

# Bor'un Otomobil Yakıtı Olarak Kullanılması

Hatice ATMACA, İbrahim SEVİM

Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Müh. Böl

## ÖZET

Dünyanın bugünkü enerji gereksiniminin büyük kısmını karşılayan fosil yakıtlar hızla tükenmektedir. Bunların yanma sonucu ürünleri sera etkisi, ozon tabakasının incelmeye, asit yağmurları ve kirlilik gibi küresel problemlere neden olmaktadır. Bu nedenlerle mühendisler ve bilim adamlarının çoğunluğu, hidrojen enerjisi sistemlerine yönelmişlerdir.

Hidrojen enerjisi sistemleri içinde en dikkat çekici olanı, yakıt pilleri, hidrojeni elektrik enerjisine dönüştürmekte; doğru veya alternatif akımla çalışan elektrik motorları ile aracın hareketini sağlamaktadır. Zararlı egzoz gazları üretilmeyen, sessiz bir kimyasal reaksiyon gerçekleşir ve atık olarak sadece saf su ve bir miktar ısı açığa çıkar. Yakıt pilleri hidrojenin otomobillerde enerji kaynağı olarak kullanımının önünü açmıştır.

Hidrojenin araçlara doldurulması ve taşınması için önerilen ve denenilen yöntemlerin içinde, metal hidritlerle depolama ön plana çıkmıştır. Kullanılması önerilen metal hidritlerden biri de bor hidritidir. Dünyadaki 600 milyon ton bor rezervinin 3/4'ü Türkiye'de bulunduğu düşünüldüğünde bu sistemlerin ülkemiz için önemi ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, bor'un hidrojen taşıyıcı olarak kullanan yeni yakıt sistemi ve avantajları tanıtılmış, dünyadaki uygulama örnekleri anlatılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bor, hidrojen enerjisi, yakıt

## GİRİŞ

Dünyanın bugünkü enerji gereksiniminin büyük kısmını karşılayan fosil yakıtlar (petrol, doğal gaz ve kömür) hızla tükenmektedir. Ayrıca bunların yanma sonucu ürünleri sera etkisi, ozon tabakasının incelmeye, asit yağmurları ve kirlilik gibi küresel problemlere neden olmaktadır. Bu problemler çevremiz ve gezegenimiz üzerindeki tüm canlılar için büyük tehlike haline gelmektedir. Mühendisler ve bilim adamlarının çoğunluğu, tüm bu küresel problemlerin çözümünün, var olan fosil yakıt sistemleri yerine hidrojen enerjisi sistemlerinin kullanılması olduğunda birleşmektedirler. Hidrojen çok etkin ve temiz bir yakıttır.

## ABSTRACT

The fossil fuels that meet most of the world's present energy need are running out very fast. Their burning causes global problems such as greenhouse effect, ozone depletion, acid rains, and pollution. For this reason, most engineers and scientists turned their attention to hydrogen energy systems.

Fuel cells, which are the most outstanding among the hydrogen systems, turn hydrogen into electrical energy and enable the vehicle to move by means of electrical engines that work with direct or alternative currents. As a result of this, without any harmful gases, a silent chemical reaction is formed, and only pure water and some heat come out as a waste. Fuel cells have opened the ways of using hydrogen as a source of energy in automobiles.

Among the methods that are suggested and experienced in order to fill the hydrogen in the vehicles and to carry it, storage by metal hydrides became more outstanding. One of the hydrides that are offered to be used is boron hydride. When we consider that 3/4 of the 600 million tons of boron reserves are in Turkey, the importance of these systems for our country becomes clear.

In this study, the new fuel system of boron that is used as hydrogen transporter and its advantages are introduced. Its application models in the world were presented.

**Keywords:** Boron, hydrogen energy, fuel

Yanması sonucunda sera etkisine neden olmaz; ozon tabakasının incelmeye neden olan kimyasallar üretilmez; asit yağmuru ve çevre kirliliğine neden olan bileşenler çok az üretilir ya da üretilmez.

## YAKIT PİLLERİ

Yakıt pilleri (hücreleri) bir reaksiyonun kimyasal enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Bir yakıt pilinin temel fiziksel yapısı veya yapı bloku, bir yüzeyinden pürüzlü bir anotla, diğer yüzeyinden bir katotla temas halindeki bir elektrolit tabakasından oluşur. Tipik bir yakıt pilinde gaz

akışkanlar sürekli olarak anot (negatif elektrot) bölümüne ve oksitleyici (yani havadan alınan oksijen) katot (pozitif elektrot) bölümüne beslenir. Elektrotlar arasında oluşan elektro kimyasal reaksiyonlar bir elektrik akımı üretir. Bir yakıt pili tipik bir pile benzer karakteristik ve bileşenlere sahip olmakla birlikte pek çok yönden pilden farklıdır. Pil bir enerji depolama cihazıdır. Elde edilebilecek maksimum enerji miktarı pilin içinde depolanmış kimyasal reaksiyona giren maddelerin miktarına bağlıdır. Reaksiyona giren maddeler tükendiğinde (yani pil deşarj olduğunda) pil elektrik üretimini durdurur. İkinci bir pil tipinde reaksiyona giren maddeler bir dış kaynaktan pile enerji doldurma (ya da reşarj) yolu ile yeniden üretilir. Diğer yandan yakıt pili bir enerji dönüşüm cihazıdır ve teorik olarak elektrotlar üzerine yakıt ve oksitleyici beslendiği sürece elektrik enerjisi üretme kapasitesine sahiptir [2].

Güç üretim santrallerinden, cep telefonlarına kadar çok değişik kapasitede, geniş uygulama alanı ve farklı türleri vardır. Yakıt pilleri hidrojenin otomobillerde enerji kaynağı olarak kullanımının önünü açmıştır. Hidrojeni elektrik enerjisine dönüştürmekte; doğru veya alternatif akımla çalışan elektrik motorları ile aracın hareketini sağlamaktadır. Zararlı egzoz gazları üretilmeyen, sessiz bir kimyasal reaksiyon gerçekleşir ve atık olarak sadece saf su ve bir miktar ısı açığa çıkar.

Yakıt pili (hücre), hidrojen ( $H_2$ ) ve oksijenle ( $O_2$ ) çalıştırılan bir pildir.  $H_2$  ve  $O_2$ 'nin reaksiyonundan elde edilen enerji doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülür. Böyle bir yakıt pilinin verimi, alışlagelmiş içten yanmalı motorların veriminden çok daha yüksek olduğu için yakıt pili taşıtının (FCV) yüksek verimli olması beklenir. Polimer elektrotlu yakıt pili (PEFC), bir yakıt pili taşıtı için ana güç kaynağı olmanın yanı sıra, yakıt pili kesintisiz güç kaynağı (FCUPS) olarak da kullanılır. FCV ve FCUPS için en yaygın kullanılan yakıt  $H_2$ 'dir. Bu nedenle ihtiyaç duyulduğunda sistemin çalıştırılması için bir  $H_2$  depolama tankı gereklidir.

## HİDROJEN YAKITI

Günümüzde fosil yakıtların kullanıldığı birçok uygulama için hidrojenden de yararlanılmaktadır. Kara, deniz ve hava ulaşım araçlarında yakıt olarak, ısı enerjisi üretiminde, gaz ve

elektrik üretiminde hidrojenin yakıt olarak kullanımı hakkında çok sayıda uygulama ve araştırma vardır. Özellikle yakıt hücresi teknolojisindeki gelişmeler hidrojen kullanımının önünü açmıştır.

Hidrojen üretimi için bilinen yöntemler; güneş-buhar güç çevrimi, elektroliz yöntemi, güneş enerjisi-termokimyasal yolla suyun ayrıştırılması, ağır petrol kalıntılarından, kömürden, benzinden hidrojen üretimi şeklinde sıralanabilir. Söz konusu yöntemlerden elde edilen hidrojenin depolanması, taşınması ve kullanımı, hidrojenin tabiatından kaynaklanan birçok zorluk taşımaktadır. Bilim çevreleri hidrojenin araçlarda kullanımı için üç depolama alternatifi sunmaktadır: a) sıkıştırılmış gaz şeklinde, b) sıvı halde, c) metal hidritler şeklinde depolama. Yapılan araştırmalar bu alternatifler içinde metal hidritler şeklinde depolamayı ön plana çıkarmıştır.

$H_2$  tanklarda sıvılaştırılmış veya sıkıştırılmış olarak, aktifleştirilmiş karbon, karbon nanotüpleri, grafit nanofiber, hidrojen absorbe eden alaşımlar veya  $NaBH_4$ ,  $NaH$ ,  $LiH$  veya  $NaAlH_4$  gibi kimyasal hidritler tarafından depolanabilir. Bu yöntemler arasında  $NaBH_4$  gibi kimyasal hidritlerin hidrolizi üzerinde durulmuştur. Bunun nedeni  $NaBH_4$ 'ün teorik hidrojen içeriğinin yüksek (ağırlıkça % 10.9) olmasıdır.  $NaBH_4$  diğer kimyasal hidritlere göre kararlıdır ve taşınması kolaydır. Oda sıcaklığında  $NaBH_4$ 'ün  $H_2O$  ile hidroliz reaksiyonu sonucu çok az miktarda  $H_2$  açığa çıkarken hidrolizin artırılması için katalizör kullanılması gerekir. Bilinen katalizörler metal buzları, peltelenmiş platin, aktifleştirilmiş karbon, Raney nikel, florlanmış Mg esaslı hidrit, anyon alışverişli reçine destekli rutenyum kobalt, Pt- $LiCoO_2$  gibi metal-metal oksitler ve nikel boritlerdir. [5]

### Bor

Bor elementi (B, periyodik cetvelin 5. elementi, atom ağırlığı 10.8) oksijen afinitesi nedeniyle doğada ancak genelde boratlar olarak adlandırılan bileşikler şeklinde ve tüm yerkabuğunda yalnızca 10 ppm oranında bulunur.

Bor mineralinin bir enerji hammaddesi olarak kullanılabilirliği hakkında 1950 yılından bu yana yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bor mineralinin; hidrojen taşıyıcısı

olarak, doğrudan enerji hammaddesi olarak, füzyon reaktörlerinde yakıt olarak kullanımı üzerinde durulmaktadır. Yakıt pilleri üzerinde yapılan çalışmalar bor mineralini ön plana çıkarmıştır.

Yeryüzünde bor yatakları belirli bazı bölgelerde toplanmıştır. Kaliforniya, Güney Amerika, Türkiye ve Orta Asya'daki önemli bor yatakları hep önemli fay kırıklarına yakın bulunmaktadır. Bu yatakların içerdikleri bor minerali cinsi ve konsantrasyonları çok değişik olduğundan birbirleriyle daha çok B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (borat-bor trioksit) içerikleri açısından karşılaştırılmaktadırlar. Türkiye dünya görünür rezervinin % 66'sına toplam rezervin ise % 60'ına sahiptir. Ülkemiz görünür rezervleri bugünkü üretim hızımızla yıllık 1.5 milyon ton B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'lük dünya tüketimini 250 yıl, toplam rezervlerimiz ise 570 yıl süreyle karşılayabilir. Bizim dışımızdaki görünür rezervler 125 yıl, toplam rezervler de 410 yıl süreyle dünya tüketimini karşılayabilecek miktardadır [3].

Kuvvetli indirgenme özelliğe sahip bir bor bileşiği olan sodyum borhidrit (NaBH<sub>4</sub>) günümüzde kağıt hamurunun ağartılması, çözeltilerden değerli metallerin (kadmiyum, cıva vb.) giderilmesi, vitamin, antibiyotik gibi bazı organik kimyasalların üretilmesi gibi pek çok alanda ticari olarak kullanılmaktadır. Sodyum borhidrit, bir katalizör varlığında su ile tepkimeye girerek hidrojen gazı üretme özelliğine sahiptir.

Bor'un hidrojen taşıyıcı olarak kullanımında hammaddeler, saf su ve sodyum borhidrittir. Sodyum borhidrit içeren sulu çözelti, yan ürün olarak hidrojen ve sodyum borat üretmek üzere bir katalizörle tepkimeye tabi tutulur. Reaksiyon atığı sodyum borat, süt benzeri ve çevre kirliliği yaratmayan bir sıvıdır. Katalizör çözeltiden istenildiği zaman ayrılabilen ve reaksiyon kontrollü olarak durdurulabilmektedir.

#### **Bordan Yakıt Eldesi**

Yakıt eldesi yönteminde; sodyum borhidrit'in suyla karıştırılması sonucu elde edilen sıvı, "yakıt" olarak kullanılmaktadır. Söz konusu yakıtın kimyasal reaksiyonu:



formülü üzerine kurulmuştur. Su içerisinde çözünen sodyum

borhidrit (NaBH<sub>4</sub>), bir karışım olarak depolanmaktadır. Enerji üretmek için hidrojen ihtiyacı gerektiğinde bu karışım içine uygulanan katalizör aracılığı ile kimyasal reaksiyon başlatılmaktadır. Reaksiyon sonucunda gaz halinde serbest kalan hidrojen, yakıt pilinden geçirilerek elektrik enerjisi elde edilir. Bu reaksiyon sonunda sodyum bor tuzu (sodyum metaborat) atık olarak birikmektedir. Sistemde enerji kaynağı olarak kullanılan hidrojen, sadece ihtiyaç halinde üretileceğinden, burada kullanılan katalizör çözeltiden istenildiği zaman ayrılabilen ve reaksiyon kontrollü olarak durdurulabilmektedir [1].

Söz konusu teknolojinin avantajları şunlardır:

- 1) Kullanılan karışımın içinde çözelti halinde bulunan sodyum borhidrit ve sodyum metaborat çözeltilerinin yanıcı olmaması,
- 2) Tepkimenin kolayca kontrol edilebilmesi,
- 3) Kullanılan hidrojenin yarısının sodyum borhidrit'ten diğer yarısının ise sudan alınması (100 gr sodyum borhidritten 21 gr H<sub>2</sub>),
- 4) Katalizörün defalarca kullanılmaya uygun olması,
- 5) Reaksiyon sonrası ortaya çıkan sodyum bor tuzunun kolaylıkla yeniden sodyum borhidrit üretiminde kullanılabilmesi,
- 6) Sodyum borhidritte ağırlık/enerji oranının benzindeki orana yakın olması.

Bu yeni yakıt sistemi, yüksek enerji yoğunluğu, mükemmel güvenlik özellikleri, tutuşmaz, alev almaz ve olumlu çevresel etkiye sahip olması nedeniyle, geliştirilmekte olan yeni enerji üretim sistemleri arasında dikkat çekicidir. Geliştirilen bu teknoloji, taşımacılığın yanı sıra taşınabilir enerji sağlayıcı piller için de uygulanabilir bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır.

## **BOR HİDRİTLİ YAKIT PİLİ**

Bir yakıt pilinde sodyum borhidritin ağırlıkça %44'lük çözeltisi kullanırsa bir litre çözeltiden 5,11 kW/h enerji elde edilebilir ki, bu değer bir litre benzinden teorik olarak elde edilebilecek enerjinin %56'sına eşittir. Ancak yakıt pili elektrik motorundaki enerji dönüşüm veriminin, içten

yanmalı motora oranla 2,5-3 kat daha fazla olması nedeniyle, mevcut yakıt tanklarıyla kat edilen yol, sodyum borhidrit için de geçerlidir.

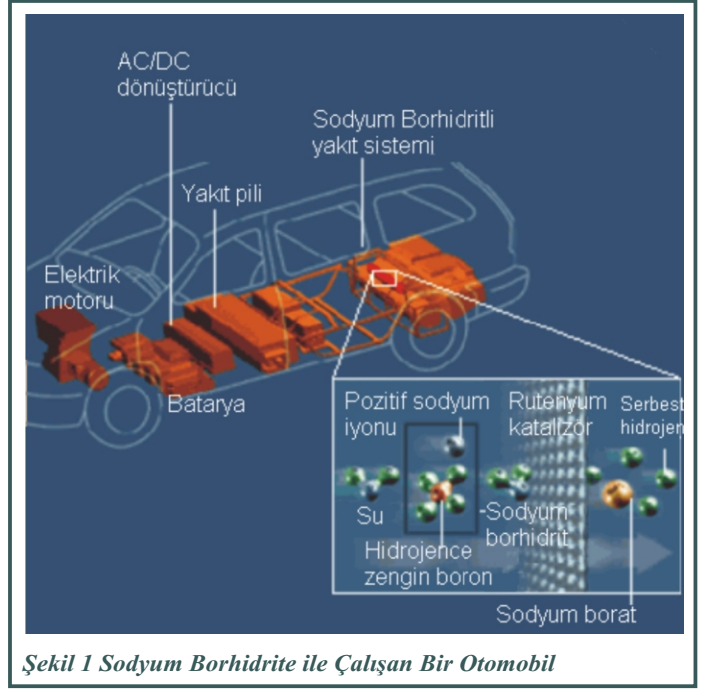
Yılda 50 milyon yeni araç üretilmesi ve bu araçların tümünün “hidrojen enerjisi” yakıtını kullanması durumunda, 20 milyon ton bor ihtiyacı vardır. Bu yakıtın geri dönüşüm ve yeniden kullanılabilme özelliği dikkate alındığında 20 milyon tondan daha fazla bor kullanılması gerekmektedir. U.S.Geological Survey'den Phyllis A. Lyday tarafından hazırlanan 2000 yılına ait bor raporunda, referans gösterilerek “Hydrogen on Demand™” sisteminde %30 sodyum borhidrit içeren sıvı çözelti, yan ürün olarak hidrojen ve sodyum borat üretmek üzere bir katalistle tepkimeye tabi tutularak üretilen hidrojenin enerjiye dönüştürüldüğü, reaksiyon atığının süt benzeri ve asla çevre kirliliği yaratmayan mayi olduğu, “Hydrogen on Demand™” sisteminin stoklama yoğunluğu açısından, litre başına 63 gram hidrojen üretimiyle, sıvılaştırılmış hidrojenle rekabet edebilecek güçte olduğu ifade edilmektedir [1].

## UYGULAMA ÖRNEKLERİ

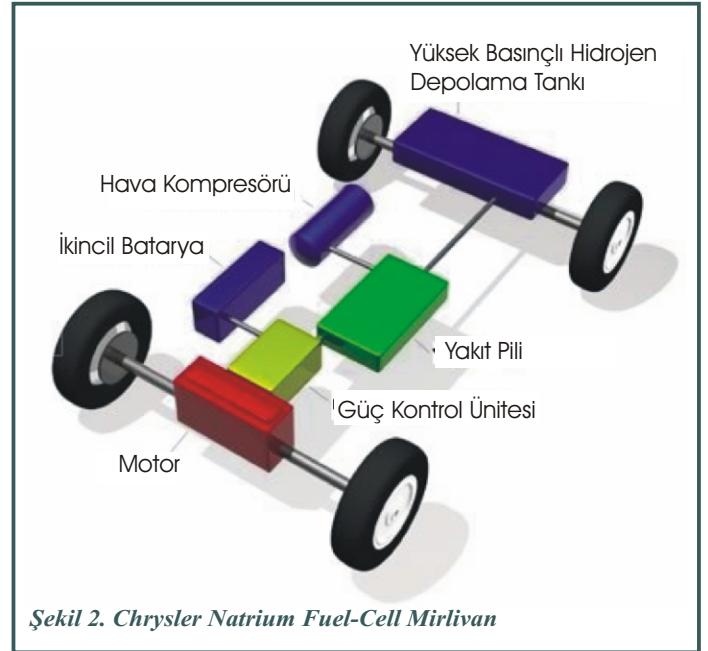
Sistemde bir sodyum borhidrit yakıt sistemi vardır. Burada sodyum borhidrit, su ile katalizör aracılığında reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda hidrojen ve sodyum bor tozu elde edilir. Burada elde edilen hidrojenin yakıt pilini beslemesi ile yakıt pilinde doğru akım (DC) elde edilir. Doğru akım bataryada depolanır ve elektrik motoruna enerji sağlanır. Elektrik motorunun, aracın tekerleklerine güç ilemesi sonucunda da aracın hareket etmesi sağlanmış olur. Bataryanın asıl görevi güç kesintisini önlemektir. Şekil 1'de sodyum borhidritle ile çalışan bir otomobil şematik olarak gösterilmiştir.

Şekil 2'de ise Chrysler tarafından üretilen Natrium Fuel-Cell Mirilivan görülmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı'nın alternatif enerji kaynakları ve teknolojilerini araştırma programı kapsamında New Jersey'de çevre dostu

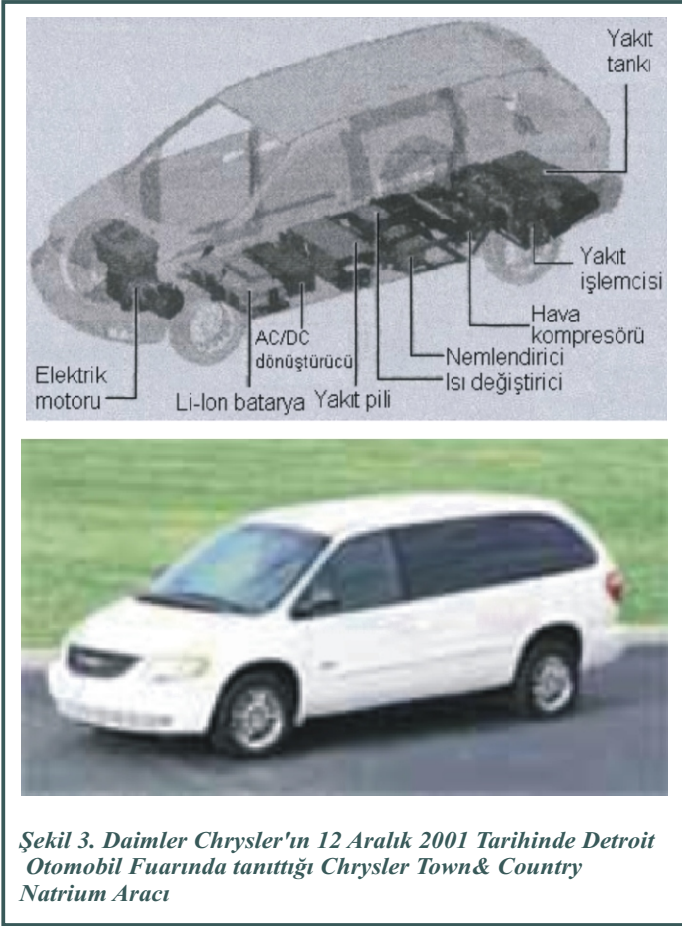


Şekil 1 Sodyum Borhidrite ile Çalışan Bir Otomobil



Şekil 2. Chrysler Natrium Fuel-Cell Mirilivan

hammadeler kullanarak hidrojen ve elektrik enerjisi üreten teknolojiler geliştirmek amacı ile Millenium Cell isimli bir firma kuruldu. Bu firmanın ürettiği “Hydrogen on Demand™” (İhtiyaç Duyulduğu Anda Hidrojen) isimli teknolojiye saf su ve sodyum borhidrit kullanarak hidrojen üretilmektedir. Yine aynı firma tarafından bor bazlı çözeltilerden hidrojen eldesi ve uzun ömürlü pil teknolojileri patenti alınmıştır. “İhtiyaç Duyulduğu Anda Hidrojen” sistemi ile donatılmış bir araçla 5 yolcu yükü ile 724 km yol alınabileceği belirtilmektedir (Şekil 3) [1].



Şekil 3. Daimler Chrysler'ın 12 Aralık 2001 tarihinde Detroit Otomobil Fuarında tanıttığı Chrysler Town & Country Natrium Aracı

Daimler Chrysler'ın 12 Aralık 2001 tarihinde Detroit Otomobil Fuarında tanıttığı Chrysler Town & Country Natrium (latince anlamı sodyum'dur) aracı, Millennium Cell Inc'e ait "İhtiyaç Duyulduğu Anda Hidrojen" yakıt işlemcisine sahiptir, önden çekişlidir ve 35 kW Siemens doğru akım motoru ile çalışmaktadır. Araçta 40 kW kapasiteli Lityum-Ion batarya bulunmaktadır. Yakıt ekonomisi 12,75 km/lt mazota eşdeğerdir. 0'dan 100 km/h hıza ulaşma süresi 16 saniye, maksimum hızı: 128 km/h'dir ve şarj edilmeden 483 km yol katedebilmektedir. Bunların yanında, sahip olduğu teknolojiden dolayı, sıfır emisyonu sahiptir.

Natrium isimli bu aracın benzinli veya yakıt pili sistemli araçlardan üstünlüğü, kullandığı yakıt ve yakıt pili sistemidir. Yakıt olarak bir bor türevi olan sodyum borhidrit ( $\text{NaBH}_4$ ) kuru halde kullanılabilir. Sodyum borhidrit pil yakıtlı araçlar için önerilen diğer yakıtlardan daha kolay elde edilebilir. İşlem sonucu oluşan atık, kimyasal olarak bor'a eşdeğer olan sodyum bor tuzudur ve tekrar işlenerek sodyum borhidrite dönüştürülebilir. Sodyum borhidrit yakıt deposu ve işletim sistemi aracın tabanına

yerleştirilmiştir ve aracı olumsuz etkileyecek yer ve kabin kaybı olmamıştır.

Ayrıca bu sistem tek emisyonu su buharı olduğu ve çevreye zarar vermediği için, denizcilik sektöründe enerji üretmek amacıyla kullanılabilir.

ABD'li teknoloji şirketi Millennium Cell, borakstan düşük maliyetli sodyum boroksit üretilene kadar borla çalışan araçların kullanımının ekonomik olmayacağını açıklamaktadır. Düşük maliyetli sodyum üretimi için çalışmalarını sürdürmekte olan firma, bataryaların boyutlarının küçültülmesi ve taşınabilir hale getirilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Firma yetkilileri Türkiye'nin de yakıt hücresi ve "İhtiyaç Duyulduğu Anda Hidrojen" denilen yakıt teknolojisinden faydalanması gerektiği görüşündedir [4].

## SONUÇ

Dünya bor madeni rezervlerinin yüzde 72'sine sahip olan Türkiye, dünya bor ürünü piyasasından sadece yüzde 5 pay almaktadır. ABD'den sonra en fazla bor üretimi Türkiye'de gerçekleştirilmekte, satılabilir konsantre ve rafine bor ürünleri üretiminin yaklaşık yüzde 8'i iç pazarda tüketilirken geriye kalan yüzde 92'si ise ihraç edilmektedir. Oysa ABD'de tam tersine bir durum söz konusudur.

Bor için çok yaygın bir kullanım imkanı açan, sodyum borhidritin hidrojen taşıyıcısı olarak kullanımı, ülkemize bu zenginliği değerlendirmede yeni ufuklar açacaktır.

## KAYNAKÇA

1. [www.millenniumcell.com](http://www.millenniumcell.com)
2. **EG&G Services Parsons, Inc.**, Fuel Cell Handbook (Fifth Edition), Science Applications International Corporation, s.1-1,1-2, West Virginia, 2000
3. **Örs, S. Nuran, Kalafatoğlu, İ. Ersan**, 21. Yüzyılda Bor Teknolojileri ve Uygulamaları, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt :5 No:1, s. 59-71, Haziran 2003.
4. **Erdoğan, Doğan**, Dünyanın Rezervi Bizde Ama, Bor Yakıtlı Araç Da Umut Değil, Referans Gazetesi 14 Temmuz 2004, [www.boraxtr.com](http://www.boraxtr.com)
5. **Kojima, Y. ve ark.**, Development of 10 kW-Scale Hydrogen Generator Using Chemical Hydride, J. of Power Sources, 125, s.22-26, 2004