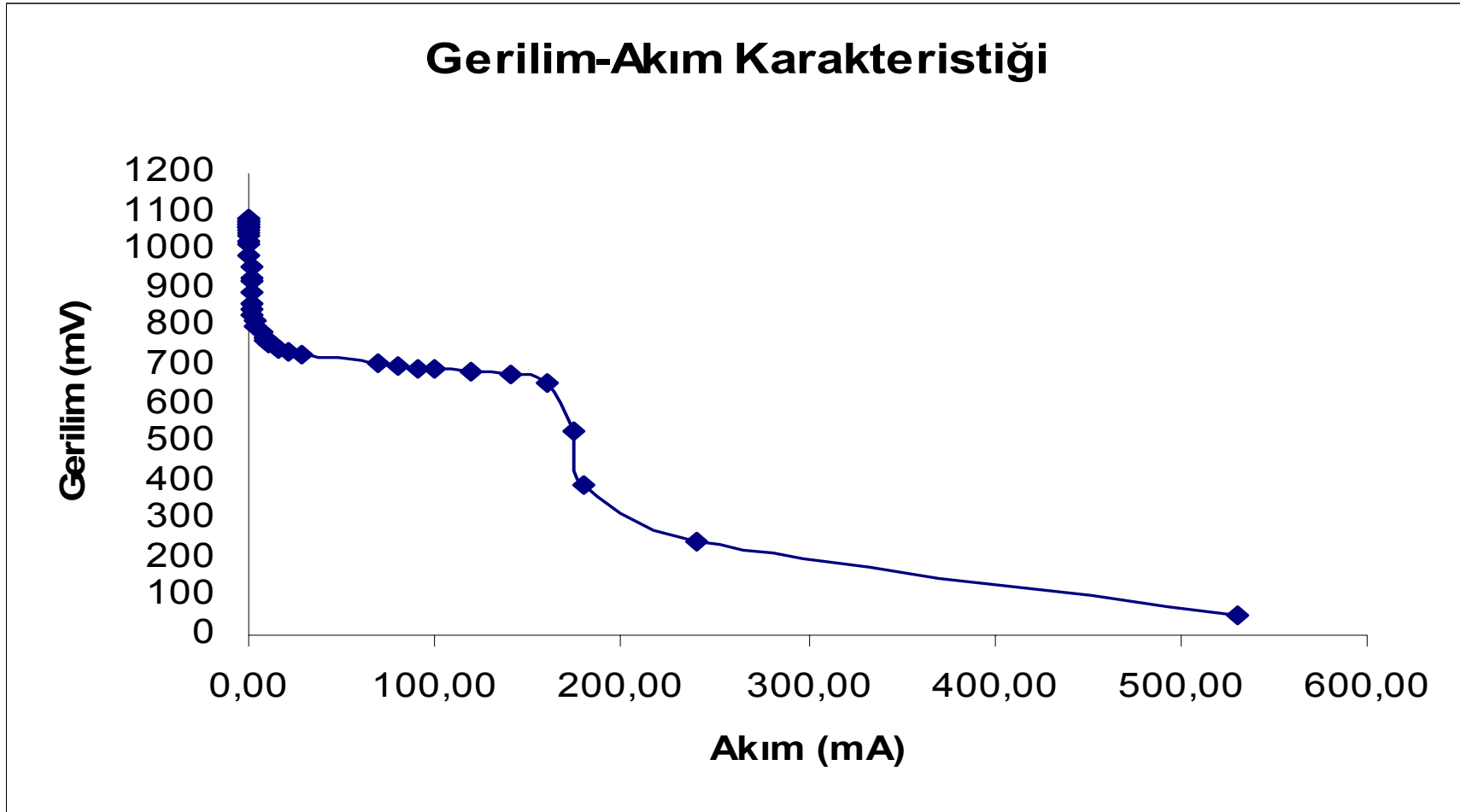
Şekil 4.12. Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili yapısı 1.Membran 2.Katalizör 3.Elektrot (Katot) 4.Akım toplayıcı ve gaz difüzyon tabakası 5.Elektrot (Anot) 6.Hidrojen deposu 7.Elektrot odası (Anot) 8.Elektrot odası (Katot)

Bu yakıt pilinde gaz difüzyon tabakası ve akım toplayıcı olarak paslanmaz çelikten imal edilen gözenekli bir levha kullanılmıştır. Bu levha gaz difüzyon tabakası ve akım toplayıcının tüm fonksiyonlarını tam olarak yerine getirmektedir. İki membran arasına verilen yakıt her iki membrana aynı hız ve basınçta ulaşarak reaksiyon oluşturmaktadır. Reaksiyon sonucu protonlardan ayrılan elektronlar tek bir akım toplayıcı ile toplanmaktadır. Her iki membranın dış yüzeylerinde (Katot) ise birer akım toplayıcı mevcuttur. Tepkime için ihtiyaç duyulan oksijenin atmosferden karşılanabilmesi için yakıt pilinin her iki yüzeyinde gözenekli mika kullanılmıştır.

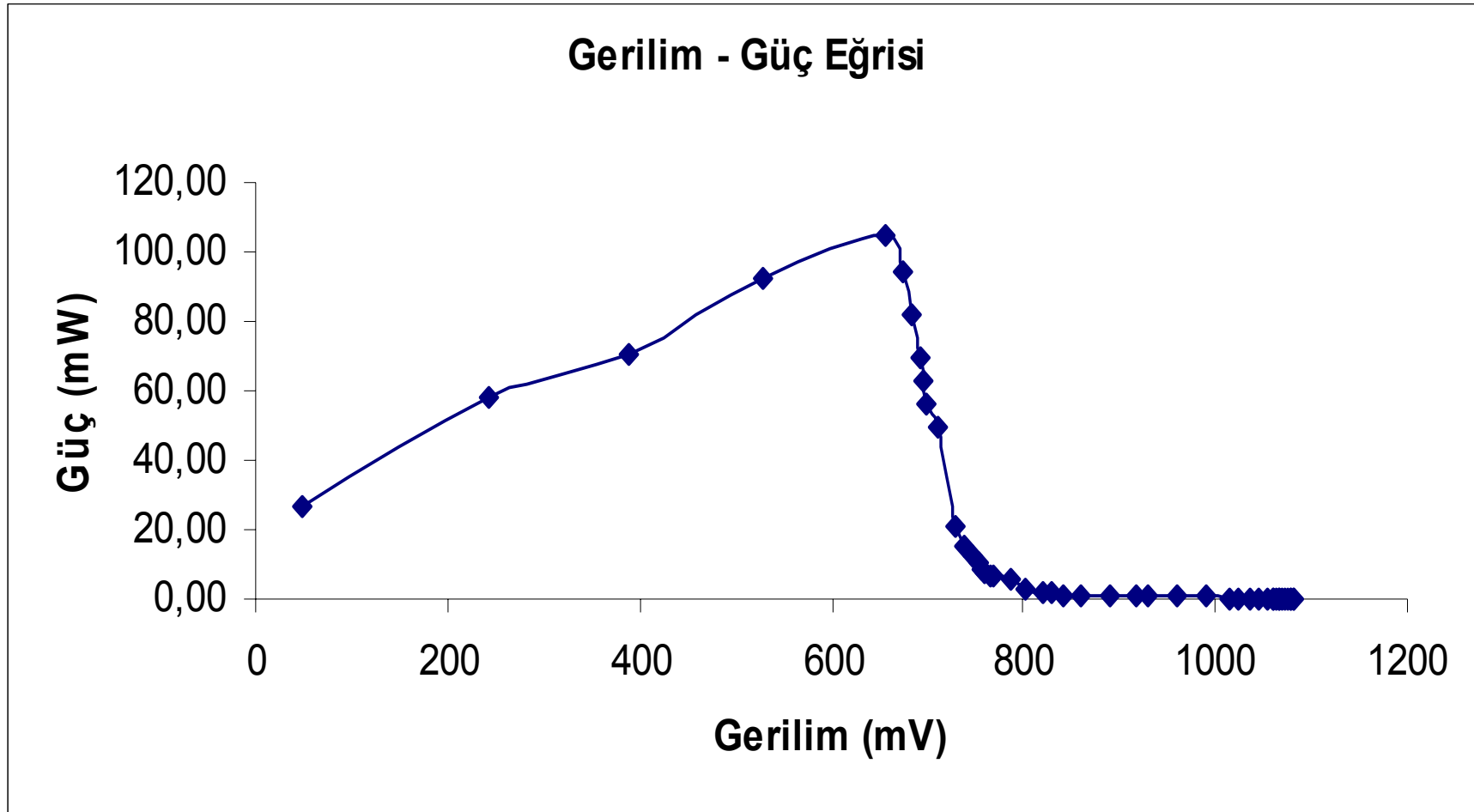
Tek Hücrede Çift Membranlı PEM yakıt pili ile yapılan ölçümler Çizelge.4.4. de verilmiştir. Tek hücrede elde edilen güç en yüksek değer olarak 55 mW olarak ölçülmüştür. İki pil paralel bağlanarak yapılan ölçümde beklenen güç 110 mW olmasıdır. Ancak 104 mW değeri ölçülmüştür. Düşük bir deyişle iki hücrenin paralel bağlanması ile yaklaşık % 5 güç kaybı olmaktadır.

Çizelge 4.5. Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili ölçüm değerleri

Direnç (Ω)	Gerilim (mV)	Akım (mA)	Güç (mW)
0,01	50	530,00	26,50
1	244	240,00	58,56
2	390	180,00	70,20
3	530	175,00	92,75
4	655	160,00	104,80
5	675	140,00	94,50
6	683	120,00	81,96
7	692	100,00	69,20
8	695	90,00	62,55
9	700	80,00	56,00
10	710	70,00	49,70
20	729	28,51	20,78
30	739	20,82	15,39
40	746	16,37	12,21
50	752	13,56	10,20
60	756	11,57	8,75
70	760	10,10	7,68
80	765	8,97	6,86
90	770	8,10	6,24
100	786	7,46	5,86
200	802	3,94	3,16
300	820	2,70	2,21
400	830	2,06	1,71
500	843	1,68	1,42
600	860	1,45	1,25
700	890	1,28	1,14
800	917	1,14	1,05
900	930	1,04	0,97
1000	960	0,96	0,92
2000	990	0,50	0,50
3000	1014	0,34	0,34
4000	1025	0,25	0,26
5000	1035	0,20	0,21
6000	1044	0,18	0,19
7000	1053	0,15	0,16
8000	1059	0,14	0,15
9000	1061	0,12	0,13
10000	1063	0,11	0,12
20000	1065	0,06	0,06
30000	1067	0,04	0,04
40000	1070	0,03	0,03
50000	1073	0,02	0,02
60000	1075	0,02	0,02
70000	1077	0,02	0,02
80000	1079	0,01	0,01
90000	1080	0,01	0,01
100000	1080	0,01	0,01



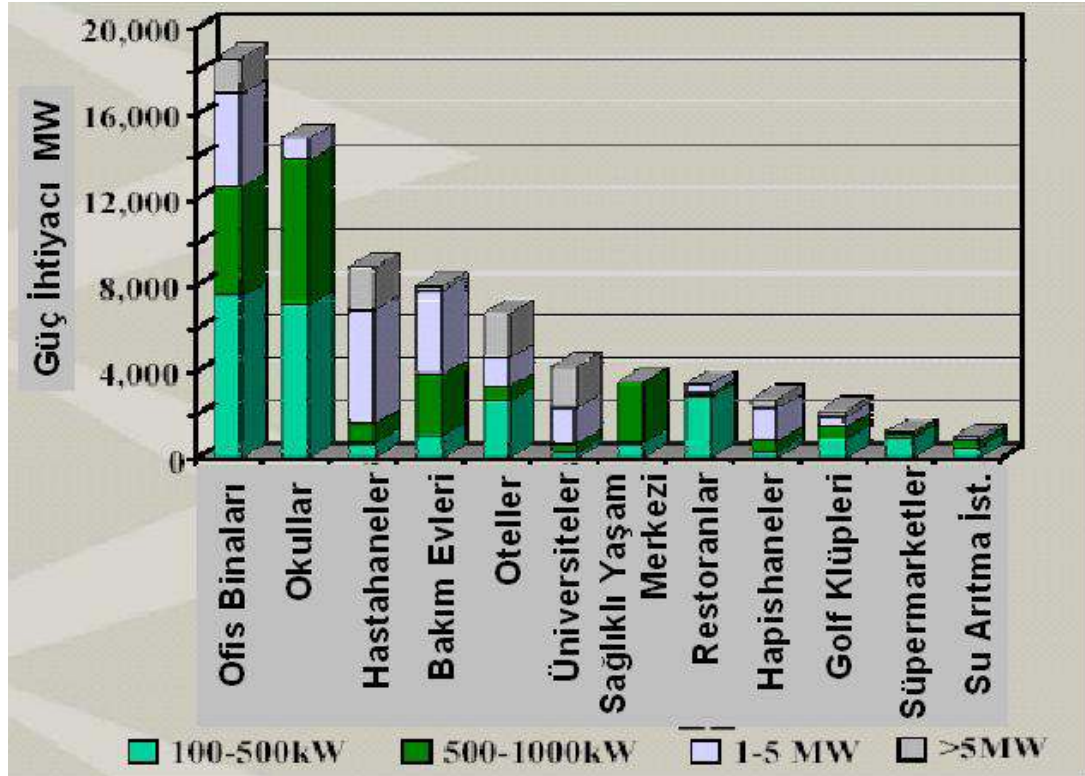
Şekil 4.13. Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili gerilim-akım grafiği



Şekil 4.14. Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili gerilim-güç grafiği

4.6. Yakıt Pillerinin Geleceği

Birleşik Devletler Enerji Bakanlığı tarafından yapılan çalışmalar sonucunda yakıt pillerinin Pazar durumu grafikteki gibi olacaktır.



Şekil 4.15. Birleşik devletler yakıt pilleri hedef kullanım alanları[26]

Günümüze kadar olan gelişmeler, fosil yakıtların hızla tükenmekte oluşu ve oluşan ihtiyaçlar yakıt Pilleri için avantaj olarak görünmektedir. Amerika Birleşik Devletlerinde önümüzdeki 15 yıl içerisinde yakıt pillerinin pazar durumu tahmini Şekil 4.15’de görülmektedir. Şekilden de görüleceği gibi yakıt pilleri 2010’lu yıllardan itibaren vazgeçilmez enerji kaynakları olarak karşımıza çıkacaktır. Bu nedenle konu hakkında çalışmalar ve gelişmelerin devam etmesi kaçınılmazdır. Şekilde en önemli ihtiyaç alanlarından biri olan ulaşım sektörü yer almamaktadır. Otomotiv sektöründeki çalışmalar prototip imalatların yapılması ile seri üretim aşamasına kadar gelmiş durumdadır. Otomotiv sektörü de göz önüne alındığında

bugün dünyaya şekil ve yön veren fosil yakıtların ve içten yanmalı motorların yerini yakıt pilleri ve hidrojenin alacağını söylemek hayalcilik olmayacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yakıt pilleri verimlilikleri yüksek elektrokimyasal enerji dönüştürücü olarak adlandırmak en doğru yaklaşım olacaktır.

Günümüz dünyasında temiz ve sürekli enerji kaynaklarına ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Yakıt pilleri için gelecekte kullanım alanları tahminleri de göz önüne alındığında uzun yıllar gündemde ve kullanımda kalacağı ve pek çok gelişmelere açık olduğu açıktır.

Çalışmamızda yakıt pilleri ve Hidrojen hakkında teorik bilgiler verilmiş ve yakıt pillerinin gerilim/akım karakteristiği teorik ve pratik olarak ortaya konulmuştur. Yapılan ölçümlerle elde edilen değerler hesaplama değerlerine oldukça yakın olarak gözükmektedir. Ancak pratik uygulamaların teorik hesaplamalardan bir miktar farklı olması da doğaldır.

Ölçümlerde kullandığımız PEM yakıt pili hücresinin kullanılmış olması, elektroliz yoluyla ürettiğimiz hidrojenin basınçlandırılmadan kullanılması gibi etkenler ölçümlerimizi etkilemiş ve pratik uygulama ile az da olsa farklılıklar oluşmasına yol açmıştır. Bu farklar çok etki yaratacak farklar değildir. Hesaplanan güç grafiği ile ölçülen güç grafiği karşılaştırıldığında uygulamanın teorik çalışma ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Bir yakıt pili yığını hücrelerin birleştirilmesi ile oluşsa da sağlıklı çalışması için pek çok bölümden oluşması gerekmektedir. Bunlar yakıt olarak kullanılan hidrojen ile dışardan verilen havanın basınçlandırılması, oluşan suyun sistemden dışarı atılması, hücre yığınının soğutulması ve çıkış gücünün kullanım için regüle edilerek stabil hale getirilmesidir.

Basit bir yaklaşımla her hücrenin 0,5W güç üreteceği düşünülerek 10 hücreden 5W alınacağı düşünülebilir. Ancak pratikte hücrelerin iç direnci ve sistemi destekleyecek

diğer ünitelerin enerji ihtiyaç/harcamaları sonucu 5W değerine ulaşamayacaktır. Bu konuda çalışacakların karşılaşılabilecek bu tür problemleri çözecek fikirler üzerinde durması gerekecektir.

Deneysel çalışmamızda iki tek hücreli membranın paralel bağlanması ile oluşan güç kaybı %9, tek hücrede çift membranlı yapıda oluşan güç kaybı ise %5 seviyelerinde olmaktadır. Yeni oluşturulan tek hücrede çift membranlı yakıt pilinin kayıplarının daha az olması bir avantaj olarak göze çarpmaktadır.

Önemi her geçen gün artan yakıt pilleri üzerine çalışmaların artarak devam etmesi ve pratik uygulamalar yapılarak üretim teknolojisinin ülkemize kazandırılması önemli bir hedef olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak üzerinde durulması gereken konu seri ve paralel olarak bağlanan yakıt pillerinin iç dirençleri, yakıtın (hidrojenin) eşit basınç ve oranda pillere dağıtılamaması, pillerin karakteristik farkları gibi sorunların yaratacağı güç kayıplarının minimize edilmesi ve daha verimle yapılar oluşturulması olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Veziroğlu,T.N. and Barbir,F., “Hydrogen Energy Technologies”, *UNIDO*, 5-47, Vienna (1998).
2. Steinberg,M. and Cheng,H.C., “Modern and Prospective Technologies for Hydrogen Production from Fossil Fuels”, *Oxford*, 2:699-740 (1998).
3. Hancock,O.G., “A Photovoltaic-Powered Water Electrolyzer: Its Performance and Economics”, *G.P.Putnam’s Sons*, New York, 335-344 (1984).
4. Baykara,S.Z. and Bilgen,E., “An Overall Assessment of Hydrogen Production Solar Water Thermolysis”, *Int.J.Hydrogen Energy*, 14:881-889 (1989).
5. Engels,H. “Thermochemical Hydrogen Production”, *Int.J.Hydrogen Energy*, 12:291-295 (1987).
6. Willner,I. and Steinberger,B., “Solar Hydrogen Production Through Photo Biological”, *Int.J.Hydrogen Energy*, 13:593-604 (1998).
7. Wyczalek,F.A., “The End Of Petroleum”, *37th IECEC*, IECEC 20102, 775-781 (2002).
8. Iguchi,S.,Kimura,K.,Ito,N.,Tange,K. and Suzuki,H., “New Leads for Future FC Vehicle”, *Fuel Cell Seminar*, San Antonio TEXAS,210-217 (2004).
9. T.N.Veziroğlu, C.Derive and J.Pottier, “Hydrogen Energy Progress IX”, *M.C.I.*, Paris, 3:1821-1828 (1992).
10. Veziroğlu,T.N., Derive,C. and Pottier,J., “Hydrogen As An Energy Carrier, Production and Liquefaction Of Hydrogen in Norway for Transportation to and Storage/Distribution in Germany”, Hydrogen Energy Progress IX, *M.C.I.*, Paris, 3:1913-1926 (1992).
11. Veziroğlu,T.N.,Derive,C. and Pottier,J., “Solar Hydrogen Demonstration Plant in Neunburg vorm Wald”, Hydrogen Energy Progress IX, *M.C.I.*, Paris, 2:677-686 (1992).
12. Veziroğlu,T.N., Takahashi, P.K., “Exporting Solar Energy”, *Hydrogen Energy Progress VIII*, New York, 1:201-206 (1990).
13. Winter, C.J.and Fuchs, M., “HYSOLAR and Solar-Wasserstoff-Bayern”, *Int.J.Hydrogen Energy*, 16:723-734 (1991).

14. WE-NET Report, "New Energy and Industrial Technology Development Organization", *Hydrogen, Alcohol and Biomass Energy Development, Tokyo*, 27-34 (1997).
15. Verne, Jules, "The Mysterious Island", *Oxford*, 89 (1993).
16. Haldane, J.B.S, "Daedalus or Science and the Future", *Truber and Company Ltd.*, London, 72-110 (1923)
17. Lawaczek, F., "Technick", *Eher Varlag*, Munich, 21-45 (1932)
18. Eren, R.A. and W.H. Compell, "Hydrogen: A Commercial Fuel for Internal Combustion Engines and Other Purposes", *Journal of Institute of Fuels*, 6(29):7-18 (1933).
19. Hoffmann, P., "The Forever Fuel: The Story of Hydrogen.", *Westview Pres*, Boulder, Col., 244-251 (1981).
20. Bockris, J.O'M., "Energy: The Solar-Hydrogen Alternative", Australia *and New Zealand Book Co.*, Sydney, 125-218 (1975).
21. Marchetti, C., "Proteus vs. Procrustes", *Lecture at Cornell University*, Ithaca, New York, 318-357 (1970).
22. Ohta, T., "Solar-Hydrogen Energy Systems", *Pergamon Pres*, Oxford, 225-248 (1979).
23. Veziroğlu, T.N., "Proceedings of the Hydrogen Economy Miami Energy Conference (THEME)", *Clean Energy Research Institute*, University of Miami, Coral Gables, FL, 2:90-124 (1974).
24. Appleby, A.J., and Foulkes, F.R., "Fuel Cell Handbook", *Van Nostrand Reinhold*, New York, 428-454 (1989).
25. Vora, S., "Power Enhancement in Seal-Less SOFC", *Fuel Cell Seminar*, San Antonio TEXAS, 285-297 (2004)
26. Leitman, J., "High temperature fuel cells for stationary applications", *Fuel Cell Seminar*, San Antonio TEXAS, 325-343 (2004).

EKLER

EK-1 Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili faydalı model belgesi



T.C.
TÜRK PATENT ENSTİTÜSÜ

FAYDALI MODEL BELGESİ

No: TR 2005 00947 Y

Bu Belge 551 Sayılı Patent Haklarının Korunması Hakkında Kanun Hükmünde Kararname'nin 162 nci maddesi uyarınca 16.03.2005 tarihinden itibaren 10 yıl süre ile verilmiştir.

Doç. Dr. Yusuf BALCI

Enstitü Başkanı



EK-1 (Devam) Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili faydalı model belgesi

(19) TÜRK PATENT [●] ENSTİTÜSÜ

(10) TR 2005 00947 Y

FAYDALI MODEL BELGESİ

(21) Başvuru Numarası
u 2005/00947

(51) Buluşun tasnif sınıfı
H01M 8/00

(22) Başvuru Tarihi
2005/03/16

(43) Başvuru Yayın Tarihi
2005/05/23

(11) Başvuru Yayın No.
2005 00947 U

(45) Faydalı Model Belgesinin Veriliş Tarihi
2005/11/21

(30) Rüçhan Bilgileri (32) (33) (31) (74) Vekil

ERDOĞAN KARAAHMET ()

Fevzi Çakmak 2. Sok. No:37/15 Kızılay/ ANKARA

(71) Faydalı Model Sahipleri

EMRE MÜŞAVİRLİK KALİBRASYON TURİZM VE DIŞ TİCARET LTD. ŞTİ.

Birlik Mah. 14. Sok. No. 4 Çankaya ANKARA TÜRKİYE

Prof. Dr. BEYCAN İBRAHİMOĞLU

Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Maltepe-06570 ANK
TÜRKİYE

(72) Buluşu Yapan

Prof. Dr. BEYCAN İBRAHİMOĞLU

Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü Maltepe-06570
ANKARA TÜRKİYE

(54) Buluş Başlığı

Tek hücrede çift membranlı yakıt pili.

(57) Özet

Sunulan buluş bir hücrede iki membran ve bu membranlar arasında yerleştirilmiş tek bir akım toplayıcıdan oluşan yakıt hücresi ile ilgilidir. Bu yakıt pilinde hücre içerisindeki akım toplayıcı ve gaz difüzyon tabakaları, paslanmaz çelikten gözenekli olarak yapılmış bir levha yerine getirmektedir. Aynı zamanda paslanmaz çelikten yapılan gözenekli levha, gaz difüzyon ve akım toplayıcı elemanların bütün fonksiyonlarını yerine getirmektedir. Sunulan buluşta, yakıt iki membran arasına yerleştirilmiş yakıt deposuna verilmektedir. Depoya verilen yakıt, her iki membrana aynı basınç ve hızla ulaşarak reaksiyon oluşturmaktadır. Reaksiyon sonucu, her iki membran yüzeyine kaplanmış elektrotlarda (Anotta), protonlardan ayrılmış elektronları toplamak için bir adet akım toplayıcı yerleştirilmiştir.

EK-1 (Devam) Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili faydalı model belgesi

TARİFNAME

TEK HÜCREDE ÇİFT MEMBRANLI YAKIT PİLİ

BULUŞUN AİT OLDUĞU TEKNİK ALAN

5 Sunulan buluş bir hücrede iki membran ve bu membranlar arasında yerleştirilmiş tek bir akım toplayıcıdan oluşan yakıt hücresi ile ilgilidir. Bu yakıt pilinde hücre içerisindeki akım toplayıcı ve gaz difüzyon tabakalarını, paslanmaz çelikten gözenekli olarak yapılmış bir levha yerine getirmektedir. Aynı zamanda paslanmaz çelikten yapılan
10 gözenekli levha, gaz difüzyon ve akım toplayıcı elemanların bütün fonksiyonlarını yerine getirmektedir. Sunulan buluşta, yakıt iki membran arasına yerleştirilmiş yakıt deposuna verilmektedir. Depoya verilen yakıt, her iki membrana aynı basınç ve hızla ulaşarak reaksiyon oluşturmaktadır. Reaksiyon sonucu, her iki membran yüzeyine kaplanmış elektrotlarda (Anotta), protonlardan ayrılmış elektronları toplamak için bir
15 adet akım toplayıcı yerleştirilmiştir.

BULUŞUN TARİHÇESİ

Yakıt Pilleri ilk olarak 1839 yılında keşif edilmesine rağmen, uzun yıllar sanayide uygulanamamıştır. Günümüzde Yakıt Pilleri kara ve deniz ve hava taşıtlarında, deniz
20 altılarında, uzay sistemlerinde, evlerde, hastanelerde, cep telefonlarında, bilgisayarlarda vb. alanlarda geniş bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Tüm Yakıt Pillerinin çalışma sistemleri kimyasal reaksiyon enerjisini elektrik enerjisine çevirmektir. Yakıt verilmesi süresince, yakıt pilleri elektrik enerjisi, ısı ve su üretmeye devam edecektir.

25 Günümüzde aşağıdaki Yakıt Pilleri mevcuttur:

- (DEM) Proton Değişim Membranlı Yakıt pilleri
- (AFC) Alkilli Yakıt pilleri
- (SPE) Katı Polimer Elektrolitli Yakıt pilleri
- (PA) Fosforik Asitli Yakıt pilleri
- 30 - (MC) Erimiş Karbonatlı Yakıt pilleri
- (SO) Katı oksitli Yakıt pilleri
- (DM) Direk Metanol Yakıt pilleri

EK-1 (Devam) Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili faydalı model belgesi

- (RFC) Geri Kazanımlı Yakıt Pilleri ve benzerleri.

BULUŞUN ÇÖZÜMÜNÜ AMAÇLADIĞI TEKNİK PROBLEMLER

İçten yanmalı her türlü motorda kullanılan yakıtların (petrol ürünlerinin) gelecekte tükenmesi ihtimali, dünyamızda oluşturdukları çevre kirliliği ve içten yanmalı motorların verimliliklerinin düşük olması (%25-30) nedeni ile daha yeni teknolojilerin geliştirilmesi en aktüel problemlerden biri olarak gündemdedir.

Diğer yandan, dünyamızda yaşanan petrol krizleri bilim adamlarını petrole alternatif bir enerji kaynağının araştırılmasına yönlendirmiştir. Yakın gelecekte temiz ve tükenmez enerji taşıyıcısı olan Hidrojen gazının (H_2) fosil yakıtların yerini alacağı bilinmektedir ve Hidrojen gazı 21. Yüzyılın Enerji taşıyıcısı gibi kabul görmektedir. Hidrojen gazının, yakıt pillerinde kullanılması ile verimlilik %80'lerin üzerine çıkacak ve çevre kirliliği önemli ölçüde azaltılacaktır. Bu nedenlerden dolayı, yakıt pillerinin elektrik üretici olarak kullanıldığı elektrikli motorlar, içten yanmalı motorların yerini alacaktır.

Yakıt Pilleri küçük, orta ve büyük kapasiteli elektriksel güç üretim kaynağıdır. Geleneksel güç üretim sistemlerine göre aşağıdaki üstünlüklere sahiptir:

- Çevre Kirliliği Oranı çok düşüktür
- Enerji Üretim verimi oldukça yüksektir (teorik olarak %90'nın üzerindedir)
- Farklı Yakıtlarla çalışabilir (Hidrojen, Doğal gaz, Metanol, Etanol, Nafta, Kömür tozu vb.)
- Atık ısı geri kazanılabilir (kojenarasyon)
- Çok yüksek miktarda soğutma suyu gerektirmez.
- Gelişme potansiyeli çok yüksektir.
- Katı atık problemi yoktur.
- Çalışma esnasında gürültü problemi yoktur.
- Düşük sıcaklık ve basınçta da çalışabilir.
- Şebeke ile birlikte veya ayrıca çalışabilir.

EK-1 (Devam) Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili faydalı model belgesi

Günümüzde daha yaygın olarak Polimer Değişim Membranlı (PEM) Yakıt Pilleri Sanayinin çeşitli alanlarında kara ve deniz ve hava taşıtlarında, deniz altılarında, uzay sistemlerinde, evlerde, hastanelerde, cep telefonlarında, bilgisayarlarda, jeneratörlerde vb.) kullanılmaktadır.

5 BULUŞUN AÇIKAMASI

Bir Yakıt Pili çok sayıda yakıt hücresinden oluşmaktadır. Bir Yakıt Hücresi 0,7 – 0,9 W Elektrik enerjisi üretmektedir Yakıt Pilleri kullanım alanlarına göre küçük, orta ve büyük kapasiteli elektriksel güç üretim kaynağıdır.

Küçük boyutlarda 0,1-10 W, Orta boyutlarda 10 W – 5 kW, Büyük boyutlarda 5 kW'ın üzerinde elektrik enerjisi üretimi amaçlanmaktadır.

Basit bir yakıt pili iki elektrottan, elektrot yuvasından ve aralarındaki elektrolitten (iyon iletken) oluşmaktadır.

Eğer yakıtın verilmesiyle, elektrotta elektro-oksidlenme reaksiyonu oluşursa, buna anot veya yakıt elektroliti denmekte, diğer elektroda ise oksitleyicinin elektro-kimyasal indirgenme prosesi, oksijen-reaksiyonu oluşur ki buna da katot denilir. Yakıtın verilmesiyle birlikte bütün bu prosesler, yakıt hücresinde gerçekleşir.

Birkaç yakıt hücresinin bir araya getirilmesiyle Yakıt pilleri oluşmaktadır. Klasik yakıt hücreleri teknik Resim -2' de şematik olarak gösterildiği üzere, iki elektrot, elektrot yuvası ve aralarındaki elektrolitten (iyon iletken) yapılmaktadır.

20

25

EK-1 (Devam) Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili faydalı model belgesi

Şemada;

1. Akım toplayıcı,
- 5 2. Gaz difüzyon,
3. Elektrot (Katot),
4. Membran,
5. Katalizör,
6. Elektrot (Anot)

10 olarak verilmiştir.

Sunulan buluş yukarıdaki geleneksel yakıt pillerinden farklı olarak bir hücrede iki membran ve bu membranlar arasında yerleştirilmiş tek bir akım toplayıcıdan oluşmaktadır. Diğer yandan bu sistemde paslanmaz çelikten gözenekli yapılmış levha hücre içerisindeki akım toplayıcı ve gaz difüzyon tabakalarının fonksiyonlarını eksiksiz
15 olarak yerine getirmektedir

Sunulan buluşta, yakıt iki membran arasına yerleştirilmiş yakıt deposuna verilmektedir. Depoya verilen yakıt, her iki membrana aynı basınç ve hızla ulaşarak reaksiyon oluşturmaktadır. Reaksiyon sonucu, her iki membran yüzeyine konmuş elektrotlarda (Anotta), protonlardan ayrılmış elektronları toplamak için bir adet akım toplayıcı
20 yerleştirilmiştir.

Elektro-kimyasal oksitlendiricinin indirgenmesi için gerekli olan hava veya oksijen miktarı membranın diğer yüzeyine yerleştirilmiş akım toplayıcıya (anotta olduğu gibi) verilmektedir ki, bu süreçte de belirli miktarda hava veya oksijen her iki membran,
25 yüzeyinde aynı basınç ve hız etkisi oluşturmaktadır. Proses sonucu elektrotlar (Katot) yüzeyinde oluşan pozitif yükler akım toplayıcı vasıtasıyla toplanmaktadır.

Yakıt hücrelerini oluşturan önemli parçalar.

- 30 1. Membran (iki adet).
2. Katalizör
3. Elektrot (Anot)
- 35 4. Elektrot (Katot)

EK-1 (Devam) Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili faydalı model belgesi

5.Akım toplayıcıdır.

Bir yakıt pili, birkaç yakıt hücresinden oluşmaktadır. İletken olmayan, içerisi boş, depo görevini yapan fiber malzemeden yapılmış kalınlığı 3mm kutunun içerisine, paslanmaz çelik malzemeden delikli yapıya sahip 1mm kalınlığında akım toplayıcı monte edilmiştir. Bu akım toplayıcı aynı zamanda gaz difüzyon görevini yapmaktadır. Akım toplayıcıların her iki yüzeyine Anot veya Katot olarak elektrot konulmuştur. Yakıt verilen depodaki akım toplayıcının her iki yüzeyine anot, hava veya oksijen verilen akım toplayıcının her iki yüzeyine ise katot konulmuştur. Elektrotların sağ ve sol taraflarına, yüzeyleri katalizörle kaplanmış Polimer malzemeden yapılmış membran konulmuştur. Bir kaç hücre bir araya getirildikten sonra iki levha arasına sıkıştırılarak yakıt pilini oluşturmaktadır.

BULUŞUN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Sunulan buluş bir hücrede iki membran ve bu membranlar arasında yerleştirilmiş tek bir akım toplayıcıdan oluşan bir yakıt hücresi olup teknik resimde ;

1. Membran,
2. Katalizör,
3. Elektrot (Katot),
4. Akım toplayıcı ve gaz difüzyonunu,
5. Elektrot (Anot),
6. Hidrojen deposu,
7. Elektrot odası (anot),
8. Elektrot odası (katot)

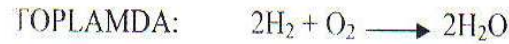
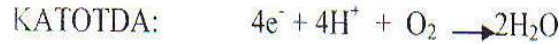
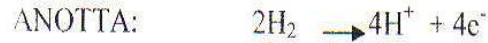
olarak verilmiştir.

Her bir yakıt hücresi diğerinden bağımsız olarak çalışmaktadır. Bağımsız çalışan hücrelerin ürettikleri elektrik enerjisi bir yerde toplanarak yakıt pilini oluşturmaktadır. Sunulan buluşta, geliştirilmiş Hidrojen-hava yakıt hücresinin çalışması için fiber malzemeden yapılmış kalınlığı 3mm olan yakıt deposuna (6) hidrojen verilmektedir. Yakıt deposunun içerisinde paslanmaz çelikten yapılmış delikli gaz difüzyon tabakası (4) (aynı zamanda akım toplayıcı fonksiyonu yerine getirmektedir) monte edilmiştir ki, bu gaz difüzyon tabakasının delikleri, içerideki hidrojen gazını eşit şekilde her tarafa dağıtmaktadır. Aynı basınç ve hızla sağ ve sol yönlerde hareket eden hidrojen gazı,

EK-1 (Devam) Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili faydalı model belgesi

delikli gaz difüzyon tabakasından (4) geçerek elektrot odasına (7) (Anota) geçmektedir. Elektrot odasına geçen yakıt, üzeri katalizörle (2) kaplanmış elektrolite (1) (iyon iletken) ulaşarak kimyasal reaksiyonu başlatmaktadır.

- 5 Hidrojen gazı anotta (5) protonlarına ve elektronlarına ayrılmaktadır (oksitleşme). Katotda (3) ise verilen hava veya oksijen sayesinde indirgeme prosesi, ve su oluşmaktadır. Yakıt pilleri için elektrotlar (3,5) aktif karbon üzerinde Platin karışımından oluşan gözenekli plaka formasında yapılmıştır. Hidrojen ve oksijenin karşı tarafa geçmesini sağlamak amacıyla Anot (7) ve Katot (8) elektrotları gözenekli
- 10 yapılmaktadır. Hücrelere gaz verildiğinde aşağıdaki reaksiyon oluşmaktadır.



- Reaksiyondan da görüldüğü gibi, hidrojen gazının elektronlarına ve protonlarına ayrılması sonucu elektronlar, Akım toplayıcılardan (4) düzenli olarak İndirgenden
- 20 oksitlenene (Anottan - Katoda doğru), doğru hareket ederler. Elektronları bu düzenli hareketi yakıtın verilme süresiyle devam etmekte ve yakıtın kimyasal enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümünü göstermektedir.

EK-1 (Devam) Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili faydalı model belgesi

İSTEMLER

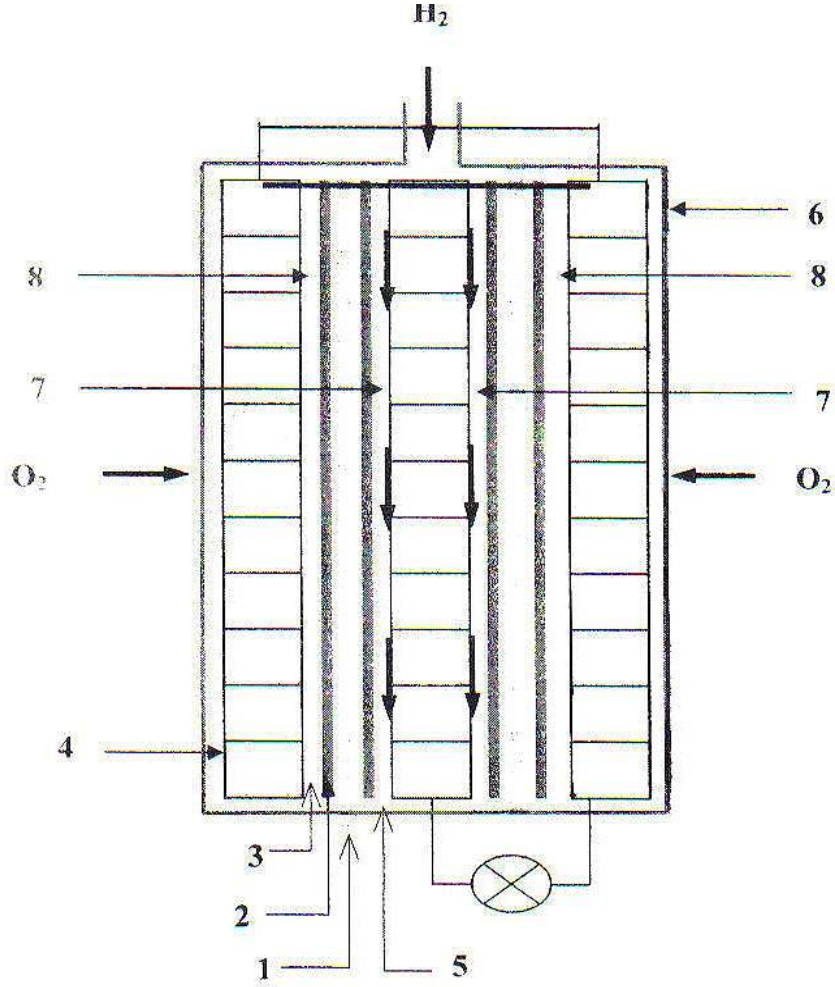
- 1- Buluş, bir yakıt piline ait olup, özelliği bir hücrede iki membran (1) ve bu membranlar arasında yerleştirilmiş tek bir akım toplayıcıdan (4) oluşması ile karakterize edilmektedir.
- 2- İstem 1'de bahsedilen yakıt pili olup, özelliği, akım toplayıcının aynı zamanda gaz difüzyon tabakalarını da oluşturmasıdır.
- 3- İstem 1'de bahsedilen yakıt pili olup, özelliği, akım toplayıcının ve gaz difüzyon tabakalarının (4) paslanmaz çelikten gözenekli olarak yapılmasıdır.
- 4- İstem 1'de bahsedilen yakıt pili olup, özelliği anot (5) ve katot (3) elektrot odalarının (7,8) gözenekli plaka formunda olmasıdır.



16.03.2005

Erdoğan KARAAHMET
Patent Vekili

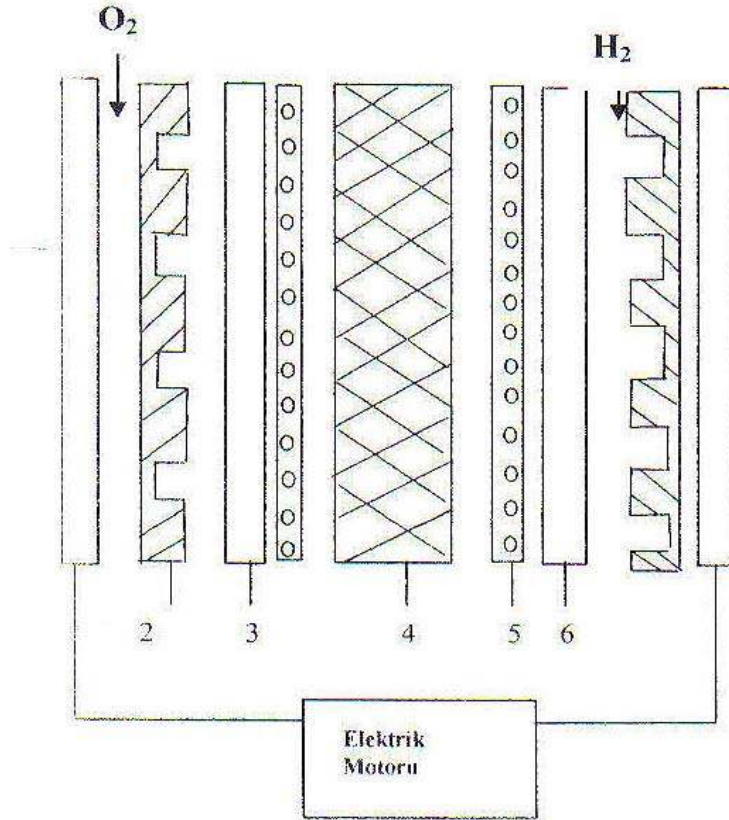
EK-1 (Devam) Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili faydalı model belgesi



RESİM-1

16.03.2005
Erdoğan KARAAHMET
Patent Vekili

EK-1 (Devam) Tek hücrede çift membranlı PEM yakıt pili faydalı model belgesi



RESİM-2

16.03.2005

Erdoğan KARAAHMET

Patent Vekili

EK-2 Anuvu 1,5kW yakıt pili



POWER-X™ 1.5kW Cell



An Enabling Technology

Power-X fuel cells are designed for real-world products with the reliability and durability for nearly any product application. The Power-X fuel cell technology has been developed to meet near-term commercial demand with minimal investment, enabling rapid design cycles for new product line

Product Applications

The Power-X fuel cell is ideally suited to systems requiring between 1 and 100kW. Anuvu has established a base-line family of fuel cell modules, from 1.5, 3 and 6kW capacities that can be used to create power systems of much higher capacities for a wide variety of solutions, such as:

- Electric / Hybrid Transportation: Autos, Trucks, Boats, Busses
- Electric Utility Vehicles: Forklifts, Industrial Carts, Golf Carts
- Uninterruptible Power Supplies - Telecom, Data Centers
- Portable Power Supplies: Semi Trucks, RV's Yacht's
- Small Stationary: Remote power generation, diesel replacement

Advantages of Anuvu Power-X Fuel Cells

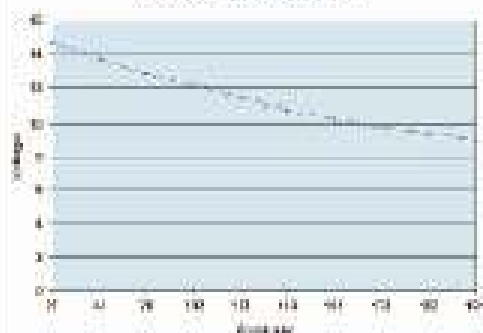
Weight and Volume	Already exceeds DOE goals for mobile applications□
Thermal Management	Liquid cooled for maximum heat removal, efficiency and performance□
Water Management	Designed to operate over a broad range of gas humidity conditions, greatly reducing the complexity of gas humidification subsystems□
Ductile Bipolar Plates	Our bipolar plate assemblies are ductile and can withstand high levels of vibration

EK-2 (Devam) Anuvu 1,5kW yakıt pili



POWER-X™ 1.5kW Cell

VOLTAGE vs. LOAD POWER CHARACTERISTICS



Our Commitment to Quality
We ensure the success of each of our products by first thoroughly understanding our customers and their requirements. Our technical staff provides full systems integration support by delivering a combination of technical excellence, economical and robust design and a complete commitment to excellent customer service.

SPECIFICATIONS: Anuvu 1.5 kW Fuel Cell Stack – 1.5 kW – 12VDC

Parameter	Specification
Peak Power	1.5 kW @ 10 V (2.0 hp @ 10V)
Typical Operation Point	1.0 kW @ 12 V (1.3 hp @ 12 V)
Output Voltage Range	10 – 15 V
Dimensions	18 cm x 18 cm x 12 cm (7" x 7" x 4.75")
Weight	6.8 kg (15 lbs)
Operating Temp @ full Power 50 C	(140 F)
Hydrogen Purity Minimum	99.995 % - Oil & Sulfur Free – Maximum 5ppm CO
Hydrogen Humidification	70 – 100 %
Hydrogen Pressure	(1)2.4 – 4.4 atm (20 – 50 psig)
Air Purity	Oil Free and 0.1 um Particle Filtered
Air Humidification	70 – 100 %
Air Pressure	2.4 – 4.4 atm (20 – 50 psig)
Coolant Water Purity	Triple Distilled Deionized
Coolant Flow/ Temp at Peak kW	3.4 lpm/ 48.5 C (0.9 gpm / 119 F)
Coolant Water Pressure	(1)1.2 – 1.4 atm (10 – 12 psig)
Gas and Coolant Connections	(2)Hydrogen 1" FPT, Air 2 x 3/ 8" FPT, Coolant 2 x 3/ 8" FPT
Recommended Wire Size	4 Gauge at 1.0 kW
Ambient Temp. Range	3 - 49 C (38 - 120 F)

(1) Specifications based on use of air & Hydrogen @40 psig and are subject to change without notice. □

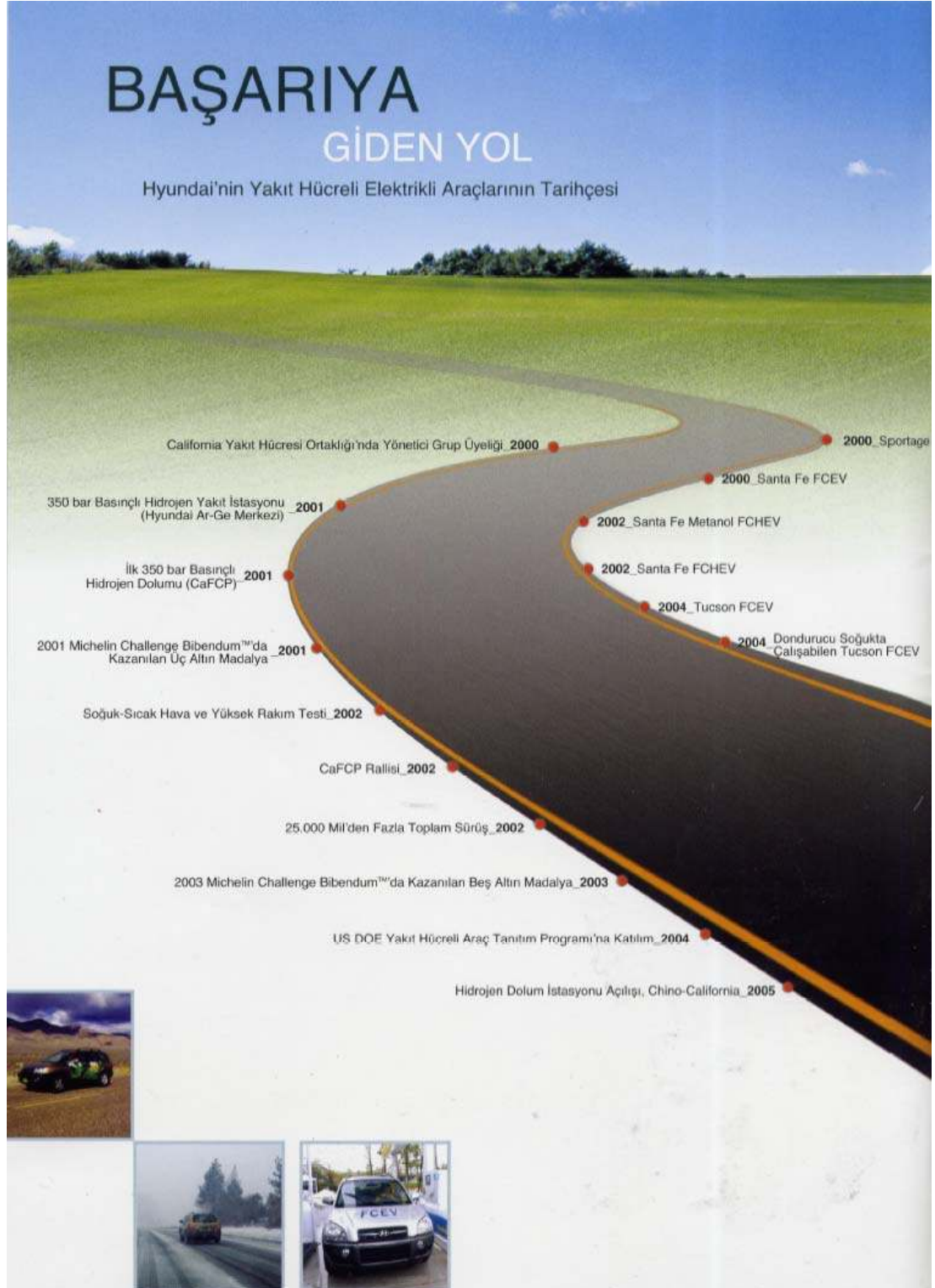
(2) Products can be modified to suit needs. For details contact technicalsupport@anuvu.com

Copyright 1994 - 2005 Anuvu Inc. 1960 Research Drive Sacramento, Ca 95833
Voice - (916) 821-7063, FAX - (916) 821-7064, email - info@anuvu.com

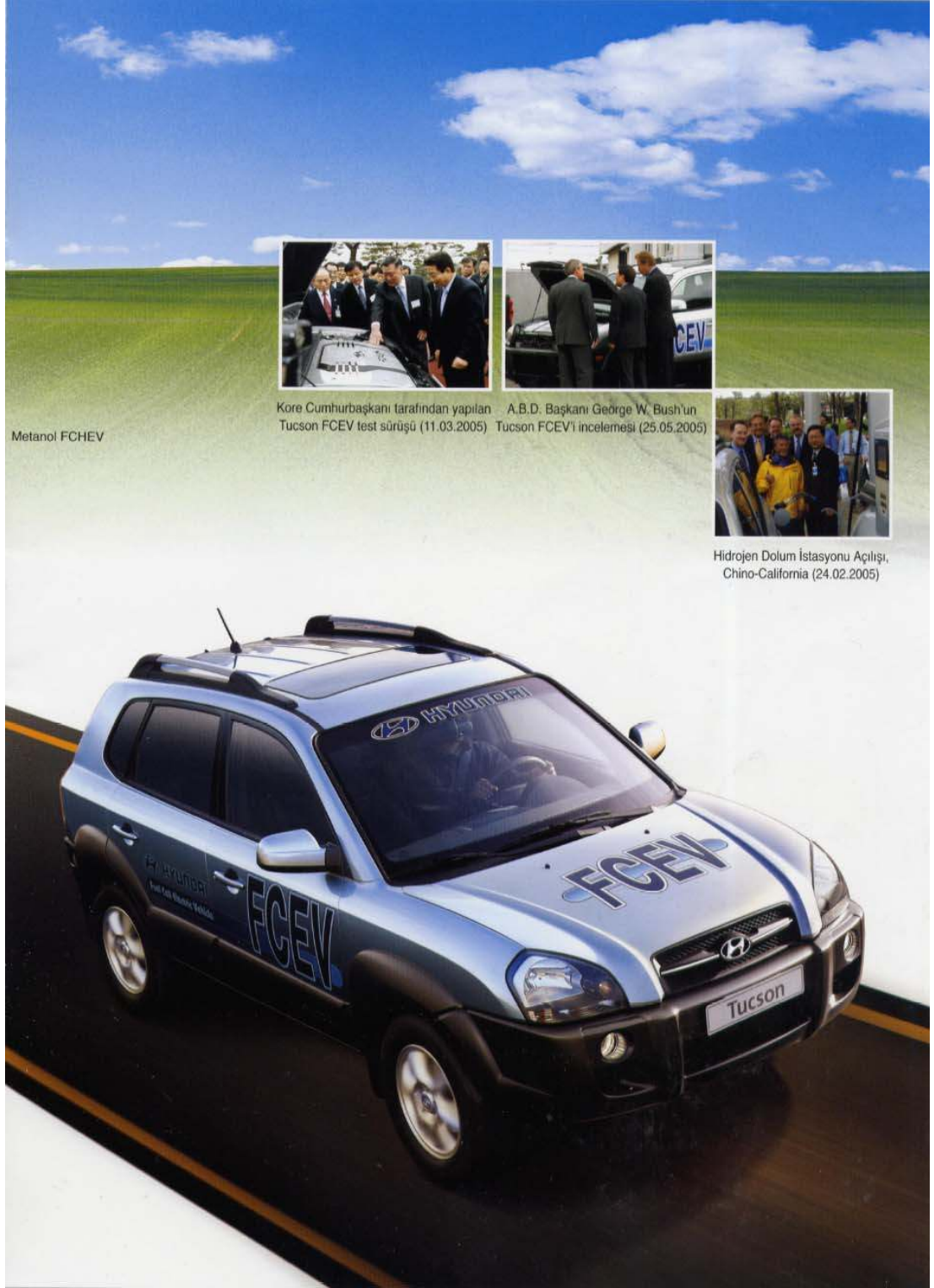
EK-3 Hyundai basın bülteni



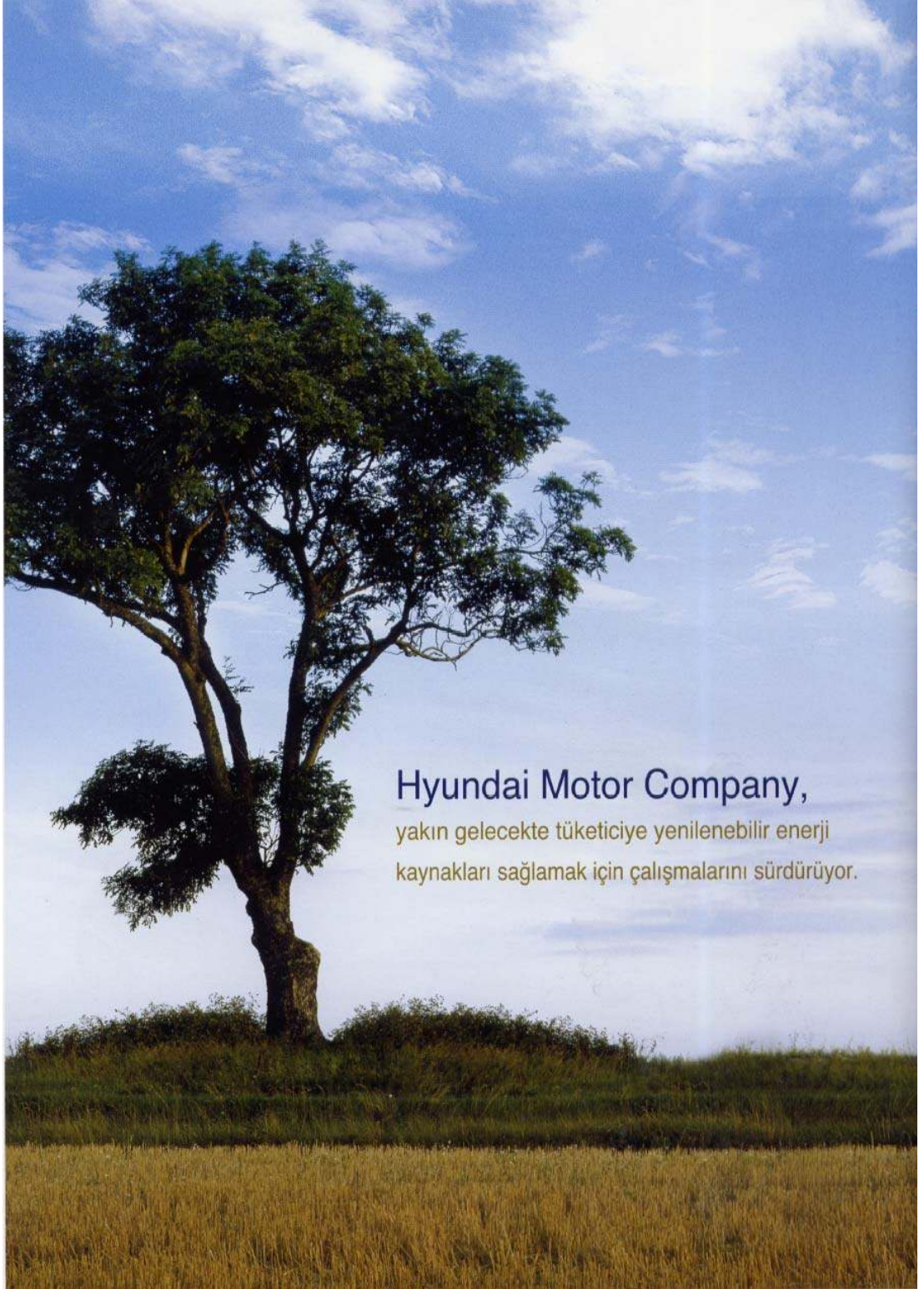
EK-3 (Devam) Hyundai basın bülteni



EK-3 (Devam) Hyundai basın bülteni



EK-3 (Devam) Hyundai basın bülteni



EK-3 (Devam) Hyundai basın bülteni

FCEV

YAKIT HÜCRELİ ELEKTRİKLİ ARAÇ

Yakıt olarak hidrojeni kullanan yakıt hücreli elektrikli araçlar emisyon açığa çıkarmaz. Yakıt hücresi teknolojisi ilk kez uzay mekiklerinin güç kaynağı olarak ve uzayda yaşamlarını sürdürmek için suya ihtiyaç duyan astronotlar için kullanılmıştır. Yakıt hücresi teknolojisi, fiyat, performans ve güvenlik açısından geliştiğinde, diğer bir deyişle bu sistem araçlara uygun hale getirildiğinde, toplu taşıma araçlarında, binalarda, küçük ölçekli elektrik santrallerinde, denizaltılarda, alçak sesle çalışan araçlarda ve mobil iletişim araçlarında kullanılmaya başlanabilecek.



EK-3 (Devam) Hyundai basın bülteni

SİSTEM YAPILANDIRMASI

Hyundai'nin ikinci nesil yakıt hücresi aracı, Tucson arazi aracı baz alınarak hazırlanmıştır. Tucson FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle – Yakıt Hücresi Elektrikli Araç), yüksek güç, yolcu rahatlığı ve yük taşıma kapasitesi ön planda tutularak geliştirilmiştir.

Tucson FCEV'in güç kaynağı, ön kaputun altında bulunmaktadır. Daha önceki araçlarda sistem, yolcu bölümündeki zeminin altında yer alıyordu.

Tucson FCEV, sıfırın altındaki dondurucu soğuklarda bile çalışabilmektedir. Tucson FCEV, düşük sesle çalışmasının yanı sıra benzinli motora sahip seri üretim bir Tucson gibi geniş yolcu ve bagaj hacmi sunmaktadır. Hafif ve performansı yükselten alüminyum gövde parçalarına sahip olan bu yakıt hücresi elektrikli araç, seri üretim bir arazi aracıyla aynı güç/ağırlık oranına sahiptir.

DÜNYAMIZI YEMYEŞİL Yapmaya Çalışıyoruz...



TEKNİK ÖZELLİKLER

Araç Ağırlığı	1765 kg
Sürüş Menzili	300 km
Yakıt	Hidrojen (350 bar)
Yakıt Deposu	152 litre (3,5 kg)
Emisyon	Sadece su buharı
Çalışma Basıncı	Çevre (1 bar)
Voltaaj	250 ~ 460 Volt DC
Motor	3 aşamalı AC/80 kW
Maksimum Hız	150 km/s
Yakıt Hücresi Gücü	80 kW
Batarya Türü	LIPB 152V



EK-3 (Devam) Hyundai basın bülteni



ÖZGEÇMİŞ

Abdullah Ersan OĞUZ 1974 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. 1994 yılında Ankara Üniversitesi Elektronik Mühendisliği bölümünü bitirdi. Aynı yıl Hv.Müh.Tğm rütbesi ile Hava Kuvvetlerine katıldı. 2002 yılında Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Bölümünde yüksek lisans eğitimini tamamlayarak İşletme Uzmanı unvanını aldı. Abdullah Ersan OĞUZ Evli olup halen 3 ncü Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığında görev yapmaktadır.