

YAKIT HÜCRESİ TEKNOLOJİSİNDE BOR UYGULAMALARI

Ali İhsan ÇETİN, İbrahim ORDU, Ahmet KOLİP

Özet - Bu çalışmada taşıtlarda kullanılabilecek olan alternatif enerji kaynaklarından bor elementine dayalı yakıt hücresi teknolojisi incelenmiştir. Yakıt hücresi teknolojisinde bor elementinin kullanımı ve hidrojenin taşınmasında sağlamış olduğu özellikler, bor elementinin önemini bir kat daha arttırmıştır. Borun sadece taşımada değil farklı kimyasal yapılarıyla yakıt olarak ta kullanılabileceğinin görülmüş olması, dünya bor rezervinin yaklaşık olarak % 70 inin ülkemizde olması, bor elementine dayalı teknolojilerin ülkemizde de geliştirilmesini gerektirmektedir.

Gelecekte bor elementinin altın değerinde olacağı bugünden görülmektedir. İçten yanmalı motorlarda, bor elementinin kullanılması ile hem daha az maliyetle daha fazla yol hem de hava kirliliğine yol açmaması, bu elementin önemini daha da arttırmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Yakıt Hücresi, Bor Teknolojisi, Sodyum Bor Hidrit

Abstract - In this study, fuel cell technology which is one of the alternative sources that can be used in internal combustion engines is studied. The use of boron in fuel cell technology and the features in transporting hydrogen, increased the importance of boron element. Since it is seen that boron can be used not only in transport but, also as a fuel with its chemical structures, and nearly 70% of earths boron reserve is in our country; it is necessary to develop technologies about boron element in our country.

Today, it can be foreseen that boron element will be as valuable as gold in the future. The use of boron element which internal combustion engines does not make much pollution and it also enables us to go further less cost. So, these factors increase the importance of this element. This work, is about the technologies based on boron element for vehicles is studied.

Key Words – Fuel cell, Boron Technology, Sodium Bor Hydrit

A.İ.Çetin; Ayvaci Mesleki Eğitim Merkezi Çanakkale
İ.Ordu;SA.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Adapazarı
A.Kolip; SA.Ü Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi, Adapazarı

I.GİRİŞ

Dünya fosil yakıt rezervlerinin tükenmekte olması, gün geçtikçe artan taşıtların çevre kirliliğini önemli ölçüde etkilemesi, hem ulaşım araçlarında kullanılan yakıt teknolojilerinin geliştirilmesini hem de alternatif yakıtların araştırılıp bulunmasını zorunlu hale getirmektedir[1].

Kirletici emisyonları azaltmak; bir teknolojik gelişimi ve bunu sağlayacak yatırımları gerektirmektedir. Bu gelişimi sağlayacak yatırımlar büyük maliyetler ortaya çıkarmakta ve bu maliyetler gelişmiş ülkelerin ekonomik yapıları üzerinde olumsuz etki yaratacaktır.

Değişik verilere göre 2025 yılında dünya genel enerji tüketiminin ulaşacağı düzey 12 000-16 000 Mtep olarak tahmin edilmektedir.2025 yılında dünyada 1 500-2 600 Mtep hidrojen enerjisinin kullanılması planlanmaktadır. Böylece göz önüne alınan etüt periyodu (2000-2025 dönemi) sonunda, dünya birincil enerjisinin % 9-21 arasındaki bir bölümü hidrojene dönüştürülerek kullanılabilecektir. Bu oran daha çok % 10 olarak öngörülmektedir[2,3].

II. TAŞITLARDA YAKIT HÜCRESİ UYGULAMALARI

II.1. Yakıt Hücresinin Gelişimi

Yakıt hücresi, yakıt (hidrojen) ve oksitleyicinin (hava) kimyasal enerjisini doğrudan elektrik ve ısı formunda kullanılabilen enerjiye çeviren güç üretim elemanıdır[3].

Hidrojenin bir yakıt hücresi olarak içten yanmalı motorlarda kullanılması 19. yüzyılın sonlarına uzanmaktadır. Almanya'da 1920 yılında Erren'in ve 1940 yılında Oemichen'in hidrojenli motorlar üzerinde çalışmaları bulunmaktadır. 1970'li yıllardaki petrol krizlerinin ardından Ballard, BMW, Daimler Benz, Ford, GM, Honda, Mazda, Suzuki, Toyota gibi otomotiv firmalarının da bulunduğu çeşitli kuruluşlar hidrojenle çalışan motorları kendi prototip araçlarında denemişlerdir[4].

Son onbeş yıl içerisinde hidrojenle çalışan değişik motorlar üretilmiş, otomobillere, otobüslere uygulanarak demonstrasyonlar yapılmıştır. İçten yanmalı motorlarda yakıt olarak hidrojen kullanılabilen olup, bunlar çoğunlukla enjeksiyonlu motorlardır. Diesel motorlarda hidrojen enjeksiyonu ön yanma odasına yapılırken, Otto motorlarda doğrudan yanma odasına yapılmakta ve uzun tırnaklı özel bujiler kullanılmaktadır. Bu motorların hem iki ve hem de dört zamanlı olanları vardır. Son yıllarda hidrojen/benzin ve hidrojen/doğal gaz sistemli Otto motoru gibi düzenlemeler ortaya çıkarılmıştır. Hidrojen yakıtı araçlara sıvılaştırılmış biçimde veya metalik hidrid biçiminde uygulanmaktadır [5].

Hidrojen yüksek verimle kullanılan bir yakıttır. Sudan olduğu gibi fosil yakıtlardan da üretilebilir. Hidrojen kullanım veriminin yüksekliği, en bol fosil yakıt olan kömürün diğer yakıt ve enerjilere dönüştürülerek ulaştırmada kullanılmasına ilişkin verilerle gösterilebilir[6].

Örneğin:

1 ton kömür-benzine dönüştürüldüğünde 708 km yol
1 ton kömür-elektriğe dönüştürüldüğünde 772km yol
1 ton kömür-hidrojene dönüştürüldüğünde 1030km yol

Hidrojen hem doğrudan hem de dolaylı yoldan enerji üretiminde kullanılabilmesi ve birçok enerji kaynağından üretilebilmesi gibi çok önemli bir avantaja sahiptir[6].

Yakıt hücrelerine dayalı teknolojilerin içten yanmalı motorlarda uygulanması sonucunda atık olarak su buharının çıkması, insan sağlığı ve çevre sorunları açısından da hidrojenin, içten yanmalı motorlarda yakıt olarak tercih sebebidir[7].

II.2 Yakıt Hücresi Çeşitleri ve Çalışması

Yakıt hücreleri, kullanılan elektrolit malzeme çeşitlerine göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar Tablo 2.1'de parametrelerine göre verilmiştir.

Bütün yakıt hücreleri aynı temel ilkelerle çalışır. Yakıt hücrelerindeki iki ince elektrot ve bunların arasına sıkıştırılmış bir elektrolit bulunur. Anoda gelen yakıt, orada iyonlara ve elektronlara ayrışır [8].

Bir yakıt hücresi, yakıtın kimyasal enerjisini döndürerek devamlı olarak elektrik akımı meydana getirir. Elektrokimyasal reaksiyon sürecinin, yanmasız yolu tarafından elektrik enerjisi oluşturulmaktadır. Yakıt hücreleri, yakıt ve oksijen olarak (genellikle havadan) elektrokimyasal reaksiyonda yanıcı olarak hidrojen kullanılır. Elektrik, ara ürün suyu ve ara ürün sıcaklığında tepki sonucunda meydana gelir [9].

AYH: Alkalın yakıt hücresi

FAYH: Fosforik asit yakıt hücresi

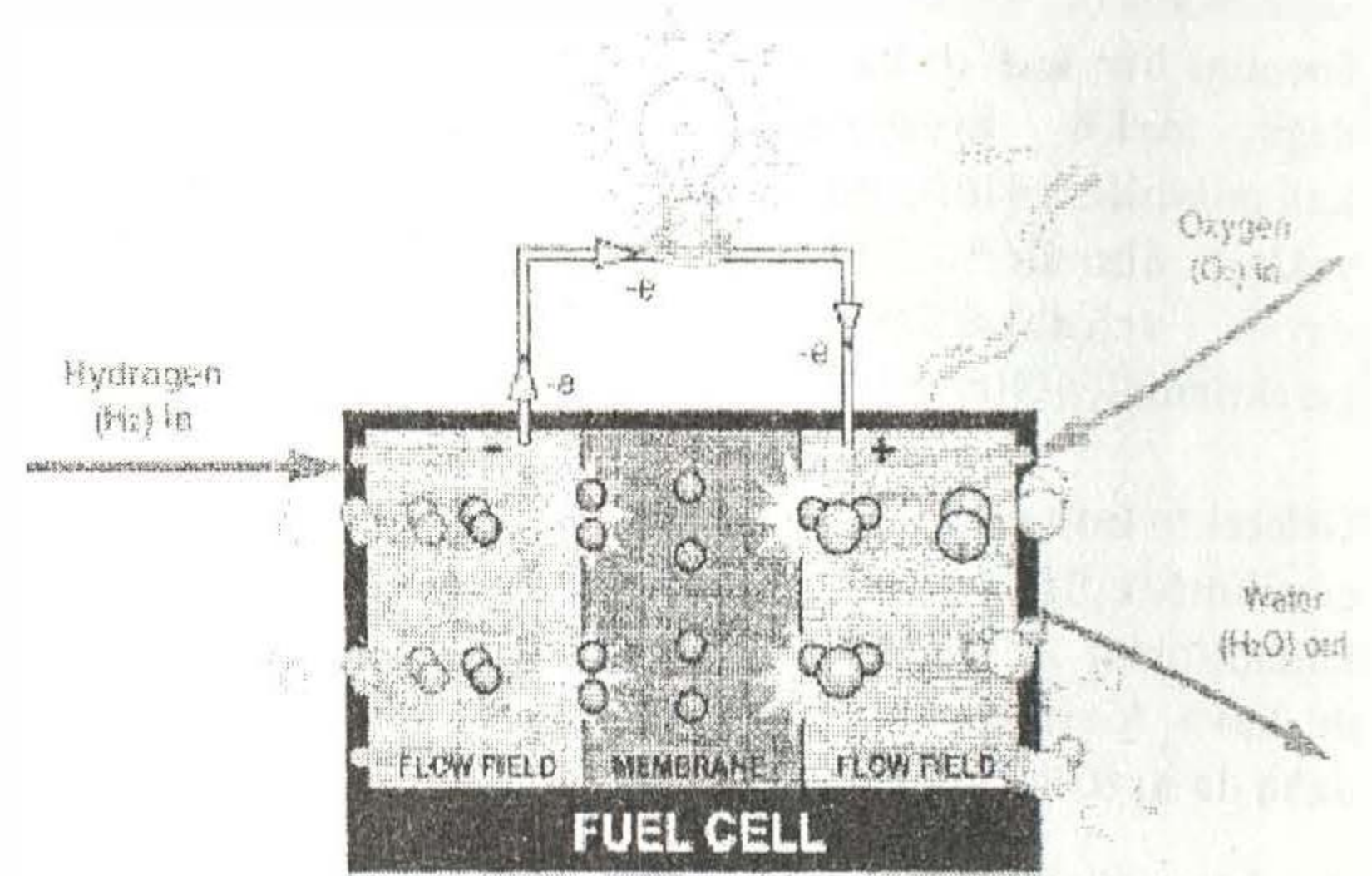
KOYH: Katı oksit yakıt hücresi

EKYH: Erimiş karbonat yakıt hücresi

PDMYH: Proton değişken membranlı yakıt hücresi

Tablo 1. Yakıt hücresi çeşitleri

Parametre	AYH	FAYH	KOYH	EKYH	PDMYH
İşletim sıcaklığı (C°)	80	200	1000	650	85
Platin kullanımı	Yok	Var	Yok	Yok	Var
Güç yoğunluğu (W/kg)	35-105	120-180	15-20	30-40	350-1500
Verim (%)	42-73	40-47	45-50	50-57	40-60
Atık ısı kullanımı	Yok	Sınırlı	Var	Var	Yok
H ₂ yakıt kaynağı	Saf H ₂	İşlenmiş metanol, doğal gaz	Doğal gaz	Doğal gaz	İşlenmiş metanol, doğal gaz
Ticari kullanım		92/93	2000	1998	1998



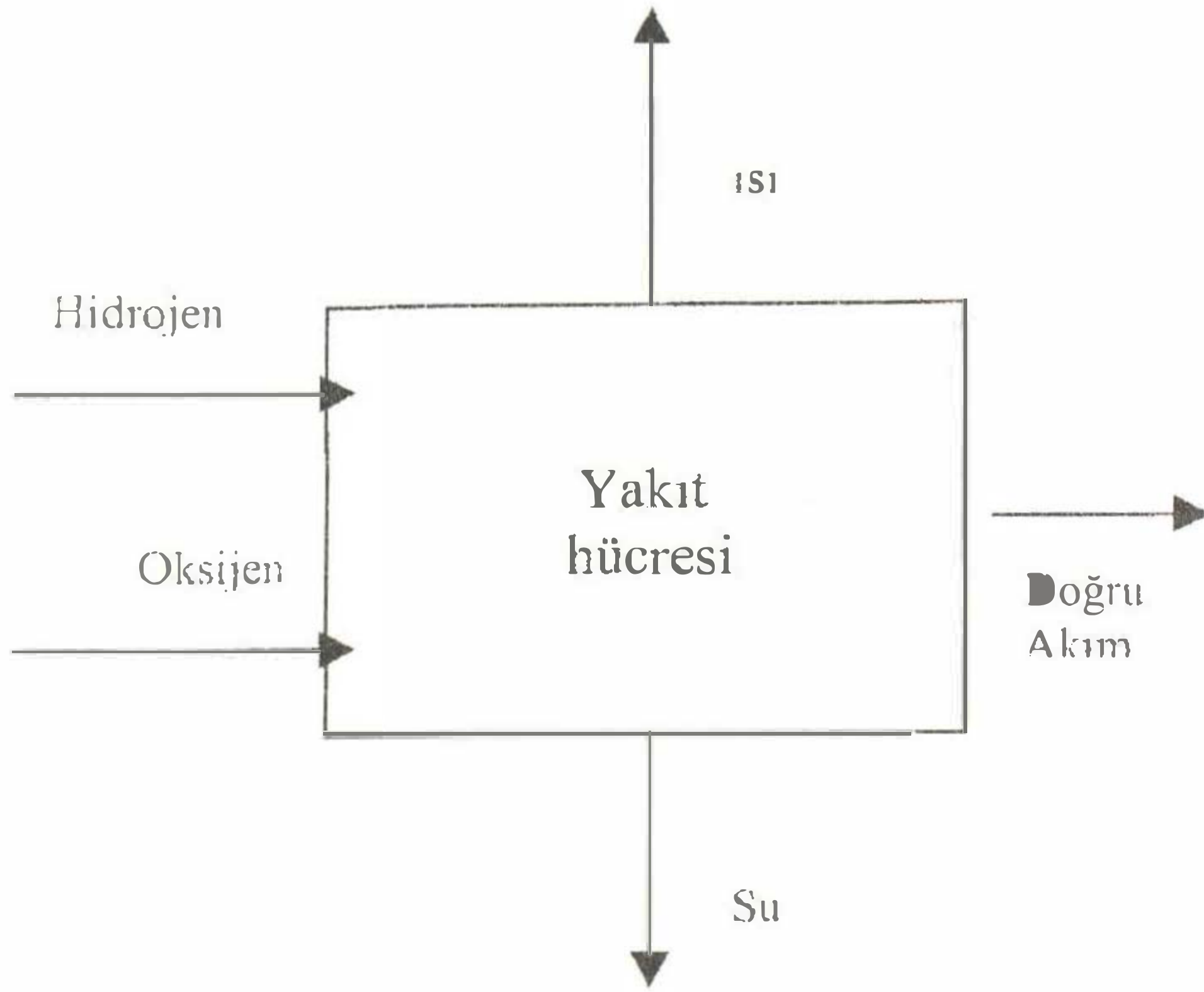
Şekil 1. Yakıt hücresi (PEM, Polimer esaslı)

Şekil 1'deki yakıt hücresi, iki elektrot (anot ve katot) esasına dayanır. Bir polimer elektrolit zarfıyla ayrılır. Yakıt hücresinin çalışma prensibi suyun elektrolizinin tam tersidir. Yakıt hücresi için reaksiyon formülü aşağıdaki gibidir.

- Hidrojen elektrotta;
 $H_2 \longrightarrow 2H^+ + 2e^-$ (1)
- Oksijen elektrotta;
 $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2O$ (2)
- Toplam reaksiyon
 $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow H_2O$ (3)

Elektrotların her biri, birisinde platin-temel alınan bir katalizörle yan tarafları kaplanır. Hidrojen yakıtı, anoda beslenir ve hava katottan girer. Hava katot yüzeyinden geçerken, hidrojen zengini 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 akımı üretir. Yakıt kullanımındaki yüksek verim nedeniyle, bu elektrokimyasal işlemde çıkan yan ürün sadece su, ısı ve elektrik akımıdır [10]. Yakıt hücresinin şematik diyagramı Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Yakıt hücresinin şematik görünümü

II.3 Hidrojenin Elde Edilmesi

Hidrojen doğal bir yakıt olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak değişik hammaddelerle üretilen sentetik yakıttır [11]. Hidrojen üretiminde kullanılan hammaddeler ise su, fosil yakıtlar ve biyokütle materyaldir. Aşağıda hidrojen üretim teknikleri kısaca aşağıda tanımlanmaktadır.

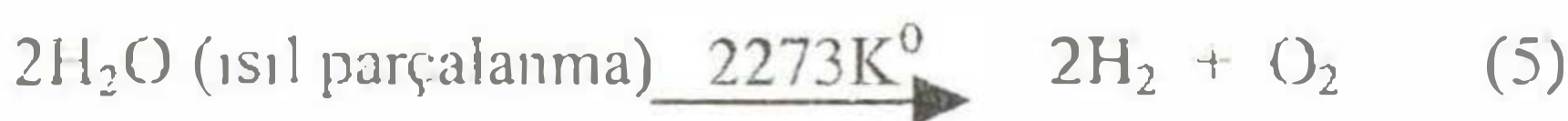
II.3.1. Hidrojenin sudan elde edilişi

Hidrojen suyun direkt elektrolizi aşağıda gösterilen formda elde edilebilir.



Elektroliz için elektrik gereksinimi fosil yakıtlardan, hidroelektrik güçten, nükleer enerjiden, jeotermal güçten, güneş, rüzgar ve deniz dalgaları enerjilerinden karşılanabilir.

Hidrojen suyun ısı parçalanması (termal kraking) ile de üretilmektedir.



Suyun termokimyasal çevrimler sonucunda da hidrojen üretilir.



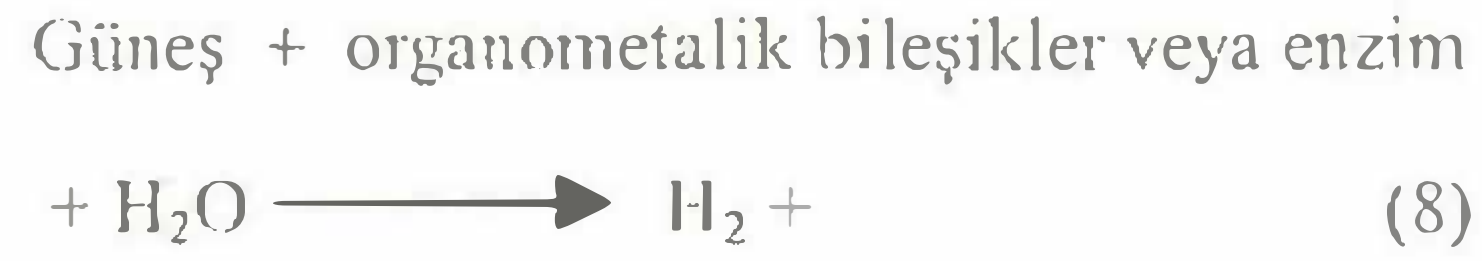
II.3.2. Hidrojenin doğal gaz ve hidrokarbonlardan üretimi

Hidrojen, doğal gazın buhar reformasyonu ile üretilmektedir:



II.3.3. Hidrojenin fotokimyasal yolla elde edilişi:

Hidrojen, güneş ve organometalik bileşikler veya enzimlerle de üretilir.



II.4. Hidrojenin Yakıt Olarak Özellikleri

Bilinen en hafif kimyasal element hidrojendir. Günümüzde yakıt seçiminde kriter olarak alınan ulaştırma yakıtı olma özelliği, dönüşebilirlik (çok yönlü kullanıma uygunluk), kullanım verimi, çevresel uygunluk, emniyet ve efektif maliyet açısından yapılan değerlendirmeler hidrojen lehine sonuçlar vermektedir [12].

Ulaştırma yakıtı olma özelliği yalnızca yakıtın enerji içeriğine ve fiziksel durumuna bağlı olmayıp işletme faktörüne de bağlıdır.

Çeşitli motor yakıtlarının özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çeşitli motor yakıtlarının özellikleri

Yakıt	Kimyasal formül	Isıl değer MJ.kg ⁻¹	Isıl değer MJ.m ⁻³	Devrim faktörü Φ _M
Sıvı yakıtlar				
Benzin	C ₅₋₁₀ H ₂₂₋₃₂	47,4	34,85	0,76
LPG	C ₃₋₄ H ₈₋₁₀	48,8	24,40	0,62
LNG	-CH ₄	-50,0	-23,0	0,61
LH ₂	H ₂	140,9	10,10	1,00
Gaz yakıtlar				
Doğal gaz	-CH ₄	-50,0	0,040	0,75
GH ₂	H ₂	141,9	0,013	1,00

Yakıtın dönüşebilirliği ya da çok yönlü kullanımı; yanma işlemi dışında, ısı enerjisi, mekanik enerji ve elektrik enerjisi gibi son tüketim biçimlerine dönüşebilirne özelliğini gösterir. Hidrojenin çok yönlü kullanımı diğer

bütün yakıtlardan üstün olup bu hidrojenin yanı sıra bir avantajdır. Tablo 3'de hidrojenin fosil yakıtlarla karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

Tablo 3. Hidrojen ve fosil yakıtların karşılaştırılması

Çevrim işlemleri	Hidrojen	Fosil yakıtlar
Alevli yanma	Evet	Evet
Direkt buhar üretimi	Evet	Hayır
Katalitik yanma	Evet	Hayır
Kimyasal çevrim (hidridleşme)	Evet	Hayır
Elektrokimyasal Çevrim (yakıt hücresi)	Evet	Hayır

Hidrojenin alevli yanması içten yanmalı motorlarda (otto ve diesel), gaz türbinlerinde, jet motorlarında ve roket motorlarında kullanılmaktadır [12].

Hidrojenin hidridleşme çevrimi sonucunda, hidrojenin depolanması, hidrojen zenginleştirilmesi veya ayrışması uygulamalarında yararlanılmaktadır. Hidridleşme çevrimi;



Hidrojen Carnot çevriminin sınırlayıcı etkisi altında kalmadan yakıt hücreleri yardımıyla ve elektrokimyasal çevrimle direkt elektrik üretiminde kullanılabilen bir yakıttır[4].

Yakıtlar için önemli olan bir özellikte çevresel uygunluktur. Hidrojenin diğer yakıtlar ile karşılaştırıldığında en temiz yakıt olduğu zaten kabul görmektedir. Hidrojenin oksijenle yakılması halinde çevreye sadece su buharı atılmaktadır [4].

Yakıtların emniyet açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir. Hidrojen diğer yakıtlar ile kıyaslanıp, belli karakteristik özellikler göstermektedir. Bu karakteristik özellikleri neticesinde de en emniyetli yakıtın hidrojen olduğu görülmektedir [11].

II.5. Yakıt Hücresi Uygulamaları

Hidrojenin eşsiz özellikleri sayesinde çeşitli otomotiv firmaları, kendi araçlarında bu uygulamaya geçmişlerdir. Uygulanan bu teknolojilerde yakıt hücresinden elde edilen elektrik enerjisiyle motorlara tahrik kuvveti sağlanmıştır. Bu ilk uygulamayı Ballard- Daimler Benz

firmalarının ortaklığıyla, NECAR I adlı araç üretmişlerdir. Daha sonra NECAR II adlı araçları ile daha uzun mesafe (130 km'den 250 km'ye) ve kapasite artışı sağlamışlardır [13,14].

Doğal gazlı yakıt hücresini kullanan firmalar da bulunmaktadır. Bu firmalardan M.A.N, %15 -20 hidrojen ve %80-85 oranında doğal gaz karışımı yakıtla (hythane) çalışan bir demostrasyon otobüsü üretmiştir [15].

Saf hidrojeni yakıt olarak kullanılması da artık günümüzde gerçekleştirilmiştir. Honda firması yakıt hücresine, FCX-V3 adlı otomobilini seri üretime hazır hale getirmiş durumdadır. Honda bu araçta yakıt hücresi sistemine kontrol sistemi entegre etmeyi başarmış ve yakıt hücresi teknolojisini daha da geliştirmiştir [16].

GM bünyesindeki OPEL firması da Zafira adlı araçta, saf hidrojeni kullanan yakıt hücresini uygulamaya koymuştur. Zafira, 75 HP gücünde üç kademeli elektrik motoruna, 5 kişilik oturma alanına, 140 km/h son sürata ve bir depoyla 400 km'lik menzile sahip bir araçtır [17].

Otomotiv endüstrisinde bütün bu teknolojiler kullanılırken yeni bir teknoloji olan yakıt hücresinde "bor" kullanımı da en yeni teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Yakıt hücresinde hidrojen taşınmasında kullanılan bor elementi sayesinde yeni bir enerji kaynağı görülmektedir. Bor'lu yakıt hücresine sahip araç Natrium, Chrysler firması tarafından teknolojiye kazandırılmıştır [18].

III. YAKIT HÜCRESİNDE BOR KULLANIMI

III.1. Bor Elementi Hakkında Genel Bilgi

Yer kabuğunun bileşimine giren elemanlar içinde yaygın olmayanlar arasında yer alan bor, periyodik sistemin üçüncü grubunun başında bulunan bir elementtir. Atom sayısı 5, atom ağırlığı 10,82, erime noktası 2190 +/- 20 °C'dir. Yer kabuğunun %0,0003'ünü oluşturmakla beraber doğada pek çok kayanın yapısında bulunur.

Bor doğada serbest olarak bulunmaz. Bor elementi doğada değişik oranlarda bor oksit (B₂O₃) 150'den fazla mineralin yapısında bulunur. Ekonomik anlamda bor mineralleri kalsiyum, sodyum ve magnezyum elementleri ile hidrat bileşikler halinde teşekkül etmiş olarak bulunur. Bor minerallerinden ticari değere sahip olanları; tinkal, kolemanit, probertit, borasit, pandermit, szaybelit, hidroborasit ve kernittir. Bor madenleri topraktan çıkarıldıktan sonra kırma, eleme, yıkama ve öğütme işlemlerinden sonra ilgili sanayilerin kullanımına hazır hale getirilmektedir[20].

Ülkemizde bor madenlerinin çıkarılması ve işletilmesi görevini üstlenen ETİ HOLDİNG A.Ş. bu ürünleri ham ürün olarak pazarlayabildiği gibi, rafine ürün olarak piyasaya arz etmektedir.

III.2. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları

Bor ürünlerinin kullanım alanları, içerdikleri B_2O_3 miktarlarına göre farklılık göstermektedir. Bu ürünleri ileri teknoloji gerektiren metotlar ile daha geniş kullanım alanlarına yayılmaktadır. Dünyada ticari olarak üretilen ve değişik kullanım alanları olan 100 den fazla bor ürünü mevcuttur. En yaygın olarak kullanılan bor ürünleri; Susuz Borik asit, Elementer Bor, Çinko Borat, Ferrobor, Bor Karbür ve Bor Nitrür'dür [22].

Sodyum borat cevherinden elde edilen rafine veya konsantre Boraks deka hidrat ve Boraks Pentahidrat' lar; Yapıştırıcılar, Çimento, Korozyon önleyici, Kozmetikler ve ilaçlar, Elektrik yalıtkanı, Elektrolitik arıtma, Gübreler, Cam ve cam yünü, Herbisitler (ot öldürücüler), İnektisitler (böcek öldürücüler), Dericilik, Fotoğrafçılık, Tekstil boyaları, Yün koruyucu, Parafin emilgatorü gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Sodyum Metaborat'lar, yapıştırıcı, temizlik maddeleri, herbisitler, fotoğrafçılık ve tekstil yıkama alanlarında kullanılmaktadır.

Sodyum Pentaborat'lar, gübre ve yanma önleyici alanlarında kullanılmaktadır.

Sodyum Perborat'lar, temizleyici ve beyazlatıcı, dezenfektanlar, tekstil boyaları ve beyazlatma alanlarında kullanılmaktadır.

Susuz Boraks'lar, gübreler, cam, cam yünü, metalurji, curuf akışkanlaştırıcı, emaye, frit, sır alanlarında kullanılmaktadır.

Susuz Borik Asit veya Borik Asit'ler, kozmetik, nükleer uygulama, naylon, fotoğrafçılık, tekstil işlemleri, emaye, frit, sır, antiseptikler ve borlu alaşım alanlarında kullanılmaktadır.

Kalsiyum Borat cevherleri de borlu alaşım ve tekstil cam sanayinde kullanılmaktadır [23].

Bor ürünlerinin farklı işlemlere tabi tutularak elde edilen bor kimyasalları da teknolojinin gelişimine bağlı olarak daha fazla kullanım alanına sunulmuştur [22]

Bor kimyasallarından elde edilen Trimetil Borat ve bunun kimyasallaştırılmasıyla elde edilen Sodyum Bor Hidrit yeni enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmıştır. Bu çalışma da içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıt hücresi teknolojisinde Sodyum Bor Hidrit kullanımı yer almaktadır. Sodyum bor hidritin enerji yoğunluğu, bir başka deyişle her bir litre hidrojenin içerdiği kullanılabilir enerji miktarı, sağladığı yüksek verimlilikle, yakıt hücrelerini içten yanmalı benzin motorlarının yerini alabilecek bir seçenek durumuna getirmektedir. Bunların en son geliştirilen ilk örnekleri yakıt hücresiyle çalışan bir aracın, yeniden yakıt

almadan, yaklaşık 500 km yol almasına olanak tanımaktadır.

III.3. Sodyum Bor Hidrit'in Taşıtlarda Kullanımı

Yeni, temiz ve zengin enerji projeleri kapsamında 1998 yılında "yeni, temiz ve zengin" enerji kaynakları üretmek için New Jersey'de kurulan Millenium Cell, çevre dostu ham maddeler kullanarak hidrojen ve elektrik enerjisi üreten teknolojiler geliştirmektedir. Geliştirilen teknolojilerde enerji elde etmek için kullanılan ham maddeler; saf su ve sodyum borhidrittir .

Sodyum borhidrit; sodyumlu bor tuzunun rafinasyonu sonucu elde edilen ve deterjan sanayiinde kullanılan bir üründür [8]. Geliştirilen bu teknoloji taşımacılığın yanı sıra taşınabilir enerji sağlayıcı piller için de uygulanabilir bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır

Bor minerali bir enerji hammaddesi olarak 1950 yılından bu yana üzerinde en yoğun çalışma yapılan bir mineraldir. Bu bağlamda bor mineralinin üç özelliği üzerinde ticari şekliyle önemle durulmaktadır [18]. Bunlar;

- a) Hidrojen taşıyıcısı olarak bor mineralinden faydalanma,
- b) Hidrojenden daha iyi bir enerji hammaddesi olması,
- c) Füzyon(fusion) reaktörlerinde yakıt olarak kullanılabilmesi.

Yakıt pilleri üzerinde yapılacak çalışmalar bor mineralini ön plana çıkarabilir ve ticari olarak kullanılabilirliği üst seviyede kanıtlanmış olacaktır.

III.3.1. Hidrojen taşıyıcısı olarak bor kullanımı

Millennium Cell firması Sodyum Bor hidrit solüsyondan "Hydrogen on Demand™" (talep kadar hidrojen/ talep üzere hidrojen) sistemi kullanarak hidrojen üretmekte ve bu hidrojeni elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Yakıt pillerinde Sodyum borhidrit'in kullanılması, fosil yakıtlardan eldesi daha pahalı, depolanması ve taşınması zor olan hidrojenin bu dezavantajlarını ortadan kaldırmıştır [18].

Millenium Cell firması; bor bazlı solüsyondan hidrojen enerjisi üretim ve yine bor bazlı uzun ömürlü pil teknolojilerinin patentini almıştır. Bor elementinin elektrokimyası üzerine çalışmakta, elde ettiği ticari uygulanabilir teknolojilerin patentini üzerinde toplamaktadır [18].

Millenium Cell; Sodyum bor hidrit'in suyla karıştırılması sonucu elde edilen sıvıyı, "yakıt" olarak tanımlamaktadır.

Söz konusu yakıtın kimyasal reaksiyonu;



formülü üzerine kurulmuştur. Su içerisinde çözünen sodyum borhidrit, bir karışım olarak depolanmakta, enerji üretmek için hidrojen ihtiyacı gerektiğinde bu karışımın içine tatbik edilen katalizör vasıtasıyla kimyasal reaksiyon başlatılmaktadır. Reaksiyon sonucunda gaz halinde serbest kalan H_2 (hidrojen) ya yakıt pili (Fuel Cell) vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmekte yada doğrudan içten yanmalı motorda yakıt olarak kullanılmaktadır [18].

Bu reaksiyonun arkasında sodyum bor tuzu atık olarak biriktirmektedir. Sistemde enerji kaynağı olarak kullanılan hidrojen, sadece ihtiyaç halinde üretileceğinden, burada kullanılan katalizör çözüldükten istenildiği zaman ayrılabilen ve reaksiyon kontrollü olarak durdurulabilmektedir. Söz konusu teknolojinin kullandığı karışımın içinde çözelti halinde bulunan sodyum bor hidritin yanıcı olmaması, kullanılan hidrojenin yarısının sodyum borhidrit'ten, diğer yarısının ise sudan alınması, katalizör'ün defalarca kullanılmaya uygun olması, reaksiyon sonrası ortaya çıkan sodyum bor tuzunun kolaylıkla sodyum borhidrit'e dönüştürülebilmesi sistemin önemli avantajlarını oluşturmaktadır [18].

Takvimler 12 Aralık 2001'i gösterdiğinde, DaimlerChrysler, Millennium Cell' ile yaptığı stratejik ortaklığın ilk meyvesini Detroit Otomobil Fuarında tanıtmıştır. Chrysler, Town&Country Natrium adını verdiği, bir depo sodyum borhidrit sıvıyla 300 mil yol giden minivan aracı ile ilgili olarak yaptığı açıklamada; Natrium'un gerek benzinli ve gerekse bu güne kadar yapılan tüm hücre yakıt sistemli araçlardan çok üstün olduğu vurgulanmaktadır. Natrium'a bu üstünlüğü kazandıran hususun yakıtı ve yakıt hücre sistemi olduğunu yakıt olarak bir bor türevi olan sodyum bor hidrit'in (NaBH_4) kullanıldığı, sodyum bor hidrit'in kuru halde kullanılabileceği, sodyum bor hidritin pil yakıtlı araçlar için önerilen diğer yakıtların elde edilmesinden daha zahmetsiz olduğu anlatılmaktadır. Sodyum bor hidritin diğer yakıtlara göre hiçbir dezavantajı bulunmadığı gibi bazı üstünlükleri olduğu, işlem sonucu yakıt atığının kimyasal olarak bor'a eşdeğer sodyum bor olduğu, atığın tekrar işleme tabi tutularak sodyum bor hidrite dönüştürülebildiği görülmektedir., Natrium'un pil yakıt sisteminin, DaimlerChrysler'in pil yakıt ortağı Ballard/XCELLSIS tarafından üretildiği, hidrojenin Millennium Cell şirketince geliştirilen "Hydrogen on Demand™" (talep kadar hidrojen-talep üzere hidrojen) mekanizması kullanılarak üretilmektedir. Sodyum bor hidrit yakıt deposu ve işletim sisteminin aracın tabanına yerleştirildiği ve aracın kullanılabilirliğini olumsuz etkileyecek yer ve kabin kaybının olmadığı ifade edilmektedir [18,24].

Bu arada Millennium Cell firması; Sodyum Bor Hidrit solüsyon dan "Hydrogen on Demand™" sistemine dayalı olarak, 5 yolcu ile yüklü bir otomobille 450 mil üzerinde yol alabilen ($450 \times 1,6093 = 724,185 \text{km}$) sistem üzerinde çalışmalarını hızla sürdürmektedir. Şekil 3'de sodyum bor hidrit solüsyonundan hidrojen elde edilerek çalışan, Chrysler / Natrium adı verilen araca ait özellikler gösterilmiştir.

III.3.2. İçten yanmalı motorlarda doğrudan yakıt olarak bor kullanımı

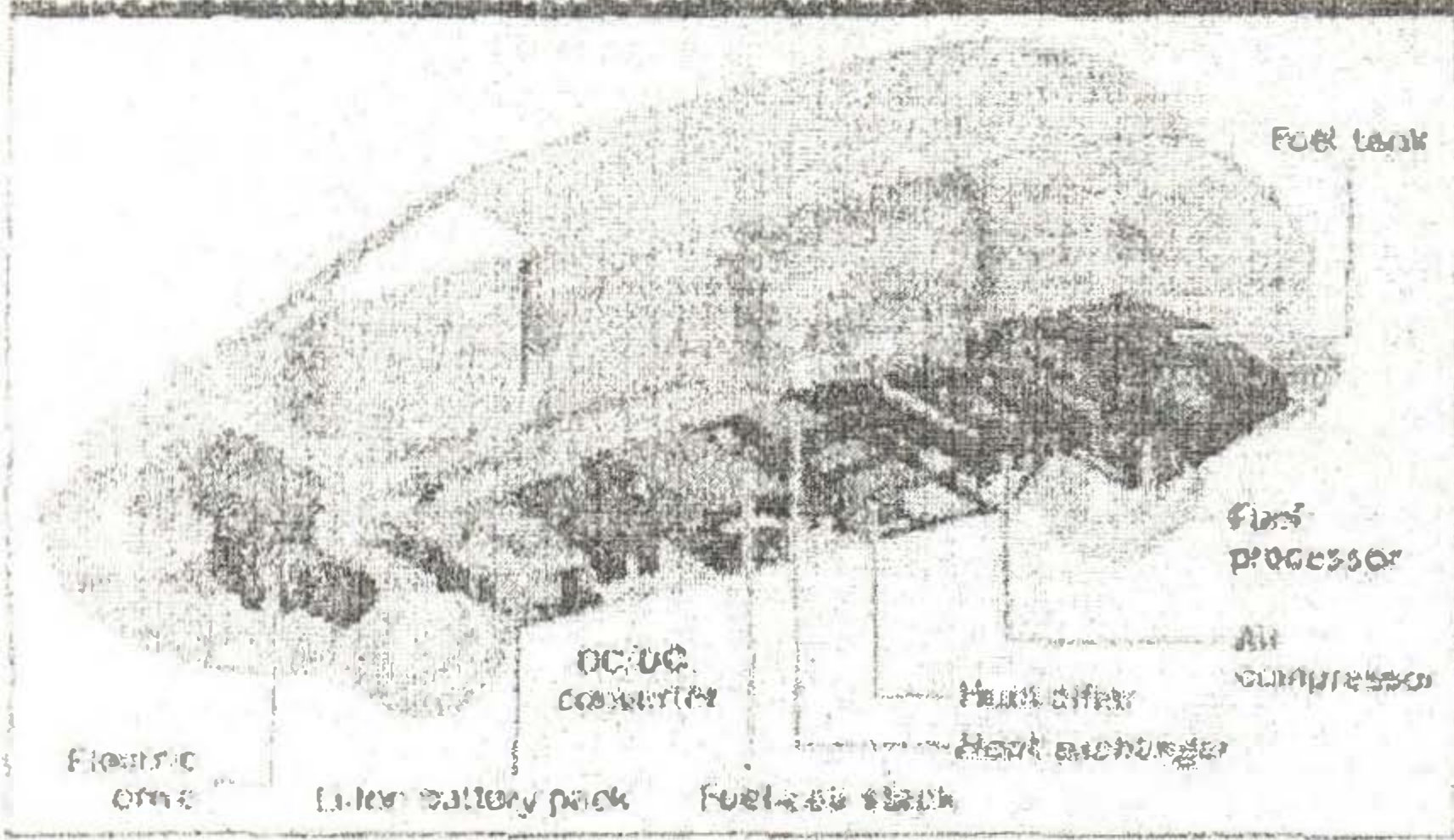
Amerika Bileşik Devletleri, Fransa ve Japonya gibi ülkelerde bir taraftan sodyum borhidrit yakıtlı piller üzerinde çalışmalar son sürat ilerler ve ticari projelere dönüşürken, diğer taraftan da bor elementinin taşıt araçlarında içten yanmalı bor motorları vasıtasıyla doğrudan yakıt olarak kullanımını üzerindeki çalışmalar sürdürülmektedir. Bu projeye ilgili bilim çevreleri, bor elementinin hidrojenden daha iyi bir yakıt olduğunu ifade etmektedirler. Hidrojen ve Bor elementlerinin bir litresinden elde edilebilen spesifik yanma enerjileri kıyaslandığında da bu durumu açıkça görülebilmektedir. Tablo 4'de bazı yakıtların enerji miktarlarının karşılaştırılması yapılmıştır [18].

Tablo 4. Bor ile bazı yakıtların enerji değerlerinin karşılaştırılması

Yakıt	Yakıt enerjisi % Megajoul/litre
Alüminyum	57.42
Berilyum	86.15
Bor	92.77
C_8H_{18}	33.22
Fosfor	43.01
Hidrojen	8.03
Karbon	54.01
Lityum	15.69
Magnezyum	29.52
Silikon	51.55

Tablo 4'ten anlaşılacağı gibi; 1 litre hidrojen 8.03 megajul enerji varken, 1 litre bor da 92.77 megajul enerji değerine ulaşır. Bu, hidrojen ve bor kıyaslamasının bor lehine tartışmasız üstünlüğüdür [1].

Elementer bor'u saf oksijenle motor içerisinde yakarak elde edilen enerjiyle taşıtların tahrikinde itme gücü yaratmaktır. Bu prensibe bağlı kalarak yapılacak çalışmalarda aracın yakıtının bobine sarılmış bor filamentleri olacağı, neredeyse sıfır emisyonlu olacağı, tek atığın yanma işlemi sonucu oluşan ve tekrar motora besleme yapılabilen B_2O_3 külü olduğu ifade edilmektedir [18].



Güç Aktarımı:

Ön tekerleklere güç sağlayan elektrik motoru

Motor :

35 kW SIEMENS AC motor

Batarya Tipi:

40 kW şaft lityum – iyon

Yakıt İşlemcisi:

“Hydrogen on Demand” sistem,
Millenium Cell Firması

Yakıt Hücresi Sistemi:

BALLARD / XCELLSİS

Şekil 3. Sodyum bor hidrit'li yakıt hücresine sahip, Chrysler / Natrim aracı

IV.SONUÇ

Motorlu taşıtlar, günümüzde yaşamın önemli bir parçasıdır. Bununla beraber, bu araçlar çok önemli çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bu sorunların en önemlisi egzoz emisyonlarının hava kirliliğine yol açmasıdır. Bu emisyon değerleri kanunlar çerçevesinde belirli değerlerde olması gerekmektedir. Bu değerlerin gelecekte daha da düşürülmesi istenecektir. Bundan dolayı temiz ve alternatif yakıt olarak hidrojenin taşıtlarda kullanılması düşünülmüş ve uygulamalarına başlanmıştır.

Hidrojenin taşıtlarda kullanılmasından bu yana, hidrojenin elde edilmesi ve depolanması daha da kolaylaştırılmıştır. "Yakıt Hücreli" teknolojisi içten yanmalı motorlara alternatif olarak geliştirilmiştir. Yakıt hücresinde kullanılan hidrojen; doğal gaz, metanol, katı yakıtlardan elde edilebilmekte iken günümüzde bor elementinin kullanılmasıyla hidrojenin elde edilmesi ve depo edilmesi sorunu ortadan kaldırılmıştır.

Yakıt hücresinde kullanılan sodyum bor hidrit, bor kimyasallarından elde edilen trimetil boratın çeşitli kimyasal işlem basamakları sonucu elde edilir. Sodyum bor hidrit gelecekte kullanılacak en temiz ve en uzun süreli muhtemel enerji kaynağıdır. Çünkü, bu solüsyonun reaksiyonu sonucu ortaya çıkan bor külü tekrar sodyum bor hidrite dönüştürülerek kullanılabilir.

Sonuç olarak, dünyanın en zengin bor kaynaklarına sahip olan ülkemizde bor teknolojilerinin geliştirilmesi ile yüksek oranda enerji elde edilerek gerek taşıtlarda gerekse diğer uygulama alanlarında temiz, sürekli ve ucuz enerji sağlanabileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] ÇINKI Mustafa M., "Petrol'den Bor'a" Eti Holding A.Ş. Çalışma Grubu
- [2] www.tubitak.gov.tr, "21. yüzyıla girerken, Türkiye'nin enerji stratejisinin değerlendirilmesi"
- [3] ÖZDEMİR E., "Elektrik Enerjisi Üretiminde Yakıt Hücreli Teknolojisi", Türkiye 7. Enerji Kongresi, Cilt II, s.31-41, İZMİR
- [4] ÜLTANIR M.Ö., "Temiz Enerji Olarak Hidrojen Yakıtı ve Teknolojisi", Türkiye 7. Enerji Kongresi, Cilt III, s. 193-208, İZMİR
- [5] ÜLTANIR M.Ö., "21. Yüzyılın Yakıtı Hidrojen", Bilim ve Teknik Dergisi, Sayı 344, s. 58-62 TÜBİTAK 1996
- [6] ÖZDEMİR E., "Yakıt Hücresinin Elektrikli Ulaşım Sistemlerinde Kullanılması", I. Ulusal Ulaşım Sempozyumu, Mayıs 1996
- [7] "Fuel Cells, Gento to the Earth Supplies", Fuji Elektrik Rewiew, Vol. 38, 1992
- [8] www.sciam.com

- [9] www.partnership.com, Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü
- [10] ÖZDEMİR E., UYAR T.S., "Yakıt Hücreli ile Güç Üretmesindeki Gelişmeler", Kaynak Dergisi, Kasım 1994
- [11] ÜLTANIR M.Ö., "Hidrojenin Yakıt Olarak Kullanımı ve Özellikleri", Çevre Enerjileri Kongreleri Bildirileri, TMMOB Makine Mühendisleri Odası. ANKARA 1997
- [12] VEZİROĞLU T.N., BARBİR F., "Hydrogen, The Wonder Fuel", Int. J. Hydrogen Energy, Vol 17, No. 6. pp.391-404, OXFORD 1992
- [13] www.ballard.com
- [14] www.daimler-benz.com
- [15] www.man.com
- [16] www.honda.com
- [17] www.opel.com
- [18] www.millenniumcell.com
- [19] Kimya Araştırma Bölümü, "Anorganik Bor Bileşikler" TÜBİTAK
- [20] Araştırma Geliştirme Grubu, "Türkiye'de Bor Rezervi, Üretimi ve Kullanım Alanları" Eti Holding A.Ş.
- [21] ŞAHİN S., KOR N., "Bor Atıklarının İyon Değitirme Metodu Üzerine Araştırma" Kimya Mühendisliği Bölümü, İTÜ 1982
- [22] www.etiholding.gov.tr
- [23] Kirk and Othmer, "Encyclopedia of Chemical Technology Boron Compounds"
- [24] www.chrysler.com