



HİDROJEN ENERJİSİ...

Hidrojen 1500'lü yıllarda keşfedilmiş, 1700'lü yıllarda yanabilme özelliğinin farkına varılmış, evrenin en basit ve en çok bulunan elementi olup, renksiz, kokusuz, havadan 14.4 kez daha hafif ve tamamen zehirsiz bir gazdır. Güneş ve diğer yıldızların termonükleer tepkimeye vermiş olduğu ısının yakıtı hidrojen olup, evrenin temel enerji kaynağıdır. -252.77°C'da sıvı hale getirilebilir. Sıvı hidrojenin hacmi gaz halindeki hacminin sadece 1/700'ü kadardır. Hidrojen bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir (Üst ısı değeri 140.9 MJ/kg, alt ısı değeri 120,7 MJ/kg). 1 kg hidrojen 2.1 kg doğal gaz veya 2.8 kg petrolun sahip olduğu enerjiye sahiptir. Ancak birim enerji başına hacmi yüksektir.

Hidrojen doğada serbest halde bulunmaz, bileşikler halinde bulunur. En çok bilinen bileşiği ise sudur. Isı ve patlama enerjisi gerektiren her alanda kullanımı temiz ve kolay olan hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı enerji sistemlerinde, atmosfere atılan ürün sadece su ve/veya su buharı olmaktadır. Hidrojen petrol yakıtlarına göre ortalama 1.33 kat daha verimli bir yakıttır.

Hidrojenden enerji elde edilmesi esnasında su buharı dışında çevreyi kirlletici ve sera etkisini artırıcı hiçbir gaz ve zararlı kimyasal madde üretimi söz konusu değildir.

Hidrojen gazı farklı yöntemlerle elde edildiği gibi su, güneş enerjisi veya onun türevleri olarak kabul edilen rüzgar, dalga, ve biyokütle ile de üretilmektedir.

Araştırmalar, mevcut koşullarda hidrojenin diğer yakıtlardan yaklaşık üç kat pahalı olduğunu ve yaygın bir enerji kaynağı olarak kullanımının hidrojen üretiminde maliyet düşürücü teknolojik gelişmelere bağlı olacağını göstermektedir. Bununla birlikte, günlük veya mevsimlik periyotlarda oluşan ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinin hidrojen olarak depolanması günümüz için de geçerli bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Bu tarzda depolanan enerjinin yaygın olarak kullanılabilmesi -örneğin toplu taşıma amaçları için yakıt piline dayalı otomotiv teknolojilerinin geliştirilmesine bağlıdır.

HİDROJEN ÜRETİMİ

Hidrojen enerji sisteminin yeni olmasına karşın hidrojen üretimi yeni değildir. Şu anda dünyada her yıl 500 milyar m3 hidrojen üretilmekte, depolanmakta, taşınmakta ve kullanılmaktadır. En büyük kullanıcı payına kimya sanayii, özellikle petrokimya sanayii sahiptir.

Ülkemizde Suni Gübre Sanayii (25.000m3), bitkisel yağ (margarin) üretimi (16.000m3), petrol artım evleri (rafineri) (1.200m3), petrokimya endüstrisi (30.000m3), hidrojene hayvansal yağ üretimi (200-300m3) ve çeşitli yerlerde kullanılmak üzere basınçlı silindirlerde gaz veya sıvı hidrojen üretimi (6.000m3) sadece sanayide kullanılmak üzere yapılmaktadır. Enerji üretimi amacıyla ticari boyutlu hidrojen üretimi mevcut değildir.

Hidrojenin üretim kaynakları bol ve çeşitlidir. Fosil yakıtlardan elde edilebildiği gibi güneş, rüzgar, hidrolik enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile suyun elektrolizi yolu ile üretimi, biyokütleden üretimi ve biyolojik proseslerle üretimi mümkündür. Günümüzde hidrojen ağırlıklı olarak doğal gazdan buhar reformasyonu sonucu elde edilmektedir.

HİDROJENİN DEPOLANMASI

Hidrojenin belki de en önemli özelliği, depolanabilir olmasıdır. Bilindiği gibi, günümüzde büyük tutarlarda enerji depolamak için hala uygun bir yöntem bulunmuş değildir.

Hidrojen petrole göre 4 kat fazla hacim kaplar; hidrojenin kapladığı hacmi küçültmek için hidrojeni sıvı halde depolamak gereklidir. Bunun için de yüksek basınç ve soğutma işlemine ihtiyaç vardır. Sıvılaştırılmış hidrojen yüksek basınç altında çelik tüpler içinde depolanabilir. Bu yöntem orta veya küçük ölçekte depolama için en çok kullanılan yöntemdir. Ancak büyük miktarlar için oldukça pahalı bir yöntemdir. Çünkü hidrojen enerjisinin yaklaşık 1/4'ü sıvılaştırma işlemi için harcanmalıdır. Bir diğer pratik çözüm ise, sıvı hidrojenin düşük sıcaklıktaki tanklarda saklanmasıdır. Uzun programlarında, roket yakıtı olarak sürekli şekilde kullanılan sıvı hidrojen bu yöntemle depolanmaktadır. Dünyadaki en büyük sıvı hidrojen tankı, Kennedy Uzay Merkezinde olup 3400 m3 sıvı hidrojen alabilmektedir. Bu miktar hidrojenin yakıt olarak değeri 29 milyon Mega Jule veya 8 milyon kW-saat'e karşılık gelmektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucu hidrojen kar-



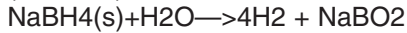


bon nanotüplerde de depolanabilmektedir. Karbon nanotüpler kısaca grafit tabakaların tüp şekline dönmüş halidir. Çapları birkaç nanometre veya 10-20 nanometre mertebesinde, boyları ise mikron seviyesindedir.

Hidrojen kimyasal olarak metallerde, alaşımlarda ve arametallerde hidrür olarak depolanabilmektedir. Metal hidrürler hidrojen depolamak için çok uygun bir yöntem olmasına karşın, kendi ağırlıkları ciddi sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle son 10 yıldır yüksek depolama kapasiteleri nedeniyle alüminyum ve bor içeren kompleks hidrürler yoğun olarak çalışılmaktadır. Bor içeren kompleks hidrürler sıvı koşullarda kullanılması nedeni ile de önem taşımaktadır. Bor esaslı sistemler ana olarak sodyum bor hidrürü esas almaktadır. NaBH₄, katı halde ağırlıkça %10,5 hidrojen içermektedir.

Çözelti halinde, sodyum bor hidrür, aşağıdaki reaksiyona göre hidrojenini vermekte ve sodyum metab-orata dönüşmektedir.

(katalizör)



H₂O ve NaOH ilavesi ile sodyum bor hidrürün sıvı içerisindeki miktarı ağırlıkça %20-35 arasında olabilmekte, bu da sistemde ağırlıkça % 4.4-7.7 arasında hidrojenin depolanmasına olanak vermektedir.

Sodyum bor hidrürde hidrojen depolamanın en önemli üstünlüğü depolanan hidrojenin oda sıcaklığında geri alınabilmesi ve geri alımın katalizör yardımı ile kolaylıkla kontrol edilebilmesidir. Sodyum bor hidrürün hidrojen amaçlı kullanımında en önemli darboğaz, oluşan metaboratin tekrar NaBH₄ dönüştürülmesidir.

HİDROJENİN TAŞINMASI

Hidrojen gazı, doğal gaz veya hava gazına benzer olarak borular aracılığıyla her yere kolaylıkla ve güvenli olarak taşınabilmektedir. Hidrojen boru ile taşınmasına, Texas'da petrol sanayi tarafından kullanılmakta olan ve 80 km uzunluğuna sahip boru şebekesi ile Almanya'da Ruhr havzasında 1938 yılında işletmeye açılan ve bugün 15 atmosfer basınç altında hidrojen taşımaya devam eden 204 km'lik boru hattı örnek olarak gösterilebilir.

Basıncılı hidrojenin, çelik tüpler içine yerleştirilerek taşınması, bu güne kadar geliştiren bir çok deneme amaçlı hidrojenle çalışan taşıtta kullanılan yöntem olmuştur. Benzinli bir otomobil ortalama olarak 65 litre (47kg) benzin almakta olup, bu da enerji olarak 17 kg hidrojene karşılık gelmektedir. Hidrojeni sıvı olarak depolamak ağırlık sorununu çözmekle birlikte, tank hacmi ve maliyet artmaktadır. Diğer bir sorun ise, hidrojenin gaz haline geçmesi ile oluşan kayıplar ve yakıt ikmali zorluğudur.

HİDROJEN ENERJİSİ TEKNOLOJİSİNİN DÜNYADAKİ GELİŞİMİ

Daha önce de belirtildiği gibi hidrojenden, yakıt pili teknolojisi ile elektrik elde edilmektedir. Bugüne kadar, yakıt pillerini çeşitli yönleriyle inceleyen 200'den fazla araştırma NASA tarafından desteklenmiştir. Bugün, Apollo ve Space Shuttle görevlerinde güvenli olarak elektrik (ve su) sağlamış olmaları nedeniyle, yakıt pilleri uzaydaki rollerini ispatlamış bulunmaktadır.

Bu başarılar, 1960'larda, yakıt pillerinin dünyanın enerji problemlerinin tümüne çözüm olabileceği tahminlerine yol açmış ve 1970'li yıllarda çalışmalara başlanmış, 2000'li yıllarda ülkelerin enerji politikalarında önemli yer tutmaya başlamıştır. Bir Amerikan firması 200 kW enerji sağlayan fosforik asit tipi (PC25) yakıt pilinin pazarlamasını yapmaktadır.

Japonya'da WE-NET (World Energy Network) projesi ile Tokyo metropolitan bölgesinde hidrojen kullanımı ile oluşacak azot oksit emisyonundaki azalma potansiyeli araştırılmaktadır. WE-NET Programı Japonya'nın Uluslar Arası Ticaret ve Endüstri Bakanlığınca desteklenmektedir. Bu programda Japonya hidrojen enerji sistemini geliştirmek üzere 2020 yılına kadar 4 milyar \$'lık bir bütçe ayırmıştır. Gelecekte de Pasifik denizinin ekvator bölgesinde yapay bir adada solar radyasyon kullanarak deniz suyundan elektrolizle hidrojen üretmeyi planlamaktadırlar.

Halen Japonya'da 11 MW'lık elektrik santrali Rokko adasının elektrik ve ısı ihtiyacını karşılamakla birlikte, kapasiteleri 50 ile 500 MW arasında değişen yüzlerce yakıt pilli tesis bulunmaktadır. Sadece Tokyo'da şehrin elektrik ihtiyacının 40.000 kW'lık bölümü hidrojen enerji sistemlerinden sağlanmaktadır.



Şekil 1. Gaz türbinli, yakıt hücreli kojenerasyon sistemi



Almanya'da Münih havaalanında çalışan otomobil ve otobüslerin hidrojen enerjisi kullanması yönündeki projenin yanısıra Neurenburg yakınlarında mini bir hidrojen enerji sisteminin kurulduğu bir program yürütülmektedir. Solar-Wasserstoff-Bayern burada güneş hidrojen tesisi, depolama sistemi ve hidrojen kullanma sistemleri kurmuştur. Almanya ayrıca Suudi Arabistan ile ortak yürüttüğü Hysolar programı ile Suudi Arabistan'ın Riyad yakınında güneş hidrojen üretim tesisi kurmayı planlanmaktadır. Suudi Arabistan hidrojeni ihraç edecektir.

Avrupa ve Kanada arasındaki Euro-Quebec diğer uluslar arası başarılı programdır. Bu programda nispeten ucuz olan hidrojen üretilerek Kanada'dan Avrupa'ya ithal edilecek sıvı hidrojenin deniz aşırı taşınımı, depolanması ve kullanım alanları araştırılmaktadır.

İzlanda'da hükümet, üniversiteler, taşıma şirketleri, fabrikalar ve çok uluslu otomobil ve petrol şirketleri konsorsiyumu oluşturulmuş ve 2030 yılına kadar İzlanda'nın tamamen hidrojen enerjisine geçmesi planlanmıştır. Dünyanın ilk hidrojen dolum istasyonunu İzlanda'da açılmıştır.

Bunlara ilave olarak İspanya'da solar hidrojen tesisi, İtalya, Almanya, Norveç'te küçük ölçekli fotovoltaik-hidrojen enerji sistemi gibi birçok proje yürütülmektedir.

Ayrıca araçların %65'inin skoter (küçük motosiklet) olduğu Tayvan'da yakıt hücreli skoter kullanımı desteklenmekte ve ZES (sıfır emisyonlu skoter) üretilmektedir.

Brezilya ve Güney Amerika'da en büyük hidrojen tesisi Haipu'dur. Burada elektrolitik hidrojen gazı üretilmektedir.

Ulaşım sektöründe, yakıt pili ile çalışan araçların geliştirilmesi, petrol tüketimini azaltacağı gibi, araçlardan kaynaklanan hava kirliliğini de minimum düzeye indirecektir. 1993'ten bu yana çok sayıda prototip araç üretilmiştir.



%15-20 hidrojen ve %80- 85 doğal gaz karışımından oluşan hythane adlı yakıt ile çalışan yeni bir otobüs 1993 yılından beri Montreal'de (Kanada) denenmektedir.

Hidrojen, uzun yıllardır uzay mekiği ve diğer tüm roketlerde rakipsiz bir yakıt olarak kullanılmaktadır. Ancak, bunların dışında uçaklarda ilk kullanımı

1956 yılında B-57 Canberra deneme uçağında gerçekleştirilmiştir. Sovyetler Birliği de 1988 yılında Tupolev-155 deneme uçağında yakıt olarak hidrojen kullanmıştır. Dünya Enerji Ajansı Hidrojen Programı çerçevesinde yürütülen çalışmalarda, Airbus tipi uçakların yakıt olarak hidrojen kullanması 2007 yılında başlayacaktır. Hidrojenin ticari uçaklarda yaygın kullanımı konusunda Avrupa Airbus konsorsiyumu ile Almanya-Rusya ortak çalışmaları sürmektedir.

Sıvı hidrojen doğrudan veya dolaylı olarak motorları ve dış yüzeyi soğutmak için de kullanılabileceği için, yüksek hızlı supersonic uçaklar için ideal bir yakıt olarak görülmektedir.

YAKIT PİLLERİ

Yakıt pilleri, temiz, çevreye zarar vermeyen ve yüksek verime sahip enerji dönüşüm teknolojileridir.

Bir buhar kazanı veya türbin kullanılmadan, sadece kimyasal reaksiyon ile elektrik enerjisi üretilir. Hidrojen (H₂) ve oksijen (O₂) arasındaki elektrokimyasal reaksiyon ile elde edilen ve toplam verimlilikleri % 80'lere kadar ulaşabilen yakıt pilleri, sürekli çalışan piller veya elektrokimyasal makineler olarak da bilinir. Yakıt pilleri, bünyesinde kullanılan elektrolitin cinsine göre çeşitli isimler alır.

-> Fosforik asit yakıt pili

->Katı oksit yakıt pili

->Erimiş karbonat yakıt pili

->Polimer elektrolit yakıt pili (PEM)

->Alkali yakıt pili

Her ne kadar çalışma prensipleri benzer olsa da, çalışma koşulları ve uygulama alanları farklılık göstermektedir. Tablo 1'de yakıt pili çeşitlerinin temel özellikleri verilmiştir.

Atık olarak su ve ısı elde edilmesi ve özellikle minimum seviyedeki emisyonları yakıt pillerini avantajlı kılar. İçten yanmalı motorlarda, toplam kontrol edilemeyen emisyonlar 2370 ppm, gaz türbinli sistemlerde 120 ppm olduğu halde, yakıt hücreli sistemlerde sadece 5 ppm'dir.

Yakıt pilleri, boyutlarının küçük olması, yüksek verimle çalışmaları ve atık ısılarının kullanılabilir olmasının yanısıra aşağıdaki özellikleri nedeniyle de diğer güç sistemlerine göre daha üstündürler.

->Modüler olmaları

->Kullanıcıya yakın inşaa edilebilmeleri



->Yakıt olarak saf hidrojenin yanısıra doğal gaz, metanol veya kömür gazlarının kullanılabilmesi

->Sessiz çalışmaları



->Minimum seviyede kükürt oksit ve azot oksit emisyonları->İnşa edilecek alanda çok az çevre kısıtlamaları gerektirmeleri ve kısa sürede inşaa edilebilmeleri.

->Katı atık problemlerinin olmaması.

1839'da keşfedilmiş, 1932'de üzerinde gelişmeler sağlanmış ve 1952 yılında NASA tarafından uzay çalışmalarında enerji sağlayıcı olarak kullanılan yakıt pilleri, 1960'lı yıllarda ilk yakıt hücreli traktör yapımı ile kara ulaşımında kullanıma sunulmuş 1980'li yıllarda yakıt hücreli tren, 1990'lı yıllarda yakıt hücreli denizaltı ve uçak ile gelişim göstermiş son yıllarda kara araçlarında ve güç santrallerinde yaygın araştırma ve uygulama konusudur.

Kaynak: TEİAŞ, EİEİ

* Yakıt Pili Çeşitleri ve Özellikleri

	Fosforik Asit Yakıt Pili	Katı Oksit Yakıt Pili	Erimiş Karbonat Yakıt Pili	Polimer Elektrolit Yakıt Pili	Alkali Yakıt Pili
Elektrolit	Fosforik Asit	Çinko üzerine tutturulmuş Yittria (YSZ)	Karbonat	Polimer iyon değişim filmi	Potasyum hidroksit
Elektrolitteki Taşıyıcı	H ⁺	O ₂ ⁻²	CO ₃ ⁻²	H ⁺	OH ⁻
Hücre Materyali	Karbon	Seramik vb.	Ni. Paslanmaz Çelik, vb.	Karbon	Karbon
Güç Yoğunluğu (W/kg)	120-180	15-20	30-40	350-1500	35-105
Yakıt Türü	H ₂ , Hidrokarbonlar, Fosil yakıtlar	H ₂ , Hidrokarbonlar	H ₂ , Hidrokarbonlar	H ₂ , Hidrokarbonlar	H ₂ ,
Sıcaklık	200 °C	1 000 °C	600 - 700 °C	80 °C	80 °C
Güç Üretim Verimi	% 37-42	% 60-70	% 45-60	% 60	% 42-73
Uygulama Alanları	Ticari Uyg. (Oteller, Hastaneler vs.)	Ticari Uyg., Sanayi Uyg., Elektrik Santralleri	Elektrik Santralleri	Ulaşım Araçları, Askeri Sistemler	Uzay Çalışmaları

Kaynak:TEİAŞ