

HİDROJEN ENERJİSİ: DEPOLANMASI, GÜVENLİĞİ, ÇEVRESEL ETKİSİ ve DÜNYADAKİ DURUMU

Ümran TEZCAN ÜN

Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

21. yüzyılın enerji taşıyıcısı olarak nitelendirilen hidrojen enerjisi hakkında daha çok bilgi edinmek üzere bu çalışma yapılmıştır. Hidrojenin depolanma ve taşınma teknolojileri incelenmiş, hidrojen kullanımında güvenlik ele alınmıştır. Yakıt olarak hidrojenin kullanılmasının çevresel açıdan yararları ve atmosferdeki CO₂ derişiminde oluşacak azalmalar verilmiştir. Ayrıca, dünyadaki hidrojen enerjisi kullanımı ve çeşitli ülkelerdeki hidrojen enerji programları incelenmiştir. Sonuçta çeşitli tekniklerle depolanabilen, kolayca ve güvenli olarak her yere taşınabilen, sanayide, evlerde ve taşıtlarda kullanılabilen ve kullanımı sonucu sadece su oluşan hidrojen, önümüzdeki çağın enerji taşıyıcısı olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar sözcükler : Hidrojen, depolanması, güvenliği, çevresel etkisi

The aim of this article is to inform the reader of hydrogen energy described as the energy carrier of 21 century. Technologies of hydrogen storage, transport and safety in the use of hydrogen were investigated. Environmental benefits of using hydrogen as a fuel and reduction in the CO₂ concentration in the atmosphere were presented. Furthermore, hydrogen energy status and hydrogen energy programs around the world were mentioned.

Keywords : Hydrogen, storage, safety, environmental effects

GİRİŞ

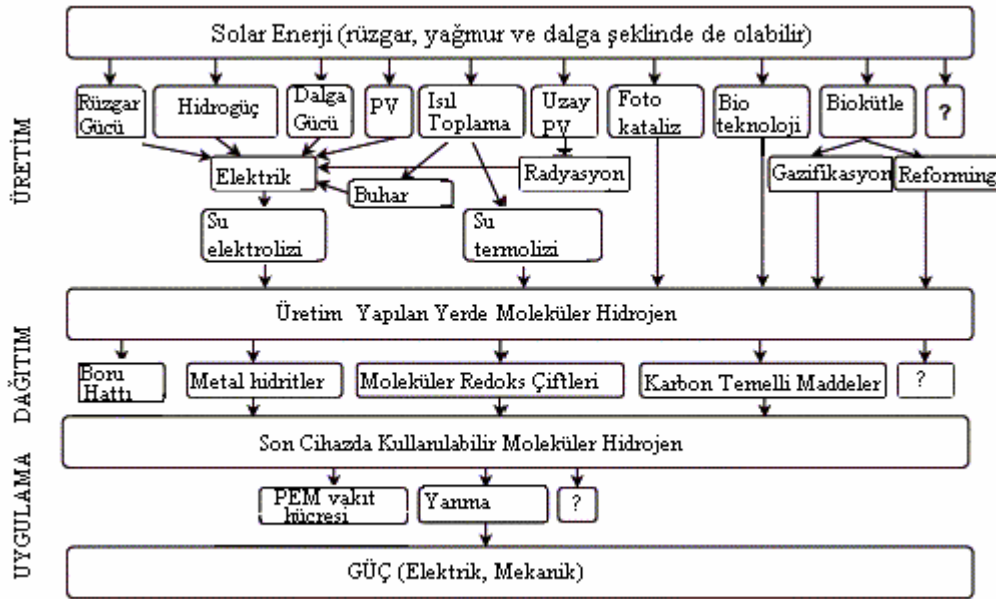
Birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesi ile elde edilen ikincil enerjilere, "enerji taşıyıcısı" da denir. Hidrojen 21. yüzyıla damgasını vuracak bir enerji taşıyıcısıdır. Kolayca ve güvenli olarak her yere taşınabilen, taşınmasında çok az enerji kaybı olan, her yerde (sanayide, evlerde ve taşıtlarda) kullanılabilen, tükenmez, temiz, kolaylıkla ısı, elektrik ve mekanik enerjiye dönüşebilen, karbon içermeyen, ekonomik ve hafif olan hidrojenin yalnız 21. yüzyılın değil, güneş ömrü olarak kestirilen gelecek 5 milyar yılın da yakıtı olacağı söylenebilir [1].

Hidrojen bir doğal yakıt olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak su, fosil yakıtlar ve

biyokütle gibi değişik hammaddelerden üretilebilen sentetik bir yakıttır. Üretilmesi aşamasında buhar iyileştirme, atık gazların saflaştırılması, elektroliz, fotosüreçler, termokimyasal süreçler, radyoliz gibi alternatif birçok hidrojen üretim teknolojileri mevcuttur (Bkz. Şekil 1) [2]. Üretilen hidrojen boru hatları veya tankerler ile büyük mesafelere taşınabilir (birçok durumda elektrikten daha ekonomik ve verimlidir) [3,4].

Hidrojen diğer yakıtlara göre pahalı olmasına rağmen uzun dönemde teknolojik ilerlemelerle enerji kullanımında önemli rol oynayacaktır. Pazarın bölgesine ve boyutuna bağlı olarak hidrojenin kg başına maliyeti 2,35-7\$ arasındadır. Ancak bu maliyet göreceli olup, hidrojen çağına adım atılmakla hızlı düşüşü beklenmektedir. Çevresel zararlar ve yüksek kullanma verimi dikkate alındığında solar hidrojen enerji sistemleri en düşük etkin maliyete sahiptir.

Renksiz, kokusuz bir gaz olan hidrojen 2,016 moleküler ağırlığı ile en hafif elementtir. Yoğunluğu havanın yoğunluğundan 14 kat küçüktür (standart sıcaklık ve basınçta 0,08376 kg/m³tür). Hidrojen 20,3 K'in (atmosferik basınçta) altındaki sıcaklıklarda sıvı şeklindedir. Hidrojen birim kütle başına en yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir (Isıl değeri 141,9 MJ/kg'dır ve gazolinin ısıl değerinden 3 kat fazladır) [5].



Şekil 1. Hidrojen Üretim Zinciri[6].

HİDROJENİN DEPOLANMASI

Dağıtım

Sisteminde

Depolama

Hidrojen dağıtım sisteminde depolanması gaz veya sıvı şekilde olabilir. Gaz hidrojen depolanması genellikle doğal gazın tükendiği yer altı mağaralarında yapılmaktadır. Hidrojenin diğer gazlara göre sızma özelliği daha çok olmasına karşın bu teknik ile depolamada sızıntı problem oluşturmamaktadır. Bu teknik ile depolamaya örnek şehir gazının (hidrojen içeren karışım)

mağarada başarı ile depolandığı Fransa verilebilir. Ayrıca, hidrojenden daha fazla sızma eğilimli olan helyum gazı Teksas, Amarillo yakınında tükenmiş doğal gaz mağarasında depolanmaktadır. Bu teknikte gazın mağara içerisine ve sonra da mağaradan dışarıya pompalanması için kullanılan enerji önem taşımaktadır. Bu tip depolama alternatif yüksek basınçlı tanklarda depolamadır [2].

Hidrojenin sıvı olarak depolanmasında, sıvı hidrojen taşınım tanklarına benzer tanklar kullanılır. Örneğin Kennedy uzay Merkezinde fırlatma alanının yanında 3217m³ hacminde küre kullanılır ve bu tanktan uzay mekiğine 38m³/dk hıza kadar aktarım olabilmektedir. Sıvılaştırma tesislerinde ise depolama genellikle 1514m³ hacminde vakum-izole küresel tankta yapılır [2].

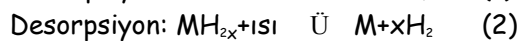
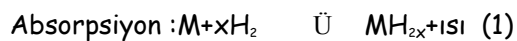
Son Kullanımda Hidrojenin Depolanması

Araçlarda hidrojen kullanımında başlıca engel hidrojenin depolanmasıdır. Hidrojen gaz formunda oda sıcaklığı ve basıncında aynı eşdeğer enerji miktarına sahip bir gazdan 3000 kat daha fazla yer kaplar. Bu nedenle de hidrojenin araçta kullanımı için sıkıştırma, sıvılaştırma veya diğer teknikler gereklidir. Dört ana teknik mevcuttur. Bunlar sıkıştırılmış gaz, karyojenik sıvı, metal hidrit ve karbon adsorpsiyonudur. Kısa dönemde en uygulanabilir olanları ilk ikisidir. Metal hidrit yöntemi gelişmiş bir yöntem olsa da rekabet edebilir olması için daha fazla araştırma gereklidir. Karbon adsorpsiyonu ise henüz olgunlaşmış bir teknik değildir, ancak araştırma-geliştirme çalışmalarının sonunda hedefler gerçekleştirilirse uygulanabilir yöntem olarak görülmektedir. Hidrojenin son kullanımda depolama teknikleri her bir uygulama için farklıdır [2].

Sıkıştırılmış Gaz Olarak Hidrojenin Depolanması: Bu depolama oda sıcaklığında yüksek basınca dayanıklı tankta yapılmaktadır. Sıkıştırılmış gaz depolamada tankın ağırlığına dolayısıyla tankın tipine bağlı olarak ağırlıkça %1-7 hidrojen depolanmaktadır. Daha hafif, dayanıklı ve ağırlıkça daha fazla hidrojen depolayabilen tanklar daha pahalıdır. Doldurma istasyonunda hidrojen gazının sıkıştırılması için yakıtın enerji içeriğinin %20'si kadarı harcanır [2].

Karyojenik (Dondurulmuş) Sıvı Depolama: Bu teknikte hidrojen atmosfer basıncında, 20 K'de oldukça iyi izole edilmiş tankta depolanmaktadır. Hidrojen sıvı şekilde olduğu için, eşdeğer ağırlıktaki gazolinden 3 kat fazla enerji içerir ve eşdeğer enerji içerdiği durumda da 2,7 kat fazla hacim gerektirir. Bu teknik tank ve izolasyon dahil ağırlıkça %16 hidrojen depolar. Ayrıca, sıvılaştırma yakıtın enerji içeriğinin %40'ı kadarını gerektirir. Diğer bir dezavantaj izolasyona rağmen tanka ısının sızmasıdır. Bu sızma sonucunda hidrojen kaynar. Ancak basınçlı tank kullanılarak bu problem çözülebilir ama bu da ağırlığı ve boyutu artırır [2].

Metal Hidrit Sistemi İle Depolama: Bu teknikte hidrojen granüler metallerin atomları arasındaki boşluğa depolanır. Bu amaçla çeşitli metaller kullanılmaktadır. Kullanım sırasında da ısıtma ile hidrojen salınır [3]. Metal hidrit sistemleri güvenilir ve az yer kaplar, ancak ağırdır ve pahalıdır. Araştırma aşamasında olan uygulamalarda ağırlıkça %7 hidrojen depolanabilmektedir. Sıkıştırılmış gaz veya karyojenik sıvı depolamanın aksine metal hidrit yeniden doldurulmada çok az enerji gerektirir. Ancak yakıtın dışarıya salınımı için enerji harcanır. Düşük sıcaklıkta metal hidrit depolanmasında bu enerji yakıt hücresinin veya motorun atık ısısından sağlanabilir. Yüksek sıcaklık metal hidrit depolaması daha ucuz olmasına rağmen, aracın enerji tüketiminin yarısı metalden hidrojeni açığa çıkarmak için harcanır [2]. Tepkimeler



şeklinindedir. Burada M, metal, element veya metal alaşımı temsil etmektedir [3].

Karbon Adsorpsiyon Tekniği: Bu teknik hidrojeni basınç altında oldukça gözenekli süperaktif grafit yüzeyine depolar. Bazı uygulamalarda soğuk ortam bazılarında oda sıcaklığı gereklidir. Mevcut sistem ağırlıkça %4 hidrojen depolar. Bu verimin %8'e çıkması beklenmektedir. Bu teknik sıkıştırılmış gaz depolamaya benzer, ancak burada basınçlandırılmış tank, grafit ile doldurulur. Grafitler ek ağırlık getirmesine rağmen aynı basınçta ve tank boyutunda daha fazla hidrojen depolanabilmektedir [2].

Cam Mikrokürelerde Depolama: Küçük, içi boş, çapları 25 ile 500 mm arasında değişen ve duvar kalınlıkları ~1mm olan cam küreler kullanılır. Bu mikroküreler 200-400°C'de hidrojen gazı ile doldurulur. Yüksek sıcaklıkta cam duvarlar geçirgenleşir ve gaz kürelerin iğine dolar. Cam oda sıcaklığına soğutulduğunda, hidrojen kürelerin iğine hapsolür. Kullanılacağı zaman kürelerin ısıtılması ile hidrojen tekrar açığa çıkar [2].

Yerinde Kısmi Oksidasyon: Gazolin veya dizel gibi geleneksel yakıt kullanılan kısmi oksidasyon süreci doğrudan %30 hidrojen gazı ve %20 karbonmonoksit verir. Daha sonra karbonmonoksit su buharı ile tepkimeye girerek yakıt hücresinde kullanıma hazır hidrojen ve karbondioksit gazı oluşturur [2].

Diğer Teknikler: Araştırılan diğer teknikler gelişme aşamasındadır. Toz demir ve suyun kullanıldığı bir teknikte yüksek sıcaklıkta pas ve hidrojen üretilmektedir. Metal hidrit tekniğine benzer şekilde metal yerine sıvı hidrokarbon veya diğer kimyasalların kullanıldığı teknikte mevcuttur [2].

HİDROJEN KULLANIMINDA GÜVENLİK

Hidrojen diğer yakıtlardan farklı güvenlik donanımı ve prosedürü gerektirse de onlardan daha fazla tehlikeli değildir. Dünyada hidrojen zaten petrol ve kimya endüstrisinde veya başka yerlerde güvenle kullanılmaktadır. Hidrojen güvenlik sıralamasında propan ve metanın (doğal gaz) arasındadır [2].

Hidrojenin fiziksel özelliklerinden dolayı güvenlik karakteri diğer yakıtlardan oldukça farklıdır. Hidrojen düşük yoğunluklu olduğundan bir kaçak anında yer seviyesinde birikinti halinde kalmayarak atmosferde yükselir ve dağılır. Bu durumda iyi havalandırma uygulanarak güvenlik artırılabilir. Düşük yoğunluklu olması demek aynı zamanda belirli bir hacimde patlayan diğer yakıtlardan daha az enerji verecek demektir [2]. Ayrıca hidrojen diğer yakıtlardan daha hızlı yayılır, böylece tehlike seviyesi de azalmış olur. Hidrojen gazolin, propan veya doğal gazdan daha hafiftir [5].

Gazolin veya doğal gaz ile karşılaştırıldığında hidrojenin patlama yapması için havada daha yüksek derişimde bulunması gerekir [2]. Patlama için yakıt/hava oranı hidrojen için %13-18'dir ve bu oran doğal gazın sahip olduğu orandan 2 kat, gazolinin sahip olduğundan 12 kat büyüktür. Yakıtlar içerisinde hidrojen birim depolanan enerji başına en düşük patlama enerjisine sahiptir. Belirli bir hacimdeki hidrojen aynı hacimdeki gazolin buharından 22 kat daha az patlama enerjisine sahiptir [5].

Hidrojenin yanması için havada hacimce %4-%75 arasında olması gerekir. Bu aralık diğer yakıtlarda düşüktür. Örneğin doğal gaz için %5,3-15, propan için %2,1-10 ve gazolin için %1-7,8'dir. Herhangi bir kaçak anında hidrojenin en düşük tutuşma sınırı gazolininkinden 4 kat, propaninkinden 1,9 kat ve doğal gazinkinden de çok az büyüktür [4,5]. Böylece hidrojenin geniş bir derişim aralığında düşük tutuşma sıcaklığı ve tutuşturuculuğu özellikle garaş gibi kapalı mekanlarda yangın tehlikesini azaltır. Hidrojen temiz ve kokusuz olduğu için sızıntısı gazolin veya diğer yakıtlara göre daha az fark edilecektir. Hatta yanan hidrojenin alevi görülmez. Ancak sızıntı belirleme teknikleri vardır ve öncelikle de araştırılmaktadır. Ayrıca doğal gaza uygulandığı gibi kokulu bir maddenin veya renklendiricinin veya her ikisinin hidrojene eklenmesi yapılabilir. Ancak yapılacak herhangi bir ekleme saf hidrojenin çevresel açıdan temizliğini bozar [2].

HİDROJEN ENERJİSİNİN ÇEVRESEL YÖNÜ

Hidrojen kullanımı çok temiz bir yakıttır. Hidrojenin yanması veya yakıt hücresinde tüketilmesi sonucu son ürün olarak sadece su üretilir. Yanma yüksek sıcaklıkta olursa havadaki azot ve oksijenden NO_x oluşabilir. Ancak bu sorun diğer yakıtlarla aynıdır ve kontrol edilebilir. Diğer yakıtların aksine hidrojen elementlerden üretilen kirletici içermez. Bu nedenle de SO_2 , CO , CO_2 , uçucu organik kimyasallar oluşmaz [2]. Tablo 1'de farklı enerji sistemlerinden üretilen kirleticilerin miktarları görölmektedir.

Tablo 1. Enerji Sistemlerinde Üretilen Kirletici Miktarları [4,7].

Kirletici	Fosil Yakıt Sistemi (kg/GJ)	Kömür/Sentetik Fosil Sistem (kg/GJ)	Solar-Hidrojen Sistemi (kg/GJ)
CO_2	72,40	100,00	0
CO	0,80	0,65	0
SO_2	0,38	0,50	0
NO_x	0,34	0,32	0,10
HC	0,20	0,12	0
Partikül Madde	0,09	0,14	0

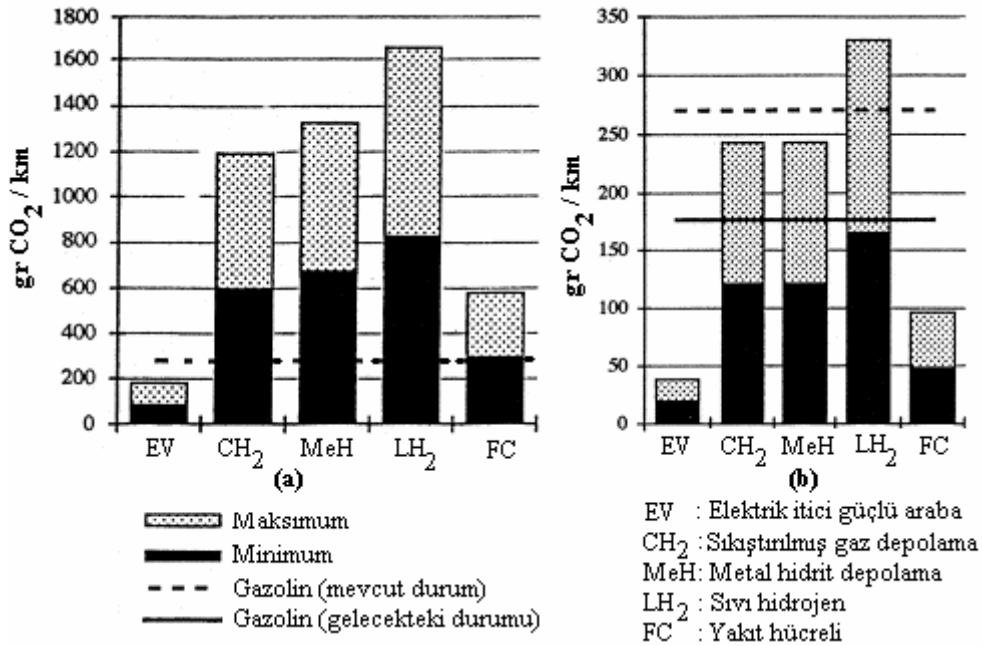
Hidrojenin fosil yakıt kullanarak buhar iyileştirme ile üretilirse oluşacak karbondioksit miktarı fosil yakıt direkt yakıldığında oluşacak emisyon miktarından yüksektir. Ayrıca buhar iyileştirmede kükürt gibi fosil yakıtın içerdiği safsızlıklarda kirletici emisyonu neden olmaktadır. Elektroliz yöntemi kullanıldığında ise elektroliz işleminin sürebilmesi için gerekli elektriğin ne şekilde temin edildiği önem taşımaktadır. Hidrojenin biyokütleden, solar enerjiden veya diğer yenilenebilir kaynaklardan üretimi emisyon miktarını azaltır [2].

Uçaklarda hidrojenin kullanımı sonucunda oluşacak su buharı emisyonu tehlikeli olabilir. Ortalama yükseklik ve enleme bağlı olarak buz bulutları oluşur ve bu bulutlarda sera etkisine ve ozon tüketimine neden olurlar. NO_x oluşumu ise alev sıcaklığına ve zamana bağlıdır. Hidrojen geniş bir

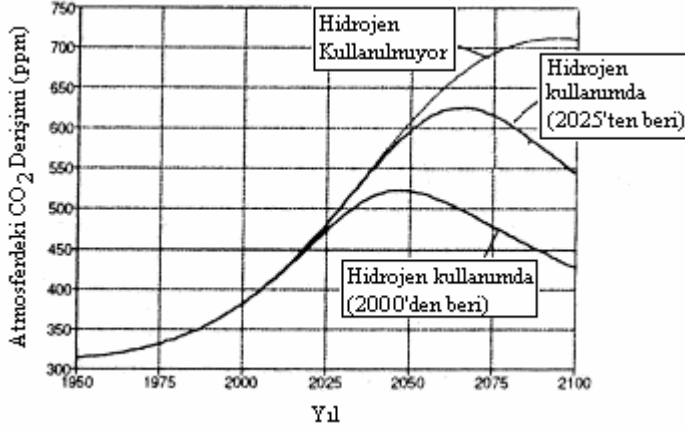
aralıkta alev alma sıcaklığına sahip olduğundan NO_x emisyonu motor tasarımları değiştirilerek azaltılabilir.

Dünyada deniz ve nehirlerden su buharlaşması yılda yaklaşık $5.10^{14}m^3$ 'tür. Eğer günümüzde insanlığın toplam enerji tüketimi olan 11TW hidrojen ile sağlanırsa yıllık su buharlaşması yaklaşık $2.5.10^{10}m^3$ olur. Bu değer doğal buharlaşmanın 1/20 000'idir [8].

Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri düşünüldüğünde, fosil yakıt yerine hidrojen kullanılması ile fiziksel sağlık şartlarında da iyileşmeler olacaktır. Enerji üretimi sırasında CO₂ emisyonunun azalması veya atmosferdeki CO₂ derişiminin düşürülmesi sağlanabilir. Atmosferdeki CO₂ derişiminin düşürülmesi teknik ve ekonomik olarak solar fotosentez ile sağlanabilir. Şekil 2'de günümüzde ve 2030 yılında elektrik motorlu ve hidrojen motorlu araçların spesifik CO₂ emisyonları gösterilmektedir. Atmosferde CO₂ derişimi 2050 yılında 520 ppm'e ulaşacaktır. Ancak hidrojen kullanılırsa bu senaryo değişebilecektir. Ancak Şekil 3'ten de görüleceği gibi solar hidrojene geçiş 25 yıl gecikirse karbon dioksit 2070 yılında yaklaşık 620ppm'e kadar yükselir. Eğer hidrojene geçiş 2050 yılında olursa bu geçişin hiç pozitif etkisi olmaz [8].



Şekil 2. Elektrik ve Hidrojen Motorlu Araçlarının Spesifik CO₂ Emisyonları a) 1996 yılı için, b) 2030 yılı için [8].



Şekil 3. Atmosferik CO₂ Derişiminin Hidrojene Geçiş ile Değişimi [8].

HİDROJEN ENERJİSİNİN DÜNYADAKİ DURUMU

Dünyada çeşitli ülkelerde hidrojen enerji araştırmaları yapılmaktadır. Brezilya ve Güney Amerika'da en büyük hidrojen tesisi Haipu'dur. Burada elektrolitik hidrojen üretilir. Üretilen hidrojen gazdır. Japonya'da WE-NET (World Energy Network)projesi ile Tokyo metropolitan bölgesinde hidrojen kullanımı ile oluşacak azot oksit emisyonundaki azalma potansiyeli araştırılmaktadır [8,9]. WE-NET Programı Japonya'nın Uluslar arası Ticaret ve Endüstri Bakanlığınca desteklenmektedir. Bu programda Japonya hidrojen enerji sisteminde ilerleme sağlamak üzere 2020 yılına kadar 4 milyar\$ harcamayı planlamaktadır. Gelecekte de Pasifik denizinin ekvator bölgesinde yapay bir adada solar radyasyon kullanarak deniz suyundan elektrolizle hidrojen üretmeyi planlamaktadırlar.

Almanya da ise Neurenburg yakınlarında mini bir hidrojen enerji sisteminin kurulduğu bir program yürütülmektedir. Solar-Wasserstoff-Bayern burada solar hidrojen tesisi, depolama sistemi ve hidrojen kullanma sistemleri kurmuştur. Almanya ayrıca Suudi Arabistan ile ortak yürüttüğü Hysolar programı ile Suudi Arabistan'ın Riyad yakınında solar hidrojen üretim tesisi kurulması planlanmaktadır [10]. Suudi Arabistan ayrıca solar hidrojeni sürekli ihraç etmeyi planlamaktadır. Diğer uluslararası başarılı program Avrupa ve Kanada arasındaki Euro-Quebec'tir [11]. Bu programda nispeten ucuz olan hidrojen üretilerek Kanada'dan Avrupa'ya ithal edilecek sıvı hidrojenin deniz aşırı taşıması, depolanması ve kullanım alanları araştırılmaktadır. İzlanda da ise hükümet, üniversiteler, taşıma şirketleri, fabrikalar ve çok uluslu araba ve petrol şirketleri konsorsiyum oluşturmuş ve 2030 yılına kadar İzlanda'nın tamamen hidrojen ekonomisine geçmesini planlamışlardır [12,13]. Bunlardan başka INTA solar hidrojen tesisi (İspanya), SAPHYS küçük ölçekli fotovoltaik-hidrojen enerji sistemi(İtalya, Almanya, Norveç) ve PHOEBUS pilot tesisi(Almanya) gibi birçok proje yürütülmektedir [14].

Son yıllarda hidrojenin kara taşıtlarında kullanımına yönelik olarak hidrojen yakıtını kullanan araçlar gösterime girmiştir. Yolcu araçlarında BMW (LH₂), Renault (LH₂) ve ZEVCO(CGH₂); kamyonet tipi araçlarda Daimler-Benz (CGH₂), Hamburg Hidrojen Derneği (CGH₂), PSA (CGH₂) ve ZEVCO (CGH₂) ve şehir otobüslerinde ise Ansaldo (LH₂), Daimler-Benz (CGH₂), Hidrojen sistemleri (LH₂), MAN (LH₂ ve CGH₂), Neoplan (CGH₂) firmaları hidrojen ile çalışan araçlarını gösterime sokmuşlardır [8]. Bunlara ek olarak araçların %65'inin skoter (küçük motosiklet) olduğu

Tayvan'da yakıt hücreli skoter kullanımı desteklenmekte ve ZES (sıfır emisyonlu skoter) Asya Pasifik Yakıt Hücre Teknolojisi Ltd. ve Kwang-Yang Motor Co. işbirliği ile üretilmektedir [15].

Petrol şirketlerinin enerji ortamı olarak hidrojene bakışları kuşku dolu olsa da son yıllarda bu bakış açısı değişmektedir. Bu şirketlerden Londra'da Royal Dutch Shell, Shell Hidrojen adını verdikleri şubelerine hidrojen konusunda araştırma yapmaları için 500M\$ yatırım yapmıştır. BP'de benzer bir girişimde bulunmuştur [16].

SONUÇ

Bitkiler, su, kömür veya doğalgaz gibi kaynaklardan elde edilen hidrojen, enerji kaynağından çok bir enerji taşıyıcısı olarak düşünülmektedir. Hidrojen kolayca ve güvenli olarak her yere taşınabilen, taşınması sırasında az enerji kaybı olan, sanayide, evlerde ve taşıtlarda kullanılabilen bir yakıttır. Bu kullanımlarda hidrojen başlıca sıkıştırılmış gaz, karyojenik sıvı, metal hidrit ve karbon adsorpsiyon gibi tekniklerle depolanabilmektedir. Hidrojen enerjisi alanında çeşitli ülkelerin işbirliği sonucu hidrojenin üretim, dağıtım ve kullanım teknikleri üzerinde yoğunlaşmış ve uluslararası programlar başlatılmıştır. Güvenlik sıralamasında propan ve metanın arasında olan hidrojenin güvenlik karakteri diğer yakıtlardan oldukça farklıdır. Ayrıca hidrojen diğer yakıtlara göre pahalıdır ancak hidrojen çağına adım atılmakla maliyetin hızla düşeceği beklenmektedir. Hidrojen kullanımı sonucunda sadece su olduğundan hidrojen (özellikle solar hidrojen) kullanımı ile çevresel ve iklimsel kalite iyileşecektir. Ancak bu iyileşmelerin olabilmesi için hidrojen kullanımına bir an önce geçilmesi gerekmektedir. Geçiş ne kadar erken olursa uzun dönemde ekonomi ve çevre açısından o kadar yararlı olacaktır.

KAYNAKÇA

1. **Eral, M.** (Koordinatör), Tübitak-TTGV Bilim-Teknoloji-Sanayi Tartışmaları Platformu, Enerji Teknolojileri Politikası Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 1998.
2. **Dincer, I.**, "Technical, Environmental and Exergetic Aspects of Hydrogen Energy Systems", International Journal of Hydrogen Energy 27, pp.265-285, 2002.
3. **Barbir, F.**, "Review of Hydrogen Conversion Technologies", www.iahe.org, 2003.
4. **Veziroğlu, T.N.**, "Hydrogen Energy System:A Permanent Solution To Global Problems", www.iahe.org, 2003.
5. **Barbir, F.**, "Safety Issues of Hydrogen in Vehicles", www.iahe.org, 2003.
6. **Gosselink, J.W.**, "Pathways to a More Sustainable Production of Energy:Sustainable Hydrogen-A Research Objective for Shell", International Journal of Hydrogen Energy 27, pp.1125-1129, 2002.
7. Hidrojen Enerjisi, Youth for Habitat-Türkiye Web Sayfası, www.youthforhab.org.tr, 2003
8. **Momirlan, M., Veziroğlu, T.N.**, "Current Status of Hydrogen Energy", Renewable and Sustainable Energy Reviews 6, pp.141-179, 2002.
9. **Hijikata, T.**, "Research and Development of International Clean Energy Network Using Hydrogen Energy (WE-NET)", International Journal of Hydrogen Energy 27, pp.115-129, 2002.
10. **Abaoud, H., Steeb, H.**, "The German-Saudi HYSOLAR Program", International Journal of Hydrogen Energy, Volume 23, Issue 6, pp. 445-449, 1998.
11. **Drolet, B., Gretz, J., Kluyskens, D., Sandmann, F., Wurster, R.** "The Euro-Québec Hydro-Hydrogen Pilot Project [EQHHPP]: Demonstration Phase", International Journal of Hydrogen Energy, Volume 21, Issue 4, pp. 305-316, 1996.

12. **Goltsov, V.A., Veziroğlu, T.N.**, "From Hydrogen to Hydrogen Civilization", *International Journal of Hydrogen Energy* 26, pp.909-915, 2001.
13. **Arnason, B., Sigfusson, T.I.**, "Iceland-a Future Hydrogen Economy", *International Journal of Hydrogen Energy* 25, pp.389-394, 2000.
14. **Elam, C.C., Padro, C.E.G., Sandrock, G., Luzzi, A., Lindblad, P., Hagen, E.F.**, "Realizing, the Hydrogen Future:the International Energy Agency's Efforts to Advance Hydrogen Energy Technologies", *International Journal of Hydrogen Energy* 28, pp.601-607, 2003.
15. **Tso, C., Chang, S.Y.**, "A Viable Niche Market--Fuel Cell Scooters in Taiwan", *International Journal of Hydrogen Energy* 28, Issue 7, pp.757-762, 2003.
16. **Bockris, J.O'M.**, "The Origin of Ideas on a Hydrogen Economy and Its Solution to the Decay of the Environment", *International Journal of Hydrogen Energy* 27, pp.731-740, 2002.