ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/279543049

HİDROJEN VE ALTERNATİF ENERJİ KAYNAĞI SODYUM BORHİDRÜR

Article · January 2004

CITATIONS
0

READS
112

4 authors, including:



Turan Batar
Dokuz Eylul University
49 PUBLICATIONS **97** CITATIONS
SEE PROFILE



Bayram Kahraman
Dokuz Eylul University
27 PUBLICATIONS **52** CITATIONS
SEE PROFILE



Necmettin Erdoğan
Aksaray Üniversitesi
26 PUBLICATIONS **26** CITATIONS
SEE PROFILE

All content following this page was uploaded by Necmettin Erdoğan on 03 July 2015.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Batar T., Kahraman B., Erdoğan N., Özel M. & Kaya, E., "Hidrojen ve alternatif enerji kaynağı sodyum borhidrür", Number 44-45, *Geosound*, 2004.

HİDROJEN VE ALTERNATİF ENERJİ KAYNAĞI SODYUM BORHİDRÜR

Turan BATAR, Bayram KAHRAMAN
Dokuz Eylü Üni. Müh. Fak. Maden Müh. Böl. Bornova, İzmir
Necmettin ERDOĞAN
Kümaş-Kütahya Manyezit İşletmeleri A.Ş, Kütahya
Erol KAYA, Mustafa ÖZEL
Dokuz Eylü Üni. Müh. Fak. Jeofizik Müh. Böl. Buca, İzmir

ÖZET: Hidrojen, ev ve ofislerin ısıtılmasından, otomobil ve uzay araçları yakıtlarına kadar, yaşamın her aşamasında kullanım potansiyeline sahip, çevre dostu bir yakıttır.

Gaz halde çok büyük tank hacmi gerektiren hidrojen, 0°C de kaynamakta ve sıvılaştırıldığında yoğunluğu yaklaşık 845 kat artmaktadır. Sıvılaştırma için -253 °C gibi çok düşük bir sıcaklığa gereksinim duyulmaktadır. Depolanmasındaki güçlükler nedeniyle, gaz ya da sıvı olarak doğrudan kullanımı oldukça zordur. Bu güçlükleri ortadan kaldırmak üzere alternatif metodlar geliştirilmiş olup başlıcaları sodyum borhidrür ve metilsiklohekzan-toluen-hidrogen (MTH) sistemleridir. Yeni metodların temel hedefi, kolayca reaksiyona girerek bünyesindeki hidrojeni yakıt olarak açığa çıkarabilen ucuz bileşikler elde etmektir. Sözkonusu teknikler üzerindeki çalışmalar halen devam etmektedir.

Bu çalışmada, sözkonusu alternatif depolama teknikleri ele alınmakta, avantaj ve dezavantajları irdelenmektedir.

HYDROGEN AND SODIUM BOROHYDRIDE AS AN ALTERNATIVE ENERGY SOURCE

ABSTRACT: Hydrogen is a fuel with a large spectrum of applications in our daily life. It can be used simply for house and office heating as well as a fuel in space crafts. It is environmentally friendly.

In the form of gas hydrogen requires a large volume of tank. It boils at 0 °C, and when liquidize its density can increase 845 times. For liquidation, it requires a very low temperature of -253 °C. Its direct use in the form of gas or liquid is very difficult due to the storage problems. Alternative methods such as sodium borohydride and MTH (metilsiklohekzan, toluen, hidrogen) have been developed to overcome these problems. Basic principle of these techniques is to obtain inexpensive compounds by simple reactions to free the hydrogen as fuel. Further research is continuing in this area.

In this study alternative storage methods are reviewed to investigate the advantages and disadvantages of the techniques.

1. GİRİŞ

Yeryüzünde saf halde bulunmayan hidrojen, diğer elementlerle birlikte bileşik halde bulunur. Diğer elementlerden ayrıştırılmadan, doğrudan yakıt olarak kullanılması oldukça zordur. İçinde suyun da bulunduğu birçok kimyasal madde hidrojen içermektedir. Hidrojenin doğada karbon elementi ile bileşik oluşturduğu birçok formu mevcuttur. Bunlar arasında, fosil yakıt olarak bilinen, doğalgaz, kömür ve petrol başlıcalarıdır.

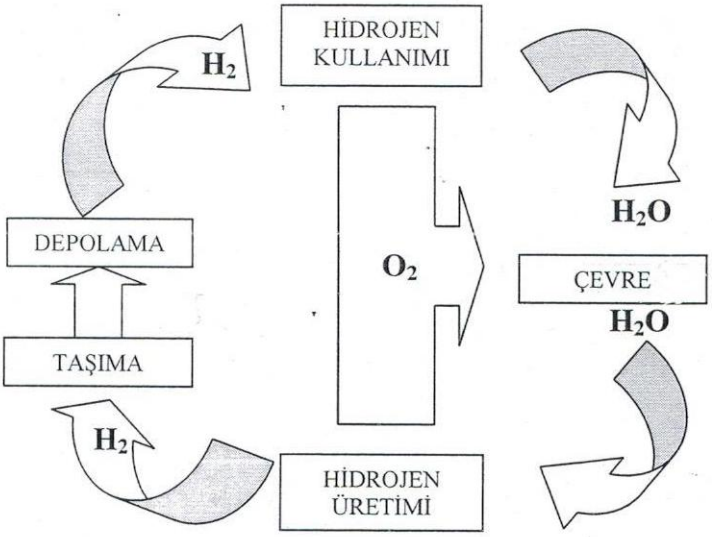
Fosil yakıtların yakılmasıyla, karbon ve kükürt içerikleri nedeniyle, toz, is, CO, CO_2, SO_2, NOX, gibi havayı kirleten partikül ve gaz biçiminde emisyonlar açığa çıkmaktadır. Bunların yanısıra, insan sağlığı ve çevre üzerinde zehirleyici etkisi olan arsenik, kadmiyum, kurşun, bakır, civa, nikel, selenyum ve çinko emisyonunun da olduğu bilinmektedir (T.K.İ, nihai rapor, 1994). Atmosferin doğal bileşimi düşünüldüğünde, sözkonusu emisyonların yüksek konsantrasyonları potansiyel problemlere sebep olmaktadır. Hidrojen, reaksiyon sonucu, diğer yakıtların sebep olduğu CO, CO_2, C_nH_m, SOx, NOx vb oluşumların aksine, sadece su oluşturmaktadır.

Fosil yakıtların zararlı etkileri, rezervlerin hızla tükenmesi ve artan yakıt fiyatları yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını daha önemli hale getirmiştir. Yakın bir gelecekte, yenilenebilir enerji kaynakları ve alternatif yöntemlerle enerji üretimi, fosil yakıtlara göre hem fiyat, hem de uygulama ve bolluk açısından daha fazla avantaja sahip olabilecektir. Dünya toplam enerji gereksiniminin %80'i fosil yakıtlardan ve yalnızca % 7'si yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Gün geçtikçe yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına daha çok ihtiyaç duyulmakta, ve kullanım kapasitelerinin arttırılması talep edilmektedir. Bu tür enerjiler çevre için zararlı atıklar içermemelerinden çevre dostu olarak bilinmektedirler. Yakın gelecekte hidrojenin, alternatif yenilenebilir enerji kaynakları arasında daha fazla bir paya sahip olacağı tahmin edilmektedir. Tablo 1'de ise hidrojene ait temel değerler verilmektedir.

Tablo 1. Hidrojen İle İlgili Temel Bilgiler (Ersöz, A., Yolcular, S., 2001)

Enerji içeriği	1 kg Hidrojen = 3.5 lt Petrol
(Enerji /Hacim) oranı	Petrole göre 1/4, doğal gaza göre 1/3
Sudaki hidrojen oranı	Kütlece % 11.2
Patlama limitleri	% 13 - % 59
Difüzyon katsayısı (havada)	0.61 cm^3/s (metan gazının 4 katı)
Alt ısı değeri	120 kj/kg
Saf halde yanma (tutuşma) ile oluşan yan	Su

Günümüzde, petrokimya ve gübre endüstrisinde yaygın olarak kullanılan hidrojenin kullanım sahası hızla genişlemektedir. Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA), uzay mekiği üzerindeki on-board yakıt pillerinden elektrik gücü elde etmede, mekiklerdeki itici yakıt kadar birçok sahada kullanmaktadır. Genel bir hidrojen enerji çevrimi ise Şekil 1'de şematize edilmiştir.



Şekil 1. Temel hidrojen çevrimi (Ersöz, A., Yolcular, S., 2001)

2. HİDROJEN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Fosil yakıt kaynaklarından, yan ürün veya esas ürün olarak çok büyük miktarlarda Hidrojen elde edilmektedir (Ersöz, A., Yolcular, S., 2001). Petrolden farklı olarak yenilebilir enerji kaynaklarından kolaylıkla üretilebilmektedir. 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 yöntemlerle hidrojen üretimi konusunda geliştirme çalışmaları da devam etmektedir.

Doğal Gazın Buhar Reforming İşlemi

Buhar reforming endotermik, katalitik bir işlem olup, 850 oC sıcaklık ve 2.5 Mpa basınç altında aşağıdaki reaksiyonlarla gerçekleşir;

$$CH_4 + H_2O \longrightarrow CO + 3H_2$$
$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$$

Karbon monoksit absorpsiyon ya da membran ayrıştırma yöntemlerinden biriyle uzaklaştırılır.

Hidrokarbonların Kısmi Oksidasyonu

Hidrokarbonların kısmi oksidasyonu, oksijen ve buhar ile devam eden egzotermik bir reaksiyondur. Dışarıdan enerjiye ihtiyaç olmadan devam eden bu reaksiyonda, oksijen ve buhar miktarları kontrol edilmektedir. Bu işlem için örnek reaksiyon aşağıdaki şekilde gelişir;

$$C_8H_{18} + H_2O + 9/2\ O_2 \longrightarrow 6\ CO + 2CO_2 + 10\ H_2$$

Plazma Ark İşlemi

Doğal gaz ya da petrolün plazma ark işlemi 1600 °C civarında, elektrik kullanılarak saf karbon ve hidrojen üretimi sağlayan bir işlemdir. Bu teknolojiyle, 1000 m^3/saat doğal gaz ve 2100 kw elektrik enerjisi kullanılarak, 2000 m^3/saat hidrojen ve 500 kg/saat karbon elde edilebilmektedir.

Suyun Ayrıştırılması İşlemi

Suyun ayrıştırılması için kullanılan en yaygın yöntem elektroliz işlemidir. Bu işlemde su elektrik akımı yolu ile ayrıştırılır. Hidrojen iyonları negatif yüklü katod, oksijen iyonları ise pozitif yüklü anot etrafında toplanırlar. Bunlara ilave olarak, güneş ışığı yardımı ile suyun ayrıştırılmasıyla da hidrojen elde edilmektedir.

3. HİDROJEN DEPOLAMA TEKNİKLERİ

Herhangi bir yakıtın depolanmasındaki önemli kriterler güvenlik, ekonomiklik ve depolama tekniğinin verimliliğidir. Bir yakıt kaynağı olan hidrojenin bir metre küpünün ağırlığı 0.8 kg'dır. Çok yer kaplaması nedeniyle sıvılaştırılarak depolanması daha önemli hale gelmiş ve birçok depolama tekniği geliştirilmiştir. Ancak, sıvılaştırmanın da güçlük ve sakıncaları vardır. Uzun süre çalışılarak geliştirilen tekniklerin kendilerine özgü özellikleri ve kullanım sahaları vardır. Örneğin, hidroelektrik santrallerine yakın bir bölgede, ayrıştırılan hidrojenin depolanabilmesi için tank boyutu sınırlamasına gerek olmazken, araç uygulamalarında küçük depo kaçınılmazdır. Uzun süredir geliştirilmekte olan hidrojen depolama tekniklerinin başlıcaları aşağıda verilmektedir.

3.1. Sıkıştırılmış Gaz

Hidrojen yüksek basınçlı tanklarda sıkıştırılarak depolanabilir. Aynı hacme her ilave m^3 hidrojen için 0.068 atm'lik ilave ek basınç oluşmaktadır. O nedenle yüksek basınca dayanımlı tanklara gereksinim duyulmaktadır (http://www.warsitz.com, 2002). Sıkıştırılmış hidrojen depolaması için öngörülen en uygun tanklar karbon/alüminyum alaşımlı özel malzemelerdir. Bu tip bir tank, birim ağırlık başına diğer geliştirilen silindirlere göre oldukça dayanıklı ve hafiftir, ancak araç uygulamaları için bu teknikle üretilen prototipler oldukça pahalıdır. Günümüz koşullarında, ekonomiklik ve güvenlik açısından, araçlarda yaygın olarak kullanılması sözkonusu değildir.

3.2. Sıvı Hidrojen

Hidrojen 0°C de kaynamakta ve sıvılaştırıldığında gaz haldeki yoğunluğunun yaklaşık 845 katı olmaktadır. Fakat bu hal değişikliği için -253 °C gibi çok düşük bir sıcaklığa gereksinim duyulmaktadır. Hidrojen sıvılaştırıldığında oldukça soğuktur ve sahip olduğu enerjisinin %30'u soğutulmaya, yani sıvılaştırılması için sıkıştırılmaya harcanmaktadır (http://www. warsitz.com, 2002).

Sıvı hidrojen hemen her ortamdan sızma eğilimindedir; o nedenle de depolanması çift cidarlı, ısı aktarımının minimum olduğu süper izolasyonlu tanklarda sağlanabilmektedir. Bu tip bir sistemin en büyük dezavantajı yüksek maliyet ve sıvı hidrojenin buharlaşma kayıplarıdır. Benzin depolama sistemi ile karşılaştırıldığında ise daha az ağırlıkta olmasına karşılık , aynı bir araç için daha çok yer kaplamasıdır. Yakıt olarak benzin ağırlığının ¼'ü ağırlığındaki sıvılaştırılmış hidrojen için, yaklaşık 3 kat daha fazla hacme gereksinim duyulmaktadır. Hidrojen ve benzinin enerjileri ise; E H_2:2396 kcal/1, E Benzin: 8316 kcal/1 ve [E Benzin]/ [E H_2] = 3.47'dir (Ersöz, A., Yolcular, S., 2001).

3.3. Metal Hidrürler

Göreceli olarak daha yeni bir yöntem olan bu teknikte, hidrojen atomları, metal-hidrür üzerinde depolanmaktadır. İnter metalik bileşikler de denilen bu tür maddeler, hidrojeni bir sünger gibi emip, bünyesi içerisinde saklayabilmektedir. Daha fazla hidrojen depolayabilmeleri için yüksek çalışma sıcaklıklarına sahip olmaları gerekmektedir. Diğer yöntemlere oranla daha az basınca gereksinim duyulan bir yöntemdir ve oldukça ağırdır. Hidrojenin açığa çıkması için yanma ya da oksidasyon işlemi gerekmemektedir (http://www. warsitz.com, 2002).

Farklı tekniklerle depolanmış hidrojenin hacim ve ağırlıklarının benzinle karşılaştırılması Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2 : Yakıt depolama sistemlerinin karşılaştırılması (Ersöz, A., Yolcular, S., 2001)

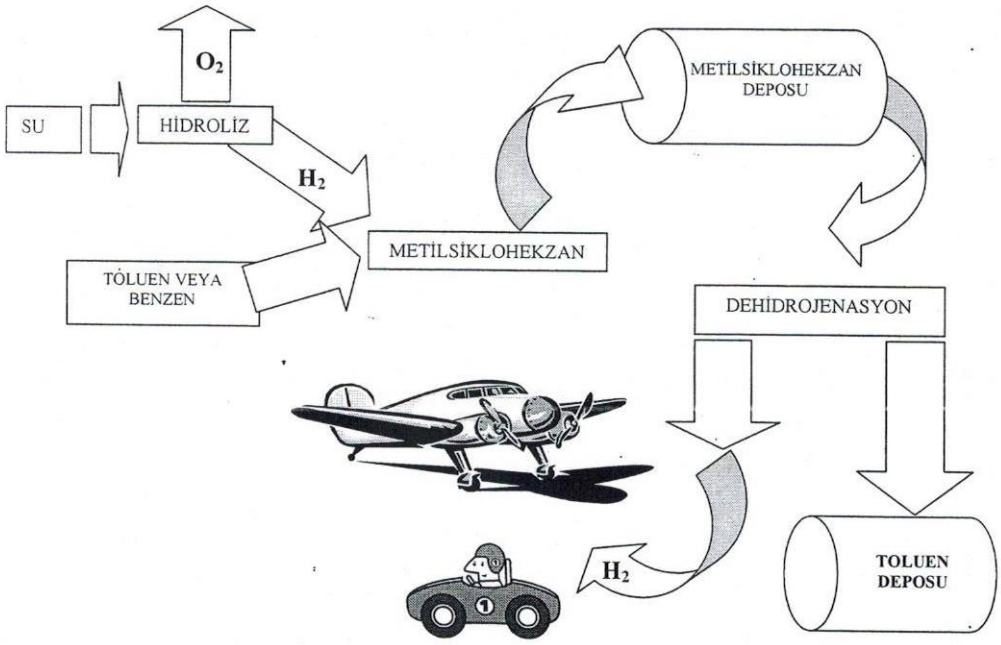
	LH_2	CH_2	MH	Benzin
Ağırlık(kg)	**53.5**	**13.4**	**13.4**	**181**
Hacim(m^3)	0.07	0.19	1.0	0.23
Tank				
Ağırlık(kg)	**13.6**	**181**	**1361**	**45.4**
Hacim(m^3)	0.08	0.28	1.53	0.25
Toplam(kg)	**67.1**	**194.4**	**1374.4**	**226.4**

LH_2 : Sıvı hidrojen depolama
CH_2 : Sıkıştırılmış hidrojen depolama
MH : Metal hidrür hidrojen depolama (Metal olarak Fe, Mg, Ni, Mn ve Ti)

Hidrojen metanol, sıvı metan, amonyak, toluen, metilsiklohegzan, veya diğer sıvı formlar içinde de depolanabilir. Fakat kullanımda önce kimyasal bir reaktör kullanılarak katalitik ortamda açığa çıkarılması gerekmektedir (http://www. warsitz.com, 2002) . Yaz aylarında aşırı üretilen elektrik, özellikle fosil enerji kaynakları olmayan bölgelerde, farklı bir sistem olan MTH tekniği ile değerlendirilmektedir. Bu sistemde bir enerji kaynağı olarak hidrojen, sıvı organik hidrür olarak depolanmakta ve mevsimsel ihtiyaca göre kullanılmaktadır.

Bu teknikte toluen ve metilsiklohekzan döngü içinde sürekli olarak kullanılabilmektedir. Sadece dehidrojenasyon sonucunda oluşan hidrojen tüketilmektedir. Kullanılmış hidrür tekrar hidrojenasyon reaksiyonu ile yeniden işleme tabi tutularak tekrar devreye beslenmektedir (Yolcular, S. Ersöz, A., 2001).

MTH sisteminde, önce suyun elektrolizi ile hidrojen elde edilmektedir. Daha sonra hidrojen, toluenin (ya da benzenin) hidrojenasyonunda metilsiklohekzan (ya da siklohekzan) üretimi için kullanılmaktadır. Metilsiklohekzan diğer kullanılan fosil yakıtlar gibi daha kolay depolanmakta ve tankerler metilsiklohekzanı servis istasyonlarına daha kolay ulaştırmaktadır. Arabaların motoruna bağlanacak bir dehidrojenasyon reaktöründe ise bu metilsiklohekzan kullanılmaktadır. Tankerler, geri dönüşlerinde ise kullanılmış hidrürleri, yani tolueni rafinerilere geri getirmektedirler. Kullanıcılar dehidrojenasyon sonucunda oluşan tolueni boşaltıp, tanklarını metilsiklohekzan ile doldurmaktadırlar (Şekil 2) (Yolcular, S. Ersöz, A., 2001).



Şekil 2. MTH sistemi ile enerjinin depolanması (Yolcular, S. Ersöz, A., 2001).

3.4. Kimyasal Depolama

Hidrojenin peletlenmiş sodyum, potasyum ya da lityum bileşikleri üzerinde depolanması esasına dayanmaktadır. Peletlenmiş bileşiklerin sulu ortamda çözünmesiyle gerekli olan hidrojen açığa çıkmakta ve geriye sodyum hidroksit, potasyum hidroksit gibi maddeler ortamda kalır.

3.5. Sodyum Bor Hidrür

Bor hidrür, kimyasal formülü $NaBH_4$ olan bir sodyum-bor-hidrojen bileşiğidir. Doğada bu bileşik hiçbir zaman bulunmaz. Borlar doğada genellikle oksijenli yapılardır. Sodyum borhidrür; sodyumlu bor tuzunun rafinasyonu sonucu elde edilen ve deterjan (sabun) sanayiinde kullanılan bir üründür. $NaBH_4$'ün eldesi, sodyumlu borların bünyesindeki oksijenin hidrojenle yer değiştirmesi esasına dayanmaktadır. $NaBH_4$ ağırlıkça %10,6 hidrojen içermekte olup bu değer, hidrojen depolayıcı birçok bileşikten çok daha yüksektir. Yapay olarak gerçekleştirilen bu işlem oldukça pahalıdır. Günümüzde bor hidrür, kağıt hamurunun ağartılması, çözeltilerden altın, gümüş gibi değerli metallerin geri kazanılması; atık sulardan kadmiyum, civa gibi ağır metallerin uzaklaştırılması; vitamin, antibiyotik gibi organik kimyasalların üretilmesi gibi pek çok ticari alanda kullanılmaktadır. Kobalt, rutenyum veya asit gibi bir katalizör ilavesiyle, $NaBH_4$ su içinde çözünmekte ve hidrojen gazı açığa çıkmaktadır. Böylece açığa çıkan hidrojen gazı, diğer yakıtlar yerine ikame olabilecek, alternatif bir yakıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer yakıtlarla karşılaştırıldığında ise aynı tank boyutlarında araç menzili iki katına çıkmaktadır. Bu özelliği nedeniyle de, araç uygulamaları gibi sınırlı tank boyutu gerektiren uygulamalarda ön plana çıkmaktadır. Bu uygulama türünün uzay araçlarının yanısıra, otomobillerde yaygın kullanımını da gündeme getirmiştir. Bu konuda yapılmış çok sayıda prototipler mevcuttur (Bilim ve Teknik Dergisi, 2002). Aşağıda, $NaBH_4$'ten hidrojen eldesine ait, prensipleri farklı iki uygulama verilmektedir.

İçten yanmalı motorlar

Açığa çıkan hidrojen, içten yanmalı motorlarda yapılacak revizyonla, benzin hava karışımı yerine yanma odasına gönderilmektedir. Millenium Cell şirketi, sodyum borhidrürün bu özelliğine dayanarak, taşınabilir hidrojen depoları geliştirmiştir (Bilim ve Teknik Dergisi, 2002). Sodyum borhidrür ile su reaksiyona girdiğinde aşağıdaki ekzotermik reaksiyona uygun olarak hidrojenin ağırlıkça %10,8'i açığa çıkmakta ve yan ürün olarak sodyum metaborat ($NaBO_2$) üretilmektedir.

$$NaBH_4 + 2H_2O + \text{katalizör} \rightarrow NaBO_2 + 4H_2 \quad \Delta H = -218\ kJ.mol^{-1}$$

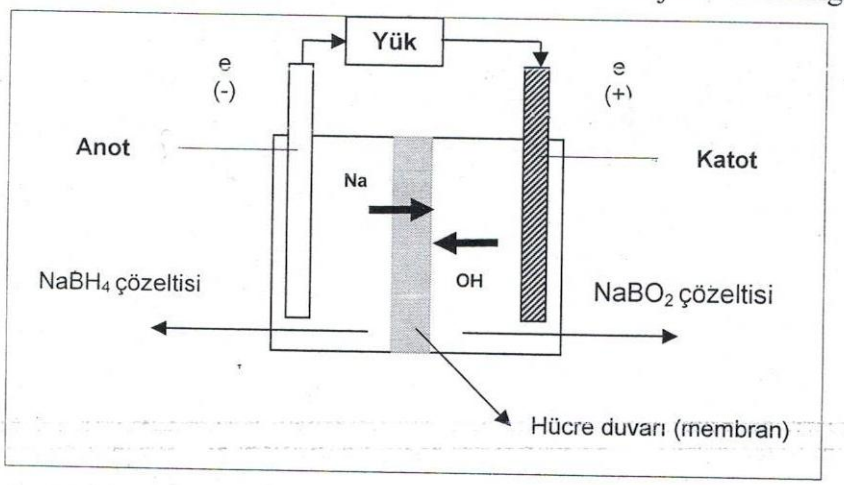
Sodyum borhidrürün alkali çözeltisine, oda sıcaklığında bile bir katalizör (rutenyum, platin vb.) ilave edildiğinde yukarıdaki tepkimeye göre hidrojen gazı açığa çıkmaktadır (Bilici, M. S. U; 2004)

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;

- Reaksiyon için oda şartları yeterlidir
- Katalizörün opsiyonel kullanımıyla reaksiyon daha kolay kontrol edilmektedir
- alev alma ve patlama gibi özellikler taşımamaktadır
- Katalizörler pek çok kez kullanılabilmektedir
- Sodyum metaborat yeniden sodyum borhidrür üretiminde kullanılabilmektedir

Yakıt pilleri

$NaBH_4$'ün elektrokimyasal tepkimelerle sodyum borata oksidasyonunu esas alan pillerde de kullanıldığı bilinmektedir. Ancak pilin içindeki borhidrür bitince, enerji üretimiyle birlikte pil de biter. $NaBH_4$ beslemesi devam ettikçe, enerji üretimi de devam etmekte; oluşan sodyum metaborat boşaltılıp yeniden sodyum borhidrür ilave edilerek enerjinin sürekliliği sağlanmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Sodyum borhidrür yakıt pil şeması (Bilim ve Teknik Dergisi, 2002)

Farklı kullanım amaç ve işletme koşulları nedeniyle, değişik tip ve özellikte yakıt pilleri geliştirilmiştir. Sözkonusu pillere ait verim ve uygulama alanları Tablo 3'te karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Tablo 3. Temel Yakıt Pili Özellikleri (Ersöz, A., Yolcular, S., 2001)

Yakıt Pili türü	Sıcaklık°C	Verim	Uygulama
Polimer Elektrolitik Membran (PEM)	80-90	32-40	Ulaşım, küçük ünite
Katı Oksit Yakit Pili (SOFC)	900	50-60	Büyük ölçekli MW
Ergimiş Karbonat Yakıt Pili (MCFC)	600-650	50-60	Büyük ölçekli MW
Fosforik Asit Yakıt Pili (PAFC)	200-220	40-45	50-250 kW
Alkalin Yakıt Pili (AFC)	80-90	55-60	Ulaşım, küçük ünite

Yakıt pilleri, hidrojeni ya da hidrojence zengin bir gaz karışımını kullanarak, yanma olayı olmadan direkt olarak elektrik ve ısı enerjisi elde etmede kullanılan elektrokimyasal sistemlerdir.

Günümüzde yakıt pilleriyle yapılan teknolojik araştırmalar, ulaşım ve sabit elektrik üretimi olmak üzere iki önemli uygulama alanı üzerinde yoğunlaşmış durumdadır. Ulaşım uygulamalarında oldukça fazla mesafe katedilmiş olup prototip üzerindeki çalışmalar halen sürdürülmektedir. 2005 yılına kadar ilk yakıt pilli aracın seri üretimi planlanmaktadır (Ersöz, A., Yolcular, S., 2001). Prototip olarak; içten yanmalı motorlarda Ford Crown Victoria taksi, akülü sistemde Ford Explorer, yakıt pili olarak da Ford Mercury Sable üretilmişlerdir (Bilim ve Teknik Dergisi, 2002).

Yakıt olarak $NaBH_4$ benzinle karşılaştırıldığında, 50 kat daha pahalıdır. Pahalı olmasının esas sebebi, sıvı yakıtları elde etmek için daha az enerjiye gereksinim duyulmasıdır (Wakefield, J., 2002). $NaBH_4$'ün pahalı olmasının yanısıra, şimdiye kadar yapılan çalışmalarda, teorik olarak 1 kg $NaBH_4$'ten üretilmesi gereken 9.3 kwh enerjiye karşılık sadece 0.18 kWh/kg enerji üretilebilmiştir (Amendola, S. C.; Onnured vdğ, 1999). Kısaca, teorik olarak hesaplanan enerji miktarı üretilememekte ve büyük bir enerji kaybı sözkonusudur.

Günümüzdeki prototip uygulamalarına karşın yine de, $NaBH_4$ de dahil tüm hidrojen kaynaklı yakıtların araçlarda kullanımı, günümüz koşullarında akaryakıtlara bir alternatif görülmemektedir.

4. SONUÇ

Temiz bir yakıt olması nedeniyle, hidrojen önemli bir enerji kaynağıdır. Ancak depolanmasındaki zorluklar nedeniyle, doğrudan yakıt olarak kullanımı oldukça zordur. Bu zorluklar, gerekli olan büyük tank kapasitesi ve yüksek sıvılaştırma enerjisidir. Büyük tank kapasitesi, araç uygulamalarındaki kullanımı imkansız hale getirdiğinden, hidrojenin sıvı hale getirilmesi gerekmektedir. Sıvı hale dönüştürülmesi için de -253°C'ye kadar soğutulması, yani sıvılaştırılması için sıkıştırılması gerekmektedir Sıvılaştırma kademesinde ise sahip olduğu enerjisinin %30'u soğutulmaya harcanmaktadır. Bu nedenle de büyük enerji kayıpları sözkonusudur.

Gaz veya sıvı halde depolamanın getirdiği sınırlamalar nedeniyle, hidrojenin diğer elementlerle bileşikleri oluşturularak, kullanımına yönelik birçok proses geliştirilmiştir. Bu bileşiklerin en önemli olanı, tablet haline de getirilebilen $NaBH_4$'tür. $NaBH_4$, gerek pillerde gerekse içten yanmalı motorlarda kullanılmakta olan çok sayıda prototipi mevcuttur.

Sodyumlu borların hidrojen gazı eldesi için önemli bir enerji kaynağı olması, borların önemini bir kat daha arttırmıştır. Ancak yapılan araştırmalarda, benzinle karşılaştırıldığında $NaBH_4$ 50 kat daha pahalıdır (Wakefield, J., 2002). Diğer bir ifadeyle, her nekadar alternatif bir hidrojen depolama tekniği olarak kabul edilse de; günümüz teknolojik koşullarında $NaBH_4$'ün petrol ürünleri ile rekabet edebilmesi ekonomik görülmemektedir. Ancak, hidroelektrik enerji kaynağı bol olan Kanada ve Yeni Zelanda gibi ülkeler bu doğrultuda programlar başlatmışlardır. Bu yaklaşımla hidroelektrik santrallerinin belirli yoğunlukta sürekli çalışmasını esas almakta; ihtiyaç fazlası enerji ise suyun elektrolizi ile hidrojen üretiminde değerlendirilmekte ve bu şekilde enerji depolanmaktadır.

KAYNAKLAR

T.K.İ. Ege Linyitleri İşletmesi Kömürlerinin Klasik Yakma Sistemlerinde Yanma Sonucu Oluşturdukları Emisyonların Etüdü, Nihai rapor, 1994, İzmir.

Ersöz, A., Yolcular, S. & Olgun, Ö.; Geleceğin Yakıtı Hidrojen; Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Kayseri, 2001.

Hydrogen Storage Methods, http://www. warsitz.com., 2002.

Yolcular, S. Ersöz, A.; "MTH Sistemi ile Enerjinin Mevsimsel Depolanması", 6. Türk-Alman Enerji Sempozyumu, 2001, izmir.

BOR; Bilim ve Teknik Dergisi, sayı 414, sy 38-48, Mayıs, 2002.

Julie Wakefield; "The Ultimate Clean Coal", The Journal of Scientific American, May, 2002.

Amendola, S. C.; Onnured, P.; Kelly, M. T.; Petillo, P. J.; Goldman, S. L. Ş.; Binder, M.; "A Novel High Power Density Borohydride-air cell", Journal of Power Sources, 1999.

Bilici, M. S. U.; Enerji Taşıyıcısı Hidrojen, Hidrojen Taşıyıcısı Sodyum Borhidrür, Madencilik Bülteni, sayı 67, 2004.

View publication stats