

SÜRDÜRÜLEBİLİR BÜYÜME İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ: HİDROJEN

Dr. Yusuf Kurtoğlu
Hazine Müsteşarlığı, KİT Genel Müdürlüğü
yusuf.kurtoglu@hazine.gov.tr

1. Giriş

Hidrojenin, doğada diğer elementlerle bileşik halde bulunan, en hafif (havadan 14 kat daha hafif) ve en yaygın element olduğu bilinmektedir. Dünyada var olan maddelerin yaklaşık yüzde 80'i hidrojen içermektedir. Renksiz ve şeffaf olup, koku ve tadı olmadığından, görünürlük sağlamak bakımından, renklendirilmesi ve kokulandırılması gereken, yere döküldüğünde anında buharlaşan bir maddedir.

Hidrojen, güneş, nükleer ve fosil yakıtlar gibi çeşitli enerji kaynakları kullanılarak, sudan üretilmektedir. Güneşin enerji olarak kullanıldığı elektroliz yöntemiyle, su molekülleri (H₂O) bölündüğünde, gaz şeklinde ortaya çıkan hidrojen (H₂) ve oksijen (O) elde edilir. Isı enerjisi, mekanik enerji ve elektrik enerjisine dönüştürülebilir, kendi kendini yenileme özelliğine sahiptir.

Sıvı hidrojen, gaz halindeki hidrojen hacminin 1/700'ü kadardır. Enerji içeriği birim ağırlık başına ölçüm hesabına göre, bilinen tüm yakıtlar içerisinde, en yüksek değere sahip olan enerjidir (120.000 kl/kg). Örneğin, karbonhidrat yakıtlara göre 2.8 kat fazla enerjiye sahiptir. Otomobillerde benzinin verimi yüzde 25 iken, hidrojenin verimi yüzde 60, yani iki buçuk kat daha fazladır. (Veziroğlu, 2004:267-279, 418-419, 436, 441, 449-450, Çelik, 2006:2, 4, Bockırs ve diğerleri, 2002:11,118)

Hidrojen tükenmeyen ve çevreyi kirlilemeyen bir enerji kaynağı olarak, fosil yakıtlara alternatif, geleceğin enerji kaynağı olarak görülmektedir (Almık ve diğerleri, 2007). Fosil yakıtlar sadece zengin karışımlarda yanarken, hidrojen, zengin karışımlarda olduğu gibi zayıf yakıt/hava karışımlarında da yanabildiği için, örneğin otomobillerde daha fazla tasarruf sağlayacaktır. Hidrojenin akülerde elektriğe dönüşme verimi yüze 65-70, hidrojen pillerinde ise yüzde 80-90 seviyelerindedir. Isıtma ve soğutma gibi bazı sanayi, ticari ve konut içi kullanımlarda hidrojenin fosil yakıtlara göre yüzde

24 daha fazla verimle termal enerjiye dönüştürülebileceği saptanmıştır. (Veziroğlu, 2004:344-345)

Güvenlik açısından ise örneğin benzine göre daha güvenli bir yakıttır. Havaya yayılması daha hızlı, alevinin ısı yayması çok daha azdır. Hidrojenin düşük düzeyde karbondioksit içermesi, hidrojen enerjisi kullanımının yaygınlaşmasına paralel olarak, küresel ısınmaya neden olan sera etkisi yapan gazların salınımını azaltacağından, dünyadaki doğal çevrenin korunmasına önemli ölçüde katkı yapacaktır.

Hidrojenin bu özellikleri nedeniyle, başta gelişmiş ülkeler olmak üzere, dünyanın bir çok ülkesinde hidrojenin bir enerjisi kaynağı olarak kullanımını sağlayacak teknolojilerin geliştirilmesi yönünde uzun yıllara dayanan araştırmaların yapıldığı görülmektedir. Hidrojenin gelecek vadede bir enerji sistemi olduğunu kabul eden Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı (UNIDO) ise hidrojen enerjisi araştırma, geliştirme ve ticarileştirme çalışmalarının eşgüdümü amacıyla bir "Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi" (UHETM) kurulmasını kararlaştırmıştır. (Bockırs ve diğerleri, 2002: 17)

Çalışmamızın ikinci kısmında hidrojen enerjisi sistemi, üretim, iletim ve enerjiye dönüşüm konuları incelenmektedir. Üçüncü kısımda dünyada ve ülkemizdeki hidrojen teknolojileri alanındaki gelişmelere değinilerek, sonuç kısmında da konu hakkındaki değerlendirmelere yer verilmiştir.

2. Hidrojen Enerji Sistemi

Hidrojen enerji sistemi, hidrojen gazının (yakıt hücrelerinde) yüksek verimle yakılarak enerji elde edilmesi süreci şeklinde tanımlanmaktadır. Bunun için hidrojenin öncelikle üretilmesi, sonra, gaz ve sıvı olarak veya "hibridleme" yöntemiyle depolanıp, taşınması gerekir. Kullanımı bundan sonraki aşamada olacaktır.

Hidrojen gazı, ulaşım sistemleri, elektrik üretimi, konut ve sanayi ile diğer ticari sektörlerde kullanılabilir, temiz ve tükenmez bir enerji kaynağıdır. Örneğin, sudan elde edilen hidrojenin yakıt olarak kullanımı sonrasında ortaya çıkan atık, yine su veya su buharı olarak doğaya geri dönmektedir. Sudaki üç atomdan ikisinin hidrojenden oluşması, nehir, göl, deniz ve okyanusları hidrojen rezervi kılmaktadır. Hidrojen enerjisi, fosil yakıtların kullanıldığı her uygulamada onların yerine kullanılacaktır. (Veziroğlu, 2004:270-274,433, Bockırs ve diğerleri 2002:117-118, İTÜ, 2007) Veziroğlu çalışmasında (a.g.e.:380-390), hidrojenin doğal gaz ve elektrik yerine kullanıldığı alanların bazıları şöyle sıralanmaktadır; ısınma ve serinletme, su ısıtma, su pompalama, yemek pişirme, içme suyu, soğutma, artık ısı depolama, aydınlatma, elektrikli aletler.

Fosil yakıtlar sadece zengin karışımlarda yanarken, hidrojen, zengin karışımlarda olduğu gibi zayıf yakıt/hava karışımlarında da yanabildiği için, örneğin otomobillerde daha fazla tasarruf sağlayacaktır. Hidrojenin akülerde elektriğe dönüşme verimi yüze 65-70, hidrojen pillerinde ise yüzde 80-90 seviyelerindedir.

Hidrojenin en önemli özelliklerinden birisi, “hidrojen yakıt hücrelerinde” yüksek verimlilikle elektrokimyasal olarak elektriğe dönüştürülebilmesidir. Yakıt hücreleri, hidrojen ve oksijeni elektriğe dönüştüren ‘hidrojen/yakıt pilleridir’. Buna göre, yakıt pilleri (YP) geliştirilmesi ve üretimi elektrik enerjisi üretimindeki öncelikli aşama olmaktadır. (Bockırs ve diğerleri, 2002: 22, Veziroğlu, 2004: 438)

Hidrojen enerji sisteminde üretim, iletim, depolama, elektrik ve ısı enerjisine dönüşümü ile ekonomik faaliyetlerde kullanımı aşamalarına ilişkin her sürecin birbirine ilişkisi vardır. Bu nedenle bu enerji sisteminde birbirine bağımlı bir yapı söz konusudur. Buna göre, oluşturulacak “hidrojen ekonomisi tasarımı ve uygulamaları” sistemin tümünü kapsamak zorundadır. (USDOE, 2002:39)

2.1. Üretim

Hidrojen, fosil yakıtlar ile güneş, rüzgar ve su gibi yenilenebilir enerji kaynakları ve biyo yakıtlardan üretilmektedir. Bu kaynakların ve suyun bol olduğu bölgelerde büyük rafineri/fabrikalarda, yakıt istasyonlarında, dağıtımın yapıldığı kırsal alanlarda ve konut-işyeri gibi binalarda hidrojen üretilebilecektir. (USDOE, 2002:8)

Hidrojenin sudan elde edilmesi sürecinde su, elektroliz, termal ve termo-kimyasal yöntemlerle hidrojen ve oksijen bileşiklerine ayrılır. Ayrıştırılan hidrojen depolanır veya kullanım alanlarına ulaştırılmak üzere nakledilecektir. Daha sonra yine oksijenle birleşerek yakılması sonucunda elektrik enerjisi elde edilir. Bu süreç sonucunda ortaya çıkan atık ise saf su veya su buharı olacaktır. (Veziroğlu, 2004:270-276, Bockırs ve diğerleri 2002:118)

BM-Uhetm genel ağ sisteminde (ww.ichet.org) hidrojen üretimine ilişkin şu bilgilere yer verilmektedir:

- Günümüzde hidrojen üretiminde uygulanan en yaygın yöntemler, hidrojenin doğal gazdan ve elektroliz yoluyla sudan elde edilmesidir.
- Sudan hidrojen üretilmesi doğal gazla göre daha pahalı olmakla birlikte, havayı kirletici bir etkisi yoktur. Bu yöntemde elektroliz için gerekli elektrik enerjisi rüzgar, güneş, hidrolik ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilebilecektir.
- Hidrojen üretmek üzere suyun ayrıştırılması, bazı mikro-organizmaların ayrıştırılması ile de yapılabilecektir.
- Biyoyakıtların termo-kimyasal yöntemlerle rafine edilmesiyle de hidrojen elde edilebilir

2.2. İletim ve Depolama

Hidrojen depolama teknolojileri, bir enerji taşıyıcısı olarak hidrojenin üretimi, taşınması, iletim ve uygulaması ile entegre bir sistemden ibarettir. Üretim yöntemleri ve nihai kullanım alanlarına göre farklılık gösterecek olan iletim sistemi, hidrojen enerjisi altyapıları kapsamında anahtar bir unsur olarak görülmektedir. Günümüzde 150-300 km. uzaklıktaki mesafelere boru hatları, tankerler veya tren vagonlarıyla iletimi yapılan gaz ve sıvı hidrojen, 1.600 km. (yaklaşık 1.000 mil)’ye kadar olan uzun mesafelere ise özel sızdırmazlık donanımına sahip tankerler ve vagonlarla taşınmaktadır. Gelecekte, müşteri odaklı hidrojen kullanımının artırılması için; bileşik metal alaşımlı hidrürler, karbon nanomalzemeler gibi alternatif hidrojen depolama



ve taşıma teknolojilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. (USDOE, 2002:13, 14)

Hidrojen, kimyasal bir bileşik içinde ayrıştırılmış gaz veya sıvı halde depolanabilir, nakledilebilir. Gaz ve sıvı hidrojen yeraltında eski maden ocaklarında ve/veya aktiflerde depolanabilir. Depolanabilirlik özelliği, elektrik enerjisiyle karşılaştırıldığında, anında tüketilmesini gerektirmediğinden, enerji kaybı söz konusu olmayacaktır. Bu durum, kullanım kolaylığı ve ekonomik yönden maliyet avantajı sağlayacaktır.

Enerjinin uzun mesafelerde yüksek gerilim hatlarıyla elektrik olarak iletilmesi yerine, hidrojen olarak taşınması daha düşük maliyetle yapılabilecektir. Ancak, hidrojenin sahip olduğu düşük yoğunluk, gazın sıkıştırma maliyetinin yüksekliği nedeniyle, toplam taşıma giderlerinin doğalgaza (CH₄) göre daha fazla olmasına neden olmaktadır. (Veziroğlu, 2004: 267-276, 373-376)

Depolama sistemleri içerisinde, gaz halinde 200-250 bar basınçta sıkıştırılarak tanklarda yapılan depolama, en gelişmiş depolama teknolojisidir. Düşük ısı ve yüksek yoğunlukta yapılacak depolama teknik yönü itibarıyla gerekli iken, depolama sistemlerinin ticari mahiyet kazanabilmesi için düşük maliyet, güvenlik ve enerji tedarikinde etkinliğin sağlanması gerekmektedir. Bu depolama sistemlerin geliştirilmesinde yukarıda sözü edilen hususlarda yetersizlikler gibi önemli sorunlar bulunmaktadır. (Gaşan, 2007:2-4, USDOE, 2002:17-21, Dogan, B. ve diğerleri, 2007:3) Örneğin, otomobil üreticisi firmaların daha düşük maliyetli “hidrojen yakıt pillerinin” kullandığı araç üretimleri, hidrojen depolama teknolojilerinin geliştirilmesi ve maliyetleri düşürerek ticarileşmesinin önünde engel teşkil etmektedir. Bu da talep yetersizliğine neden olduğundan, araç motorlarında kullanılan sıvı ve gaz hidrojenin depolama sistemlerine ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi açısından bir çelişki yaratmaktadır.

Sıvı hidrojenin gaz halindeki hidrojene göre daha düşük hacme, daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması, depolama işlemine daha az yer kapladığı için, sıvı hidrojen lehine bir avantaj oluşturmaktadır. Buna karşın, hidrojenin sıvı hale getirilmesi işlemi enerji yoğun bir süreç olduğundan ve bu süreçte -253 C de soğutulması gerektiğinden, hidrojenin içerdiği enerjinin üçte biri gibi önemli bir oranının, buharlaşma nedeniyle kayba uğraması ise olumsuzluk yaratmaktadır.

Hibrid yöntemiyle hibrid tankında hidrojen depolanması, basınçlı hidrojen gazı tankında depolama yöntemine göre 10 kat daha az hacim kaplar ve güvenlik açısından daha emniyetlidir. Hibrid yöntemiyle depolama işlemleri, hidrojenin küçük hidroelektrik santral, güneş ve rüzgar enerjilerinden üretildiği, ya da konut tipi tesislerdeki üretimler gibi görece küçük çaplı üretimler için önerilmektedir. (Veziroğlu, 2004: 318-323, 374)

Bor (boraks) madeninden elde edilen sodyum borhidrür maddesi hidrojen emici sünger görevi gördüğünden, boraks madenleri hidrojen depolama kaynağı olarak büyük öneme sahiptir. Bu amaçla kullanılan sodyum borhidrür'ün diğer taşıma yöntemlerine göre birçok avantajı bulunmaktadır. Örneğin bu yöntem yanıcı ve patlayıcı bir yapıya sahip değildir. Hidrojenin yarısı hidrürden, diğer yarısı ise sudan geldiğinden ekonomiktir. Reaksiyon kolaylıkla kontrol edilebilir, zararlı atık çıkarmaz ve oluşan sodyum metaborat tekrar sodyum borhidrür elde etmek için kullanılabilir.

Hidrojenin depolanmasına ilişkin hususlar, hidrojen enerjisi teknolojilerinin geliştirilmesinde önemli bir aşama olarak ön plana çıkmaktadır. (Alınak ve diğerleri, 2007, Şenel ve diğerleri, 2007, Güldal ve diğerleri, 2007) Günümüzdeki mevcut depolama teknolojileri, hidrojen üreticileri ve nihai tüketicilerinin gereksinim duyduğu depolama ihtiyaçlarını karşılamaktan uzak bulunmaktadır. Hidrojen depolama teknolojilerinin gelişimini olumsuz etkileyen en önemli unsur, büyük hacimli üretim süreçlerinin gelişmesi ve hammadde maliyetlerini düşürecek piyasa talebinin henüz oluşmamış olmasıdır.

2.3. Enerjiye Dönüşüm-Yakma ve Kullanım

Hidrojen üretildikten sonra;

- taşıt araçları sanayilerinde mekanik enerji elde edilen sıvı veya gaz halindeki hidrojeni yakan içten yanmalı motorlarda ve taşıt araçlarında,
- hidrojene dayalı yakıt pilleriyle çalışan elektrikli araçlar ile
- elektrik ve ısı enerjisi sağlanan YP'de kullanılarak enerjiye dönüştürülür.

Enerji yaratılması işleminde; elektrokimyasal tepkimeler (reactions) yanmalı sisteme göre daha verimli olduğundan, YP'leri içten yanmalı motorlara göre daha yüksek verime sahiptir. Hidrojen YP'leri taşıt araçları dışında enerjinin kullanıldığı birçok alanda kullanılabilir. Örneğin, membran YP'leri ulaşım, bina ve telefon, bilgisayar, kamera, genel ağ çevirgesi v.b. taşınır teçhizatlar, alkalın YP'leri askeri ve uzay çalışmaları, bileşik oksit ve sıvılaştırılmış karbon içeren YP'ler ise konut ve işyerleri ile her türlü sabit tesislerde elektrik ve ısı (birleşik) enerjisi üretimi binalar için enerji üretiminde yaygın şekilde kullanılacaktır. (Ichet, 2007, Ewald, 2000 ve USDOE, 2002:23,24,30)

USDOE (2002:24-25) çalışmasında; hidrojenin enerjiye dönüşümündeki bilimsel, mühendislik, piyasa ve kurumsal yapıdan kaynaklanan engeller üzerinde durulmaktadır. Buna göre; malzeme bilimi ve elektro kimya dallarındaki temel ve uygulama araştırmaları bilgisinin geliştirilmesiyle, YP teknolojilerinin tasarım ve işletiminin iyileştirilerek, performans artışı sağlanması ve maliyetlerin düşürülmesi gerekmektedir. Bunun yanında, mühendislik çalışmaları yapılarak, hidrojenle çalışan motorlar ve türbinlerin verimliliği, performansın güvenilirliği ve sürdürülmesi ile güvenlik

konuları test edilip kanıtlanmalıdır. Piyasada hidrojen enerjisi kullanımının yaygınlaşması, maliyetlerin önemli ölçüde azaltılmasına paralel olarak sağlanabilecektir.

Buna göre, hidrojen ekonomisi uygulamaları öncelikle, taşıt imalatı, yakıt pilleri teknolojileri araştırmacı ve üreticileri, altyapı ve petrol sanayileri, ısı sistemleri imalatçı ve tedarikçileri sektörlerinde gerçekleşecektir. Sektörde arzın artışı için yatırımcı ve üreticilerin düşük faizli krediler ve vergi indirimleriyle sübvansiyonu ve teşviki gerekirken, tüketim talebinin oluşumu ve artması için de tüketici ve kullanıcıların benzer yöntemlerle teşviki gerekli görülmektedir. (Ewald, 2000)

3. Dünyada ve Türkiye'de Hidrojen Teknolojileri Çalışmaları

3.1. Dünyada Hidrojen Enerjisi Teknolojileri

Dünyada hidrojen enerjisi projelerine ilişkin araştırmaların, gelişmiş ülkeler başta olmak üzere, hem kamu hem özel sektör kuruluşları tarafından yürütülmekte olduğu görülmektedir.

Japonya'nın 2020 yılına kadar yapılacak hidrojen enerjisi araştırmaları için 4 milyar Dolar kaynak ayırdığı belirtilmiştir. Bu ülkede yakıt hücreleri üzerinde çalışmayı hedefleyen çok sayıda özel şirket yanında, Tokyo Elektrik Kurumu 4,5-11 Mw'lık yakıt hücreleri projesi üzerinde çalışmalar yaptığı açıklanmıştır. Tokyo'da şehrin bazı kesimlerine elektrik veren iki hidrojen hücresinin faaliyete geçmesi yanında, elektrik santralleri teçhizatı üreten büyük firmaların, hidrojen yakıt hücreli elektrik santrallerine ilişkin Ar-Ge ve pazarlama faaliyetleri bulunmaktadır. Japonya önümüzdeki 20 yıl içinde hidrojenle çalışan otomobil sayısını 15 milyon adete yükseltmesi beklenmektedir.

ABD uzay programı kapsamında ise uzay aracı yakıtının temini, araçtaki elektrik ve ısıtma-soğutma sistemlerinin



çalıştırılması hidrojen enerjisi kullanıma dayalı olarak yürütülmektedir. Bu ülkede 2002 yılı itibarıyla yılda dokuz milyon ton hidrojen üretilmektedir. Kaliforniya eyaletindeki "Hidrojen Otoyolları" projesi çerçevesinde, halen 12 adet olan hidrojen dolun istasyonu sayısının 2005-2010 döneminde 200 adete çıkartılması çalışmalarının başlatıldığı açıklanmıştır.

Rusya, Çin, Hindistan, Japonya ve Avrupa ülkelerinde de hava taşımacılığı ve uzay araçlarında hidrojen kullanımı çalışmaları devam etmektedir. Örneğin Avrupa'da, Airbus şirketinin 2010 yılında tamamlanmak üzere, hidrojenle çalışan bir jet yolcu uçağı geliştirme planı bulunmaktadır.

Diğer Uluslararası Projeler

- UNIDO-Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi (Uhetm/Ichet) İstanbul'da kurularak, 2004 yılında çalışmalarına başlamıştır. Unido'nun Türkiye'de sürdürülen projeleri dışında, Çin, Güney Kore, Hindistan, Azerbaycan, Romanya, Libya, Portekiz, Arjantin, Fas ve Rusya'da 13 ayrı hidrojen projesi bulunmaktadır. Brezilya ve Mısır gibi bazı ülkelerle de proje görüşmeleri sürdürülmektedir.
- BM'ye bağlı bir kuruluş olan Cenevre'deki Uluslararası Standartlar Teşkilatı tarafından, İsviçre'li Gustov Grob'un girişimi ve teklifiyle, hidrojen enerjisi teknolojileri için uluslararası standartlar hazırlamak üzere "ISO/TC197 Komitesi" kurulmuştur. Komite çalışmaları sürdürülmektedir.
- Almanya-Suudi Arabistan 'HySolar' projesiyle güneş enerjisinden hidrojen üretimi.
- Avrupa-Kanada Quebec projesi; Avrupa'ya Kanada'dan likid hidrojen ithalatı planlanıyor. Bu proje kapsamında, hidrojenin deniz aşırı taşınması, depolanması ve şehir içi ulaşım araçları ile sanayide kullanımına ilişkin Ar-Ge çalışmaları yapılmaktadır.

• Kanada'da Tebek eyaletinde bol su enerjisi var. Burada hidrojen üretilip bir boru hattı vasıtasıyla Varşova'ya ve Amerika'ya hidrojen satılacaklar. Sıvı hidrojeni de Avrupa'ya ve Japonya'ya satılacaklar.

• Arjantin'de güneyde çok kuvvetli rüzgarlar var. Bunlardan istifade ederek hidrojen elde etmeyi planlıyorlar. Kuzeyde güneş enerjisi boru hattı projesi var ve sıvı hidrojeni Japonya'ya ve Amerika'ya satılacak.

• Dünyanın en büyük petrol şirketlerinden BP İngiltere'de kömürden ucuz hidrojen ve elektrik üretmek için çok büyük bir proje başlattı. Bu projede CO2 çıkışı yüzde 90 oranında azaltılıyor. Texaco da bunun gibi bir projeye Amerika'da başladı.

• Büyük otomobil firmalarının birçoğu hidrojen yakıtlı motorlu araçlar üzerindeki Ar-Ge çalışmalarını sürdürmektedir. Örneğin, ABD Enerji Bakanlığı beş yıllık bir proje için Hyundai, Chevron Texaco ve UTC Fuel Cells firmalarından oluşan konsorsiyumu destekleme kararı almıştır.

• Almanya, Avustralya, Kanada ve İtalya Deniz Kuvvetleri, denizaltılarda hidrojen yakıt hücresi denemeleri, devam eden projelerden bazılarıdır. (Ayvaz, 2006, Veziroğlu, 2004: 438-439, 461-462, 477-486)

3.2. Türkiye'de Hidrojen Enerjisi Teknolojileri

3.2.1. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Enerji Enstitüsü-Hidrojen Araştırmaları (-mam.gov.tr)

Gebze'deki TÜBİTAK MAM bünyesinde 2004 yılında kurulan Enerji Enstitüsü ülkemizde hidrojen teknolojileri araştırmalarının en yoğun olarak yapılan bir merkez konumundadır. Bu merkezdeki, örneğin, HY-Prostore projesi (2005-2008) gibi projelerin temel amacı; hidrojen üretimi, dönüşümü ve depolanmasına ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi olarak ifade edilmektedir. (Ersöz, 2006 ve Ersöz ve diğerleri, 2007:3)

Enerji Enstitüsü'nde yakıt pili teknolojileri, hidrojen teknolojileri ve araç teknolojileriyle ilgili birçok ileri araştırmalar yapılmaktadır. Bu projelerle, geleceğin ulaşım araçları, alternatif yakıtlar ve yakıt verimliliğinin artırılması gibi konularda hem sanayimize destek verilmesi, hem de Türk Silahlı Kuvvetleri'nin gelecekte ihtiyaç duyabileceği teknolojiler için alt yapı sağlanması amaçlanmaktadır.

Bir kısmı tamamlanan, bir kısmı halen sürdürülen hidrojen enerjisi ve yakıt piline ilişkin projelerden bazıları şunlardır:

- DPT - HyDePark projeleri, 2005-2008 (3 adet);
 - Hidrojen üretim, dönüşüm ve depolama teknolojilerinin geliştirilmesi,
 - Kömür ve biyokütle gazlaştırma, gaz temizleme ve entegre enerji üretimi,
 - PEM yakıt pili güç üretim kaynağının geliştirilerek evsel uygulamalarda kullanımı.
- Hibrid elektrikli araç ve teçhizatları üretimi,
- Sodyum borhidrüllü yakıt pili üretimi ve entegrasyonu, BOREN
- PEM (proton deşistiren Membran - ince tabaka) yakıt pili geliştirilmesi ve üretimi, Ford, Arçelik, Tofaş, Aygaz, Demirdöküm, TTGV.
- Temiz enerji üretimi için yakıt pili teknolojilerinin geliştirilmesi,
- İçten yanmalı motorlara yakıt ilavesinin etkilerinin analizi,



- Dizel motorlara yakıt ilavesinin etkilerinin analizi.
- AB 5. ve 6. Çerçeve Programları projeleri (9 adet)
- Uydular için Rejeneratif Yakıt Pili Sistemi, TARAL. (Ersöz, 2006)

3.2.2. Üniversiteler, Özel Sektör ve Araştırma Kurumlarının Çalışmaları

Ülkemizde hidrojen enerjisi teknolojileri çalışmaları içerisinde, özel sektör kuruluşlarının TÜBİTAK ile ortaklaşa veya kendi başlarına yürüttükleri projeler yanında, birçok üniversite tarafından sürdürülmekte olan araştırmalar da önemli bir yer tutmaktadır. Buna ilişkin bilgiler, bu konuda derlenmiş istatistik bir bilgiye dayanmamakla birlikte, Ichet'in her yıl düzenlediği konferanslarda sunulan bildirilerden bu sonucu görmek mümkün olmaktadır. Hidrojen enerjisi teknolojileri hakkında araştırma yapan üniversitelerimizin ağırlıklı olarak yakıt pili teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yaptıkları görülmektedir. Bu üniversitelerimizden bazıları şunlardır; Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Gazi Üniversitesi, Hacettepe Üniversitesi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü

Ülkemiz, dünya bor üretiminde %34 ile ikinci sıradadır. Bu sektördeki payımızın artması için bor ürünleriyle ilgili araştırmalar yapmak üzere 2003 yılında kurulan Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN) ile Unido-Ichet arasında imzalanmış bir Niyet Mektubu bulunmaktadır. Bu projeyle, iki kurum arasında hidrojen depolanmasında bor kullanımı konusunda bilimsel ve teknolojik işbirliği amaçlanmaktadır.

3.2.3. ICHET Projeleri

Kuruluş çalışmaları 21 Ekim 2003 tarihinde başlatılan, Unido'ya bağlı Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi-ICHET, eğitim, araştırma programları ve pilot projeler geliştirmek ve uygulamak üzere 2004 yılı Mayıs ayında İstanbul'da kurularak faaliyetlerine başlamıştır. Ichet'in halen ülkemizde gerçekleştirmeyi planladığı projeler, bu merkezin genel ağ sistemindeki (www.ichet.org) dosyalarından derlenerek aşağıda verilmiştir.

1. Biyoyakıt-Sorgun ve Şeker Pancarı Hidrojen Projesi

Proje Ortakları: Ichet, Pankobirlik, Erikoğlu Holding, Sanko Holding.

Bütçe: ABD\$755.390

Proje ile 4 hektar alanda yapılacak sorgun ve şeker pancarı hasadı sonucunda 16,8 ton hidrojen üretilmesi planlanmaktadır.

2. Deniz Taksisi Projesi

Proje Ortakları: ICHET, Labranda Denizcilik ve Denizcilik Malzemeleri İmalat ve Ticareti, Okted A.Ş., BOS, Teknoloji Holding.

Bütçe: ABD\$447.080 Ichet tarafından, hidrojen yakıtı ile çalışacak iki adet deniz motoru imalat siparişi verilmiştir.

3. Yakıt Pili ile Çalışan Forklift Projesi

Proje Ortakları: ICHET, Çukurova Holding, BOS A.Ş. (Birlşik Oksijen Sanayi)

Bütçe: ABD\$.202.380 Finansmanı kısmen Ichet tarafından karşılanacak olan bu proje, hidrojen depolama ve dağıtımını kapsayan 5 kW enerji gücünde entegre yakıt pili sistemine ilişkindir. Bu proje çalışmasıyla hidrojen, suyun elektrolizi yoluyla elde edilecek ve Forklift'ti çalıştıracak olan yakıt pilinde kullanılacaktır.

3.2.4. Ulusal Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Konseyi ve Komitesi'nin Oluşturulması

Hidrojen enerjisi teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulamalar belirli düzeydeki Ar-Ge çalışmalarının yapılmasını ve buna ilişkin yüksek düzeydeki maliyetlere katlanılmasını gerektirmektedir. (Dinçer, 2007) Ancak, arz ve talebe ilişkin piyasa koşullarının oluşmadığı bu alanda, yüksek düzeylerde oluşan Ar-Ge maliyetlerine katlanılması zorunluluğunun sektördeki gelişimi yavaşlatması kaçınılmaz olmaktadır. Çünkü, Yüksek Ar-Ge maliyetleri ancak yoğun bir talebin varlığı halinde, birim üretim maliyetlerdeki azalış yoluyla düşürülecek ve ekonomik ölçekte üretim söz konusu olacaktır. Buna karşın, talep artışı yüksek maliyetler nedeniyle sınırlı düzeyde kalmaktadır. Bu nedenle, sektördeki üretim, iletim, depolama ve enerjiye dönüşüm faaliyetlerinin, vergi muafiyeti, düşük faizli finansman gibi teşviklerle desteklenmesi ve özendirilmesi, sektör gelişimi açısından önemli bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu durumda, hidrojen enerjisi sisteminin oluşturulması sürecinde öncelikle, üretim, iletim ve depolama teknolojilerinin geliştirilmesini amaçlayan politikaların belirlenmesi ve uygulamaya konulması gerekecektir. Bu yöndeki politikalar hükümetlerin enerji ve ekonomi politikaları kapsamında ele alınarak belirlenebileceği gibi, ülkemizde bu sektörde faaliyet gösteren kuruluşları geniş ölçüde kapsayan bir "Konsey" oluşturulması ve izlenecek politikaların bu Konseyde belirlenerek değerlendirilmesi de mümkün olabilir.

Belirtilen ikinci seçenek çerçevesinde, birincisi Başbakanın başkanlığında olmak üzere, 'Ulusal Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Konseyi'nin toplanarak, sektörün gelişimine ilişkin sorunlar/engeller belirlenerek, bunların çözümüne ilişkin plan ve programların yapılmasıyla uygulamaya ilişkin politikaların en üst yönetim düzeyinde oluşturulması gerekmektedir. Konsey, TÜBİTAK, Enerji ve Tabii Kaynaklar, Çevre ve Orman, Sanayi ve Ticaret, Ulaştırma, Maliye Bakanlıkları yanında, Hazine, Devlet Planlama Teşkilatı ve Dış Ticaret Müsteşarlıkları, üniversiteler, özel sektör ve ilgili diğer kuruluşların temsilcilerinden oluşturulmalıdır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve TÜBİTAK eşbaşkanlığında her yıl toplanacak olan "konseyde"; hidrojen teknolojileri üretim, iletim, depolama ve uygulama süreçlerinden oluşan "hidrojen enerjisi sistemine" ilişkin gelişmeler ve ileriye dönük plan ve stratejiler düzenli olarak gözden geçirilerek değerlendirilmelidir. Bu alandaki yatırımlar ve Ar-Ge çalışmalarının belirlenecek kısa, orta ve uzun vadeli hedef ve planlara uygun olarak yapılması ile bu faaliyetlerin etkinliği

Hidrojen enerjisi sisteminde arz maliyetleri, büyük ölçüde; üretim-iletim-depolama-uygulama bütünlüğü sürecindeki teknolojilerin geliştirilmesine ilişkin Ar-Ge harcamaları tarafından belirlenmektedir.

ve hacminin “rekabetçi piyasa koşullarını geçerli kılacak şekilde artırılması” için gereken yasal ve idari düzenlemeler belirlenerek karara bağlanmalıdır.

Konsey oluşumunu takiben;

- Konsey kararlarının hayata geçirilmesini,
- Konsey’de karara bağlanmasına gerek görülen hususların tespiti ile bunların Konsey’e önerilmesini,
- Sektördeki uygulamaların etkinliğini sağlayacak yasal ve idari düzenlemelerin hayata geçirilmesi ve bunların düzenli olarak izlenmesini,
- Ülke düzeyindeki çalışmaların eşgüdümü ve etkinliğini

sağlamak amacıyla, konuyla ilgili tüm tarafların temsilcilerinin katılımıyla oluşan ve üye sayısı Konsey tarafından belirlenecek, “daimi olarak görev yapacak bir Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Geliştirme Komitesi” kurulması uygun olacaktır.

Komitenin de orta ve uzun vadede “Kurum” şeklinde teşkilatlanarak, sektör faaliyetlerin tek bir çatı altında düzenlenmesi, sektörün rekabet esaslarına uygun şekilde yönetilmesi açısından gerekli olacaktır.

4. Sonuç

Doğada bileşik elementler halinde bulunan hidrojen gazı, kullanımı nedeniyle tükenmeyen ve çevre kirliliğine yol açmayan yapısı, onun geleceğin enerji kaynağı olarak adlandırılmasına neden olmuştur. Hidrojenin enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi için öncelikle, bileşik olduğu

elementlerden ayrıştırılarak saf hale getirilmesi, yani hidrojenin üretilmesi gerekmektedir. Örneğin, sudan hidrojen elde edilmesi işleminde; suyun elektrolizine ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi, bunun için de gerekli Ar-Ge yatırımlarının yapılması zorunlu olacaktır. Üretilen hidrojenin, enerjinin yoğun olarak tüketildiği bölgelere iletilmesi, bu iş için de uygun boru hatlarının inşaatı veya mevcut doğal gaz boru hatlarının buna uygun hale getirilmesi ve gerekli basınçta sahip tankların imalatı ile mümkün olacaktır. Bu da taşımaya ilişkin teknolojilerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır.



HİDROJEN SÖZLÜĞÜ

PEM: Proton Exchange Membrane (kimyasal parçacıklardan/atomlardan oluşan ince levha) Proton: hidrojen atomunun çekirdeği, Atom çekirdeğinde her biri (+1) pozitif elektrik yükü taşıyan tanecik

Membrane: ince deri, perde

Atom: kimyasal parçacık, çeşitli molekül (birkaç türü birleştiğinde, birleşim halinde)

Modül: fizik, herhangi bir mekanik özelliği belirten katsayı

Molekül: Element veya bileşikler oluşturulan ve onların özgül niteliklerini gösteren en küçük birim, madde.

Elektrot: Bir elektrolitin içine daldırılan iki iletken çubuktan her biri, bunların artısına anot, eksisine katot denir

Eloktrolit: elektroliz işlemiyle çözülen madde.

Eoktroliz: Bir elektrik akımının etkisiyle ortaya çıkan kimyasal ayrışma.

Silisyum: Atom sayısı 14, atom ağırlığı 28,09, yoğunluğu 2,34 olan, 1420 °C’de eriyen element. (oksijenden sonra en çok bulunan element, kimya)

Sülfür: kükürdün başka bir elementle yaptığı bileşik (kimya)

Kükürt: Atom sayısı 16, atom ağırlığı 32,06 olan, 119 °C’de eriyen ve 444 °C’de kaynayan saf veya bileşik sarı renkli element, sülf (S)

Element: kimyasal çözümlenmeyle ayrıştırılamayan veya bileşim yoluyla elde edilemeyen madde.

Kimya: Maddelerin temel yapılarını, birleşimlerini, dönüşümlerini, çözümlenme, birleşim ve üretim yöntemlerini inceleyen bilim.

Quartz Mineral Kuvars: Billurlaşmış silisin doğada çok yaygın bir türü.

NaBH4: Sodyumborhidrür.

MgH2: Magnezyum hidrür (hydride)

NaH: Sodyum hidrür

CaH2: Kalsiyum hidrür

B2O3: Anhydrous borik asit (hydrous:sulu)

Na2B4O7: Anhydrous boraks

Na2CO3: Sodyum karbonat

SiO2: Silikon (silisyum) dioksit

NaBO2: Sodyum metaborate

Vapor(ous): gaz (buhar)

Gaseous: gaz, gaz gibi, gaz halindeki

Depolama konusunda da benzer bir sürece gereksinim bulunduğu görülmektedir. Buna göre depolama işleminde günümüzde kullanılan doğal gaz depolama yöntemleri de geçerli olmakla birlikte, özellikle yakıt pillerinin sabit tesisler ve/veya taşıma araç, gereçlerde kullanımı nedeniyle, yakıt pili teknolojilerinin düşük maliyetle üretime imkan verecek düzeyde geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Sıvı haldeki hidrojenin depolanmasına ilişkin teknolojilerin de ayrıca geliştirilmesi gerekmektedir.

Hidrojen enerjisi sisteminde arz maliyetleri, büyük ölçüde; üretim-iletim-depolama-uygulama bütünlüğü sürecindeki teknolojilerin geliştirilmesine ilişkin Ar-Ge harcamaları tarafından belirlenmektedir. Talep yönünden sektör gelişimine bakıldığında; başlangıç dönemindeki arza ilişkin yüksek maliyetler, tüketici talebinin artışıdaki en büyük engeli oluşturmaktadır. Maliyet azalışını sağlayacak yoğun tüketim ise kısa vadede oluşmayacağından, çok sayıda üretici ve kitle tüketim talebi koşullarının bir arada olduğu serbest piyasa koşulları oluşuma kadar belirli bir sürenin geçmesi kaçınılmaz olacaktır. Bu dönemde, sektörün gelişiminin istenilen düzeyde gerçekleşmesini teminen, ülke ve ekonomi yönetimleri tarafından gerekli politikaların oluşturulması ve uygulanması önem taşıyacaktır. Bu kapsamda Dünya hidrojen çalışmalarında sayılı bilim adamları arasında kabul edilen ve Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı (UNIDO) bünyesinde İstanbul'da kurulan, ne yazık ki daha sonra faaliyetleri sonlandırılan Uluslararası Hidrojen Teknolojileri Merkezi'nin ilk Başkanı olan Prof. Dr. Nejat Veziroğlu'nu saygıyla anıyorum.

Kaynakça

- Alniak, Oktay, Yüksel Palacı ve İbrahim Güneş (2007), "New Materials For High Pressurized Hydrogen Storage", IHEC 2007 İstanbul, 13-15 July.
- Ay, M., A. Midilli ve İ. Dinçer (2006), "Exergetic performance analysis of a PEM fuel cell"
International Journal of Energy Research, 2006, 30:307-321.
- Ayvaz, Zafer (2006), "21. Yüzyılın Yakıtı Hidrojen İstanbul da Mercek Altında", Doğa, Çevre ve Kültür Dergisi /EKOLOJİ Magazin ..ekolojimagazin.com, Sayı : 9. sayı (Ocak-Mart 2006) Konu : Enerji
- Bockirs, John O'M., T.Nejat Veziroğlu ve Debbi L. Smith (2002), "Geleceğin Enerjisi Güneş ve Hidrojen", Kaynak Yayınları İstanbul, Şubat.
- Çelik, Arzum E.(2006), "Hidrojen Ekonomisine Doğru", İşletme ve Finans, Aralık.
- Dinçer, İbrahim (2007), "Environmental and sustainability aspects of hydrogen and fuel cell systems", International Journal of Energy Research, 2007, 31:29-55.
- Dogan, B., B. Sakintuna ve Z.X. Guo (2007), "Design and Assessment of Solid Hydrogen Storage Tank for Transport Applications", IHEC 2007 İstanbul, 13-15 July.
- Eroğlu, Fazlı (2007), "Hydrogen Generated from Water as Additional Fuel in Internal Combustion Engines without Being Stored", IHEC 2007 İstanbul, 13-15 July.
- Ersöz, Atilla (2006), "TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü Hidrojen Teknolojileri Aktiviteleri", Hidrojen Eğitim Semineri, Bahçeşehir Üniversitesi, Beşiktaş-İstanbul, 21.5.2006, www.ichet.org, Kasım, 2007.
- Ersöz, Atilla(2007), "Steady State Simulation of A Reforming Process with the Lower Molecular Hydrocarbon Fuels for

Hydrogen Production", TÜBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsü, Gebze/Kocaeli, IHEC 2007 İstanbul, 13-15 July.

- Ersöz, Atilla, Alper Sarioğlan, Nilüfer İlhan, Göktaş Nezihi Özyönüm, Mete Çubukçu, Aslı Sayar Kaytaç, Cem Kaymaz, Alptekin Yağmur (2007), "HYDEPARK, A Standalone Renewable Hydrogen Demonstration Park in Turkey", TÜBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsü, Gebze/Kocaeli, IHEC 2007 İstanbul, 13-15 July.
- Ewald, Rolf (2000), Deutscher Wasserstoff-Verband, "Hydrogen in Germany", Hyforum 2000, 11-15 September 2000.
- Gaşan, Hakan (2007), "Hidrojenin Depolanması ve Taşınması", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Metalurji Enstitüsü, www.ichet.org, Kasım, 2007.
- Global Enerji Dergisi, Haziran 2006/6 Sayı : 22.
- Güldal, Nafi.Ö., H. Eren Figen ve Sema Z. Baykara (2007), "Catalytic Hydrolysis of Alkaline NaBH4 Solutions for Hydrogen Generation, IHEC 2007 İstanbul, 13-15 July.
- İTÜ-İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü (2007), "Yakıt Hücreleri Teknolojilerinde Son Gelişmeler", www.ichet.org, Kasım, 2007.
- Kıyıkım, Cenk Cumhuri, Serhat Gençoğlu ve Elife Ünal (2007), "The Role of Defense Industry in Hydrogen Technologies Evolution", IHEC 2007 İstanbul, 13-15 July.
- Muradov, Nazim. Z. ve T. Nejat Veziroğlu (2007), "Fossil Hydrogen without CO2 Emission: a Vision of Hydrogen-Carbon Economy", IHEC 2007 İstanbul, 13-15 July.
- Polat, Cihat ve Nurcan Kılınc (2007), "Trends in the Market Growth for Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC): A Review of the Market Dynamics", IHEC 2007 İstanbul, 13-15 July.
- Shahrokhi, Firouz, Ahad S. Nasab and Rocco Guarnaccia (2007), "Building Hydrogen Economy Based on Sand and Water", IHEC 2007 İstanbul, 13-15 July.
- Şenel, Fikret, Emel Billur ve Oktay Alniak (2007), "Development of Hydrogen Tanks", IHEC 2007 İstanbul, 13-15 July
- USDOE (2002)-United States Department of Energy, "National Hydrogen Energy Roadmap", From the Workshop, Washington, DC, April 2-3, 2002, November 2002.
- Veziroğlu, Nejat T.(2004), "Dünya Barışı İçin Türkiye, Dünya Barışı İçin Hidrojen", Kaynak Yayınları İstanbul, Ekim.
- International Centre for Hydrogen Technologies-IC-HET(2007), http://www.ichet.org (Eylül, 2007)
- TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (2007), http://www.mam.gov.tr (Eylül 2007)
- Gazi Üniversitesi Temiz Enerji Araştırmaları ve Uygulama Merkezi-TEMENAR (2007), http://www.temenar.gazi.edu.tr (Ekim, 2007)
- International association for hydrogen energy-iah2-(2007), http://www.iahe.org (Ekim 2007)
- Deutscher Wasserstoff und Brennstoffzellen Verband-H2DWV (2007), http://www.dww-info.de(Ekim 2007)
- Technology Transition Corporation (2007), http://www.ttcorp.com/nha(Ekim 2007)
- CleanAir Council (2007), http://www.cleanair.org (Eylül 2007)
- HEC-Hydrogen Energy Centre (2007), http://www.h2eco.org (Eylül 2007)
- Fuel Cells The Online Fuel Cell Information Resource (2007), http://www.fuelcells.org (Eylül 2007)
- USA Energy Department (2007), http://www.eren.doe.gov (Ekim, 2007) ■