

ENERJİ TAŞIYICISI HİDROJEN, HİDROJEN TAŞIYICISI SODYUM BORHİDRÜR

M.S. Uğur BİLİCİ / Maden Yüksek Mühendisi

1. GİRİŞ

Türkiye'nin enerji tüketiminin yıllık % 6,8 artış hızı ile 2010 yılında 171,3 milyon ton eşdeğeri petrole (TEP), 2020 yılında ise 298,4 milyon TEP ulaşması beklenmektedir. Dış Ticaret Müsteşarlığının, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine dayanarak hazırladığı "Türkiye'de Enerji Üretim ve Tüketim Beklentileri" isimli rapora göre Türkiye'deki genel enerji üretiminin ise 2020'ye kadar ki süreçte yıllık % 4,8 artışla 70,2 milyon TEP olması beklenmektedir. Bir başka deyişle, 1999'da enerji ihtiyacının % 65'ini ithalatla karşılayan Ülkemizde bu oran, 2010 yılında % 73'e, 2020 yılında ise % 78'e yükselecektir (1).

Ülkemizin enerji alanında karşı karşıya kaldığı problemler, dünya genelindeki ülkelerde ortak sorunu olarak kendini göstermektedir. Özellikle dünyadaki fosil kökenli yakıt rezervlerinin giderek azalması yanı sıra bu tür kaynakların kullanımı ile oluşan hava ve çevre kirliliği, son yıllarda enerji üretimi alanındaki araştırmaların temini kolay, yenilenebilir ve temiz enerji üreten kaynaklar üzerinde yoğunlaşmasına neden olmuştur. Güneş enerjisi, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının bol bulunma ve temiz olmalarına karşın bir ara taşıyıcıya gereksinim gösterdikleri için son kullanım için her alanda uygun değildir (2). Fosil yakıtlardan, sudan ve biyokütleden üretilen hidrojen, bu tür enerji kaynakları için iyi bir enerji taşıyıcıdır. Hidrojen ara enerji taşıyıcı olarak kullanıldığında aşağıdaki avantajlara sahiptir (3);

- Enerji üretiminde son ürün sudur.
 - Boru hattı veya tankerlerle çok uzak mesafelere taşınabilmektedir.
 - Alevli yanma, katalitik yanma, elektrokimyasal dönüşüm ve hidrür oluşumu gibi pek çok yöntemle etkin bir şekilde enerji üretiminde kullanılabilir.
 - Yenilenebilir kaynaklardan üretildiğinde çevreye herhangi bir zararlı emisyon söz konusu değildir.
- Bununla birlikte, 1 gram hidrojen gazı normal atmosfer basıncında yaklaşık 11 litrelik bir hacim oluşturmakta bu nedenle de bir basınç kabı içerisinde

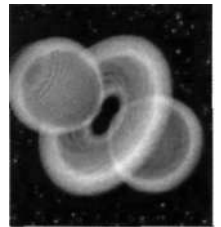
ve birkaç yüz atmosferlik basınç altında depolanması gerekmektedir (4). Depolama- taşıma ve maliyet gibi sorunların halen çözümlenememiş olması hidrojenin enerji taşıyıcı olarak kullanılmasındaki en önemli engeller olarak görülmekle birlikte ABD Enerji Bakanlığı tarafından yapılan açıklamalar, hidrojen depolama konusunda sürdürülen çalışmalar sonucunda 2015 yılına kadar hidrojenin enerji sektöründe yaygın olarak yerini alacağına işaret etmektedir.

Çizelge 1. Taşımada kullanılan araçlarının hidrojen depolama sistemlerinde gerçekleştirilmesi planlanan hedefler (5)

Depolama Parametresi	Birim	2005	2010	2015
Özgül enerji	kWh/kg	1,5	2,0	3,0
Enerji yoğunluğu	kWh/L	1,2	1,5	2,7
Sistem maliyeti	\$/kWh	6	4	2
Çevrim ömrü	Çevrim	500	1000	1500
Tekrar yakıt dönüşüm hızı	kgH/yardakika	0,5	1,5	2
H ₂ kaybı	(g/hr)/kgH ₂	1	0,1	0,05

2. ENERJİ KAYNAĞI OLARAK HİDROJEN KULLANIMI VE HİDROJENİN DEPOLANMASI

Dünyada en çok bulunan element olan hidrojen, enerji kaynağı olarak çok büyük bir potansiyele sahiptir. Petrolden farklı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından kolaylıkla üretilmektedir. Hidrojenin suyun elektrolizi ile üretimi bilinen bir yöntem olmakla birlikte günümüzde ağırlıklı olarak doğal gazdan buhar reformasyonu sonucunda hidrojen elde edilmektedir. Ekonomik hidrojen üretimini amaçlayan çalışmalar kapsamında, güneş enerjisinden biyoteknolojik yön-



temlerle hidrojen üretimi konusunda geliştirme çalışmaları da devam etmektedir (6). Başlıca hidrojen üretim yöntemleri şunlardır (7);

- *Bosh metodu*
- *Doğal gaz buhar reformasyonu*
- *Petrol reformasyonu*
- *Suyun elektrolitik bozundurulması*
- *Suyun termokimyasal bozundurulması*
- *Schulten metodu*

Elektrik enerjisinin depolanamaması hidrojeni bir depolama aracı olarak gündemde tutmaktadır. Nitekim, hidroelektrik enerji kaynağı bol olan Kanada ve Yeni Zelanda gibi ülkeler bu doğrultuda programlar başlatmışlardır. Bu yaklaşım hidroelektrik santrallerinin belirli yoğunlukta sürekli çalışmasını esas almakta ihtiyaç fazlası enerji ise suyun elektrolizi ile hidrojen üretiminde değerlendirilmekte ve bu şekilde enerji depolanmaktadır. Başlatılan uluslararası bir programda (Euro-Quebec) Kanada'da hidroelektrik santrallerinden elde edilen enerji, sıvı hidrojene dönüştürülmekte ve Avrupa'ya toplu taşıma vb amaçları için ihraç edilmektedir.

Hidrojenin gündemde olabileceği diğer bir alan ulusal şebekeden uzak bölgelerde izole enerji sistemlerinin oluşturulmasıdır. Burada temel enerji kaynağı güneş, rüzgar vb olmakta, üretilen elektrik enerjisi yukarıda olduğu gibi hidrojen olarak depolanabilmektedir. Sistem depolanan enerjinin gerektiği hallerde yakıt pili vasıtası ile elektrik enerjisine dönüştürülmesini esas almaktadır.

Mevcut koşullarda hidrojenin en geçerli olduğu alan taşınabilir enerji uygulamalarıdır. Hidrojenin içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilmesi



Şekil 1. Yakıt olarak hidrojen kullanan bir aracın yakıt deposu.

nedeniyle günümüzde hidrojen konusundaki çalışmaların büyük bir kısmı otomotiv sektörüne yöneliktir. Ancak, hidrojenin üretimi ve depolanması konusunda son yıllarda yoğunlaşan araştırmaların yakıt

pilleri (fuel cell) ile ilgili olması hidrojenin gerçek anlamdaki üstünlüğünü bu alanda ortaya çıkarmıştır. Depolanmış hidrojen-yakıt pili sistemi mevcut pillerin kapasite ve ömür olarak gelişmiş şekli olup, bu alan gerek depolamada gerekse yakıt pilinde hafifliğin ön plana çıktığı uygulamalardır. Otomotiv sektöründe faaliyet gösteren tanınmış birçok firma (Daimler Chrysler, BMW, Ford vb.) hidrojen-yakıt pili esaslı araştırma çalışmalarına maddi olarak büyük destek vermektedirler.

Ancak, yapılan değerlendirmeler hali hazırda hidrojenin diğer hidrokarbon enerji kaynaklarına oranla daha pahalı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle hidrojenin gerek otomotiv gerekse diğer alanlarda yaygın olarak kullanılabilmesi, hidrojen üretimi, depolanması ve dağıtım alanlarında devam etmekte olan araştırma geliştirme çalışmalarından alınacak olumlu sonuçlara bağlı görülmektedir. Farklı yöntemlerle üretilen hidrojenin istenilen yerlerde kullanılabilmesi için uygun bir şekilde depolanması gerekmektedir. Hidrojen genelde;



- *Sıvı halde,*
- *Sıkıştırılmış halde,*
- *Kimyasal bağ oluşturmuş halde,* olmak üzere üç farklı yolla depolanabilmektedir (8). Sıkıştırılmış ve sıvı hidrojen saf halde tanklarda depolanabileceği gibi, fiziksel olarak nanotüplerde de depolanabilmektedir. Kimyasal olarak ise genellikle hidrür şeklindedir. Hidrür formunda depolama, katı halde metallerde olabileceği gibi sodyum bor bileşiğinde olduğu gibi sıvı halde de olabilmektedir. Araştırmalar, bazı alaşımların saf haldeki hidrojenden çok daha yüksek yoğunlukta hidrojen depolayabildiklerini göstermiştir.

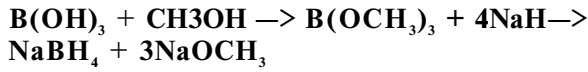
Hidrojenin depolanmasında güvenilirlik ve hafifliğin önemli olması, hidrojenin hidrür yapısında depolanmasını ön plana çıkarmaktadır. Özellikle birim hacimde depolanabilecek hidrojen açısından hidrürler gaz veya sıvı depolamada önemli bir üstünlüğe sahiptirler. Hidrürler içerisinde ise bir bor bileşiği olan sodyum borhidrür, diğerlerine oranla daha fazla birim hacimde hidrojen atomu içermektedir. Yıllardır sanayinin çeşitli kesimlerinde farklı amaçlar için kullanılmasına rağmen hidrojen taşıma kapasitesi ve bor içeren bir bileşik olması, sodyum borhidrürün son zamanlarda çok daha iyi bilinen bir bileşik haline gelmesine yol açmıştır.

3. SODYUM BORHİDRÜR

3.1.Genel Bilgi

İndirgen maddeler olarak tanımlanan ve pek çok kimyasal reaksiyonun oluşmasında hidrojen kaynağı olarak kullanılan borhidrürler içerisinde en çok bilineni sodyum borhidrürdür (NaBH_4). Sodyum borhidrür, güçlü bir indirgeyici olup, birçok organik ve inorganik bileşikler ile reaksiyona girebilmektedir.

Sodyum borhidrür, ilk olarak Schlesinger prosesi olarak bilinen yöntem ile aşağıdaki eşitlikte görüldüğü gibi borik asidin metanol ile trimetil borata ($6(00-13)3$) dönüşmesi ve daha sonra sodyum hidrür ile indirgenmesi sonucunda elde edilmiştir.



Stokiyometrik oranlar incelendiğinde, gerekli sodyumun %75'inin bir yan ürün olan sodyum metoksida dönüştüğü görülmektedir. Bu verim düşüklüğü yöntemin daha büyük ölçekte uygulanabilirliğini engellemektedir (9).

1 mol sodyum borhidrür üretmek için 4 mol sodyum metale gereksinim duyulması sodyum borhidrür üretim maliyetini etkileyen en büyük faktördür. Yapılan araştırmalar ABD'de metalik sodyumun en çok kullanıldığı alanın sodyum borhidrür üretimi olduğunu ortaya koymuştur. Sodyum metali, ergimiş sodyum klorür ve kalsiyum klorür tuzları karışımının enerji yoğun bir proseste elektroliz edilmesi sonucunda elde edilmektedir. Sodyum hidrür ise sodyum me-

Çizelge 2. Alkali Metal Borhidrürlerin Bazı Özellikleri

Özellik	LiBH_4	NaBH_4	KBH_4	RbBH_4	CsBH_4
Kaynama Noktası (0Q)	268	505	585	-	-
Bozunma Sıcaklığı (°C)	380	315	584	600	600
Yoğunluk (g/cm^3)	0,68	1,03	1,17	1,71	1,71
Refraktif İndeks	-	1,547	1,490	1,487	1,498
Kristal Enerjisi (kJ/mol)	792,0	697,5	657	648	630,1
AHO (kJ/mol)	-184	-183	-243	-246	-264
ϵ_0^{298} (J/(mol.K))	-128,7	-126,3	-161	-179	-192

tali ile hidrojenin mineral yağı ortamında tepkimeleri sonucunda üretilmektedir.

Periyodik tablonun aktinitler dışındaki tüm elementlerinin borhidrürleri bulunmakla birlikte, ticari önemi olanlar alkali metallerin borhidrürleridir. Bu ürünler, ABD ve Avrupa'da endüstriyel ölçekte üretilip satılmaktadırlar. Hidrürler, özellikle indirgeme işlemlerinin büyük oranda kullanıldığı gelişmiş kimya sanayiine sahip ülkelerde en önemli indirgeyiciler olarak kullanılmaktadırlar. Bunlardan sodyum borhidrür de kullanım kolaylığı, stabilitesi ve diğerlerine göre daha ekonomik oluşu nedeni ile indirgeme, ağartma ve atık suların temizlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Alkali metal borhidrürlerin özellikleri Çizelge 2.'de görülmektedir.

Borhidrürler içinde en kararlı olanlar, alkali metal borhidrürlerdir. Sodyum borhidrür, kuru havada 3000°C 'de, vakumda ise 4000°C 'de kararlıdır. Sodyum ve potasyum borhidrürler vakum ortamında 4000°C 'nin üstünde çok az bir bozunma ile süblimleşmektedirler.

3.2. Sodyum Borhidrürün Kullanım Alanları

Sodyum borhidrür, endüstriyel ölçekteki kimyasal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmasının yanı sıra ilaç ve hassas kimyasal üretim işlemlerindeki uygulamalarda kullanılan metal tuzları ile aldehid ve ketonları da içeren birçok organik kimyasal fonksiyonel gruplar için önemli bir indirgeyicidir. Aynı zamanda, endüstriyel atıklardaki metal iyonları ile kimyasal süreçlerdeki karbonil ve peroksit safsızlıklarının uzaklaştırılmasında bir arıtıcı olarak kullanılmaktadır. Sodyum borhidrürün sulu çözeltileri, kağıt endüstrilerinde ağartıcı olarak kullanılan sodyum hidrosülfid elde etmek için kullanılmaktadır. Genelde zararlı kimyasal ve fiziksel özelliklerinin olmaması sodyum borhidrürün en önemli kullanım avantajlarından biridir (10).

Sodyum borhidrür, yakıt pilleri ve hidrojen yakan içten yanmalı motorlar için bir hidrojen kaynağı olarak da değerlendirilmektedir. Sodyum borhidrür, yakıt pilinde bir anodik yakıt olarak doğrudan kullanılabilirliği gibi hidrojen depolayan bir ortam olarak da görev yapabilmektedir.

3.3.Sodyum Borhidrürün Hidrojen Tüketen Sistemlerde Kullanımı

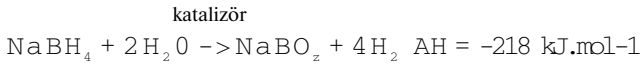
Organik ve inorganik kimya alanında kullanılmakta olan indirgeyicilere göre daha iyi bir hidrojen kaynağı olması nedeniyle özel bir kullanım üstünlüğüne sahip olan sodyum borhidrür ile ilgili son zamanlarda yapılan araştırmalar, bu bileşiğin yüksek hidrojen

depolama kabiliyetinden dolayı bir hidrojen depolama ortamı olarak kullanılabilceğini ortaya koymuştur. Örneğin, NaBH₄ ağırlıkça %10,6 hidrojen içermekte olup bu değer, hidrojen depolayıcı birçok bileşikten çok daha yüksektir (Çizelge 3.).

Çizelge 3. Bazı Bileşiklerin Hidrojen Depolama Kapasiteleri (4).

Malzeme	Hidrojen H ₂ tom*1022/cm ³)	Hidrojen Miktarı (%Ağırlıkça)
Gaz H ₂ (200 bar)	0,99	100
Sıvı H ₂ (-253°C)	4,2	100
Katı H ₂ (-269°C)	5,3	100
MgH ₂	6,5	7,6
Mg ₂ NiH ₄	5,9	3,6
FeTiH ₂	6,0	1,89
LaNi ₅ H ₆	5,5	1,37
NaBH ₄	6,8	10,60

Sodyum borhidrür ile su reaksiyona girdiğinde aşağıdaki ekzotermik reaksiyona uygun olarak hidrojenin ağırlıkça %10,8'i açığa çıkmakta ve yan ürün olarak sodyum metaborat (NaBO₂) üretilmektedir (11).



Sodyum borhidrürün alkali çözeltisine, oda sıcaklığında bile bir katalizör (rutenyum, platin vb.) ilave edildiğinde yukarıdaki tepkimeye göre hidrojen gazı açığa çıkmaktadır. Görüldüğü gibi reaksiyon sonucu açığa çıkan hidrojen miktarı hidrür şeklinde bağlı olan hidrojenin iki katı olup, 4 mol H NaBH⁻den 4 mol H⁺ ise H⁺O'dan gelmektedir. Reaksiyonun ekzotermik olması nedeniyle sistemden elde edilen hidrojen nemlidir ve kullanılacağı ortama bağlı olarak hidrojen gazının nem miktarını düzenleyici bir sistemden geçirilmesi gerekmektedir.

Hidrojen tüketen sistemlerde sodyum borhidrür kullanımının bazı avantajları şunlardır;

- Reaksiyonun kontrol edilebilirliği çok yüksektir (katalizörün ortamdan uzaklaştırılması ile reaksiyon durmaktadır).
- Reaksiyon oda sıcaklığı ve basıncında oluşmaktadır (hidrojenin serbest hale geçmesi için ek bir enerjiye gereksinim yoktur).
- Küçük miktardaki hidrojen üretimi için diğer yöntemlere göre çok daha basit ve ucuz bir yöntemdir.
- Düşük basınçlı hidrojen üretimi için çok uygundur (yüksek gaz basıncı yakıt pilleri için zararlıdır).
- Eğer sistem ısıtılırsa, oluşan su buharı hidrojen

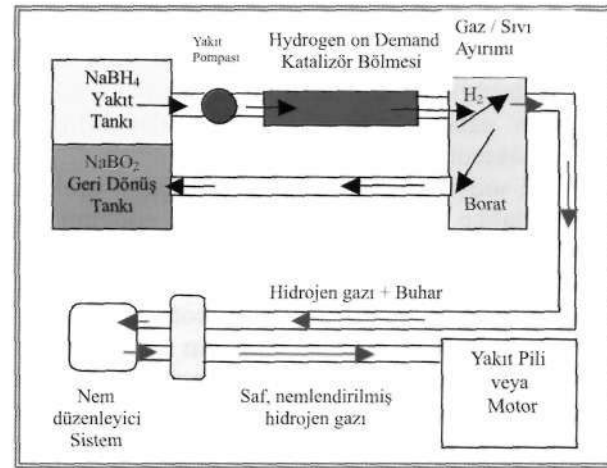
ile karışabilmektedir (bu durum PEM (Proton Exchange Membrane) tipi yakıt pilleri için istenen bir durumdur).

- Reaksiyon hızı oldukça kararlı olup, hidrojen üretimi yavaş ve kararlıdır.
- Katalizörler pek çok kez kullanılabilir.
- Sodyum metaborat yeniden sodyum borhidrür üretiminde kullanılabilir.

İçten yanmalı motorlarda yapılacak küçük bir değişiklik ile bu şekilde üretilen hidrojen gazı, araçlarda yakıt olarak kullanılabilir.

Sodyum borhidrür kullanılarak araçların yakıt sistemleri için gerekli olan hidrojenin üretilmesi ve sistemde kullanımı Şekil 2.'de şematik olarak gösterilmektedir.

Şekil 2. Sodyum borhidrürün araçların yakıt sistemlerinde kullanımının şematik gösterimi.

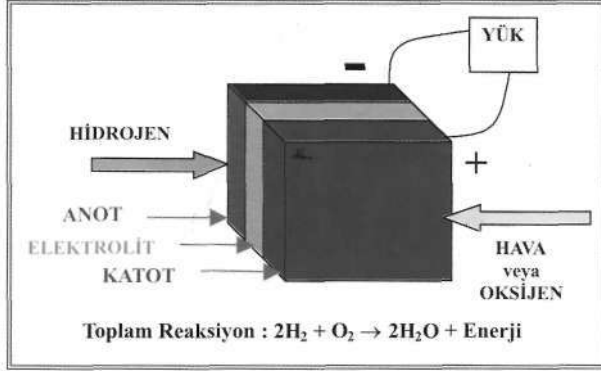


Millenium Celi firması tarafından geliştirilen ve "Hydrogen on Demand" olarak adlandırılan bu sistemde, yakıt tankındaki sodyum borhidrür çözeltisi, yapısındaki hidrojenin gaz fazına geçebilmesi için gerekli olan reaksiyonu başlatacak olan katalizör (rutenyum, platin vb.) ile reaksiyona gireceği bölmeye pompalanmaktadır. Tepkime sonucu açığa çıkan ancak nemli H₂ gazı ve NaBO₂ çözeltisi birbirinden ayrılmakta ve hidrojen gazı nem miktarının ayarlandığı bölmeye gönderilmektedir. Sodyum metaborat çözeltisi ise ayrı bir tankta biriktirilmektedir. Son aşamada, nem miktarı ayarlanmış saf hidrojen gazı enerji üretiminde kullanılmak üzere yakıt pili veya içten yanmalı bir motora gönderilmekte, sodyum metaborat çözeltisi ise yeniden sodyum borhidrür üretiminde kullanılmak üzere sistemden geri alınmaktadır. Buradan da anlaşılacağı gibi sodyum borhidrür bileşiğindeki bor, hiçbir şekilde tepkimeye girmemekte bundan dolayı da miktarında herhangi bir azalma olmamakta sadece yapıda bulunan hidrojen gaz fazına geçmektedir.

TEKNOLOJİ

Bir yakıtın (örneğin hidrojen) oksijen ile kimyasal reaksiyonu sonucunda oluşan kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren elektrokimyasal özelliğe sahip bir cihaz olarak tanımlanan yakıt pillerinde (mel celi) durum bundan farklıdır (Şekil 3).

Şekil 3. Yakıt pilinin şematik gösterimi.

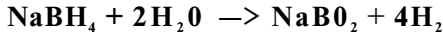


Burada, NaBH₄ ilk olarak aşağıdaki reaksiyona uygun olarak oksitlenmektedir.



Reaksiyon platin katalizör etkisi ile elektrod yüzeyinde aşağıdaki tepkime gereği ilerlemektedir. Katalizör aynı zamanda hidrojen üretiminin de devam etmesini sağlamaktadır.

Pt katalizör



Yaklaşık 20 mg (0,02 cm³) NaBH₄ kullanılarak yukarıdaki reaksiyon sonucunda 100 mA'lık tek bir pilin 1 saat süre ile çalışmasına yetecek kadar enerji üretilmektedir (12). Ancak, pilin içindeki hidrojen tükendiğinde enerji üretimi de sona ermektedir. Bu sistemde, ortamdaki hidrojenin sürekli tüketilmesi sonucunda oluşan sodyum metaborat boşaltılıp yemden sodyum borhidür çözeltisi ilavesi yapılarak çalışmaya devam edilebilmektedir. Yakıt pilleri, güç üretim santrallerinden

KAYNAKLAR

1. "Türkiye'nin Enerji Politikaları", <http://www.ekocerceve.com/img/haberler/T%C3%BCrkiyeEnerjiPolitikari.doc>
2. "New energy sources", Technologies For Maximum Energy And Resouces Utilization, http://www.nire.go.jp/eco_tec_e/new-ene_e.html
3. A. YILMAZ, "Her Derde Deva Hazinemiz Bor", Bilim ve Teknik, Mayıs-2002, s. 38-48.
4. L. BECKER, "Hydrogen Storage", June, 2001, www.csa.com
5. "Hydrogen Storage", US Department of Energy, <http://www.eere.gov/hydrogenandfuelcells/hydrogen/pdfs>
6. M. GÜVENDİREN, T. ÖZTÜRK, "Enerji Kaynağı Olarak Hidrojen ve Hidrojen Depolama", http://www.mmo.org.tr/muhendis-makina/arsiv/2003/agustos/makale_enerji.htm
7. "How The Hydrogen Was Formed", <http://www.pg.gda.pl/chem/Katedrv/Maszynv/FC/index.htm>
8. "Storing and Trasnporting Hydrogen", <http://www.e-sources/hydrogen/storage.html>
9. Ortega et al, "Processes For Synthesizing Alkali Metal Borohydride Compounds", Patent No.: US 6,586,563 B1, July, 2003.
10. "Hydrifin", <http://195.68.24.130/UNIPEXINS/FRA/htm>
11. Z.P. Li, N. Morigazaki, B.H. Liu, S. Suda, "Preparation of Sodium Borohydride by the Reaction of MgH₂ with dehydrated borax through ball milling at room temperature", Elsevier, Journal of Alloys and Compounds, 349 (2003), p. 232-236.
12. "Sodium Tetra-ahydridoborate", <http://www.ectechinc.co.uk/NaBH4.htm>
13. R. Luzader, "Millennium Cell Sees Borax as Future", Washington Automotive Press Association, September, 2002.
14. J. Gallagher, A.B. Memba, "Fuel Cells Face Many Hurdles", May, 2003, <http://www.freep.com>

cep telefonlarına kadar yaygın kullanım alanlarına ve kapasitelere sahip olmalarına karşılık, bugün için 1kW'lık bir yakıt pilinin fiyatı yaklaşık 6.000 \$ civarındadır.

4. SONUÇ

Yapılan değerlendirmeler, günümüz koşullarında hidrojenin diğer yakıtlardan daha pahalı olması ve yaygın bir enerji kaynağı olarak kullanımının hidrojen üretimi, depolanması ve dağıtımındaki maliyet düşürücü teknolojik gelişmelere bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, belirli zamanlarda oluşan ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinin hidrojen olarak depolanması bugün için bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Bu şekilde depolanan enerjinin toplu taşıma gibi yaygın alanlarda kullanılabilmesi ise yakıt pillerine dayalı teknolojilerin gelişmesine bağlı görülmektedir.

Günümüzde hidrojen depolama ve taşıma ortamı olarak büyük bir önem kazanmış olan sodyum borhidür, özel bor kimyasalları içinde de önemli bir potansiyele sahiptir. Sodyum borhidürün benzer amaçlı diğer bileşiklere oranla daha fazla hidrojen depolayabilmesi, yanıcı ve patlayıcı olmaması, kolay kontrol edilebilir bir reaksiyon ile hidrojenini verebilmesi gibi özellikleri, yeni ve temiz enerji politikaları ile birlikte değerlendirildiğinde Ülkemizin zengin bor kaynakları için yaygın ve kalıcı bir tüketim alanı yaratabilecektir.

Bununla birlikte, sodyum borhidürün enerji alanında yaygın olarak kullanılmasının önündeki en büyük engel, üretim maliyetidir. Kilosu 95 \$'m üzerinde olan sodyum borhidürün günümüz yakıtları ile rekabet edebilmesi için fiyatının yaklaşık 2,2 \$/kg olması gerektiği bildirilmektedir (13). Bu amaca yönelik yeni üretim teknolojilerin geliştirilmesi için Amerika ve Avrupada büyük bütçeli araştırma projelerinin devam ettiği bilinmektedir.

Aynı sorun yakıt pilleri içinde geçerlidir. Uzay mekiklerinin güç ünitelerinde kullanılan yakıt pillerinin maliyeti yaklaşık 600.000 \$/kW, güç üretim santralleri için üretilen yakıt pillerinin maliyeti yaklaşık 1.500 \$/kW'dır. Yakıt pillerinin araba ve evlerde kullanılabilir hale gelmesi için ise maliyetlerinin yaklaşık 25-50 \$/kW arasında olması gerektiği bildirilmektedir (14). •