

**İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAKIT PİLLERİNİN ASKERİ UYGULAMALARDA
KULLANILMASI**

Adnan KALAFAT

**FBE Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Eralp ÖZİL

İSTANBUL, 2007

**İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAKIT PİLLERİNİN ASKERİ UYGULAMALARDA
KULLANILMASI**

Adnan KALAFAT

**FBE Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Eralp ÖZİL

İSTANBUL, 2007

Hazırlamış olduğum tez özgün bir çalışma olup YÖK ve İTİCU Lisansüstü Yönetmeliklerine uygun olarak hazırlanmıştır. Ayrıca, bu çalışmayı yaparken bilimsel etik kurallarına tamamıyla uyduğumu; yararlandığı tüm kaynakları gösterdiğimi ve hiç bir kaynaktan yaptığım ayrıntılı alıntı olmadığını beyan ederim. Bu tezin ihtiva ettiği tüm hususlar şahsi görüşüm olup; Türk Silahlı Kuvvetlerinin ve İstanbul Ticaret Üniversitesinin resmi görüşlerini yansıtmamaktadır.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTIMA LİSTESİ	iii
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
GRAFİK LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
2. YAKIT PİLİNİN KAVRAMSAL ÇERÇEVESİ	4
2.1 Yakıt Pili Kullanımının Tarihsel Gelişimi.....	4
2.2 Yakıt Pilinin Yapısı	5
2.3 Yakıt Pili Çeşitleri ve Özellikleri	7
2.3.1 Alkali Yakıt Pili (AFC)	7
2.3.2 Fosforik Asit Yakıt Pili (PAFC).....	8
2.3.3 Katı Oksitli Yakıt Pilleri (SOFC)	9
2.3.4 Proton Değişim Membranlı Yakıt Pili (PEMFC).....	10
2.3.5 Eriyik Karbonatlı Yakıt Pili (MCFC).....	14
2.3.6 Doğrudan Metanol Kullanılan Yakıt Pili (DMFC).....	14
2.4 Yakıt Hücrelerinin Karşılaştırılması.....	16
2.5 Yakıt Pili Kullanımının Avantajları Ve Dezavantajları.....	17
2.5.1 Yakıt Pili Kullanımının Avantajları	17
2.5.2 Yakıt Pili Kullanımının Dezavantajları	18
2.6 Yakıt Pillerinin Diğer Yakıtlarla Karşılaştırmaları.....	18
2.6.1 Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Bakımından Karşılaştırılması	18
2.6.2 Performansları Yönünden Karşılaştırılması	21
2.6.3 Egsoz Emisyonu Yönünden Karşılaştırılması	21
2.6.4 Hava Kirliliği ve Güvenlik Etkileri Bakımından Karşılaştırılması	22
2.6.5 Ekonomiklik Yönünden Karşılaştırılması	23
3. YAKIT PİLİ UYGULAMA ALANLARI.....	24
3.1 Uzay Çalışmaları	24
3.2 Evsel Uygulamalar.....	25
3.3 Sabit Güç Üretim Sistemi/Yüksek Güç Üretim Sistemi Uygulamaları.....	25
3.4 Taşınabilir Güç Kaynağı Uygulamaları.....	26

3.5	Atık/Atık Su Uygulamaları.....	26
3.6	Taşıt Uygulamaları	26
4.	BOR VE HİDROJENİN YAKIT PİLLERİNDE KULLANIMI.....	29
4.1	Borun Tanımı.....	29
4.2	Borun Oluşumu ve Bulunuşu	29
4.3	Borun Kullanım Alanları	30
4.4	Borlu Yakıt Sistemleri.....	31
4.4.1	Hidrojen Motorları ve Entegre Sistemleri	31
4.4.2	Bor Yakıtı Kullanan Sistemler	32
4.5	Dünya’da ve Türkiye’de Bor Cevheri Rezerv Dağılımı.....	33
4.6	Hidrojen	34
4.6.1	Hidrojen Enerjisi ve Hidrojen Teknolojilerinin Kullanım Alanları	35
4.6.2	Hidrojen Enerjisi ve Hidrojen Teknolojileri Konusunda Dünya’daki Araştırma-Geliştirme Çalışmaları	36
4.6.3	Hidrojen ve Hidrojen Teknolojileri Konusunda Türkiye’deki Araştırma-Geliştirme Çalışmaları	37
5.	YAKIT PİLLERİNİN ASKERİ ALANLARDA UYGULANMASI.....	42
5.1	Portatif Uygulamalar	44
5.2	Sabit Uygulamalar	47
5.3	Denizcilik Uygulamaları.....	48
5.4	Askeri Lojistik Araçlar	59
5.5	İnsansız Hava Araçları (UAV)	50
5.6	Zırhlı Araçlar	51
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	54
	KAYNAKLAR.....	56
	ÖZGEÇMİŞ.....	60

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AFC	Alkali Yakıt Pili
APU	Yardımcı güç ünitesi
AR-GE	Araştırma-Geliştirme
BDT	Bağımsız Devletler Topluluğu
DMFC	Doğrudan Metanol Kullanılan Yakıt Pili
LPG	Likit Petrol Gaz
MAM	Marmara Araştırma Merkezi
MCFC	Eriyik Karbonatlı Yakıt Pili
NASA	Uluslararası Havacılık ve Uzay Araştırma Merkezi
PAFC	Fosforik Asit Yakıt Pili
PEM	Proton Değişim Membranlı
PEMFC	Proton Değişim Membranlı Yakıt Pili
SOFC	Katı Oksitli Yakıt Pilleri
TAI	Türk Havacılık ve Uzay Sanayi
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TTGV	Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
UAV	İnsansız Hava Aracı
YSZ	Çinko Üzerine Tutturulmuş Yittria
YTL	Yeni Türk Lirası

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Yakıt Pillerinin Karşılaştırılması.....	16
Tablo 2.2 Otto, Diesel ve Yakıt Hücreli Araçların Verim Karşılaştırması	17
Tablo 2.3 Yakıt Pillerinin Diğer Yakıtlarla Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Bakımından Karşılaştırılması	19
Tablo 2.4 Yakıt Pillerinin Diğer Yakıtlarla Performansları Yönünden Karşılaştırılması	21
Tablo 2.5 Yakıtların Hava Kirliliği ve Güvenlik Etkileri Bakımından Karşılaştırılması.....	22
Tablo 4.1 Ükelere Göre Dünya Bor Rezerv Dağılımı.....	34
Tablo 4.2 Türkiye’de Üretilen Elektriğin Kaynakları ve Payları.....	38

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Alkali Yakıt Pilinin Şematik Gösterimi	8
Şekil 2.2	Fosforik Asit Yakıt Pili Şematik Gösterimi	9
Şekil 2.3	Katı Oksitli Yakıt Pili Şematik Gösterimi.....	10
Şekil 2.4	PEM Yakıt Hücresinin Çalışma Şekli	11
Şekil 2.5	Bir PEM Yığını	12
Şekil 2.6	Bir Membran Yığın İçine Yerleştirilirken.....	12
Şekil 2.7	Proton Değişim Membranlı Yakıt Pili Şematik Gösterimi	13
Şekil 2.8	Eriyik Karbonatlı Yakıt Pili Şematik Gösterimi	14
Şekil 3.1	Yakıt Pilinin Muhtelif Uygulama Alanları.....	24
Şekil 4.1	Shell Firmasının Açmış Olduğu Hidrojen İstasyonu	33
Şekil 5.1	Yakıt Pillerinin Çeşitli Alanlarda Kullanımı.....	42
Şekil 5.2	250 Wattlık Portatif Güç Sistemi	45
Şekil 5.3	Yakıt Piliyle Çalışan Portatif Bilgisayar	45
Şekil 5.4	Yakıt Piliyle Çalışan Telsiz Örneği.....	46
Şekil 5.5	NASA Tarafından Ay Üzerine Kurulması Planlanan Sabit Yakıt Hücresi İstasyonu.....	47
Şekil 5.6	Mobil İstasyon.....	48
Şekil 5.7	Almanya'nın Yakıt Pili Kullanan İlk Denizaltısı 2003 Yılında Test Edilirken	49
Şekil 5.8	Hickham Havaalanındaki Hidrojen Yakıt İst. ve Deneyde Kullanılan Otobüs.....	49
Şekil 5.9	General Motors Firmasının 5 kw'lık Yakıt Hücreli Taşıtı	50
Şekil 5.10	NASA Tarafından Geliştirilen Yakıt Piliyle Çalışan İnsansız Hava Aracı.....	51
Şekil 5.11	United Defence Firmasının Yakıt Piliyle Çalışan Zırhlı Araç Prototipi	52

GRAFİK LİSTESİ

Grafik 2.1 Gelecekteki Elektrik Santrallerinin Verim Oranları	17
Grafik 5.1 Yakıt Pili Askeri Alanlarda Uygulama Alanları Bölgesel Dağılımı.....	43
Grafik 5.2 Yakıt Pilinin Askeri Uygulama Alanları Bakımından Dağılımı	43
Grafik 5.3 2006 -2007 Yılları Uygulama Alanları Çalışma Grafiği.....	44

ÖNSÖZ

İhtiyaçları her geçen gün bir önceki güne göre artış gören dünyamızda, artan nüfus artışı, sanayi ve teknolojinin hızla gelişmesi, temel yaşam kaynağı olan suya ve dolaylı olarak da enerjiye olan bağımlılığı arttırmıştır. İnsanlar su sayesinde her türlü temel ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. Günümüzde enerji de insanoğlu için su kadar önemli hale gelmiş, hatta enerji olmadan yaşayabilmek imkansız hale gelişmiştir.

İnsanoğlu günümüze kadar olan zaman zarfında enerjinin değişik türlerinden yararlanmış ve zaman zaman bunlardan bazılarının kullanımından vazgeçmiş veya kullanım miktarında azaltma yoluna giderek başka enerji türlerini kullanım yoluna gitmiştir. Bilim adamları 20. yüzyılda “nasıl enerji üretebilirim?” diyerek araştırma yaparken, günümüzde “fosil kaynakları kullanmadan, çevreye zarar vermeden ve yüksek verimli nasıl enerji üretebilirim?” sorusuna cevap aramaya başlamışlardır.

Fosil yakıt ve nükleer enerjiden sonra çevreye zarar vermeyen ve tamamen doğal kaynaklardan elde edilen yenilenebilir enerji kaynaklarını denemiş, bunların veriminin düşük olması ve yeterli gücü sağlayamaması sebebiyle yine değişik enerji üretim araştırmalarına başlamıştır.

Hidrojeni yakıt olarak kullanan yakıt pillerinin enerji üretiminde yeni ufuklar açacağı yapılan araştırmalar sonucu ortaya çıkmıştır. Yakıt pillerinin çevre ve gürültü kirliliğine neden olmamaları, hareketli parça içermemeleri ve fosil yakıtlardan daha yüksek dönüşüm elde edebilmeleri gibi avantajlarını ortaya çıkaran bilim adamları, öncelikle uzay çalışmalarında bu teknolojiyi kullanmıştır. Yakıt pillerinin uzay çalışmalarında başarılı olması, bu teknolojinin günlük yaşamda da kullanılması fikrini ortaya çıkarmış ve bu yönde araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Günümüzde birçok yerli ve yabancı firmalar yakıt pilleri üzerinde çalışmaya devam etmektedir.

Yakıt pilinin askeri alanda uygulamaları konulu tez çalışmamın hazırlanması sırasında, değerli bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Eralp ÖZİL’e, yüksek lisans eğitim ve tezimi hazırlamam döneminde yine yardımlarını hiç esirgemeyen Dr. Alper ÖZPINAR ve arkadaşım Maden Mühendisi Murat ÇİLOĞULLARI’na, her zaman yanımda olan ailem ve diğer tüm dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Adnan KALAFAT

Ekim 2007

ÖZET

Yeni enerji teknolojisi kapsamında çeşitli enerji dönüşüm yöntem ve/veya sistemleri içinde yakıt pilleri sahip olduğu pek çok olumlu özellikle ön plana çıkmaktadır. Yakıt pilleri, yakıt ve oksitleyicinin bileşimine, yakıtın dolaylı veya direk yoldan verilmesine, kullanılan elektrot ve elektrolit cinsine, operasyon sıcaklığına bağlı olarak 6 grupta toplanabilir. Bu gruplar içinde basit yapısı, yüksek verimi, çevre dostu çalışma özellikleri, reformlama ünitesine ihtiyaç duyulmaması ve hidrojenin artık daha kolay depolanabilir olması nedeniyle, yakıt pili, günümüzde en çok çalışma yapılan ve gelecekte de en çok kullanım alanı bulacağına inanılan pillerin başında gelmektedir.

Yakıt hücrelerinin askeri alanda uygulamalarının, sabit güç istasyonu altyapısında, iletişim araçlarında ve silahlarda, ulaşımda, askeri araçlarda (tanklarda, uçaklarda ve denizaltında vb.) geniş bir yelpazede kullanılması tezin içeriğinde gösterilmiştir. Son 12 ayda firmaların askeri alanda yakıt pili sistemlerinin geliştirilmesi konusunda yaptıkları çalışmaların arttığını görüyoruz.

Bu çalışmamızda yakıt pilinin çalışma prensibi, yapısı, bileşenleri ve uygulama alanları incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yakıt Pili, Askeri Uygulamalar, Bor, Hidrojen Yakıt Pili.

ABSTRACT

Fuel cells get attention among the new energy technologies, because of their properties. Fuel cells are classified according to fuel and oxidant used, types of electrodes and electrolytes used at and their operation temperatures. They are classified into 6 different groups. Because of its simple structure, high efficiency and environment friendly characteristic, hydrogen fuel cells is the last member of energy source family. Fuel cells will have a big field of usage and wide investigations are and will be done on this technology.

As demonstrated earlier in this thesis, there is a good mix of technologies being used for a wide range of military applications including stationary power for military bases; fuel cells for communications devices and weapons; and transport, military vehicles (including tanks, planes and submarines etc.). In the last twelve months, however, we have seen an increased share of companies developing fuel cell systems for military applications.

In this work, structure, parts, practice, theory and military applications of fuel cells are reviewed.

Key words: Fuel cell, Military Application, Bor, Hydrogen Fuel Cell

1. GİRİŞ

İnsanlığın ateşi bulup kullanmaya başladığı günden beri en büyük problemlerinden biri enerji sorunu olmuştur. Ateşin kullanılmasıyla beraber odun, kömür gibi katı yakıtlar enerji kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraları ise bunlara petrol ve bir enerji türü olan elektrik eklenmiştir.

Endüstri devrimi ile 1750 yılından bu yana, teknik yeniliklere dayalı olarak dünya genelinde ekonominin gelişmesi, peş peşe beş ayrı dalgalanma biçiminde sürmüştür.

1750-1825 yılları arasındaki birinci dalgalanmanın temel enerji kaynağı kömürdür.

1825-1860 arasındaki ikinci dalgalanmada, ekonomiye ivme kazandıran elektrik olmuştur.

1860-1910 yılları arasındaki üçüncü dalgalanmada elektrik etkisini sürdürmüş, ama yeni kaynak olarak petrol ortaya çıkmıştır. Elektrik 20. yüzyıla damgasını vuran bir enerji taşıyıcısıdır. 1910-1970 arasındaki dördüncü dalgalanmada ekonomiyi büyüten yeni enerji kaynağı nükleer enerjidir. Günümüzde elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan nükleer santrallerin ve rezervleri azalan, çevreyi kirleten fosil enerji kaynaklarının yerine doğa ile dost, yenilenebilir kaynakların kullanımı gündeme gelmiştir. Bu kaynaklar sırasıyla; güneş, rüzgar, su gücü (hidrolik enerji, jeotermal enerji, dalga enerjisi, gelgit enerjisi, sıcaklık gradyent enerjisi ve akıntı enerjisi), biyokütle ve hidrojen enerji kaynaklarıdır.

Şimdi 1970'lerde başlayan, 21. yüzyılın neresinde biteceği henüz bilinmeyen yeni bir dalgalanma içindeyiz. Bu yeni dalgalanmayı etkileyen enerji türü hidrojendir. Hidrojen 21. yüzyıla damgasını vuracak bir diğer enerji taşıyıcısıdır. Hidrojen, kullanım verimi yüksek bir yakıttır. Hidrojenin kullanılmasını gerektiren başlıca iki neden olup, biri fosil yakıtların yanma emisyonu karbon dioksitin artmasından kaynaklanan, global ısınmaya neden olan çevre sorunu, diğeri petrol ve doğalgaz gibi akışkan hidrokarbonların bilinen üretilebilir rezerv ömürlerinin insan ömrü ile kıyaslanabilecek boyuta düşmüş olmasıdır.

Bu noktada yakıt pillerinin ne denli önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden fosil yakıt tüketiminin azaltılması ve daha düşük emisyon değerlerine ulaşılması gerekmektedir. Bu da

ancak yakıt pillerinin daha yaygın olarak kullanılmasıyla gerçekleşecektir (Fuel Cell Seminar, 2002).¹

Yakıt pilleri, yakıt olarak hidrojeni kullanan ve son yıllarda üzerinde yoğun olarak çalışılan ve gelecek kuşaklarda çok daha yaygın olarak kullanılacağı tahmin edilen en önemli alternatif teknolojilerden birisidir. Yakıt pilleri, yüksek verimde çalışan enerji dönüşüm sistemleridir ve bu sistemde hidrojenin kimyasal enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi üretilmektedir. Sessiz olmaları, çevre ve gürültü kirliliğine neden olmamaları, hareketli parça içermemeleri ve fosil yakıtlardan daha yüksek dönüşüm elde edilebilmeleri gibi avantajlara sahiptir. Yakıt pilleri, cep telefonlarının ihtiyacını karşılayacak kadar az veya bir kente yetebilecek kadar çok güç üretebilecek kapasitelerde tasarlanabilmektedir. Bu nedenle, ulaşım araçlarından evsel ve endüstriyel uygulamalara kadar geniş bir kullanım potansiyeline sahiptirler. Yakıt pili piyasasının büyüklüğünün gelecek birkaç yıl içerisinde 1-2 milyar dolara, gelecek on yıl içerisinde ise (araç uygulamalarının yaygınlaşması ile) 20 milyar dolara kadar çıkması beklenmektedir. Bununla birlikte yakıt pillerinde kullanılan hidrojenin üretimi, depolaması ve taşınması yakıt pili teknolojisinin yaygınlaşması ve kullanımında önemli dar boğazlardan biridir (Güyağüler, 2001).

Aslında hidrojenin uygulanabilirliğini engelleyen en önemli konu hidrojenin depolamasıdır. Bugünün depolama yöntemleri (basınçlı silindirler, sıvı hidrojen depolama, kriyonejik silindirler, metal hidrürler, karbon nanotüpler, cam mikrokürecikler, zeolitler, metal-hidrit, gaz ve sıvı halde) çok pahalı, ağır ve çeşitli uygulamaların ihtiyaç duyduğu kriterleri tam karşılamamaktadır

Bu kriterlerin en önemlileri;

- Kullanılabilir hidrojen yoğunluğu (hem ağırlık hem de hacimsel olarak)
- Kullanım emniyeti
- Maliyet

olarak sayılabilir (Obitet, 2007).

¹ Fuel Cell Seminar, 2002, http://www.gofuelcell.com/agenda_thursday.html (15.07.2007)

Bu noktada dünyanın da üzerinde yoğun olarak çalıştığı bor kimyasalı olan sodyum borhidrür önemli bir çözümdür. Ayrıca Türkiye'nin bor minerallerince yaklaşık % 63 payla dünyadaki en zengin ve kaliteli rezervlere sahip ülke olduğu da dikkate alındığında sodyum borhidrürün yakıt pilinde kullanımının önemi bir kat daha artmaktadır. (Yılmaz, 2002).

Türkiye'nin, sahip olduğu bor cevherleri zenginliğini katma değere dönüştürebilmesi, dünya bor pazarında sahip olduğu bu zenginliğe eşdeğer bir yere gelebilmesi için, katma değeri yüksek, yaygın olarak büyük miktarlarda kullanılacak bor bileşikleri üretimine geçilmesi gereklidir.

Bor için çok yaygın bir kullanım olanağı açan sodyum borhidrür üretimi ve yakıt pillerinde kullanımı, ülkemizin bu zenginliğini enerji alanında değerlendirmede yeni ufuklar açacaktır.

2. YAKIT PİLİNİN KAVRAMSAL ÇERÇEVESİ

2.1 Yakıt Pili Kullanımının Tarihsel Gelişimi

Yakıt pilleri teknolojisinin bulunuşu, 1839 yılında Sir William Robert Grove tarafından olduğu kabul edilmektedir. Onun geliştirdiği yakıt hücresi sistemi, elektrolit olarak seyreltik sülfürik asit, oksitleyici etken olarak oksijen ve yakıt olarak da hidrojen kullanılmaktaydı. Yakıt pilleri yakın zamana kadar sadece laboratuvarlarda ve uzay yolculuğu gibi belli alanlarda kullanılmaktaydı. Fakat uzay gemilerinde kullanılmaya başlaması ile birlikte 1960'tan itibaren çok hızlı olarak gelişmeye başlamış ve fosil yakıtların kirleticiliğine çözüm olarak son yıllarda kara taşıt araçlarında içten yanmalı motorlar yerine enerji sağlayıcı olarak kullanılmaya başlanmıştır (Çetinkaya, Karaosmanoğlu, 2002).

Özellikle sanayinin ve araştırmaların başladığı yıllar olan 1900'lere doğru geldiğimizde fosil yakıtların kimyasal enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine çevirme isteği ve kömürün oksidasyonu ile ilgili yapılmış pek çok araştırma ile karşılaşmaktayız. Hatta bunlar arasında 1960'larda uzay araçlarında kullanılan $H_2 - O_2$ uzay güç hücrelerine çok benzeyen hidrojen yakıt hücrelerine rastlanmaktadır. Bu çalışmaların başarıya ulaşamamasının genel sebebi malzemelerden dolayı oluşan problemlerdir (Çetinkaya, Karaosmanoğlu, 2002).

1920'lerden sonra ise gaz-difüzyon elektrotunun düşük sıcaklıkta gerçekleşen işlemler için önemli bir anahtar olduğu fark edilmiştir. A. Schmid, platin katalizörlü, gözenekli karbon-hidrojen elektrotları silindirik şekilde yapan ilk araştırmacı olmuştur. Bunun sonucunda benzer şekilde dizayn edilmiş havalı elektrotlara göre daha pratik yakıt pilleri yapılabilmektedir (Çetinkaya, Karaosmanoğlu, 2002).

Bütün bu gelişmelere rağmen, meydana gelen İkinci Dünya Savaşı direkt enerji çevrimi konusunda yürütülmekte olan araştırmaların çoğunun durdurulmasına yol açmıştır. Bu araştırmaların durdurulması sonucu, zaten gelişmiş olan ve güç ihtiyacını karşılamaya hazır olan içten yanmalı motorlar ulaşım sektörünün lideri olmuş, havada jet motorları ve güç ünitelerinde de gaz türbinleri bu yolu izleyerek ön plana çıkmışlardır.

Bu gelişmeler ışığında Birleşik Krallıkta F. T. Bacon, gözenekli metal elektrotlu alkali yakıt hücresi sistemleri üzerinde çalışmış ve savaştan sonra bu çalışmalarını yayınlamıştır. F. T. Bacon'un geliştirdiği yakıt hücresi sistemi, 1968'de insanların Ay'a ulaşmasını sağlayan NASA yakıt pilleri sistemlerinin ilk prototipi olma özelliği kazanmıştır. Yakıt pilleri alanındaki araştırmalar tekrar popüler olmuştur. Yapılan araştırmalar sonucunda düşük katalizör

yüklemeli gözenekli karbon kullanımının hidrojen-hava yakıt pillerinde düşük maliyetli bir çözüm olduğu kanıtlanmıştır, bu da yakıt hücreleriyle çalışan elektrikli otomobillere olan ilgiyi çok fazla arttırmış ve birçok prototipin üretilmesini sağlamıştır. 1970'te K. Kordesch, hidrojen yakıt pilleri ile çalışan 4 kişilik bir otomobil üretmiştir. Bu aracı üç yıl boyunca şehir trafiğinde kullanmayı başarmıştır (Nature, 2000).

1970'lerin ortasında şaşırtıcı bir değişim olmuş, o ana kadar uzay araştırmalarında en üst gelişmişlik düzeyine ulaşan alkali yakıt hücresi sistemleri yerlerini sabit güç ünitelerine daha uygun olduğu düşünülen fosforik asit yakıt hücresi sistemlerine bırakmışlardır. Bu gelişmelere paralel olarak hidrokarbonların tercih edilen yakıt kaynakları olarak yeniden yapılandırılması ve geliştirilmesi gerekmiştir. Bu büyük ölçekli güç ünitesi üretimine olan ilgi, ABD'de ilginin biraz düştüğü dönemlerde, özellikle Japonya'da fark edilebilmektedir (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2007).

Yüksek sıcaklıklı ünitelerin genelde çok iyi verimleri olmasından dolayı 1980'lerde erimiş karbonatlı yakıt pilleri sistemlerinin ve 1990'larda da katı oksit yakıt pilleri sistemlerinin geliştirilmesine ağırlık verilmiştir. Ama ne yazık ki yüksek sıcaklıklı yakıt pilleri sistemlerinin ömürleri ile ilgili sorunlar giderilememiştir.

Teknolojideki belki de en önemli gelişme 1990'larda gerçekleşmiştir. Membranlı yakıt pilleri sistemleri gelişimdeki en önemli nokta olmuştur. Aslında membranlı yakıt pilleri sistemleri 1960'larda da biliniyordu, fakat uzay çalışmalarında alkali sistemler kadar başarılı olmadıkları için önemleri bu süre zarfında alkali sistemlerin gerisinde kalmıştır. Yeni membran çeşitleri ve katalizör araştırmaları sonucu yüksek güç yoğunluklarına ulaşabilmiştir. Geriye bir tek sorun kalmıştır, o da membranlar ile soğutma ve atık su dolaşım sistemlerinin yüksek maliyeti sorununun çözülmesidir (Baş, 2005).

Günümüzde de büyük maliyetler gerektiren teknolojik buluşlar gizli bir şekilde yürütülmekte, daha ekonomik, daha ucuz ve daha az yer kaplayan yakıt pilleri araştırmalarına devam edilmektedir. Önümüzdeki yirmi yıllık zaman dilimi içinde birçok alanda yakıt pillerini görmek mümkün olacaktır.

2.2 Yakıt Pili Yapısı

Yakıt pili üç ana bölümden oluşmaktadır:

- Yakıt işleme ünitesi
- Yakıt beslemesinin olduğu, dolaylı beslemede ön işlemin gerçekleştirildiği ünite,

- Güç üretim sistemi (<http://www.bilgiustam.com/?p=190>, 2007).

Bir yakıt pili, anot (negatif, hidrojen elektrot), katot (pozitif, oksijen elektrot) ve elektrolit çözeltisinden oluşur. Hava, katot yüzeyi üzerinden geçerken, hidrojen veya hidrojen zengin gaz da anot yüzeyinden geçer. Elektronlar katoda doğru bir dış devre yoluyla taşınırlarken, hidrojen iyonları da elektrolit yoluyla oksijen elektroda göç ederler. Katotta, oksijen ve hidrojen iyonları ile elektronların reaksiyona girmesiyle su elde edilir. Elektronların dış devre yoluyla akışı elektrik üretir. Yakıt kullanımındaki yüksek verim nedeniyle, bu elektrokimyasal işlemde çıkan yan ürün sadece su ve ısıdır. Yakıt pili sistemi bir yanma reaksiyonu vermediği için çok daha fazla elektrik üretmektedir. Bu sistemi, pilden ayıran en büyük özellik, güç üretimi için şarja gereksinim olmaması ve yakıt sağlandıkça güç üretiminin devam edecek olmasıdır (Kadırgan, 2003).

Tüm yakıt pillerinde su, pil çalışma sıcaklığına göre sıvı veya buhar şeklinde ürün olarak açığa çıkar. Oksitleyici olarak oksijen kullanılıyorsa su, hava kullanılıyorsa azot ve su, bileşimde karbon bulunan yakıt kullanılması durumunda ise karbon dioksit oluşur. Su, pili terk eder ve böylece pil kendini soğutmuş olur. Ancak çok yüksek sıcaklıkta çalışan pillerde soğutma ekipmanı kullanılması gerekir.

Yakıt pili temel bileşenlerinin seçiminde kısıtlamalara neden olan en önemli nokta, seçilen malzemenin sisteme uyumluluğudur. Seçilmiş malzeme çok uzun süre sabit kalacak şekilde olmalıdır. Performans belirleyici polarizasyon grafikleri yardımıyla yakıt pillerindeki enerji kaybının malzeme seçimiyle ilişkisi belirlenir. Yapılan çalışmalar sonucunda, pratikte bir yakıt pilinin polarizasyonlardan kaynaklanan enerji kayıpları sonucunda ürettiği doğru akım, 0.5 – 0.9 V kadar olduğu belirlenmiştir. Performans, pilin sıcaklığı ve maddelerin kısmi basınçlarının artırılmasıyla gerçekleştirilir (Linden, 1984).

Yakıt pillerinde;

- Fosforik asitli,
- Ergimiş karbonatlı,
- Katı oksitli,
- Proton geçiren zarlı (PEM) elektrolitler kullanılabilir.

Elektrolitler pil çalışma sıcaklığı, basıncı, reaktanların cinsi ve safsızlıkların niteliğine göre seçilir.

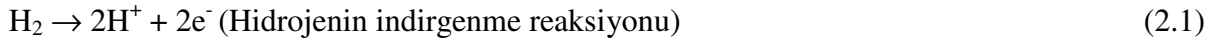
Yakıt pillerinde gözenekli, gözeneksiz ve hidrofob elektrotlar kullanılabilir. Kıymetli

katalizörlerle aktifleştirilmiş karbon yapıları elektrotlar ekonomik olup, az yer kaplarlar. Tek bir hücre gerilimi 1 volttan daha az olduğundan, gerekli elektrik enerjisini üretmek için birden fazla yakıt pilini seri ve paralel bağlayarak kullanmak gereklidir. Bütün bir yakıt pili güç üretim sistemi, bir yakıt kaynağı, bir hava kaynağı, bir soğutma ünitesi ve bir de kontrol ünitesi içeren bir otomobil motoruna benzetilebilir (Şen, 2002).

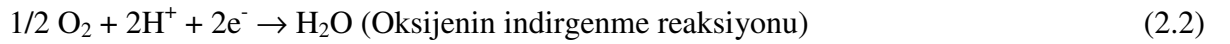
Güç dönüştürücü, hücrede üretilen doğru akımı, ticari kullanım için alternatif akıma çeviren ünedir. HİDROJEN-OKSİJEN yakıt pili tepkimeleri asidik ve bazik elektrolitler için aşağıda açıklanmıştır:

Asidik Elektrolit

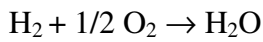
1. Anot Reaksiyonu (Hidrojen):



2. Katot Reaksiyonu (Oksijen):

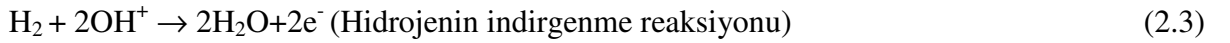


3. Toplam Reaksiyonu:

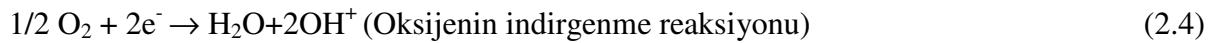


Bazik Elektrolit

1. Anot Reaksiyonu (Hidrojen):



2. Katot Reaksiyonu (Oksijen):



3. Toplam Reaksiyonu:



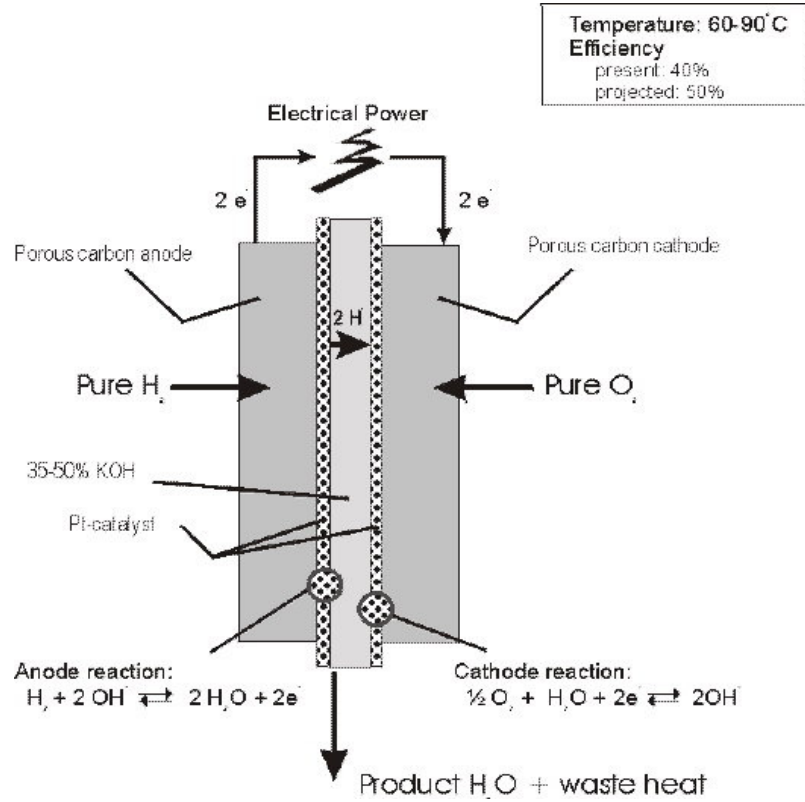
(Winter, 2000).

2.3 Yakıt Pili Çeşitleri ve Özellikleri

2.3.1 Alkali Yakıt Pili (AFC)

Bu yakıt pilinde elektrolit olarak KOH kullanılır. Alkali elektrolitlerde oksijen indirgeme kinetiği asit elektrolitlerden daha hızlıdır ve soy metal olmayan elektro katalizörlerin kullanılabilmesi AFC'yi ekonomik yapmaktadır. Ancak elektrolitin CO₂ gibi asidik safsızlıkların ortamda bulunmasına izin vermemesi emisyon oranından dolayı sorun yaratır.

Alkali sistemler oda sıcaklığında çok iyi çalışır ve diğer tüm yakıt sistemleri arasında en yüksek voltaj verimine sahiptirler. Ayrıca birçok malzeme ile iyi uyum sağlayabildiğinden AFC'ler uzun işletim ömrüne sahiptir. AFC'ler güvenilir sistemlerdir ve küçük hacimde nispeten yüksek güçler elde edebilmektedirler. Güç yoğunlukları 100-200 mW/cm² arasında değişmektedir. Maliyetler ise ulaştırma sektörü için 50/100 \$/kW değerlerine ulaştırılmaya çalışılmaktadır.



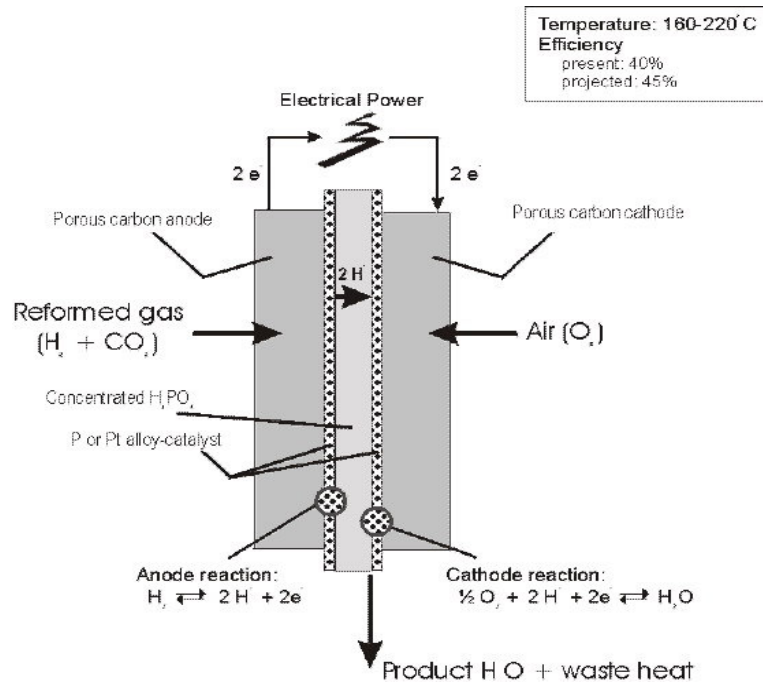
Şekil 2.1 Alkali Yakıt Pilinin Şematik Gösterimi (Journal of Power Sources, 2007).

2.3.2 Fosforik Asit Yakıt Pili (PAFC)

Elektrolitik olarak fosforik asidin kullanıldığı bu yakıt pilinde bağıl olarak temiz yakıtlar (doğalgaz, LPG gibi) veya gazlaştırıcıdan alınan temizlenmiş kömür gazı kullanılır. Pazara en yakın iki uygulama üzerinde durulmaktadır. Bunlar güç santralleri ve kojenarasyon üniteleridir. PAFC'inde soy metal elektro katalizör kullanmak gerekmektedir. Bu dezavantajına rağmen fosforik asit bir elektrolit olarak mükemmel ısıl, kimyasal ve elektrokimyasal kararlılık gibi avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca PAFC'ler atık ısıdan yararlanabilme açısından çok avantajlıdır.

PAFC sistemleri yeryüzündeki uygulamalarda en çok gelişme gösteren sistemlerdir. Çoğunlukla apartmanlar, alışveriş merkezleri gibi yerlerde elektrik üretmek amacıyla kullanılmaktadırlar. PAFC'ler 250 W'dan 200 kW'a kadar, 24 V'luk elektrik jeneratörü şeklinde ticari olarak piyasaya sunulma aşamasındadır. Yakıt olarak doğalgaz kullanan 200 kW'lık bir PAFC sisteminde yatırım maliyeti 287 \$/kW'dır.

PAFC'ler sabit bir çıkış seviyesinde en iyi verimde çalışabilmektedirler. Hibrit bir sistem ile ivmelenmenin gerektirdiği yüksek güç gereksiniminin başka araçlarla karşılanması durumunda daha iyi performans göstermektedir. PAFC'lerin en güzel uygulamaları ağır yük taşıtları ya da lokomotiflerde olacaktır. Şekil 2.2'de Fosforik Asit Yakıt Pili Şematik olarak gösterilmiştir.



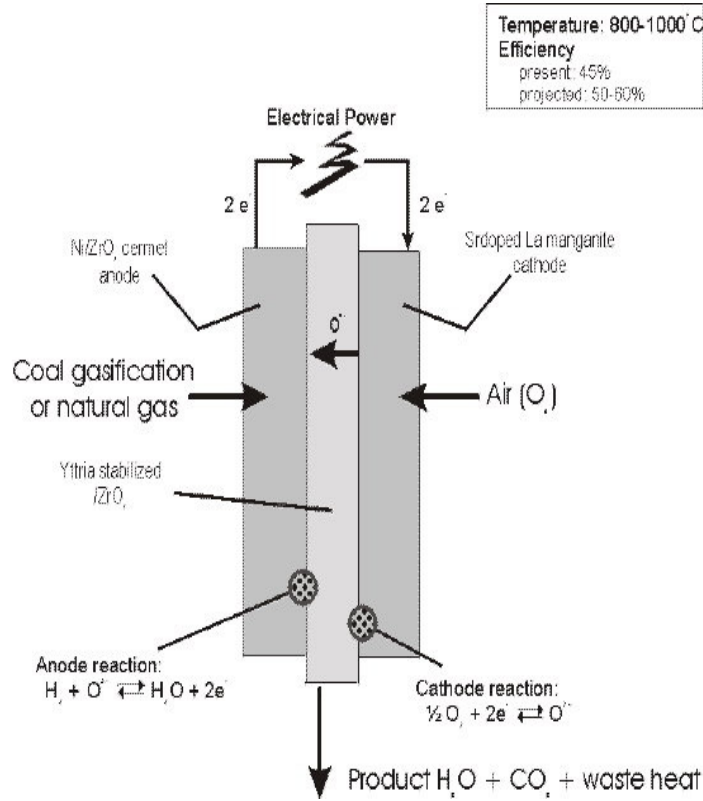
Şekil 2.2 Fosforik Asit Yakıt Pili Şematik Gösterimi (Journal of Power Sources, 2007).

2.3.3 Katı Oksitli Yakıt Pilleri (SOFC)

SOFC'ler katı haldeki yakıt pilleridir. Hücre malzemelerinin çoğu özel seramik ve nikelden oluşmaktadır. Çalışma sıcaklığı 1000 °C civarındadır. Yakıt olarak CO ile birleşmiş halde hidrojen kullanılmaktadır ve reaksiyon ürünü olarak su buharı ve CO₂ çıkmaktadır.

SOFC'ler kojenerasyon ünitesi olarak hem elektrik hem de ısının kullanılabilceği yerlerdir. 1000 °C dahi elde edilecek buhar ile bir buhar türbini çevrimini kombine olarak

birleştirebilir. Böylece toplam sistem verimi %50-55 mertebesine ulaşabilmektedir. Şu anda hesaplanan yatırım maliyetleri 1500 \$/kW mertebesindedir (Lamy, Leger, 1999).



Şekil 2.3 Katı Oksitli Yakıt Pili Şematik Gösterimi (Journal of Power Sources, 2007).

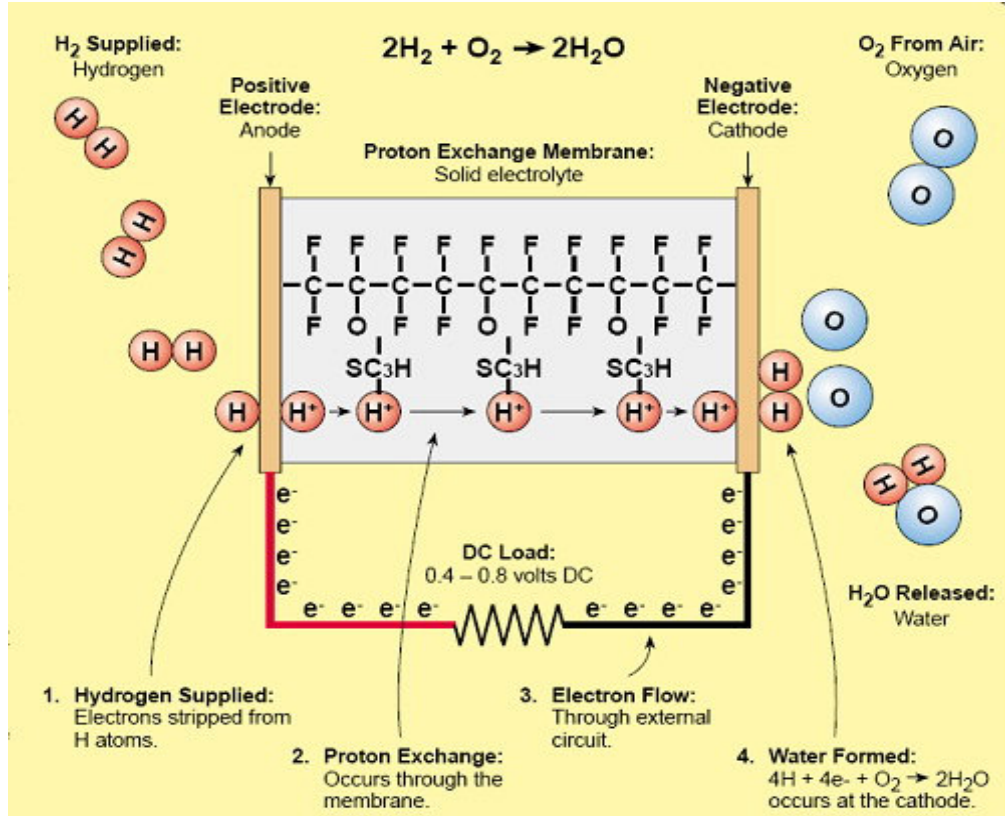
2.3.4 Proton Değişim Membranlı Yakıt Pili (PEMFC)

PEMFC'ler 1960'ların başında General Electric tarafından icat edilmiştir. Katı polimer elektrolitli yakıt hücresi olarak da adlandırılır. Bu tip yakıt hücrelerinde proton (hidrojen iyonu) geçirebilen membranlar kullanılmaktadır (Smith, Angel, 2003).

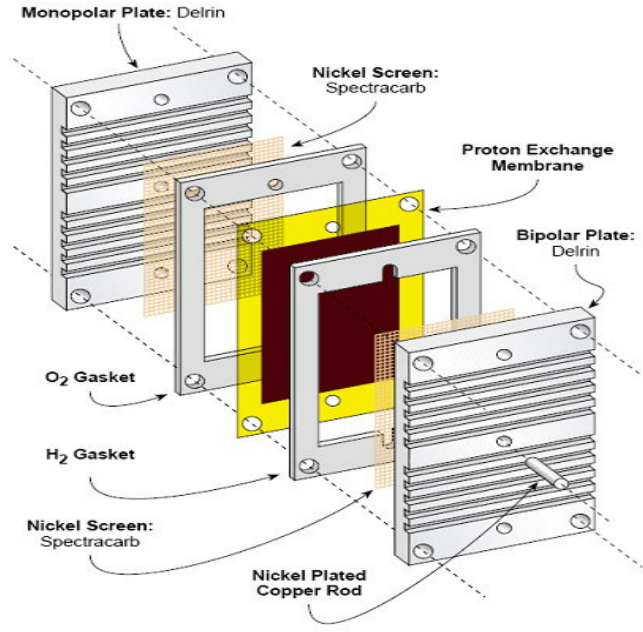
PEM yakıt pili, platin ile kaplanmış iki elektrotun arasına preslenmiş perflorlu sülfonik asit polimerler gibi proton ileten bir katı elektrolitten oluşur. Buradaki elektrolit anot ile katot arasında bir gaz sütunu oluşturarak anottan katoda doğru hidrojen iyonlarının taşınmasını sağlar. Polimer elektrolite gaz elektrotlarda bulunan gaz difüzyon kanalcıklarından oluşur. Aynı zamanda bu kanallar elektrik akımını toplama görevini de üstlenir. PEM'lerin çalışma sıcaklığı 80-90 °C gibi çok düşük sıcaklıklarda ve çalışma basınçları da 1-8 atm basınç arasındadır (Journal of Power Sources, 2004). Bu tip yakıt hücreleri belli bir nem oranında hidrojen ve oksijen ile çalışabilmektedir.

PEM'ler 350 mW/cm² gibi yüksek bir güç yoğunluğuna sahiptir ve şu anda ticari olarak 100-500 W güç aralığında elde edilebilir durumdadırlar. Yatırım maliyetleri de 5000-13000 \$ arasında değişmektedir. Membran ve katalizör maliyetlerindeki düşüş ile ve seri üretime geçilmesi durumunda bu maliyetler 10-20 kat aşağıya inebilecektir (II.Ulusal Ege Enerji Sempozyumu Ve Sergisi Bildiri Kitabı, 2004).

Yüksek güç yoğunluğu, hızlı ve çabuk marş yapabilme ve değişken güç çıkışına uygun olması PEM'lerin ulaşım alanında kullanılabilmesini uygun kılmaktadır.



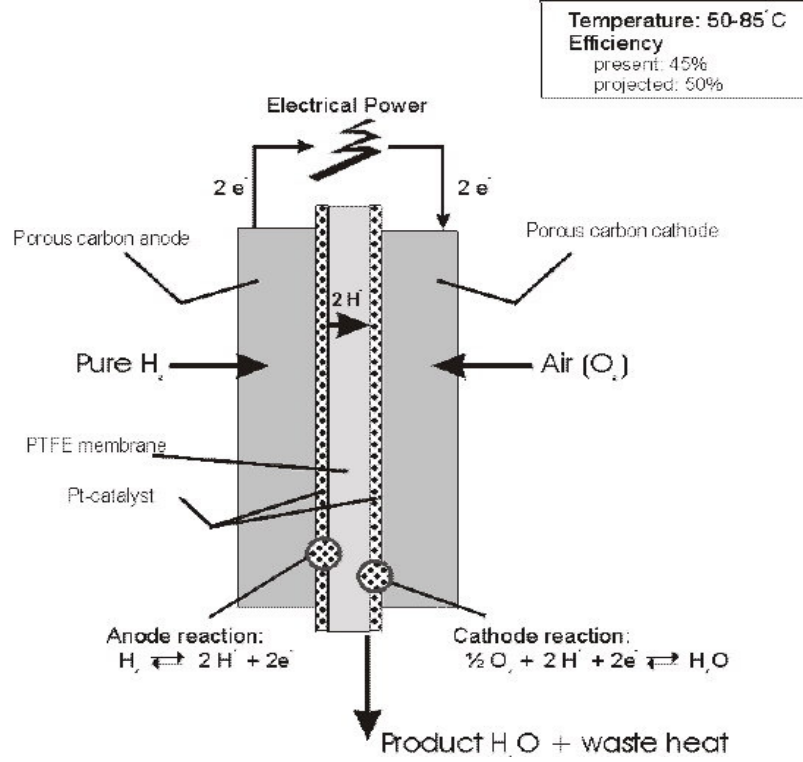
Şekil 2.4 PEM Yakıt Hücresinin Çalışma Şekli (Smith, Angel, 2003).



Şekil 2.5 Bir PEM Yığını (Smith, Angel, 2003).



Şekil 2.6 Bir Membran Yığın İçine Yerleştirilirken (Smith, Angel, 2003).



Şekil 2.7 Proton Değişim Membranlı yakıt pili şematik gösterimi (Journal of Power Sources, 2007).

PEM yakıt hücresi çalışma mekanizması suyun elektrolizinin tam tersidir. Yakıt hücresi için reaksiyon formülü aşağıdaki gibidir:

Anotta;



Katotta;



Toplam reaksiyon;



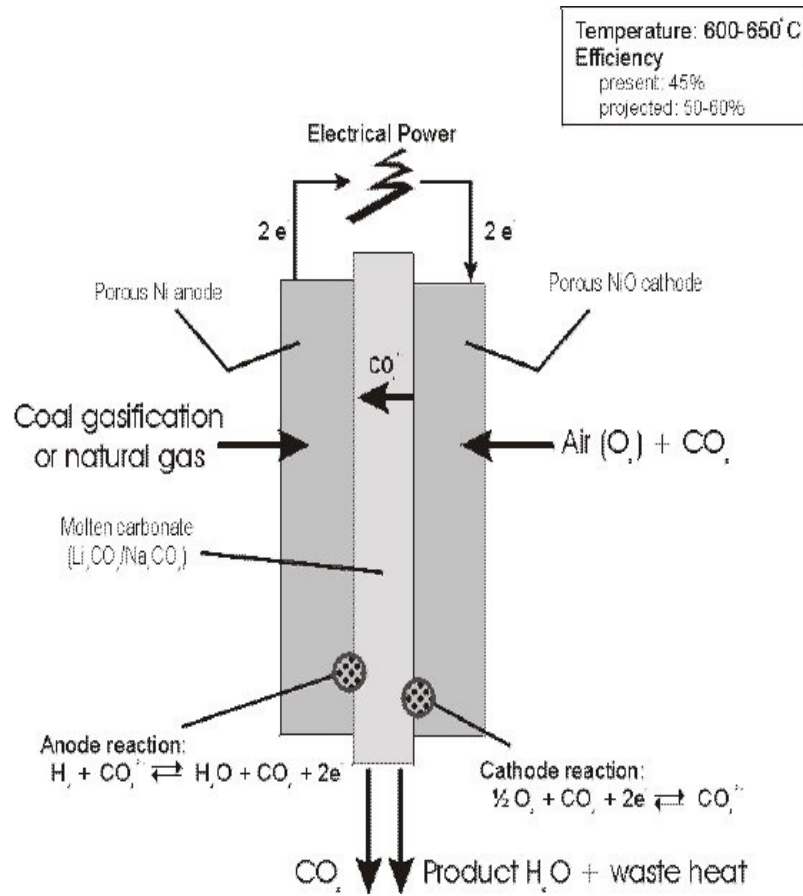
(Winter, 2000)

Bu reaksiyon sonucunda elektrik, su ve bir miktar ısı açığa çıkar. Açığa çıkan bu ısı miktarı evsel veya herhangi bir uygulama için kullanılarak yakıt hücresinden elde edilen toplam verim artırılabilir.

2.3.5 Eriyik Karbonatlı Yakıt Pili (MCFC)

MCFC'ler 600-650 °C sıcaklıkta çalışır ve son dönemlerde geliştirilen ikinci jenerasyon yakıt pillerindedir. Anotta CO₂'ce zengin gaz ürün ve H₂O üretimi sağlanır, CO₂ katoda giren hava ile karıştırılmak üzere gönderilir (Miami University, 2007).

MCFC işletim sıcaklığı yüksek olması nedeniyle değerli atık ısı, proses ısı ve kojenarasyon amaçlı olarak kullanılabilir. En önemli avantajı hücre içindeki kendi atık ısı, desülfürizasyondan geçmiş metanın anot odasında hidrojene dönüştürülmesi için doğrudan kullanılabilir olmasıdır. MCFC'ler için hedeflenen yatırım maliyeti 1000 \$/kW seviyesindedir.



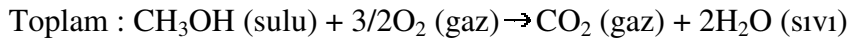
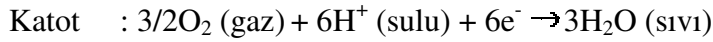
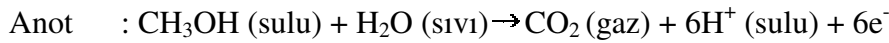
Şekil 2.8 Eriyik Karbonatlı Yakıt Pili Şematik Gösterimi (Journal of Power Sources, 2007).

2.3.6 Doğrudan Metanol Kullanılan Yakıt Pili (DMFC)

Bir reformlayıcıya ihtiyaç duyulmadan, metanolün doğrudan kullanımına imkan tanıyan doğrudan metanol kullanılan yakıt pili, çalışma prensibi olarak proton membranlı yakıt piline benzemektedir. Yakıt pilinde teorik olarak gerçekleşmesi beklenen reaksiyonlar sırasıyla şu şekildedir; katot üzerinde oluşan su ile sisteme doğrudan beslenen metanol-su karışımı anot

üzerinde elektrokimyasal bir reaksiyon meydana getirmekte ve ürün olarak metanolün parçalanması sonucunda protonlar, elektronlar ve karbon dioksit meydana gelmektedir. Oluşan protonlar diğer ürünlerden ayrılarak seçiciliğe sahip polimer elektrolit zardan geçerek katoda göç etmekte ve katot üzerinde, beslenen havadan sağlanan oksijen ile reaksiyona girerek su oluşumunu sağlamaktadır. Bu reaksiyonlar sonucunda meydana gelen termodinamik potansiyeller, iletken tel ile oluşturulan dış devrede gerilimin oluşmasına ve elektrik üretilmesine neden olmaktadır (Çetinkaya, Karaosmanoğlu, 2004).

Gerçekleşen reaksiyonlar aşağıda verilmektedir.



(Çetinkaya, Karaosmanoğlu, 2004).

Doğrudan Metanol Kullanılan Yakıt Pili için çalışma sıcaklığı 50- 100 °C'dir. Bu düşük sıcaklık aralığı, bu tip yakıt hücrelerini küçük ve orta ölçekli uygulamalar için çekici hale getirmektedir. Günümüzde, pratikte elde edilen verim % 45 civarında iken, hedeflenen verim % 55 civarındadır (Çetinkaya, Karaosmanoğlu, 2004).

Doğrudan sıvı metanol kullanımı, geleneksel pillerde elektrikle şarj zorunluluğuna karşı bir avantajdır. Düşük sıcaklıkta, düşük güç yoğunluğu elde etmek için kullanılan platin katalizörün yüksek maliyeti ise Doğrudan Metanol Kullanılan Yakıt Pili'nde büyük bir dezavantaj oluşturmaktadır. Maliyette oluşan problemler çözüldüğü zaman, gelecekte Doğrudan Metanol Kullanılan Yakıt Pili'nin taşınabilir düşük ve orta güç ihtiyacına sahip sistemlerde kullanımının artacağı düşünülmektedir. Günümüzde, cep telefonları üzerinde yapılan çalışmalar Amerika Birleşik Devletleri'nde sürdürülürken, diz üstü bilgisayar uygulamaları Alman bilim adamları tarafından yürütülmektedir (Yazıcı, 2007).

Doğrudan Metanol Kullanılan Yakıt Pili teknolojisi oldukça yeni bir yakıt pili çeşidi olduğundan dolayı, yüksek güç sistemleri olan Taşıt, Jeneratör, Sabit Güç Üretim Sistemi gibi uygulama alanlarındaki bu yakıt pili ile ilgili çalışmalar hızlı bir şekilde devam etmektedir. Bu uygulama alanlarından biri olan Taşıt uygulamalarında Doğrudan Metanol Kullanılan Yakıt Pili kullanımının artacağı düşünülmektedir. Yakıt pilinin çevre dostu özelliği, metanolün depolanmasının kolaylığı, yüksek sıcaklıklarda yüksek verim eldesinin kolaylığı, gelecekte, Doğrudan Metanol Kullanılan Yakıt Pili'nin Taşıt Uygulamaları'nda önemli bir

yere sahip olmasına neden olacaktır. Ballard Power Systems, Honda, Nissan, Volkswagen, Yamaha, Ford, Daimler Chrysler, Cinergy firmaları Doğrudan Metanol Kullanılan Yakıt Pili taşıt uygulamaları üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir (Yazıcı, 2007).

2.4 Yakıt Hücrelerinin Karşılaştırılması

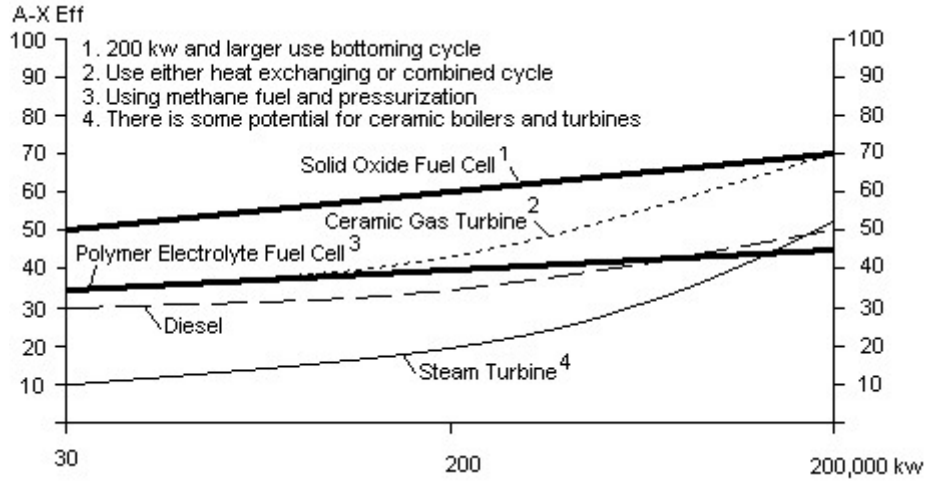
Yakıt hücreleri ürettikleri ısı, kullandıkları elektrolit, ürettikleri güç gibi verilerle karşılaştırılabilirler. Aşağıdaki tabloda yukarıda anlatılan 6 adet yakıt pilinin özellikleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.1 Yakıt Pillerinin Karşılaştırılması (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2007).

	PAFC	DMFC	SOFC	MCFC	PEMFC	AFC
Elektrolit	Foforik asit	Sülfürik Asit veya Polimer	Çinko üzerine tutturulmuş yittria (YSZ)	Karbonat	Polimer iyon değişim filmi	Potasyum hidroksit
Elektrolitteki taşıyıcı	H ⁺	H ⁺	O ₂ ⁻²	CO ₃ ⁻²	H ⁺	OH
Hücre materyali	Karbon	Platin-Rutenyum	Seramik vb.	Ni, paslanmaz çelik, vb.	Karbon	Karbon
Güç yoğunluğu	120-180	10-15	15-20	30-40	350-1500	35-105
Yakıt türü	H ₂ , hidrokarbonlar, fosil yakıtlar	H ₂ , metanol	H ₂ , hidrokarbonlar	H ₂ , hidrokarbonlar	H ₂ , hidrokarbonlar	H ₂
Sıcaklık	200 °C	120 °C	1000 °C	600-700 °C	80 °C	80 °C
Güç üretim verimi	% 37-42	% 45	% 60-70	% 45-60	% 60	% 42-73
Uygulama alanları	Ticari (oteller, hastaneler vb.)	Ticari (araçlar, cep telefonları, dizüstü bilgisayar vb.)	Ticari, sanayi, elektrik santralleri	Elektrik santralleri	Ulaşım araçları, askeri sistemler	Uzay çalışmaları

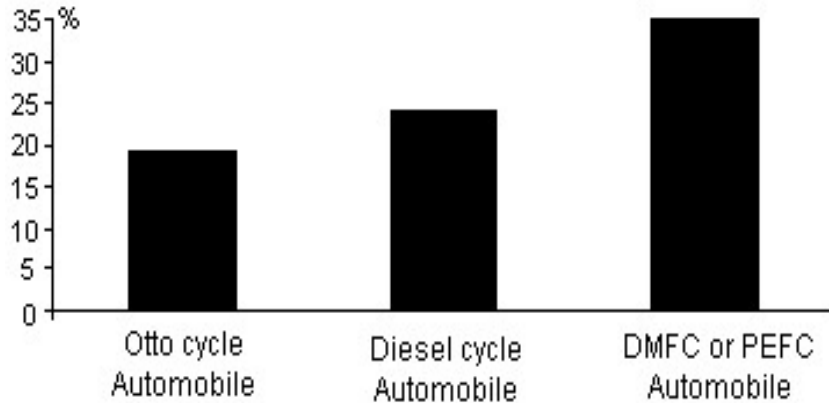
Aşağıdaki grafikte PEM ile SOFC yakıt pillerinin, buhar türbini, seramik gaz türbini ve dizel yakıt ile elektrik üretimi koşullarında karşılaştırılması yapılmıştır.

Grafik 2.1 Gelecekteki Elektrik Santrallerinin Verim Oranları (<http://fuelcellworld.org>)



Aşağıdaki tabloda ise 3 farklı yakıt tipine sahip otomobillerin verim oranları karşılaştırılması olarak verilmiştir.

Tablo 2.2 Otto, Diesel ve Yakıt Hücreli Araçların Verim Karşılaştırması (<http://fuelcellworld.org>, 2007)



2.5 Yakıt Pili Kullanımının Avantajları Ve Dezavantajları

2.5.1. Yakıt Pili Kullanımının Avantajları

Yakıt pillerinin diğer enerji sistemlerine göre avantajları sırasıyla aşağıda sıralanmıştır:

- Yakıt pili termal enerji sistemlerine göre daha yüksek verimle çalışır. Termal sistemlerden elektrik üretiminde, sistemin verimi "Carnot Çevrimi Kriterleri"nden etkilenirken, yakıt pili sistemlerinde bu etkileşim yoktur. Termal sistemlerde elektrik üretimindeki verim %35-40'ı geçemezken, yakıt pili sistemlerinde %70'e yakın verimle çalışılmaktadır.

- Yakıt pilinde meydana gelen emisyon miktarı, diğer yakıtlara göre ihmal edilecek kadar azdır. Yan ürün olarak bir tek su oluşmaktadır. Yakıt pillerinde CO, NOX, yanmamış hidrokarbonlar, ve kirletici diğer maddeler oluşmazken, oksitleyici olarak hava kullanıldığında ihmal edilecek kadar az miktarda azot oksitler, hidrokarbonlar kullanıldığında ise çok düşük miktarda CO₂ oluşur. Günümüzde çevre kirliliği ve insan sağlığı için birçok yasal kısıtlamaların uygulandığı bu zamanda, diğer teknolojilerde maliyeti çok fazla arttırmaktayken, bu sistemin çevre dostu olması çok değerli bir alternatif yakıt olmasına neden olmaktadır.
- Hareketli aksamın bulunmadığı yakıt pillerinde sistem, gürültü kirliliği oluşturmamaktadır.
- Yakıt pillerinde kullanılacak yakıt sayısı çok fazla olduğundan, fosil ve alternatif yakıtların kullanımının kolaylığı nedeniyle çok farklı alanlarda kullanılabilir.
- Yakıt pilleri istenilen büyüklükte ve kapasitede üretilebilir. Basit bir yapıya sahiptirler. Büyüklüklerine göre 10 W'tan 4.5 kW'a kadar olan bir güç yelpazesine sahiptirler. Boyutları bir el çantasında taşınabilecek kadar küçük veya buzdolabı kadar büyük olabilmektedir (Karaosmanoğlu, F., 2003).
- Modülerdirler. Gerekli görülen her yerde kullanılabilir ve yerleştirilebilirler.
- Yakıt pili sistemlerinde yan ürün olarak oluşan atık ısı geri kazanılabilir.
- Yakıt pilleri dayanıklı ve güvenli sistemlerdir.

2.5.2 Yakıt Pili Kullanımının Dezavantajları

- Yakıt pili kullanımı, çok fazla bilgi ve ileri teknoloji gerektiren bir sistemdir.
- Diğer sistemlerden daha pahalı bir sistemdir.
- Uygulamalarının tam verimle gerçekleşmesi için uzun zamana ve çok paraya ihtiyaç vardır.

2.6 Yakıt Pillerinin Diğer Yakıtlarla Karşılaştırmaları

2.6.1 Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Bakımından Karşılaştırılması

Aşağıdaki Tablo 2.3'de fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından karşılaştırmalar verilmiştir.

Tablo 2.3 Yakıt Pillerinin Diğer Yakıtlarla Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Bakımından Karşılaştırılması (Yıldız, Karataş, Tekin, 2003).

	HİDROJEN	METAN	METANOL	ETANOL	BENZİN	DİZEL
Kimyasal Denklemi	H ₂	CH ₄	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	(C ₈ H ₁₈) _a	
C/H Oranı	0	0.25	0.25	0.333	0.556	0.520
Moleküler Ağırlığı	2.02	16.04	32.04	46.07	91.4	170
Özgül Ağırlığı sıvı(kg/dm³)	0.07	0.424	0.790	0.790	0.73a	0.83
Gaz (kg/dm³)	0.84*10 ⁻⁴	0.78*10 ⁻³				
Isıl Değeri (Mj/kg)(Mj/litre)	119.93	50.8	20.1	26.9	43.4	43.1
	8.41	20.8	15.9	21.3	31.8	
Stokiyometrik karışım için	34.32	17.2	6.44	8.96	14.7	14.5
Hava/yakıt(kütlesel)	2.38	9.53	7.14	14.3	45.79	
Hava/yakıt(hacimsel) (kj/litre)	3.20	3.40	3.53	3.61	3.78	
Molürünler/mol reaktantlar	0.85	1.00	1.06	1.06	1.04	
Buharlaştırma ısı(mj/kg)	0.447	0.509	1.102	0.856	0.272a	0.3
Tutuşma sınırları % hacim	4.1 – 74	5-15.4	6-37	3.5-19	1.3-7.6	
	0.15-4.35	0.59–2.0	0.24–2.22	0.29–1.92	0.29–1.67	0.48-1.35
Laminar alev hızı (m/s)	2.91	0.37	0.52		0.37	
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	2110	1954	1878	1924	1993a	
Difüzyon katsayısı (m²/s)	0.61	0.16			0.08	
Kaynama noktası (°C)	-252.35	-161.3	65.1	78.7	32-221	170-350
Donma noktası (°C)	-259		-97.6	-114.1	-56a	
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	574-591	632	470	392	257	
Oktan Sayısı ROS MOS	130	130	110	106	91-100	
		105	87	89	82-94	

Tutuşma sınırları, bir yakıtın içten yanmalı motorlarda kullanımında önem teşkil etmektedir. Tutuşma sınırları sayesinde bir yakıtın fakir karışımlarda ve zengin karışımlarda motorda

kolaylıkla yanıp yanamayacağı sonucuna varılabilir. Yukarıdaki verilere göre hidrojen gazının farklı hava yakıt karışım oranları için tutuşma sınırlarının çok geniş olduğu ve bunun da hidrojenin motorlarda kullanılması durumunda yarar sağlayacak önemli bir özellik olduğu sonucuna varılabilir. Tutuşma sınırları bakımından alternatif yakıtları bir sıralamaya sokarsak:

1. Hidrojen
2. Metanol
3. Etanol
4. Doğalgaz
5. Benzin

Benzin motorlarında, iyi bir yanma ve yanma sonucu basıncı elde edebilmek için karışımın sıkıştırılması ve sıkıştırıldıktan sonra ateşlenmesi gerekir. Sıkıştırılma anında meydana gelen ısı, yakıt ve havayı daha iyi karıştırarak yanmanın düzgün ve kolay olmasını sağlar. Aynı zamanda silindir içerisinde bulunan karışımdan en fazla yanma sonu basınca elde edebilmek için karışımın sıkıştırılabildiği kadar sıkıştırılması gerekir. Fakat benzin motorlarında sıkıştırma oranı istenildiği kadar arttırılamaz. Çünkü yükselen sıcaklık nedeni ile yakıt kendi kendine tutuşmaya başlayabilir. Bu bakımdan benzin motorlarında kullanılacak yakıtın kendi kendine tutuşma sıcaklığının ve oktan sayısının yüksek olması motorun sıkıştırma oranının arttırılması bakımında önem teşkil etmektedir. Kendi kendine tutuşma sıcaklığı en yüksek olan yakıt doğalgazdır. Kendi kendine tutuşma sıcaklığı bakımından alternatif yakıtları bir sıralamaya sokarsak:

1. Doğalgaz
2. Hidrojen
3. Metanol
4. Etanol
5. Benzin

Laminar alev hızının yüksek olması benzin motorlarında performans açısından güç ve verim değerlerini de bir miktar azalmaya neden olur. Hidrojenin laminar aleve hızı diğer alternatif yakıtlara göre daha yüksektir.

2.6.2 Performansları Yönünden Karşılaştırılması

Tablo 2.4 Yakıt Pillerinin Diğer Yakıtlarla Performansları Yönünden Karşılaştırılması
(Yıldız, Karataş, Tekin, 2003)

	BENZİN	DİZEL	HİDROJEN	METANOL	ETANOL	LPG	DOĞALGAZ
Hızlanma 0-100 km/h, saniye	12	14	18	10	10	11	12
Yakıt Tüketimi, litre/100 km	6.9	6.0	21.4	10.7	8.4	7.6	29.4
Menzil, km,57 litre Tank	820	935	275	565	675	755	205
Yakıt Doldurma Süresi, dakika	2	2	2	2	2	5	5

Yukarıdaki Tablo 2.4'te ABD'de kullanılan alternatif yakıtlara sahip örnek taşıtların genel olarak performansları karşılaştırılmıştır. Yukarıdaki değerlere göre yakıt tüketimi bakımından benzin ve dizele alternatif olarak kullanılabilen yakıtlar arasında LPG en iyi durumdadır.

Tabloda belirtilen taşıtlar arasında metanol ve etanol yakıtlı taşıtların hızlanma kabiliyetlerinin diğer taşıtlara göre daha iyi olduğu görülmektedir.

Tabloda taşıtların menzilleri kriter alınarak da karşılaştırmak mümkündür. Bütün taşıtların 57 litre hacminde yakıt deposu olduğu kabul edilmiş ve 1 depo yakıt ile taşıtların ne kadar menzile sahip oldukları belirtilmiştir.

2.6.3 Egsoz Emisyonu Yönünden Karşılaştırılması

Hidrojenin hava ile yanması sonucunda, yakıtta karbon bulunmaması nedeni ile çok az miktarda oluşan HC'ler egzoz gazları arasında bulunacaktır. Diğer yandan bu motorlarda, yüksek yanma sıcaklıkları nedeni ile havanın kimyasal reaksiyonu sonucu azot oksitler, NO_x, bol miktarda üretilmektedir. Hidrojen yakıtlı motorlarda egzoz gazları içerisinde hava kirliliğini etkileyecek tek ürün olarak bulunan NO_x'lerin miktarı, yanma odası sıcaklıklarının azaltılması, oksijen konsantrasyonunun azaltılması ve yanma süresinin kısaltılması sonucu düşürülebilmektedir.

Doğalgazın yakıt olarak motorlu taşıtlarda kullanımı, özellikle şehir trafiğinde seyreden, dizel motorlarında NOX ve HC emisyonlarında, benzin motorlarında da CO ve HC emisyonlarında azalmalar temin edecektir. Doğalgazın karbon oranının, diğer petrol yakıtlarına göre, düşük olması egzoz gazlarındaki karbondioksit oranının azalmasına sebep olacaktır. Ayrıca doğalgaz kullanımı, benzinli taşıtların egzoz emisyonlarındaki zehirli kurşun türevlerini tamamen yok edecektir. Benzin motorlarında ve dizel motorlarında doğalgaz kullanılması durumunda yanma sonu sıcaklığında bir düşme olmaktadır. Bu da NOX emisyonlarında bir azalma sağlayacaktır. Alternatif yakıtlar içerisinde egzoz emisyonları en düşük yakıttır. Metanolün yanması sonucu CO, CO₂ ve NOX gazları oluşmaktadır. Ayrıca metanolün benzine göre daha düşük alev sıcaklığının olması, yanmanın iyileşmesini, yanma ürünleri içindeki azot oksitlerin NOX ve CO'nin azalmasını sağlamaktadır. Metanol benzinin aksine yanmamış hidrokarbonlar üretmez. Metanolün yanması ile oluşan ısı azdır; dolayısıyla çok fazla miktarda NOX meydana gelmesi için gerekli koşul oluşmaz. Diğer taraftan metanol yandığında benzine göre iki kat daha fazla formaldehit üretilir (Dipioğlu, 1998).

LPG benzine nazaran üniform bir hava – yakıt karışımı sağlayabilmesi ile yanmanın stokiometrik orana yaklaşması sonucunda temiz egzoz gazı çıktısı vermektedir. Bu sebeple LPG'nin egzoz emisyonları oldukça düşüktür (Veziroğlu, 1998).

2.6.4 Hava Kirliliği ve Güvenlik Etkileri Bakımından Karşılaştırılması

Tablo 2.5 Yakıtların Hava Kirliliği ve Güvenlik Etkileri Bakımından Karşılaştırılması (Yıldız, Karataş, Tekin, 2003)

Yakıt	Hava kirliliğine etkilerdeki değişim	Çevresel ve Güvenlik Etkileri
Doğalgaz	Toplamda önemli düzelme fakat NOX de az etki	Doğalgaz için yüksek sıkıştırma gerekli ve doğal kaynakların korunumu
LPG	Toplamda önemli düzelme fakat NOX de az etki	Güvenli ve en düşük sıcaklıkta depolama imkanı
Hidrojen	Çok az miktarda NOX verir.	Eğer sudan elde edilirse doğal kaynak korunumu vardır. Ancak sıkıştırma veya soğutma gerekli
Metanol	Orta miktarda azalma	Suda çözünümü zehirleyici olabilir.
Etanol	Orta miktarda azalma	Doğal kaynak korunumu vardır.

2.6.5 Ekonomiklik Yönünden Karşılaştırılması

Bu karşılaştırma kullanılan alternatif yakıtların 100 km'lik bir menzil içerisindeki enerji tüketim fiyatına bakılarak bulunur. Şu anda piyasada bulunan alternatif yakıtlar içerisinde en ucuz birim fiyatı olan LPG ve doğalgazdır. Bu iki yakıt günlük hayatımızda kullandığımız taşıtlarda kullanılmaktadır.

Diğer alternatif yakıtlar ise çok az kullanıldığı için birim fiyatları daha yüksektir. Örnek vermek gerekirse metanol, etanol ve hidrojen günlük hayatımızdaki araçlarda çok az kullandığımız için birim fiyatları yüksektir.

Ayrıca motorun dönüşümü LPG ve doğalgazda kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Ancak diğer yakıtlarda aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Bu sebeple ilk maliyet yönünden bakıldığında da LPG ve doğalgaz ön plana çıkmaktadır.

Ağustos 2007 tarihindeki kurşunsuz benzin fiyatı = 1860000 lira

ABD 2007 yılı tahmini benzin fiyatı =1.41 \$ / galon

(1 galon = 3.785 litre ve 1\$ = 1600000 lira) =596000 lira / litre

ABD 2007 yılı tahmini metanol fiyatı =1.64 \$/ galon= 705000 lira / litre

ABD 2007 yılı tahmini etanol fiyatı =1.87 \$/galon= 790000 lira / litre

ABD 2007 yılı tahmini doğalgaz fiyatı =1.20 \$/galon= 507000lira/ litre

ABD 2007 yılı tahmini LPG fiyatı =0.98 \$/galon=415000 lira / litre

Türkiye'deki benzin fiyatı / ABD'deki benzin fiyatı = 1860000 / 596000= 3.12

BENZİN :6.9 * 596000 =4112000 lira / 100 km

METANOL :10.7* 705000 =7543000 lira / 100 km

ETANOL :8.4* 790000 =6636000 lira / 100 km

DOĞALGAZ :29.4* 507000 =14905000 lira / 100 km

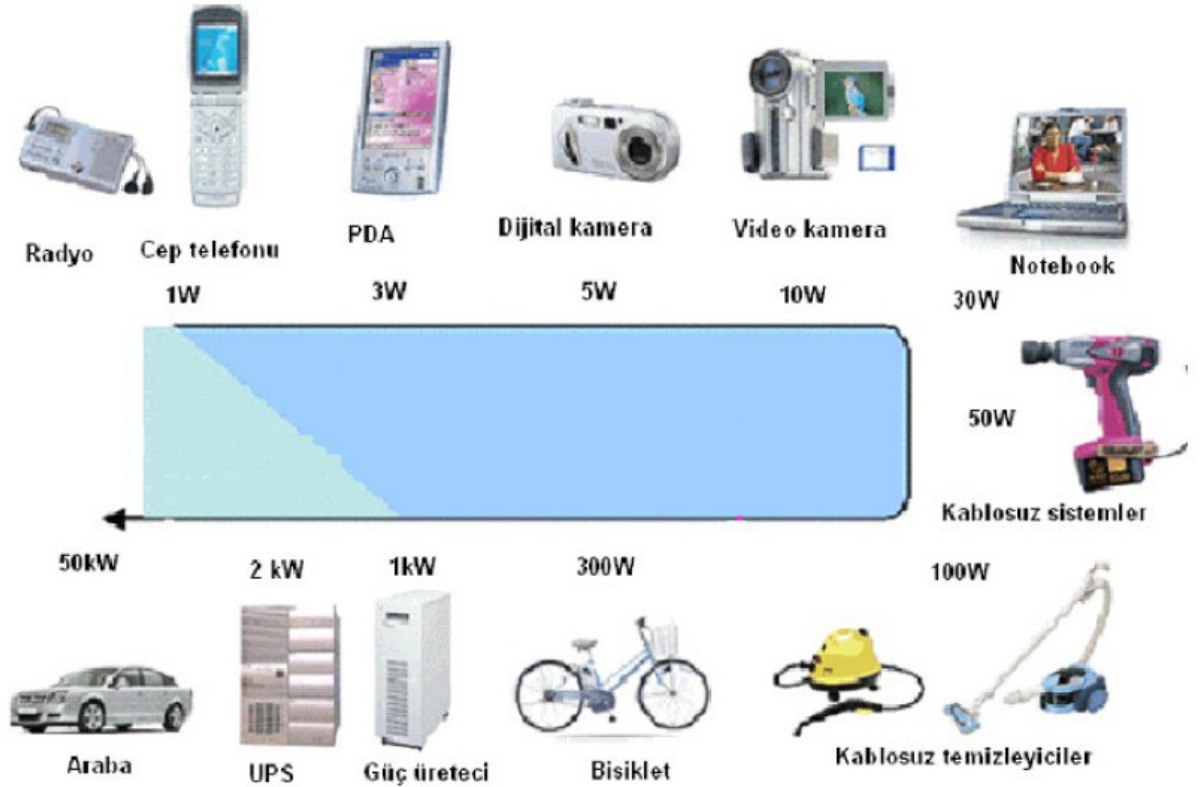
LPG :7.6* 415000 =3154000 lira / 100 km (Değerler Tablo 2.4'ten alınmıştır).

Yapılan bu hesaplamalar sonucunda günümüzde motorlu taşıtlarda kullanılan benzin ve dizele alternatif olarak kullanılan LPG yakıtının tahmini olarak en ekonomik olduğu görülmektedir.

3. YAKIT PİLİ UYGULAMA ALANLARI

Yakıt pili uygulama alanlarını aşağıdaki kategorilere sokabiliriz:

- Uzay Çalışmaları,
- Evsel Uygulamalar,
- Sabit Güç Üretim Sistemi/Yüksek Güç Üretim Sistemi Uygulamaları,
- Taşınabilir Güç Kaynağı Uygulamaları,
- Atık/Atık Su Uygulamaları,
- Taşıtlı Uygulamaları.



Şekil 3.1 Yakıt Pilinin Muhtelif Uygulama Alanları (Yeşil, 2002).

3.1 Uzay Çalışmaları

Yakıt pillerinin ilk uygulanma alanı, uzay çalışmalarıdır. ABD'de NASA'nın çalışmaları kapsamında Apollo, Gemini, ve Space Shuttle uzay gemilerinde H₂-O₂ yakıt pili birbirine

bağlı 3 ünite olarak kullanılmıştır. Toplamda 93 adet olmak üzere her üniteye 31 adet yakıt pili kullanılmıştır. Toplam üretilen güç 1.4 kW ve voltaj 27-31 Volt'tur. Pillerin ağırlığı 111 kg'dır. 1995 saatlik uçuş süresince 450 kg su ve 325 kW/h'lik enerji üretilmiştir. Gemini gemisinde ise, farklı olarak PEM tipi yakıt pili kullanılmıştır. Her üniteye 32 adet pil bulunmakta ve 1 kW güç sağlanmaktadır. Bu üç gemide de 2 ünite ihtiyacı karşılamak için yapılırken, 3. ünite acil ve özel görev için hazırda tutulmuştur. Bugün uzay mekiği elektriği 12 kW'lık yakıt pilleri ile üretilmektedir. Amerikan UTC Fuel Cell firması NASA ihtiyacını karşılamaktadır (Los Alamos National Laboratory, 2001).

3.2 Eysel Uygulamalar

Sessiz çalışan yakıt pilleri, evlerde veya apartmanlarda ısıtma ve elektrik ihtiyacını sağlamak için kullanılabilir bir alternatiftir. Bu tipte kullanılabilir yakıt pilleri, propan ve doğal gazdan üretimi sağlayarak elektrik üretmekte ve oluşan ısı geri kazanılarak ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. 3-5 kW'lık yakıt pilleri evsel tüketim için uygundur. Amerikan hükümeti hidrojenli yakıt pili uygulamaları için konutlarda 1000\$/kW vergi indirimi uygulamaktadır (Çetinkaya, Karaosmanoğlu, 2004).

Dünya'da sabit kullanımlarda hidrojen enerjisi ve yakıt hücreleri kullanan önemli oyuncuların bazıları; Amerika'da Acumentrics, Altery Freedom ve Aperion Enerji Sistemi GenCell; Japonya'da Sumitomo, Fuji Elektrik, Nippon Steel, Hitachi ve Kawasaki Heavy Endüstrisi; İngiltere'de Alternatif Yakıt Sistemleri ve Seramik Yakıt Hücreleri ve Kanada'da da Ballard'dır. Türkiye'den bazı firmaların da bu firmalardan bazıları ile AR-GE konusunda ortak girişimleri mevcuttur (Adamson, 2005).

Hâlihazırda, Japonya'nın bazı kentlerinde evlerde yakıt hücresi ile elektrik üretiminin yapıldığı ve ısınmanın buna dayalı olarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu alanda sağlanan başarılar, sabit kullanımları hızlı bir şekilde artırmakta ve bu pazarın büyümesine imkân sağlamaktadır.

3.3 Sabit Güç Üretim Sistemi/Yüksek Güç Üretim Sistemi Uygulamaları

Dünyada şu anda yüzlerce sabit güç kaynağı olarak kurulmuş yakıt pili istasyonu bulunmaktadır. Bu enerji üreteçleri; hastanelerde, otellerde, iş yerlerinde, okullarda, güç istasyonlarında, havaalanlarında gerek elektrik gerek ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu sistemleri kullanan şirketlerin enerji harcamalarında %20-40 arasında bir düşüş görülmektedir. Proton Değişim Membranlı Yakıt Pili (PEM) santrallerinde verim %55

civarındadır. Üretimde açığa çıkan karbon dioksit ve su buharı ek bir elektrik üretiminde değerlendirilirse, enerji verimi %80'e çıkmaktadır. Yakıt pilli güç üretim sistemleri az yer kaplamaktadır. 2 MW'lık bir santral 20 m²'den az bir alanda kurulabilmektedir. Minibüs büyüklüğündeki bir santral ile 20 kW güç üretilmektedir. Bu santrallerin önemli uygulamalarına örnek olarak Amerikan ONSI firmasının Kaliforniya'daki 2 MW'lık, UTC Fuel Cell firmasının Alaska'daki 200 kW'lık, Westinghouse-Kanada'nın Hollanda'daki 100 kW'lık sistemleri verilebilir.

3.4 Taşınabilir Güç Kaynağı Uygulamaları

Yakıt pili mevcut koşullarda en geçerli ve uygulanabilir olduğu alan, taşınabilir enerji uygulamaları olarak gözükmektedir. Bu kapsamda depolanmış hidrojen-yakıt hücresi sistemi, mevcut pillerin kapasite ve ömür olarak gelişmiş şeklidir. Bu alan, gerek depolamada gerekse yakıt hücrelerinde hafifliğin ön plana çıktığı uygulamaları içermektedir

Telekomünikasyon alanında, bilgisayar dünyasında, görüntü teknolojisinde, alarm sistemlerinde yakıt pili taşınabilir güç kaynağı uygulamaları söz konusudur. Bu tip uygulamalar üzerinde çalışmalar sürmektedir. Minyatür yakıt pilleri pazara çıktıkları zaman, cep telefonu sahipleri cep telefonlarını bir ay şarj etmeden kullanabileceklerdir. Bu tip yakıt pilleri metanol ile çalışabilen, çok küçük boyutta üretilen pillerdir.

Dünyada taşınabilir araçlarda hidrojen enerjisi ve yakıt pillerini kullanan ve pazarda yer alan önemli oyuncuların bazıları arasında Samsung, Toshiba, Protonex, Sanyo Elektrik, Matsushita Battery ve Hitachi sayılabilir.

3.5 Atık/Atık Su Uygulamaları

Atık su ve atıkların işlenmesi sırasında yanma reaksiyonları sonucunda oluşan emisyonları azaltmak ve oluşan metan gazından güç elde etmek için yakıt pilleri kullanılmaktadır.

3.6 Taşıtlar Uygulamaları

Elektrikli taşıtlar, 2000'li yılların yeni, temiz alternatifler uygulamaları arasında ön sırada yer almaktadır. Elektrikli taşıtlar:

- Enerjiyi doğrudan hattan alarak (tren, trolleybüs, tramvay, metro gibi),
- Enerjiyi depolanmış bir sistemden kullanarak (akülü taşıtlar, ultra kapasitörlü taşıtlar),

- Taşınabilir bir sistemden anında enerji üreterek (yakıt pilli taşıtlar, güneş pilli-fotovoltaik pilli taşıtlar),
- Hibrit elektrikli taşıtlar (benzin-yakıt pili, motorin-yakıt pili taşıtları) şeklinde uygulamadadır. Bu uygulamalar içinde yakıt pilli elektrikli taşıtlar pek çok avantaj ile öndedir ve geleceğin otomotiv teknolojisi içinde hidrojen kullanan yakıt pilli elektrikli taşıt uygulaması çok büyük alan kaplayacaktır (Temelci, 2000).

Yakıt pilleri otobüs, kamyon, otomobil ve her türlü taşıt için yakıt görevi yapabilecek özelliklere sahiptir. Yakıt pilli araçlar, benzin ve motorin ile çalışan araçlara göre daha temiz ve enerji bakımından daha verimli bir uygulamadır. Günümüzde taşıt emisyonlarının çevre kirliliği üzerindeki etkileri düşünüldüğünde, yakıt pili ile çalışan araçlar çevre dostu ve karlı bir seçimdir. Elektrikli araçlar içten yanmalı motorlara göre daha yüksek verimlidir. Kullanılan yakıtın enerji içeriğine bağlı olarak yakıt pili ile çalışan araçlarda güç üretimi %40-70 arasındadır. Hareketli parçası olmayan yakıt pilleri kullanımında taşıtın gürültü kirliliği de görülür düzeyde azalmaktadır. Bir diğer avantaj ise, yakıt olarak hidrojen kullanıldığında araçlarda emisyon olarak sadece su oluşmasıdır (Erdör, 2007).

DaimlerChrysler-Ballard-Ford konsorsiyumu Kanada, Amerika ve Avrupa'da 2005 yılından itibaren PEM ile çalışan otobüsleri piyasaya sürmüşlerdir. Araçlarda saf hidrojen gazı kullanılması hedeflenirken, kısa ve orta vadede bu tercih incelenmelidir. Hidrojen gazının depolanması üzerinde çalışmalar son hızıyla devam etmekte olup, hidrojen depolanması yüksek basınçlı, hafif silindirler, kriyojenik sıvı sistemleri ve katı metal hidrit depolama gerektirmektedir. Basınçlı hidrojen en iyi sistem olmakla birlikte hafif araçlarda gerekli olan hacim ve ağırlık kriterlerini karşılamamaktadır. Günümüzde nanoteknolojilere olan ilginin artışı ile birlikte hidrojen depolamada kullanılması hedeflenen karbon nano-tüpler gelecek için umut vericidir. Bu sistemlerde hidrojen gazına alternatif olarak sıvı yakıt beslemesi önerilmektedir. Günümüzde bu tip uygulamalara örnek olarak lider otomotiv firmaları metanol kullanılan araçlar üretmişlerdir (Kutlar v.d., 2000). Bu araçlardan bazıları şunlardır:

- Ford Motor Focus FC5
- General Motors Opel Zafira
- Honda Motor FCX- V2
- DaimlerChrysler NECAR 3 prototipi

- Mazda Motor Premacy FC- EV
- Nissan Motor R'nessa ve Xterra
- Toyota RAV4
- Volkswagen Capri modelleri

4. BOR VE HİDROJENİN YAKIT PİLLERİNDE KULLANIMI

Uygarlığın ilk günlerinden bu yana değişik alanlarda antiseptik, dezenfektan ve ilaç olarak, seramik ve cam endüstrisinde ve mumyalamalarda kullanılmış olan bor, günümüzde tıp ve cam, kimya ve deterjan, seramik ve polimerik maddeler, metalurji ve inşaat, gıda ve tarım gibi alanlara ek olarak uzay ve hava araçları, askeri araçlar, füzeler, radarlar, iletişim teknolojileri, nano teknolojiler olmak üzere 250'yi aşan birçok alanda kullanılmaktadır. Bununla beraber süper iletkenlik, süper kaygan yüzeyler oluşturma, süper hızlı bilgisayarların üretimi, sodyum bor hidrürün enerji taşımada kullanımı, bor bazlı bataryaların kullanımı, bor füzyon reaktörlü enerji santrallerinin oluşturulması gibi teknolojik alanlarda kullanımı borun önemini arttırmaktadır (Çinkı, 2002).

Hidrojen; 1500'lü yıllarda keşfedilmiş, 1700'lü yıllarda yanma özelliğinin farkına varılmış, evrendeki en basit ve en çok bulunan elementlerinden birisi olup; renksiz, kokusuz, havadan 14,4 kez daha hafif ve tamamen zehirsiz bir gazdır. Hidrojen, su, hava, kömür ve doğal gaz gibi kaynaklardan üretilebilmektedir. Kömür ve doğal gaz, sınırlı olduklarından ve karbon içerdiklerinden dolayı hidrojen üretimi için tercih edilmemektedirler. Su, hidrojen üretimi için en doğru seçenek olarak görülmektedir.

4.1 Borun Tanımı

Kimyasal simgesi B olan bor elementinin atom numarası 5, atom ağırlığı 10.82, ergime noktası $2190 \pm 20^{\circ}\text{C}$, kaynama noktası 2250°C 'dir. Yoğunluğu $2,84 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Siyah renkte, metal ile ametal arası özelliklere sahip, metalik bir iletken olmasıyla birlikte yarı iletken sanayinde de kullanılan bor, 51. yaygın element olarak yer kabuğunda yalnız olarak değil, O_2 'li bileşikleri olan boratlar ve borasilikatlar halinde bulunan bir elementtir. Bor elementi 150'den fazla mineralin bileşiminde yer alır. Yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunur.

4.2 Borun Oluşumu ve Bulunuşu

Borat yataklarının yer hareketlerinin sıkça görüldüğü gezegenimizi bir kabuk gibi saran levhaların birbiriyle oluşturdukları sınırlar boyunca yer aldıkları ve günümüzden yaklaşık 2 milyon yıl önce (neojen dönem) oluştukları saptanmıştır. En büyük borat yatakları kimyasal çökelme sonucu gölsel ortamlarda meydana gelmiştir. Bunlar genellikle kil, kil taşı, volkanik kül, kireçtaşı ve benzer gölsel tortul katmanlarıyla ara katmanlıdır. Volkanik etkinlikle eşzamanlı oluşan sıcak su kaynakları ve hidrotermal çözeltiler, bor elementinin oluşması için

en uygun ortamlardır. Borat yataklarının kimyasal çökelme sonucu gösel ortamlarda oluşabilmesi için volkanik etkinliğin yanı sıra boratların birikim oluşturabilecekleri bir havuzun olması, ayrıca, kurak yarı kurak bir iklimin hüküm sürmesi de başka bir koşuldur. Boratlar suda çözünebilir nitelikte olduklarından dolayı, uzun süre boyunca böyle bir tehlikeden korunabilmeleri için üzerlerinin başka kayaç tabakaları tarafından örtülmesi gerekmektedir. Borat oluşumlarına gösel ortamlar dışında, deniz ortamında oluşan tuz yatakları içinde de rastlanıyor. Ancak bu tür ortamlarda meydana gelen boratlar çoğunlukla ekonomik değere sahip değildir. Bor mineralleri bundan başka, yeraltındaki magmanın yeryüzüne yükselirken kristalleşmesi sonucu oluşur. Magmanın yeraltından yükselirken sokulum yapması ve yüzeye yaklaşırken soğuması sırasında çevredeki farklı kayaçların yüksek ısı ve basınçtan etkilenmesi de bor elementini oluşturur (Özpeker, 2002).

19. yüzyılın başlarında Fransız bilim adamları Joseph Louis Gay-Lussac ve Louis Jacques Thenand ile İngiliz bilimadamı Sir Humphrey Davy, yaklaşık aynı tarihlerde bor elementini ayırtırmayı başardılar, dolayısıyla bor elementini keşfetmiş oldular. Ancak %99 saflıktaki ilk kristalize bor 1909 yılında elde edildi (Özpeker, 2002).

4.3 Borun Kullanım Alanları

Günümüzde bor ürünleri tıp ve cam, kimya ve deterjan, seramik ve polimerik maddeler, metalurji ve inşaat, gıda ve tarım gibi alanlara ek olarak uzay ve hava araçları, askeri araçlar, füzeler, radarlar, iletişim teknolojileri, nano teknolojiler ve enerji olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin, borun kimi özel bileşikleri, bilgi teknolojilerinde kullanılan süper iletkenler ve mikroçiplerde kullanılarak bunların verimi ve kullanışlılığı artırılmaktadır, elektro kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren yakıt pillerinde sodyum bor hidrürün suyla tepkimeye girmesi sonucu açığa çıkan hidrojen kullanılabilir. Hidrojen kullanılabilmektedir.

En yaygın olarak kullanıldığı cam sanayinde camın ısıyla genişmesini önemli ölçüde indirgemekte; titreşim, yüksek ısı ve ısı şokuna karşı dayanıklılık sağlamakta ve böylece camın genel olarak dayanıklılığını arttırmaktadır. Bu tip uygulamalara örnek olarak evlerde kullanılmakta olan borcamlar verilebilir. Bor bu etkilerinin yanı sıra cam eriğinin vizkozitesini azaltarak daha akışkan olmasını sağlamaktadır.

Bor fiberler plastiklerde, alüminyum ve titanyuma oranla altı kat daha fazla sertlik ve yoğunluk oranı sağlamaktadır. Yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı, esnek, hafif ve kolay üretilen borlu malzemeler bugün spor malzemelerinde (raketler, kayaklar vb), tekstil (kurşun geçirmez kumaşlar), izolasyon, otomotiv sanayi gibi pek çok alanda

kullanılmaktadır. Boraks bileşiği suyun yüzey gerilimini azaltarak kir parçacıklarının uzaklaştırılmasını sağlarken, düşük de olsa kimi organik maddeler ile reaksiyona girip ester oluşturarak, dezenfektan olarak da kullanılabilir. Bu özelliklerden dolayı sabun gibi pek çok temizlik maddelerinde kullanım alanına sahiptir. Örneğin, sodyum per borat, aktif bir oksijen kaynağı olduğundan etkili bir ağartıcı olup çamaşır beyazlatıcısı olarak değerlendirilmektedir.

Son yıllarda, bileşiklerinin (borik asit, boraks, pentahidrat gibi) yangın geciktirici özelliklerinden dolayı, bor düşük maliyetli selülozik yalıtım malzemesinde kullanılmaya başlandı. Bu malzemeler sadece yangına karşı dayanıklılığın yanında bakterilere karşı zehirleyici, sıçanların, farelerin ve böceklerin iştahlarını kapatıcı bir nitelik sağlamaktadır (Acarkan, 2002).

Nötron emme gücünün fazla olması onu tek kılan başka bir özelliğidir. Nükleer santrallerde, radyoaktif maddenin bölünmesi ısının açığa çıkmasına, alfa ve beta parçacıkları, gama ışınları ve nötronların oluşmasına yol açar. Nötronlara karşı kalkan görevi görece malzemeler arasında en etkili olanları bor (özellikle ^{10}B izotopu), hidrojen, lityum, polietilen ve sudur. Ancak bunların çoğu ikincil gama ışınlarının oluşmasına neden olurken nötronları emme özelliğiyle bor, çok hafif bir gama ışını ve kolay emilebilen bir alfa ışını üretir. Metallerle boritleri oluşturan bor oldukça sert (Mohs'a göre sertlik derecesi 9'dur, elmasın ki 10'dur) olmasından dolayı aşındırıcı ve ışık kırıcı olarak da kullanılır (Acarkan, 2002).

4.4 Borlu Yakıt Sistemleri

4.4.1 Hidrojen Motorları ve Entegre Sistemleri

Hidrojen, yanma enerjisini aynı ağırlıktaki benzinden 2,75 kat fazla olan zehirli etkisi bulunmayan, yanma sonrası su buharı egzozu ile çevre dostu alternatif bir yakıttır. Elektrikten daha iyi depolanabilir oluşu, içten yanmalı motorların kolaylıkla dönüştürülebilmesi, hidrojenin diğer avantajlarındandır. Üretiminde en uygun bileşiğin su oluşu, yüksek alevlenme hızı, geniş tutuşma aralığı, hafifliği ve temiz bir yakıt oluşu, hidrojenin mevcut yakıt sistemleri içinde en birinci alternatif yakıt olması sonucunu doğurmuştur (Akkaya v.d., 2002)

Ancak, motor yakıtı olarak hidrojenin bazı problemleri vardır. Bunların başında benzin motorundan hidrojen motoruna geçiş sonrası hidrojen-hava karışımının %20 güç kaybına neden olması, emme manifoldunda alev tepmeleri ve hidrojenin depolanması sayılabilir.

Bunlardan ilk ikisi çözüme kavuşturulmakla birlikte, araçta hidrojen depolanması henüz pratik çözüme kavuşmamış bir problemdir. Depolamada üç yöntem öngörülmüştür; yüksek basınçlı gaz olarak, aşırı soğutulmuş (kroyejenik) sıvı haldeki depolama ve metal hidrit şeklinde depolama. Hidrojenin yakıt deposuna dolumu, benzine göre oldukça yavaştır (mesela, 10 dakikalık bir sürede 90 km'lik yakıt ikmali) ayrıca deponun bu günkü benzin depolarına kıyasla kat kat büyük olması da gereklidir. Sıvı hidrojenle ilgili problemlerin başında ise, sıvılaştırmanın maliyeti çok arttıracak boyutta enerji gerektiren bir proses olmasıdır. Metal hidrid depolama sisteminde yakıt tankında hidrojen gazı metal alaşımla bileşik oluşturarak depolanması ve ısıtma sonrası hidrojenin serbest kalması prensibine dayanır. Her yeni sistem gibi bu sistemde teknik ve ekonomik problemleri aşılmaya çalışılmaktadır (Erarslan, Arakoç, 2002a).

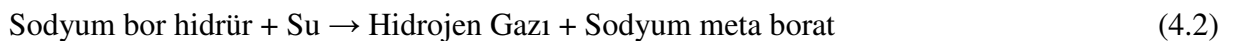
Hidrojenin yakıt olarak üstün özelliklerini ve alternatif enerji kaynakları arasında en ön sıralarda yer alması, problemlerin çözümüne yönelik teknolojik araştırmaları da beraberinde getirmiştir. Depolama problemine çözüm olarak sunulan en gelişmiş teknolojik sistem Millenium Cell ve Crysler firmalarının ortak çalışmalarıyla Natrium olarak adlandırılan araç elde edilmiştir.

4.4.2 Bor Yakıtı Kullanan Sistemler

Hydrogen On Demand (İhtiyaç Duyulduğu Anda Hidrojen); Millennium Cell firması tarafından icat edilmiş, geliştirilmiş ve patenti alınmış, çevreyle dost ham malzemelerden saf hidrojen üreten, güvenli bir hidrojen üretim sistemidir. Hidrojen, sulu sodyum bor hidrür (NaBH_4) çözeltisinden elde edilir (Erarslan, Arakoç, 2002b).

Sodyum bor hidrür, (NaBH_4), borakstan elde edilen yeryüzünde önemli doğal rezervleri bulunan çok reaktif bir kimyasaldır. Bir prosesle, sıkıştırma ve sıvılaştırma işlemlerine ihtiyaç olmaksızın enerji uygulamaları için saf hidrojen temin edilir. Geniş aralıktaki güç ihtiyaçlarına hitap eden bu sistemle üretilen hidrojen, birçok uygulamalarda kullanılabilir (Erarslan, Arakoç, 2002b).

Hydrogen On Demand sistemi, depolanmış bor hidrür çözeltisinin tescilli bir metal katalizör içeren bir odadan sıvı olarak geçmesiyle hidrojen açığa çıkarır. Hidrojen üretimi reaksiyonu;



şeklinde yazılabilir. Hidrojen dışındaki diğer reaksiyon ürünü, suda çözülebilen ve çevreye zararsız boraksa yakın sodyum meta borattır. Borat, tekrar sodyum hidrür elde edilmesinde kullanılabilir. Reaksiyon ekzotermiktir; hidrojen eldesi için dışarıdan ısı vermeye gerek yoktur. Üretilen ısı, bir miktar suyun buharlaşması için yeterlidir ve sonuç olarak hidrojen %100 izafi neme sahiptir. H₂ akışında birlikte üretilmiş bu nem, hem yakıt pili hem de içten yanmalı motorlarda fayda sağlayacaktır (Winter, 2000).

Zararlı emilsüyon olmaksızın yüksek kalitede enerji kaynağı üreten bu reaksiyon inorganiktir (karbon ve sülfür serbest). Bu reaksiyon, güvenli ve kolayca kontrol edilebilir. Hidrojen sadece, sıvı yakıtın metal katalizörle direkt irtibata geçtiğinde üretilir. Bu suretle herhangi bir vakitte gaz hidrojen miktarı minimize edilebilir. Yakıt çözeltisi alev almaz, patlamaz ve taşınması güvenlidir. Benzin için mevcut altyapı sistemi ile uyumludur. Küçük değişikliklerden sonra modern bir araç, Hydrogen On Demand ile hareket edebilir. Hidrojen üretim sistemi tarafından kullanılan sodyum bor hidrür, çevredeki mevcut benzin istasyonu ağı aracılığı ile dağıtılabilecektir. Aşağıdaki şekilde Shell firmasının mevcut bir benzin istasyonunda açmış olduğu hidrojen satış noktası görülmektedir (Tanaka v.d., 2002)



Şekil 4.1 Shell Firmasının Açmış Olduğu Hidrojen İstasyonu

4.5 Dünya’da ve Türkiye’de Bor Cevheri Rezerv Dağılımı

Tabloda görüldüğü gibi dünya bor cevheri rezervlerinin %63’ü Türkiye, %16,4’ü ABD ve %10,7’si BDT’de yer almaktadır. Türkiye rezerv ve cevher kalitesi açısından çok önemli bir paya sahip olmasına karşın bor üretimi ve ticareti ABD’nin elinde bulunmaktadır. Buna rağmen Türkiye dünya ham bor tüketiminin %95’ini karşılamaktadır (Güyagüler, 2001).

Tablo 4.1 Ülkelere Göre Dünya Bor Rezerv Dağılımı (Güyagüler, 2001).

Ülke	Görünür Rezerv*	%	Görünür Rezerv**	%	Muhtemel+M ümkün Rezerv	%	Toplam Rezerv	%
ABD	20900	16,4	45000	9,2	60000	11,5	105000	10,3
Arjantin	9000	0,7	2000	0,4	7000	1,3	9000	1,0
Rusya	136000	10,7	28000	5,6	112000	21,4	140000	13,7
+BDT								
Bolivya	19000	1,5	4000	0,8	15000	2,9	19000	2,0
Çin	36000	2,8	27000	5,4	9000	1,7	36000	3,5
İran	-	-	1000	0,2	1000	0,2	2000	0,2
Peru	22000	1,7	4000	0,8	18000	3,4	22000	2,0
Sırbistan	-	-	3000	0,6	-	-	3000	0,3
Şili	41000	3,2	8000	1,6	33000	6,3	41000	4,0
Türkiye	803000	63	375000	75,4	269000	51,3	644000	63,0
Toplam	1275000	100	497000	100	524000	100	1021000	100

4.6 Hidrojen

Hidrojen bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir (Üst ısıl değeri 140.9 MJ/kg, alt ısıl değeri 120,7 MJ/kg). 1 kg hidrojen 2.1 kg doğal gaz veya 2.8 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir. Ancak birim enerji başına hacmi yüksektir. Hidrojen doğada serbest halde bulunmaz, bileşikler halinde bulunur. En çok bilinen bileşiği ise sudur.

Dünya ölçeğinde kullanmakta olduğumuz enerjinin çoğu petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Her yenilenemez enerji kaynağında olduğu gibi petrol ve doğalgaz rezervleri de sınırlıdır. Buna karşın hidrojen, sınırsız bir enerji kaynağıdır. Onun kolay ve güvenli bir şekilde taşınabilmesi, sanayide, evlerde ve taşıtlarda kullanım potansiyeli ve atık olarak da sadece su üretmesi hidrojeni diğer enerji kaynakları karşısında son derece

avantajlı bir hale getirmekte; enerji pazarında ise giderek artan bir rekabet oluşturmaktadır. Son yıllarda yoğunlaşan AR-GE çalışmalarının sonucunda piyasaya sürülen çok sayıdaki hidrojen tabanlı ürünlerin pazar gelişimi de son derece olumlu gözükmemekte; bunların pazar payı giderek artmakta ve dünyada bir hidrojen ve hidrojen ürünleri pazarı hızla gelişmektedir.

Bu gelişim trendini etkileyen temel faktörlerden birisi -kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil tabanlı- geleneksel enerji kaynaklarının gelecekte tükeneceğine dair tahminlerdir (Cherry, 2004). Bu tahminler, başta otomotiv sektörü olmak üzere -ki, dünyanın hemen hemen bütün büyük otomotiv üreticilerinin hâlihazırda hidrojenle çalışan çok çeşitli türlerde taşıtlar üretmeleri- hidrojen sektörünün ana kullanım alanlarından ve hidrojen enerjisi sektörünün gelişmesinde lokomotif sektörlerden birinin ulaşım sektörü olacağını göstermektedir - birçok enerji bağlantılı sektörü de harekete geçirmiştir (Winter, 2005).

Hidrojen enerjisini popüler hale getiren etkenlerden bir diğeri de, mevcut enerji kaynaklarının fiyatlarında çeşitli nedenlerle oluşması beklenen değişimlerdir. Örneğin, Birleşmiş Milletler'in raporlarına göre 2012 yılı "ucuz petrolün sonu" olacaktır. Ucuz petrol bitecek ve kalan petrol kaynakları yalnızca savunma sanayi gibi alanlarda kullanılacaktır. Çünkü dünyadaki orduların elindeki araçları başka bir enerjiye dönüştürmek çok büyük maliyetleri gerektirecek ancak ülkelerin birden bire bu kadar yüksek maliyetlere katlanması gerçekçi olmayacaktır. Bu nedenle, geçiş döneminde eldeki petrol kaynaklarının yalnızca savunma sanayinde kullanılması beklenmektedir (Yıldırım, 2006).

Bununla birlikte -özellikle- taşıt sektörünün hidrojene geçmesini geciktiren önemli sayılabilecek bazı problemler de bulunmaktadır. Bunların başında depolama sorunu gelmektedir (Yıldırım, 2006). Hidrojen gibi son derece geniş bir hacme sahip bir gazı depolayabilmek için onu ciddi oranda sıkıştırmak gerekmektedir; bu ise nispeten küçük hacimli otomobillerde göreceli olarak büyük bir depolama alanına ihtiyaç doğurmaktadır. Mevcut otomobillerin hacmi bu şekildeki bir proses için yeterli olmamakta; böyle bir şey ancak otomobillere ilave bir depolama biriminin takviyesiyle mümkün olabilmektedir. Bu ise güvenlik, görsel ve pratik açılarından tercih edilen bir durum olmamaktadır. Ancak problemin çözümüne yönelik AR-GE çalışmaları dünyanın çeşitli ülkelerinde devam etmektedir (Rand, Dell, 2005).

4.6.1 Hidrojen Enerjisi ve Hidrojen Teknolojilerinin Kullanım Alanları

Hidrojenin taşınabilir ve -örneğin, elektrik enerjisinden farklı olarak- depolanabilir olması, onun oldukça geniş bir alanda kullanımına imkân vermektedir. Hidrojenin bu kullanım

çeşitliliği ta 1970’li yıllarda fark edilmiştir. Esasen hidrojenin ulaşım, endüstri ve ev ve ofislerde kullanımı çok yeni değildir. Halen dünyanın birçok yerinde evlerde kullanılmakta olan havagazı aslında hidrojen ve karbonmonoksidin bir karışımıdır. Zeplin ve bazı balonlar gibi hava taşıtlarında da hidrojen kullanılmaktadır. Ayrıca sanayide, petrolün rafine edilmesinde, amonyak ve metanol üretiminde, metalürji ve gıda sektörlerinde geniş olarak hidrojenden faydalanılmaktadır. Uzay mekiği roketlerinin yakıtı da hidrojendir.

Hidrojene dayalı teknolojik ürünlerden en yaygın olarak kullanılanı yakıt pilleridir. Yakıt pilleri, hidrojenden elektrik enerjisi elde etmek amacıyla geliştirilen bir teknolojidir. Yakıt pilleri, yakıt olarak kullandığı hidrojeni havadaki oksijenle birleştirerek direkt olarak izotermal bir işlemle elektrik enerjisine çevirmektedir. Mevcut tüm yakıt pilleri, hidrojen ve oksijenin su oluşturucu fonksiyonundan faydalanarak elektrik üretmektedirler. Temiz bir güç kaynağı olan yakıt pilleri, geleceğin teknolojisi olarak nitelendirilmektedir.

Bu doğrultuda, çeşitli amaçlarla ve uygulama alanlarında geliştirilen hidrojen teknolojilerinin ticarileştirilmesi yolunda ciddi mesafeler kaydedilmiştir. Bu alanlardan bazıları elektrik üretimi, ısınma, evsel yakıt pilleri, taşınabilir cihazlar, dizüstü bilgisayar ve cep telefonu bataryaları, ulaşım, yakıt pilli, melez (hibrit) yakıtlı otomobiller ve enerji dışı alanlar (metalürji ve cam sanayi) olarak sıralanabilir (Forsberg, 2006).

4.6.2 Hidrojen Enerjisi ve Hidrojen Teknolojileri Konusunda Dünya’daki Araştırma-Geliştirme Çalışmaları

Hidrojen enerjisi ve hidrojen teknolojileri konusundaki çalışmalar dünyanın birçok ülkesinde yürütülmektedir. Bu çalışmaların önemli bir kısmının uluslar arası işbirliği programları şeklinde olduğu gözlenmektedir. Avrupa Birliği ile Kanada’nın EURO-QUEBEC (hidro-hidrojen) projesi, Norveç ve Almanya’nın NHEG projesi, Almanya ve Suudi Arabistan’ın HY-SOLAR (güneş-hidrojen) Projesi, İskandinav ülkeleri ile Yunanistan’ın işbirliği, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) hidrojen enerjisi projeleri ve Birleşmiş Milletler UNIDO-ICHET hidrojen çalışmaları bu konudaki örneklerden bazılarıdır.

Hidrojen Teknolojileri Merkezi şu anda dünyanın değişik ülkelerinde projeler başlatmış durumdadır. Bu projelerden bazıları şunlardır:

- Çin’de, Hidro Hidrojen Projesi: Çin’deki bir bölgenin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla su enerjisinden yararlanılarak hidrojen üretilmesi planlanmaktadır.
- Türkiye’de, Hidrojenle Çalışan Otobüs Projesi: İstanbul’da, hidrojenle çalışan

otobüslerin hizmete sokulmasını ve bunlar için gerekli hidrojenin gece kullanılmayan elektrikten elde edilmesini öngörmektedir. Bu otobüslerden bazılarının hidrojen yakıt pilleriyle; bazılarının ise hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlar ile çalışması planlanmaktadır.

- Arjantin’de, Rüzgârdan Hidrojen Üretimi Projesi: Arjantin’deki bir bölgenin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla rüzgâr enerjisinden yararlanılarak hidrojen üretilmesi planlanmaktadır.
- Güney Kore’de, Hidrojenle Çalışan Otomobil/Otobüs Projesi: Proje, Güney Kore’nin güneydoğusunda Chonnam Bölgesi’nde bir hidrojen yakıtlı otomobil filosunun faaliyetini öngörmektedir. Gerekli hidrojen, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elde edilecektir.
- Libya’da, Güneş Enerjisinden Hidrojen Üretimi Projesi: Proje, Libya’daki bir bölgenin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla güneş enerjisinden yararlanılarak hidrojen üretimini içermektedir.
- Hindistan’da, Hidrojenle Çalışan Üç Tekerlekli Araç Projesi: Proje, Hindistan Delhi’de hidrojen yakıtlı üç tekerlekli araçlardan oluşan bir filonun oluşturularak hizmete sokulmasını içermektedir. Gerekli hidrojen, yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra kullanılmayan elektrikten faydalanılarak elde edilecektir (Hidrojenturk, 2005).

Dünyanın farklı bölgelerinde yürütülen bu tür çalışmalara ilave olarak, hidrojen konusunda asıl ağırlıklı ve yoğun çalışmaların ABD, Avrupa ve Japonya’da yürütüldüğünü belirtmek gerekir. Esasen buralarda yürütülen çalışmalar bu alandaki ilerlemelerin öncülüğünü yapmaktadır; çünkü devasa nitelikteki enerji pazarından pay elde edebilmenin temel şartı, en kısa sürede ticarileşerek pazara girebilmektir. Bu ülkeler de bu alanda diğer ülkelere nazaran hem araştırma-geliştirme hem de ticarileşme yönünde önemli mesafeler kat etmiş durumdadırlar.

4.6.3 Hidrojen ve Hidrojen Teknolojileri Konusunda Türkiye’deki Araştırma-Gelişme Çalışmaları

Türkiye, ciddi oranda enerji açığı bulunan bir ülkelerin başında gelmektedir ve bu durum son yıllarda -resmi kanallar da dâhil olmak üzere- çeşitli kanallardan sık sık gündeme getirilmektedir (Kaya, 2006).

Türkiye’nin geleneksel enerji kaynaklarına bağımlılık düzeyini göstermesi bakımından -daha somut bir örnek olarak- elektriğin elde edildiği enerji kaynaklarına bakmak faydalı olacaktır. Bu çerçevede, Türkiye’de üretilen elektrik enerjisinin nerelerden ve hangi oranlarda elde

edildiği Tablo 4.2’de detaylı olarak sunulmaktadır.

Tablo 4.2 Türkiye’de Üretilen Elektrik’in Kaynakları ve Payları (Ün, 2003)

Enerji Kaynakları	Miktar /GWh	Oran (%)
Termal	104,898.50	74.78
Kömür	8,718.90	6.22
Linyit	23,630.00	16.85
Petrol	8,661.50	6.17
Dizel	0.20	0.00
Doğalgaz	62,300.30	44.41
Jeotermal	88.60	0.06
LPG	369.40	0.26
Nafta	1,059.50	0.76
Diğer	70.10	0.05
Rüzgâr	61.40	0.04
Hidrolik (Su)	35,323.60	25.18
Toplam	140,283.50	100.00

Bu çerçevede hidrojen, –elektrik üretiminin yanında- ülkemizde fosil tabanlı enerjilerin kullanıldığı çok sayıdaki alanda önemli bir alternatif olacaktır. Gerçi mevcut şartlarda Türkiye’de hidrojen enerjisine kısa dönemde bir geçiş beklenmemektedir ancak dünyadaki gelişmeler doğrultusunda bu geçişin uzun vadede de olsa zorunlu hale geleceği açıktır. Hidrojen ve hidrojen teknolojileri konusunun ülkemizde de önümüzdeki on ile yirmi yıl arasında ciddi oranda ticarileşeceği düşünülmektedir (Yılmaz, 2007). Bu bağlamda, hidrojen enerjisinin Türk enerji piyasasındaki pazar payının 2070’li yıllar itibarıyla ise %60 -70 oranlarına ulaşacağı tahmin edilmektedir (TPAO, 2003).

Ülkemizde hidrojen ve hidrojen teknolojileri konusunda dünyadaki gelişmeleri ne derece yakından takip edebildiği konusunda soru işaretleri bulunmakla birlikte bu alanda ülkemiz açısından dikkat çekici çalışmaların yapıldığını da belirtmek gerekir. Türkiye birkaç nedenden dolayı bu alanda önemli gelişmeleri yakalama potansiyeli olan bir ülkedir. Geliştirilebilir AR-GE altyapısı, hidrojen üretimine uygun kaynakları ve konunun önemini anlayan ve bu alana yatırım yapan bir özel sektör ile Türkiye bu fırsatı yakalama şansına sahiptir.

Birleşmiş Milletler Endüstriyel Gelişme Organizasyonu bünyesinde kurulan Uluslar arası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi'nin (International Center for Hydrogen Energy Technologies – UNIDO-ICHET) İstanbul'da kurulmuş olması, ülkemiz için son derece önemli bir fırsattır. Türkiye bu sayede bu alandaki gelişmeleri yakından takip etme imkânı yakalayabilecektir. Bu sayede –şayet iyi kullanılabilirse- önemli derecede bir bilgi ve teknoloji transferinin yapılabilmesi de mümkün olabilir. Türkiye UNIDO-ICHET sayesinde dünyada hidrojen teknolojileri ve ürünlerinin üretim merkezi haline gelebilir.

Türkiye, hidrojen konusunda yüksek potansiyele sahip ülkelerden birisidir. Türkiye hidrojen üretimi konusunda önemli avantajlara sahip bir ülkedir. Karadeniz'in tabanında kimyasal biçimde depolanmış büyük hidrojen potansiyeli bulunmaktadır. Karadeniz'in suyunun %90'ı anaerobiktir ve hidrojen sülfür (H_2S) içermektedir. 1.000 metre derinlikte 8 ml/l olan H_2S konsantrasyonu, tabanda 13,5 ml/l düzeyine ulaşmaktadır. Elektroliz reaktörü ve oksidasyon reaktörü gibi iki reaktör kullanılarak, H_2S 'den hidrojen üretimi konusunda yapılmış teknolojik çalışmalar mevcuttur. Türkiye, güçlü kaynaklarına ek olarak hidrojenin depolanması, emniyetli kullanımı ve ekonomik bir şekilde nakledilebilir hale gelmesinde çok önemli bir fonksiyonu yerine getiren bor türevleri konusunda da dünya rezervlerinin %63'üne sahiptir. Ayrıca, Türkiye'nin üç tarafının denizlerle kaplı olması, göller ve akarsularının oldukça fazla sayıda bulunması, ayrıca yağışlı bölgelerinin de çok olmasından dolayı hidrojen elde edilmesi için önemli bir avantaj oluşturmaktadır (Ertürk, 2006).

Özel sektör firmaları, dünyanın hemen hemen bütün gelişmiş ülkelerinde AR-GE konusundaki finansal destekleri ve fiili çalışmaları ile gelişmenin öncülüğünü yapmaktadırlar. Zorlu Grubu, dünyada büyük bir pazar olarak görülen ve gittikçe büyüyen enerji pazarına yönelik olarak, 'hidrojen enerjisi' alanında yaptığı AR-GE çalışmaları, geliştirdiği ürünler ve teknolojiler ile Türkiye'de bu alanda liderliği hedefleyen ve dünyada da önemli bir firma haline gelmeyi hedefleyen firmalardan birisidir. Elimsan Topluluğu, Plug Power şirketi ile birlikte 5 kW'lık yakıt hücreleri geliştirmiştir. Fırat otomotiv, otomobillerde hidrojen üreten Hidroksit adlı bir ürün geliştirmiş durumdadır. Bu ürün, yüzde 25 oranında yakıt tasarrufu ve performansı artışı ve karbondioksit emisyonunda da yüzde 70'lik bir azalma sağlamaktadır. Endüstriyel uygulamalar için enerji dağıtım sistemleri üzerine çalışan EAE Elektrik de hidrojenle beslenerek elektrik üretimi yapan 1,5 watlık bir yakıt hücresi geliştirmiştir. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü tarafından yürütülen Türkiye'nin hidrojen enerjisi ile çalışan ilk melez otomobili projesinin de kısa zamanda tamamlanması beklenmektedir.

Türkiye’de yürütülen hidrojen tabanlı projelerden bazıları şunlardır:

- Atatürk hava meydanı otobüs projesi: TPAO ve TEMSA’nın ortak olarak yürüttükleri bir projedir. TEMSA'nın ürettiği hidrojenle çalışan otobüsler hava meydanı içinde ve dışında TPAO tarafından işletilecektir. Otobüslerde içten yanmalı motorların kullanılması planlanmaktadır.
- Rüzgâr-hidrojen projesi: Demirer Holding, BOS, Çukurova Holding ve Unilever şirketlerinin yer aldığı bir konsorsiyum tarafından yürütülecek proje, rüzgârdan hidrojen üretimini öngörmektedir.
- Hastane Projesi: Ankara'da bir hastanede hidrolizle oksijen ve hidrojen üretimi planlanmaktadır. Oksijen, ameliyathanede ve bebek doğum kısmında; hidrojen ise ambulans yakıtı ve yemek pişirmede kullanılacaktır.
- Ambarlı santrali hidrojen projesi: EÜAŞ ve İGDAŞ tarafından yürütülmekte olan proje, hidrojen üretilip doğalgaz boru hattına verilmesi ilkesine dayanmaktadır. Proje, gece kullanılmayan elektriği kullanarak hidrojen üretimini öngörmektedir. Doğalgaz boru hatlarına verilen hidrojen oranı giderek artırılarak, mevcut doğalgaz boru hattının gelecek 50 yıl içinde hidrojen boru hattına dönüşeceği tahmin edilmektedir.
- Hidroelektrik-hidrojen projesi: EÜAŞ, TPAO ve İGDAŞ'ın oluşturduğu bu projede uygun bir hidroelektrik santralinden hidrojen üretilip doğalgaz boru hattına verilmesi öngörülmektedir.
- Biomas-hidrojen projesi: Proje, tatlı sorgum bitkisinden hidrojen üretimini öngörmektedir. Yapılan bazı AR-GE çalışmalarına göre, bugün için en ucuz hidrojenin biyoyakıtlardan üretilebileceği gözükmemektedir.
- Hidrojenli ev projesi: Bu projede Denizli’de güneş pillerinden elde edilen elektrik ile hidrojen üretilmesi öngörülmektedir. Evin ve aracın yakıtı hidrojenden sağlanacaktır.
- Traktör projesi: Türk Traktör ve Petrol Ofisi tarafından ortaklaşa yürütülen bu projede, Türk Traktör’ün ürettiği bir traktör hidrojenle çalışacak ve Petrol Ofisi de aracın hidrojenini sağlayacaktır.
- Güneş-hidrojen projesi: Proje, güneş enerjisinden hidrojen üretilmesini öngörmektedir. Güneş pillerinin araçların üstüne konularak elde edilen güneş enerjisiyle, hidrojen yakıt hücresinin doldurulması planlanmaktadır. Sistemle motosiklet gibi küçük araçların

yakıtlarının karşılanması planlanmıştır.

- Türkiye’de Hidrojenle Çalışan Otobüs Projesi: Proje, İstanbul’da hidrojenle çalışan otobüslerin hizmete sokularak gerekli hidrojenin gece kullanılmayan elektrikten elde edilmesini içermektedir. Bu otobüslerin üç yıl gibi bir süre içerisinde hizmete girmesi planlanmıştır. Bu otobüslerden bir kısmının hidrojen yakıt hücreleriyle, bir kısmının da hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlarla çalışması planlanmıştır.

5. YAKIT PİLLERİNİN ASKERİ ALANLARDA UYGULANMASI

Tarihten bugüne tüm teknolojik araştırmalar ve geliştirilen ürünler savunma sanayinin ihtiyaçlarından ortaya çıkmıştır (hesap makinesi, bilgisayar, lazer vb.). Yakıt pillerinin uzay çalışmalarında başarılı olmasından sonra askeriyenin diğer dallarında da bu teknolojinin uygulanması giderek ağırlık kazanmaya başlamıştır.

Günümüzde artık klasik savaşların sona ermesi, uluslararası terör faaliyetlerinin de artması nokta operasyonları gerekli kılmıştır. Özellikle askeri birliklerin daha hareketli, daha sessiz, daha emniyetli, maliyeti düşük ve en önemlisi de operasyonların uzun sürmesi nedeniyle dayanıklı askeri malzemelerin yapılması öncelik kazanmıştır.

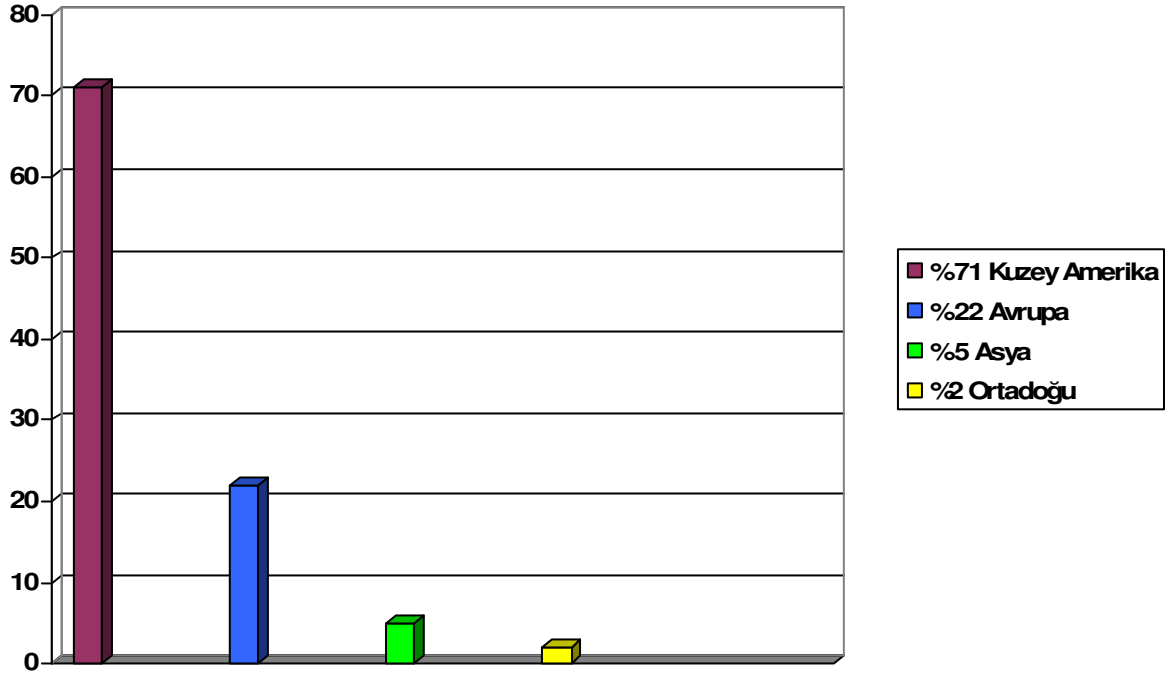
Buna yönelik olarak şu an üç alanda çalışmalar artan bir hızla devam etmektedir: Daha sessiz güç üretimi, emniyetin arttırılması ve maliyetin düşürülmesi. Bu çalışmaların sonucunda konvansiyonel pillerin kullanımının ciddi derecede düşmesi amaçlanmıştır. Önceleri enerji sağlayan pillerin ve jeneratörlerin yerine artık yeni nesil piller kullanılmaya başlanmıştır. Bu pillerin hacimleri şu anda içme suyu arıtma cihazlarından bile daha az yer tutmaktadır (Crawley G, 2007).



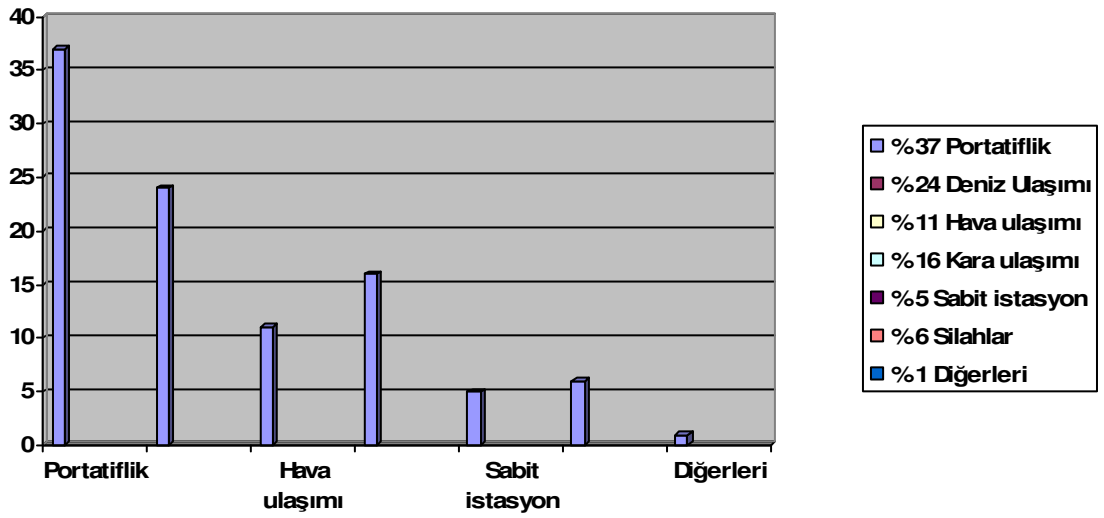
şekil 5.1 Yakıt Pillerinin eşitli Alanlarda Kullanımı

Dünyanın birçok ülkesinde yakıt pili hücresinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar tüm hızıyla devam etmektedir. Aşağdaki grafiklerde yakıt pili hücresinin askeri alanlarda geliştirilmesine yönelik uygulamalar bölgesel olarak ve uygulama alanları bakımından dağılımı gösterilmiştir (Crawley G, 2007).

Grafik 5.1 Yakıt Pili Askeri Alanlarda Uygulama Alanları Bölgesel Dağılımı (Crawley G, 2007).

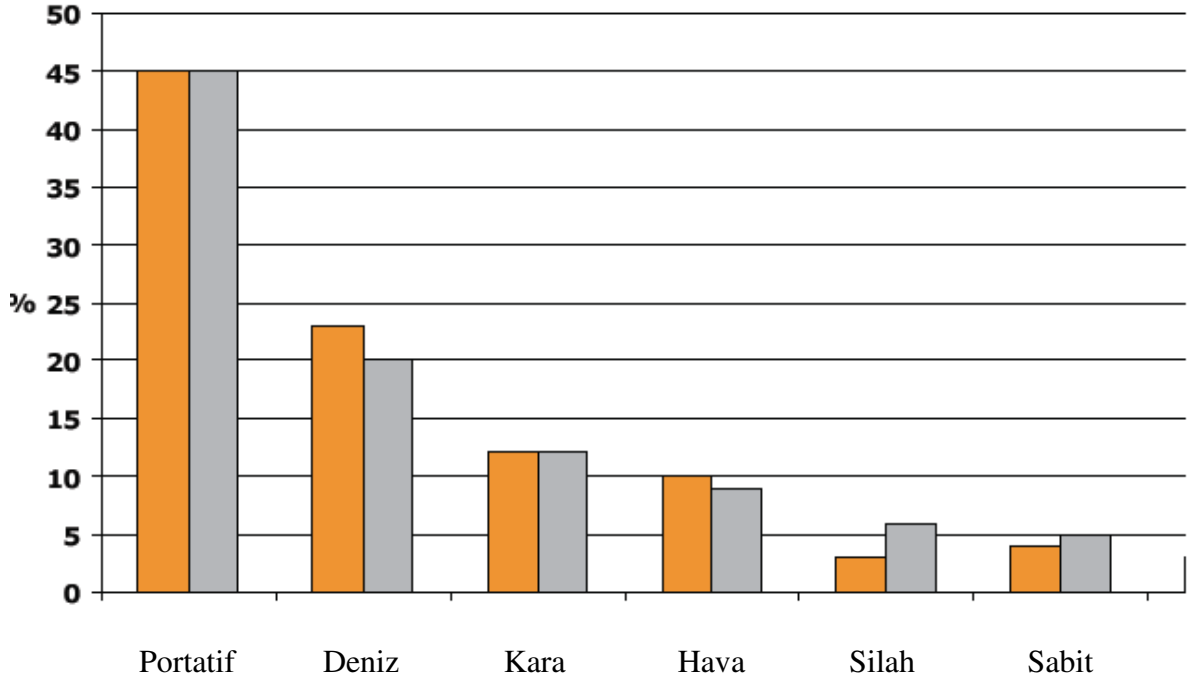


Grafik 5.2 Yakıt Pili Askeri Uygulama Alanları Bakımından Dağılımı (Crawley G, 2007).



Grafik 5.3'de görüleceği gibi 2007 yılında yapılan çalışmalar uygulama alanlarına göre 2006 yılında yapılan çalışmalara göre artış göstermiştir.

Grafik 5.3 2006 -2007 Yılları Uygulama Alanları Çalışma GRAFİĞİ (Crawley G, 2007).



Askeri sektördeki yakıt pili uygulamaları çok çeşitli uygulamalarla devam etmektedir. Örneğin son 12 ayda taşınabilir yakıt pili hücrelerinin askeri alanlarda uygulanmasına yönelik araştırma ve geliştirme yapan 14 yeni organizasyon bu sektöre girmiştir. Idatech, Jadoo Power, Mesoscopic Devices, Millennium Cell, NanoDynamic ve Neah Power bu organizasyonlardan bazılarıdır (Crawley G, 2007). Türkiye’de de Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV), TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM), Ford Otosan, Arçelik, Tofaş, Aygaz ve Demirdöküm ile Zorlu Holding yakıt pillerinin geliştirilmesi hususunda önemli çalışmalar yapmaya başlamıştır. Hatta Zorlu grubu cep telefonları ve dizüstü bilgisayarlar gibi mobil cihazların enerji sıkıntısını çözecek yakıt pillerinin prototip üretimlerini tamamlamış, ancak piyasaya sunmamıştır (Zorlu,2007).

5.1 Portatif Uygulamalar

Fransız ordusunun 32000 askerinin bekasını sağlayacak olan ve 2004 Mart ayında ödüllendirilmiş olan Sagem Savunma Sanayi’nin ürettiği güç ünitesi FELIN firması tarafından 2007 yılında askerlere dağıtılmıştır. Sagem bu ürünün ikinci versiyonunu, 2008 yılının ilk yarısından başlayarak dağıtmayı ve 2015 yılına kadar bu ürünün seri üretimine başlamayı planlamıştır. FELIN sistemi 24 kilo ağırlığında olup, 24 saat aralıksız olarak, muharebe için gerekli gücü sağlamaktadır. Bu sistemin şarj ünitesi araçlara monte edilmiştir. Bu ünite tüm muharebe operasyonlarında (gündüz, gece, yaya, bindirilmiş, hava ve hava ulaşımı) ve çeşitli koşullarda kullanılmak üzere tasarlanmış ve kullanışlı hale getirilmiştir.

Sistemin kullanım alanları portatif bilgisayarlar, dijital telsizler, telsiz sistemiyle donatılmış koruyucu başlıklar, silah görüş sistemleri ve muharebe uniformalarından oluşmaktadır. Bu programla ilgili olarak Fransız Ordusu sadece FELIN sistemi için yaklaşık olarak 10 milyon dolar civarında para harcamıştır.



Şekil 5.2 250 Wattlık Portatif Güç Sistemi (Crawley, 2007).



Şekil 5.3 Yakıt Piliyle Çalışan Portatif Bilgisayar (Geiger, Jollie, 2004).



Şekil 5.4 Yakıt Piliyle Çalışan Telsiz Örneği (Geiger, Jollie, 2004).

Özellikle iç güvenlik operasyonlarının arttığı ve önem kazandığı bu günlerde Türk Silahlı Kuvvetleri'nin en temel ihtiyacı, bu operasyonlarda kullandığı askeri malzemelerin uzun ömürlü olmasıdır. Buradaki en temel ihtiyaç birliklerin iletişimi sağlayacak muhabere malzemeleridir. Bu muhabere malzemelerinin başında telsizler gelmektedir. Çünkü operasyon sırasında birliklerin ulaşımı, lojistik ihtiyacı ve yaralanan personelin hastanelere taşınması için bir üst makama rapor edilmesi amacıyla telsize mutlak surette ihtiyaç vardır.

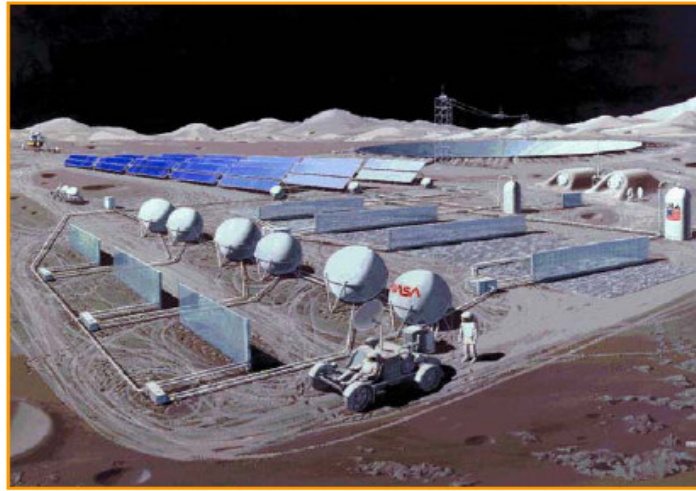
Hali hazırda envanterde olan ve kullanılan telsizlerin en önemli dezavantajı operasyon sırasında şarj edilememesi ya da şarj edilirken kullanılan jeneratörlerin fazla gürültü yapmalarıdır. Bu sebeple birliklerle iletişimde kopukluklar yaşanmakta ve jeneratörlerin çıkardığı ses, operasyon güvenliğini tehlikeye sokmaktadır.

Son aylarda Zorlu Grubu'nun üzerinde çalıştığı en önemli konulardan biri yakıt pili hücrelerinin hacimlerinin küçültülerek diz üstü bilgisayarlar ve cep telefonlarında da kullanılabilir hale getirilmesini sağlamaktır. Bu noktada Milli Savunma Bakanlığı ile Zorlu Grubu arasında yapılacak ortak bir proje ile yakıt pili hücrelerinin, telsizlerin enerji ihtiyacını karşılayabilecek bir çalışma yapılması, iç güvenlik operasyonları açısından Türk Silahlı Kuvvetleri'ne çok büyük avantajlar sağlayacaktır. Bu kapsamda Fransız Sagem firmasının ürettiği yakıt pili hücreli telsizler örnek olarak alınabilir.

5.2 Sabit Uygulamalar

1994 ve 1997 yılları arasında Amerika Savunma Bakanlığı fosforik asit yakıt hücrelerini (PAFC) 30 askeri alanda kullanmaktaydı. PACF sistemlerini özellikle kışla binaları ve hastanelerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak üzere kurmuştur. Bu program enerji stratejisinde yakıt pili teknolojisinin daha uzun dönemlerde de kullanılmasını göstermesi açısından önemlidir. Amerika'nın stratejisine göre tüm yakıt pili hücreleri ülkede üretilmelidir ve bir yıllık yakıt pili hücresi %90 verimle çalışmalıdır. Program hava trafik kontrolünden, yangın istasyonlarına, yönetim binalarından rekreasyon merkezlerine kadar çeşitli alanlarda planlanmıştır. Şekilde NASA tarafından ay üzerinde kurulması planlanan sabit yakıt hücresi istasyonu gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar askeri analizciler tarafından yararlı ve gayet başarılı olarak değerlendirilmiş ve öncelikli araştırmalar sınıfına alınmıştır.

PACF ve PEM programlarının yanı sıra, Kaliforniya'da askeri denizcilik üzerine çalışan LOGANENERGY firmasının erimiş karbonat yakıt hücresinin (MCFC) kurulumuna başlanmıştır. Test edilen ünite 250 kw'lık MCFC ünitesi olup montajı, testi, gelişimi ve performansı sınanmaktadır. Söz konusu MCFC ünitesi en az 3 yıl çalışmak üzere tasarlanmıştır.



Şekil 5.5 NASA Tarafından Ay Üzerine Kurulması Planlanan Sabit Yakıt Hücresi İstasyonu (Adamson, Crawley, 2006).

Türk Silahlı Kuvvetleri'nin hemen hemen her il ve ilçesinde sabit kışlaları bulunmaktadır. Ayrıca iç güvenlik operasyonlarının arttığı bu dönemde Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde çok miktarda yeni üs oluşturulmuştur.

Söz konusu kışlaların aydınlanması, ısınması ve gerekli lojistik faaliyetlerinin devam etmesi

için fosil yakıtlar ve elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Üs bölgelerinin enerji ihtiyacı ise büyük hacimli ve hareket kabiliyeti düşük mobil jeneratörlerle sağlanmaktadır. Bu jeneratörlerin de fosil yakıtlara ihtiyaç duyması ve fosil yakıtların her damlası için dış ülkelere olan bağımlılığımız gözden kaçırılmaması gereken bir husustur.

Halen üzerinde çalışılan sabit ve mobil yakıt pili hücrelerinin mevcut ihtiyacın belirli bir bölümünü bile karşılayabilmesi konunun önemini göstermektedir. Özellikle üs bölgelerinin enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek için yapılacak olan yakıt pili hücreleri Türk Silahlı Kuvvetleri'nin o bölgedeki hem etkinliğini artıracak; hem de bekasını sağlayacaktır.

Aşağıdaki resimde görülen mobil istasyon 25 kW'lık güç üretebilmektedir.



Şekil 5.6 Mobil İstasyon (Crawley, 2007).

5.3 Denizcilik Uygulamaları

Üzerinde çalışılan ana konulardan birisi de yakıt pilinin askeri denizcilik sektöründe kullanılmasıdır. Yakıt hücreleri yardımcı güç üniteleri (APU) olarak denizaltılarda, askeri araçlarda ve bağımsız güç sistemlerinin parçası olarak kullanılmaktadır. Siemens endüstriyel çözümler ve servis grubu PEM yakıt hücresini Alman Ordusu için; UTC firması PEM ünitesini İspanyol denizaltıları için geliştirmiştir (Anderson, 2002).



Şekil 5.7 Almanya'nın Yakıt Pili Kullanan İlk Denizaltısı 2003 Yılında Test Edilirken (Crawley, 2007).

5.4 Askeri Lojistik Araçlar

Kasım 2006 da Hawaii Gelişmiş Ulaşım Teknolojileri merkezinde Hickham Havaalanı ulusal gösteri merkezinde alternatif yakıtlı araçlarla ilgili bir yetenek gösteri yapılmıştır. Hidrojenle beslenen bir otobüs, bir üstü kapalı yük aracı (van) ve bir çekme kamyonunun operasyonları konu edilmiştir. GES firmasının kurduğu yakıt istasyonunda 50 kg hidrojen 1 gün boyunca suyun elektrolizinden elde ediliyordu ve elektrik çıkışı 1,5 kw değerindeydi. Başta yakıt istasyonu sadece otobüsün ve vanın günlük ihtiyaçlarını karşılamaya yetecek kadar yakıt aldılar. Hem otobüs hem van ikişer yakıt tankına sahipti ve her ikisinin de menzilleri 100'er mildi. Otobüs 4,5 dakikada yakıt ikmali yapıyordu. Çekme kamyonu bir uçağı çekebilecek güce sahipti (Crawley, 2007).



Şekil 5.8 Hickham Havaalanındaki Hidrojen Yakıt İstasyonu ve Denede Kullanılan Otobüs

Amerikan Ordusu Quantum Fuel Cell Technologies ve General Motors firmalarıyla hidrojenle güçlendirilmiş yakıt hücreli araçların geliştirilmesi ile ilgili anlaşmalar imzalamıştır.



Şekil 5.9 General Motors Firmasının 5 kW'lık Yakıt Hücreli Taşıtı (Crawley, 2007).

Türk Silahlı Kuvvetleri'nin envanterinde birçok lojistik ikmal aracı bulunmaktadır. Bu araçlar hemen hemen her gün birliklerin lojistik ihtiyacını karşılayabilmek için göreve çıktığı düşünülürse kullandıkları fosil yakıtların yadsınamaz düzeyde olduğu da kolaylıkla görülebilir. Mevcut lojistik araçlarda yakıt pillerinin kullanımı, hem dış ülkelere olan bağımlılığı azaltacak; hem de daha yüksek verim sağlayacaktır.

5.5 İnsansız Hava Araçları (UAV)

Amerikan Ordusu UAV'nı fotoğraf çekme, araştırma, kurtarma ve casusluk görevlerinde kullanılmasını amaçlamaktadır. Yakıt pilleri de UAV'nda kullanılmak üzere geliştirilmektedir. Millennium Cell, Proton Energy Systems ve UltraCell firmaları söz konusu araçların enerji ihtiyaçlarını karşılayacak yakıt pilleri üzerinde detaylı gelişmeler elde etmişlerdir (Geiger, Jollie, 2004).



Şekil 5.10 NASA Tarafından Geliştirilen Yakıt Piliyle Çalışan İnsansız Hava Aracı (UAV) Örneği (Geiger, Jollie, 2004).

Son yıllarda insansız hava aracı teknolojisinde önemli mesafeler kaydeden ve silahlı kuvvetlerin ihtiyacını karşılayan TAI'nin, yakıt pilini insansız hava taşıtlarına uygulanabilir hale getirmesi hem aracın daha fazla havada kalmasını sağlayacak; hem de daha hafif olmasını sağlayacaktır.

5.6 Zırhlı Araçlar

Yakıt pilinin askeri alanlarda uygulanması ve önemli başarılar kazanmasından sonraki düşünce; zırhlı araçlarda da bu teknolojinin kullanılabilirliğinin sınanması idi. Özellikle 2. Dünya Savaşı'nın kaderini tayin eden en önemli muharebe silahı zırhlı araçlardı. Biliyoruz ki zırhlı araçlar, bugün olduğu gibi gelecekte de en etkin muharebe silahlarından biri olacaktır.

Zırhlı araçların ağır, depolarının büyük, menzillerinin kısa olması ve özellikle muharebe ortamında sistemlerinin ihtiyaç duyduğu enerji miktarının çok yüksek değerlerde olması çözülmesi gereken en önemli problemlerden bazılarıydı.

Yakıt pili hücresi ünitesi zırhlı araçlarda ve tanklarda da kullanılabilir. Aynı ağırlıktaki fosil yakıt ve yakıt pilini karşılaştıracak olursak, yakıt pili tankların daha uzun menzile sahip

olmasına olanak sağlar. Günümüz muharebe tankları 1,5 ton yakıtla yaklaşık olarak 600 km'lik bir hareket sığına sahiptir. Fosil yakıtın yerine 2.75 kat daha az miktarda konulacak yeni nesil yakıtla tanklar yine aynı mesafeyi kat edecektir. İşte bu azalan yakıtın araç ağırlığına yaptığı katkı, aracın manevra kabiliyetinin artırılmasına veya zırhın kalınlaştırılmasına olanak sağlayacaktır. (Veziroğlu, 1998).

Halihazırda United Defence firması topçu, uzun menzilli füzeler ve zırhlı araçların dizayncısı, geliştiricisi ve üreticisi olarak bu konuda önemli aşamalar kaydetmiştir. Hatta zırhlı araçların ilk prototipini de yapmıştır.



Şekil 5.11 United Defence firmasının yakıt piliyle çalışan zırhlı araç prototipi (Adamson, Crawley, 2006).

Son yıllarda ülkemizin gündeminde olan “Milli Tank Projesi”, Türk Silahlı Kuvvetleri'nin modern muharebe sahasında ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla uzun yıllardan beri üzerinde çalışılan bir konudur. Bu projenin amacı % 100 yerli imalatla bir tankı yapabilmektir. Ancak en önemli sorun yeterli teknolojiye Türkiye'nin sahip olmamasıydı. Bu teknolojilerin başında zırh ve motor teknolojisi gelmekteydi.

Hali hazırda İsrail'de modernize edilen M-60 serisi tanklarından zırh teknolojisini transfer ederek bu problem çözüme kavuşturulacaktır. Diğer en önemli problem motor teknolojisidir. United Defence firmasının yakıt piliyle çalışan zırhlı araçların prototipini yapması ve uygulanabilir olması, Milli Tank Projesi'ne ciddi anlamda katkı sağlayabilir. Özellikle borun hidrojeni en iyi taşıyan madde olması ve ülkemizin zengin bor yataklarına sahip olması bu konuda söz sahibi olmamızı sağlayabilecek en önemli avantajlardan biridir.

Eğer hükümetler AR-GE çalışmalarına yeterli kaynak ve destek ayırırlarsa; bu projenin sonuçlandırılması ve hayata geçirilmesi ülkemizin askeri anlamda ve enerji ihtiyacı hususunda dışa bağımlılığını azaltacak ve uluslar arası platformda söz sahibi ülke konumuna gelmesini sağlayacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Askeri birliklerin ihtiyaç duyduğu enerjinin oluşturulmasında yakıt pili sektörünün önemi giderek artmaktadır. Halen enerji ihtiyaçlarının önemli bir bölümünün dış alımlarla karşılandığı göz önüne alınırsa, milli savunma sanayinin geliştirilmesi ve güçlendirilmesinin önemi daha iyi anlaşılacaktır. Dışarıdan temin edilen enerji ihtiyaçlarına harcanan paranın ülke ekonomisinde yarattığı negatif etkinin yanı sıra, kimi zaman da siyasi gerekçelerle, ihtiyaç duyulan malzemelerin satın alınamamasının yarattığı güvenlik zafiyeti ülkeyi zor durumda bırakabilmektedir.

21. yüzyılın genel çerçevesine baktığımızda gelecekteki savaşların sadece teknoloji ile yapılacağı değerlendirilmekte ve bu savaşları yönlendirecek olan teknolojinin değişmez hammaddesinin enerji olacağı tüm otoritelerce kabul edilmektedir. Ayrıca kişi başına düşen enerji kullanım miktarı ülkelerin gelişmişliğinin en büyük göstergesi olduğu göz önüne alındığında, enerji üretim çalışmalarının gelişmişliğin doğal sonucu olduğu ortaya çıkmaktadır.

Uzmanlar nüfusla doğru orantılı olarak artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için alternatif enerji kaynaklarına yönelmektedir. Alternatif enerji kaynakları arasından hidrojeni en iyi taşıyan borlu yakıt pilinin en verimli, sessiz ve çevreye zarar vermeyen, en önemlisi de artık olarak sadece su ve ısı veren yönleriyle ön plana çıktığı kabul görmüştür.

Türkiye'nin de dünya bor rezervinin % 63'lük payını bünyesinde bulundurması Türkiye'nin yakıt pili üretiminde çok önemli bir yere sahip olacağını göstermektedir. Bor bileşikleri günümüzde yaygın olarak yeni kullanım alanları bulmaktadır. Bu bileşikler yüzyıla damgasını vuracak değerdedir ve en büyük hammadde kaynağına sahip olan Türkiye için çok büyük önem arz etmektedir. Türkiye'nin refahı için bu kaynakların rasyonel olarak değerlendirilmesi geleceğimiz için çok önemlidir.

Jeopolitik konumu nedeniyle stratejik bir öneme sahip olan ülkemizin her an iç ve dış tehditlere karşı durabilecek bir güce sahip olması dileği ile yapmış olduğum bu tez çalışmada, savunma sanayinin ihtiyaç duyduğu enerjinin -hiç değilse- bir kısmını yakıt pili hücresi ile karşılamayı hedefledim ve bu konuda çeşitli alanlarda yapılan çalışmalardan örnekler sunmaya çalıştım.

Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV), TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM), Ford Otosan, Arçelik, Tofaş, Aygaz ve Demirdöküm işbirliğinde

gerçekleştirilmekte olan, “Yerlileştirilmiş Yakıt Pili Projesi’nin “üretim” aşaması tamamlandı, şimdi ise sıra “ticarileşme” aşamasına geldi. Türkiye’nin kendi alanlarında önde gelen 7 şirket ve kurumunun oluşturduğu konsorsiyum, ilk yerli yakıt pilini ürettiler ve ticarileşmeye geçiş aşamasını başlattılar. Zorlu holding telsizden dizüstü bilgisayara, radyodan buzdolabına çeşitli kapasitelerde sayısız gerci çalıştıracak PEM yakıt pillerini, evlerin her türlü enerji gereksinimini karşılayacak katı oksit yakıt pillerini, yüzde yüz çevre dostu kuru pilleri ve yüksek verimlilikteki özgün elektroliz metodumuzla sudan hidrojen elde etme sistemini geliştirmiştir.

Sadece son 3 ayda, yakıt pili teknolojisi ve bunun askeri alanda uygulanması konusunda 26 yeni şirket bu pazara girmiş ve sadece Kuzey Amerika’da askeri uygulamalar % 20 oranında büyümüştür. Portatifliğin ve ulaşımın, uygulama alanlarının başında geldiği fakat silahlardaki ve sabit istasyonlardaki gelişimin de göz ardı edilmemesi gerektiği anlaşılmaktadır. Önemli olan bir nokta da sabit istasyonlarında kullanılan yakıt hücrelerinin sayısının az olması, buna karşın plandaki potansiyelin çok geniş olması dikkat çekicidir. Ben bu tezi hazırlayana kadar Fransız Ordusu FELIN programı ile 358 sistem parçası üzerinde test yapmaya devam ediyordu.

Tarihte birçok teknolojik gelişmeyi geleneksel bir alışkanlıkla hep geriden takip eden anlayıştan toplumca bir an önce vazgeçmeli, hükümetlerin de matbaanın 200 yıl kadar sonra ülkeye girmesini sağlayan Osmanlı Devleti yöneticilerinden farklı davranarak gereken dersleri çıkartması gerekmektedir.

Bilimsel araştırmalara olan direncin bir an önce kırılması, uluslar arası platformda söz sahibi olabilmek için enerji konusunda çığır açan bu teknolojiye kayıtsız kalınmamalı ve bu konuda yapılacak çalışmaların en kısa sürede sonuca ulaşması ve hayata geçirilmesi, ilgililerce desteklenmeli ve AR-GE çalışmalarına yeterli kaynak ayrılması mutlak surette gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Acarcan, N., 2002. Bor ürün çeşitleri ve kullanım alanları, 1. Uluslararası Bor Sempozyumu Kitabı, 1-3.
- Adamson K. A., Crawley G., June 2006, Military Survey, Fuel Cell Today, www.fuelcelltoday.com, (22.07.2007).
- Adamson, K. A., Fuel Cell Today Market Survey: Small Stationary Applications, Fuel Cell Today, 2005, www.fuelcelltoday.com (22.07.2007)
- Akkaya, A. V., Akkaya, E. K., Dağbaşı, A., 2002. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Açından Değerlendirilmesi, 4. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, C-I, s:37-45.
- Anderson, B., 2002. Fuel Cells for Marine Applications, Hydrogen Today, p. 11-15, Vol 13, No. 1.
- Baş, M. E., 2005. Bitirme Tezi, Uludağ Üniversitesi Makine Müh. Böl., Bursa
- Cherry, R. S., 2004. A Hydrogen Utopia?, International Journal of Hydrogen Energy.
- Crawley G, 2007. Military Survey, Fuel Cell Today, www.fuelcelltoday.com (22.07.2007).
- Çetinkaya, M., Karaosmanoğlu, F., 16 Temmuz 2002. Yakıt Pillerinde Hidrojen Kullanımı, 1. Ulusal Hidrojen Kongresi, Ankara.
- Çetinkaya, M., Karaosmanoğlu, F., Eylül 2002. Yakıt Pillerinde Hidrojen Kullanımı- 1, 3e Electrotech, Bileşim Yayıncılık A.Ş., 100, s. 90-94, İstanbul.
- Çetinkaya M, Karaosmanoğlu F, 2004. İTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü, 80626, Maslak, İstanbul.
- Çetinkaya, M., Karaosmanoğlu, F., Yakıt Pili, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Mayıs – Haziran, 2004, (www.mmoistanbul.org/yayin/Scripts/prodView.asp?idproduct=309, (30.09.2007).
- Çınkır, M., 2002. Petrol'den Bor'a Boraya Yakalanıp Alabora Olmadan, Aydınlanma1923, Sayı 46, s:42.
- Dipioğlu, İ., 1998. Hidrojenin Taşıta Üzerinde Üretimi ve Petrol Kökenli Yakıtlarla Birlikte İkten Yanmalı Motorlarda Kullanımının İncelenmesi, S.Ü. Makine Anabilim Dalı, Konya.
- Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (2007)

http://www.eie.gov.tr/hidrojen/yakit_pilleri.html (16.07.2007)

Erarslan, Arakoç, F., 2002a. Borlu Yakıt Sistemleri-1, 1. Uluslar arası Bor Sempozyumu.

Erarslan, K., Arakoç, F., 2002b. Borlu Yakıt Sistemleri-1, 1. Uluslar arası Bor Sempozyumu.

Erdör B, 20 Ocak 2007. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi

Ertürk, F., 2006. Türkiye'nin Alternatif Enerji Kaynakları İçinde Nükleer Enerjinin Yeri Ve Önemi, İstanbul, (<http://www.tasam.org/modules.php?name=News&file=article&sid=267>, (19.08.2007)

Forsberg, C. W., 2006. Future Hydrogen Markets for Large-Scale Hydrogen Production System, International Journal of Hydrogen Energy.

Fuel Cell Seminar, 2002. http://www.gofuelcell.com/agenda_thursday.html (15.07.2007).

Geiger S., Jollie D., 1 April 2004. Military Survey, Fuel Cell Today, www.fuelcelltoday.com (22.07.2007).

Güyagüler, T., 2001. Türkiye Bor Potansiyeli, 4. Hammaddeler Sempozyumu, s:19, İzmir/Türkiye

Hidrojenturk, 2005. Türkiye, Hidrojen Enerjisinde Dünyayı Şekillendiriyor, Sayı 4, ss:1-5, İzmit.

<http://www.bilgiustam.com/?p=190> (08.08.2007).

Journal of Power Sources, 2004. The Effect of Stoichiometry on Dynamic Behavior of A Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) During Load Change, www.elsevier.com (15.09.2007).

Journal of Power Sources, 30 June 2007. Micro-fuel cells—Current development and applications, Volume 170, Issue 1, , Pages 67-78

Kadırgan, F., Ocak, 2003. Hidrojenli Yakıt Hücreleri Teknolojilerinde Son Gelişmeler, 3e Electrotech, s. 64-68, Bileşim Yayıncılık A.Ş., İstanbul.

Karaosmanoğlu, F., 2003

<http://www.mmoistanbul.org/yayin/cumartesisoylesileri/17/index.html> (20.08.2007)

Kaya, D., 2006. Renewable Energy Policies in Turkey, Renewable and Sustainable Energy

Reviews 10, pp: 152–163.

Kutlar, O. A., Çalık, A.T., Arslan, H., Özaktaş, T., Karaosmanoğlu, F., Temmuz, 2000 Hydrogen Use in Vehicles, VI. Dünya Yenilenebilir Enerjiler Kongresi, Brighton-UK.

Lamy, C., Leger, L.G., 1999. Interfacial Electrochemistry, Marcel Dekker, 48, New York.

<http://fuelcellworld.org> (31.07.2007)

Linden D., 1984. Handbook of Batteries and Fuel Cells, McGraw Hill Publishing Company.

Los Alamos National Laboratory, 2001. Fuel Cells Green Power, Los Alamos National Laboratory in Los Alamos, New Mexico.

Miami University (2007) <http://www.miami.edu/veritas/dec99/frontpage.html> (31.07.2007).

Nature, 19 Ocak 2000. Science Update

Obitet (2007)

http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif_enerji/hirojen_arabada_kullanimi.htm

(23.08.2007)

Özpeker, I., 2002. Borat Mineralleri ve Strateji, Sektör maden, s:11.

Rand, D. A. J., ve Dell, R. M., 2005. The Hydrogen Economy: A Threat or an Opportunity for Lead – Acid Batteries?, Journal of Power Sources 144, ss: 568 – 578.

Smith J., Angel, B., 2003. New Application for DMFC, Journal of the Fuel Cell, 44:1, 22-29.

Şen, Z., Haziran 2002. Temiz Enerji ve Kaynakları, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

Tanaka K., Yin J. Ve Tanaka N., 9-13 Haziran 2002. Hydrogen Storage Properties of Nanostructured Mg-Ni-RE (=La, Nd) Alloys Produced by Melt-Spinning, 14. Dünya Hidrojen Enerjisi Konferansı, Montreal, Kanada.

Temelci F. E., 2000. Taşıtlarda Alternatif Yakıt Olarak Hidrojen Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

TPAO, 2003. 2001 Yılı Bilânço ve Netice Hesaplarına Ait TBMM KİT Alt Komisyonu Toplantısı Sunumu, Ankara.

Ün, T. Ü., 2003. Hidrojen Enerjisi: Depolanması, Güvenliği, Çevresel Etkisi Ve Dünyadaki Durumu, Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği.

Veziroğlu, N., 1998, Uçaklar,Trenler,Otomobiller ve Gemiler, Ekoloji Çevre Magazin Dergisi, Yıl:7, Sayı:26.

Winter M, 2000. Institute for Chemistry and Technology of Inorganic Materials, Graz University of Technology, Stremayrgasse 16, A-8010 Graz, Austria.

Winter, C. J., 2005. Electricity, hydrogen – competitors, partners?, International Journal of Hydrogen Energy 30.

Yazıcı S., Kişisel görüşme (19.08.2007).

Yıldırım, M., Ekim 2006. Hidrojenle Birlikte Yenilenme Süreci Başladı, Termodinamik Sayı: 170.

Yıldız, Karataş, Tekin, 2003. Gelecekte kullanılabilir yakıt tipleri, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Karabük.

Yılmaz, A., 2002. Her Derde Deva Hazinemiz Bor, Bilim Teknik, Sayı 414.

Yılmaz, P., 2-3 Haziran 2007. Hidrojen Ekonomisi, “Hidrojen Teknolojisi Eğitim Programı 2”, Çankaya Üniversitesi, Ankara.

YEŞİL, M. 2002. Yakıt Hücreleri ve Yakıt Hücrelerinin Otomotiv Uygulamaları, Bitirme Ödevi, Bursa, 36 s.

Zorlu, 2007, Zorlu Holding Dergisi, Sayı 15

http://www.indeksiletisim.com/hizmet_goster.asp?ID=784&hizmet_id=6 (22.07.2007)

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi : 14.01.1982

Doğum yeri : Ereğli/KONYA

Lise 1996-2000 : Kuleli Askeri Lisesi

Lisans 2000-2004 : Kara Harp Okulu

Sistem Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar : 2004-2007 Kara Kuvvetleri Komutanlığı'nın çeşitli birliklerinde

Takım Komutanlığı