

21. YÜZYILIN ENERJİSİ: HİDROJEN

Y.Doç.Dr. Ümran TEZCAN ÜN

Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İki Eylül Kampüsü, Eskişehir
e-mail:utezcan@anadolu.edu.tr; Tel:0 222 3350580/6400

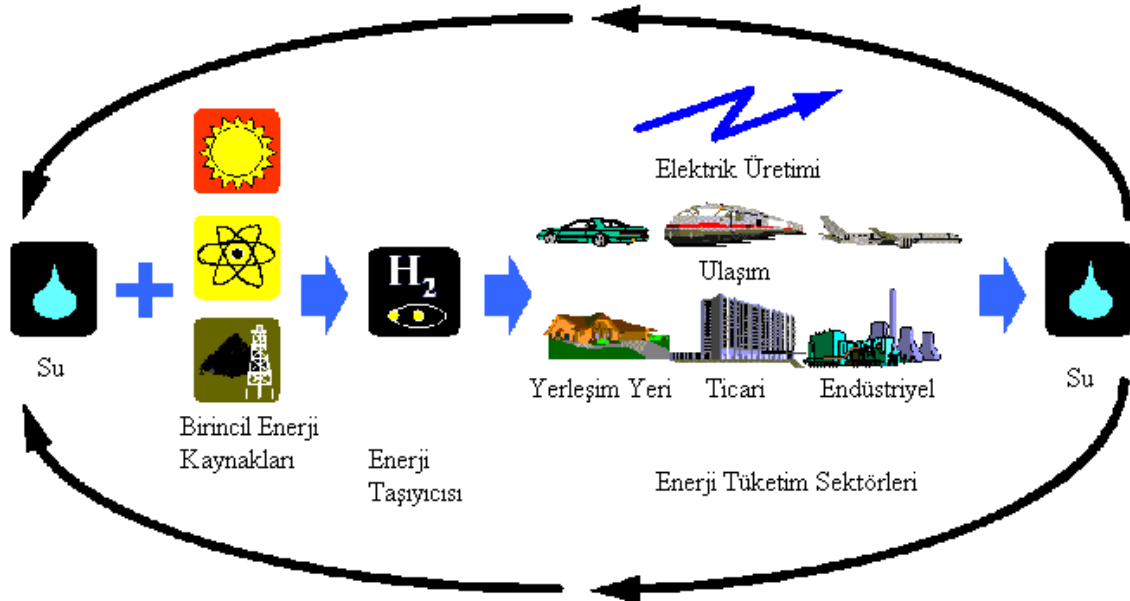
ÖZET

Dünyada giderek artan bir şekilde kullanılan hidrojen enerjisine genel bir bakış oluşturmak üzere bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Hidrojen enerjisinin gelişimi, avantajları ve üretim yöntemleri incelenmiş, hidrojenin çeşitli yöntemlerle üretilmesi ve dağıtımı için gerekli enerji miktarları ve 1995 ve 2020 yılları için maliyetleri verilmiştir. Ayrıca, yakıt hücreli otomobillere hidrojen sağlayıcı sistemlerin ve içten yanmalı otomobillerin yakıt maliyetleri dış maliyetler dikkate alınarak verilmiş ve diğer yakıtlarla da karşılaştırılmıştır.

1.GİRİŞ

Yaşamımızın vazgeçilmez bir parçası olan enerji son tüketiciye "yakıt" ve/veya "elektrik" biçiminde sunulmaktadır. İkincil enerji olan elektriğin çeşitli kullanım avantajlarının bulunmasına karşın, teknoloji elektriğe bağlı olduğu kadar, yakıtta da bağlı olarak gelişmiştir. Birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesi ile elde edilen ikincil enerjilere, "enerji taşıyıcısı" da denir. Elektrik 20. yüzyıla damgasını vuran bir enerji taşıyıcısı olmasına karşın Hidrojen 21. yüzyıla damgasını vuracak bir enerji taşıyıcısıdır[1].

Hidrojen bir doğal yakıt olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak su, fosil yakıtlar ve biyokütle gibi değişik hammaddelerden üretilen sentetik bir yakıttır. Hidrojen Enerji Sisteminin şematik gösterimi Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1: Hidrojen Enerji Sisteminin şematik gösterimi [2,3].

Hidrojen aşağıda sıralandığı gibi çeşitli avantajlara sahip ideal bir enerji taşıyıcısıdır.

*Hidrojen yenilenebilir enerji kaynakları da dahil olmak üzere herhangi bir enerji kaynağı kullanılarak üretilebilir.

*Hidrojen elektrik kullanılarak üretilebilir ve nispeten yüksek verimle de elektriğe çevrilebilir. Hidrojenin solar enerjiden doğrudan üretim süreçleri de geliştirilmiştir.

*Fosil yakıtlar son kullanımda sadece bir süreç ile dönüştürülürken, hidrojen kullanılacak enerji şekline beş farklı süreç ile dönüştürülmektedir.

*Son kullanımda hidrojen kullanılacak enerji şekline dönüşürken en yüksek verime sahiptir. Hidrojen fosil yakıtlardan %39 daha verimlidir. Kısaca hidrojen birincil enerji kaynaklarını korur.

*Hidrojen gaz şeklinde (büyük ölçekli depolamada), sıvı şeklinde (hava ve uzay ulaşımında) veya metal hidrit şeklinde (araçlar ve diğer küçük ölçekli depolamada) depolanabilir.

*Hidrojen boru hatları veya tankerler ile büyük mesafelere taşınabilir (bir çok durumda elektrikten daha ekonomik ve verimlidir).

*Hidrojen diğer yakıtlardan farklı güvenlik ekipmanı ve prosedürü gerektirse de onlardan daha fazla tehlikeli değildir. Hidrojen güvenlik sıralamasında propan ve metanın (doğal gaz) arasındadır. Yangın tehlikesi ve zehirlilik dikkate alındığında hidrojen en güvenilir yakıttır.

*Hidrojen elektrikten veya solar enerjiden üretilirken, taşınırken veya depolanırken ve son kullanımda herhangi bir kirletici üretmez veya çevreye zararlı herhangi bir etkisi yoktur. Hidrojenin yanması veya yakıt hücresinde tkutilmesi sonucu son ürün olarak sadece su üretilir. Yanma yüksek sıcaklıkta olursa havadaki azot ve oksijenden NOx oluşabilir. Ancak bu sorun diğer yakıtlarla aynıdır ve kontrol edilebilir.

*Çevresel hasarlar ve yüksek kullanma verimi dikkate alındığında solar hidrojen enerji sistemleri en düşük etkin maliyete sahiptir [4,5,6].

1970'li yıllarda hidrojene enerji taşıyıcısı olarak az bir dikkatle bakıldığı söylenebilir. O yıllarda " hidrojen enerjisi", " hidrojen ekonomisi" ve " hidrojen enerji sistemi" gibi kavramlar enerji literatürlerinde yer almıyordu. Ancak, roket yakıtı olarak hidrojen kullanılıyor, süper devletler hidrojen çalışmalarını gizlilik içinde yürütüyordu. 1974 yılında ABD Florida'da, Miami Üniversitesi Temiz Enerji Enstitüsü tarafından düzenlenen " Hidrojen Ekonomisi Miami Enerji Konferansı" (THEME), bu konuların yayılması ve hidrojen enerjisi kullanımına başlangıç oluşturması açısından önemlidir. Bu toplantı ile Uluslararası Hidrojen Enerjisi Birliği (IHEA) kurulmuştur. Bugün söz konusu örgütün dışında, çeşitli ülkelerde ona yakın hidrojen enerjisi rgt bulunmaktadır [7].

Dünyada çeşitli ülkelerde hidrojen enerji araştırmaları yapılmaktadır. Japonya WE-NET (World Energy Network) programını [8,9], Almanya Suudi Arabistan ile ortak Hysolar programını [10], Avrupa ve Kanada Euro-Quebec programını [11] ve İzlanda'da hidrojen üzerine programlarını [12] yürütmüşlerdir. Bunlardan başka INTA solar hidrojen tesisi (İspanya), SAPHYS küçük ölçekli fotovoltaik-hidrojen enerji sistemi(İtalya, Almanya, Norveç) ve PHOEBUS gösterim tesis(Almanya) gibi birçok program daha yürütülmektedir [13].

2. HİDROJEN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Hidrojen evrenin en bol elementi olmasına rağmen atmosferdeki derişimi milyonda birden daha da azdır. Hidrojenin çoğu kimyasal bileşiklere bağlıdır. Bu nedenle büyük ölçekli kullanım için hidrojen bitkiler, su, kömür veya doğal gaz gibi kaynaklardan özütlenmektedir. Özütleme sürecinde önemli miktarda enerji tüketildiğinden, hidrojen enerji kaynağı olmaktan çok bir enerji taşıyıcısı olarak düşünölmektedir. Aslında hidrojen kullanımı sonucunda açığa çıkan enerji üretimi sırasında yatırılan enerjidir. Bu nedenle hidrojenin nasıl üretildiğı büyük önem taşımaktadır [6].

*Buhar İyileştirme: Fosil yakıttan hidrojen üreten bir süreçtir. Hidrojen kaynağı olarak en yaygın metandan oluşan doğal gaz kullanılır. Su buharı ve metan yüksek basınç ve sıcaklıkta kimyasal tepkime ile hidrojen ve karbon dioksit dönuşür. Üretilen hidrojenin enerji içeriğı, tüketilen doğal gazdan daha yüksektir. Ancak iyileştirmenin yapılması için yüksek miktarda enerji gerekmektedir. Bu nedenle net dönuşüm verimi %65'dir [6].

*Atıkgazların Saflaştırılması: Petrol rafinerileri ve bazı kimyasal tesisler gibi bir çok endüstrinin atık akımlarında hidrojen derişimi yüksektir. Bu gazların toplanması ve saflaştırılması uygulanır. Atıkgazdan elde edilen hidrojen yine endüstride kullanılır. Bu uygulama mevcut hidrojen pazarının önemli bir ögesidir, ancak gelecekte hidrojenin yaygın kullanımında talebi karşılayacak yeterlilikte değildir [6].

*Elektroliz: Elektroliz, sudan elektrik akımı geçirerek su moleküllerinin hidrojen ve oksijene ayrılmasını sağlar. Bu süreçte enerji kaybı nispeten azdır ve yaklaşık %65 enerji verimi elde edilir. Elektroliz mevcut hidrojen pazarında küçük bir paya sahip olsa da, temiz bir süreç olması ve suyun bol bulunması nedeniyle büyük ilgi çekmektedir. Ancak, yüksek maliyet nedeniyle yakın ve orta vadede elektrolizin pazarda büyümesi sınırlı görölmektedir [6].

*Fotosüreçler: Fotosüreçler genellikle güneş ışığını kullanarak su veya biyokütleden hidrojen üreten süreçlerdir ve üç ana kategoriye ayrılır. Bunlardan birincisi olan fotobiyolojik teknikler bazı bakteri, alg ve bitkiler ile fotosentez döngüsüne dayanır. Fotobiyolojik hidrojen üretim verimi sadece %1-5 arasındadır. Diğer fotosüreç olan fotokimyasal süreçler, sentetik molekülleri kullanarak doğal fotosentezi taklit eder. Bu teknik sadece %0.1 verimlidir. Üçüncü fotosüreç olan fotoelektrokimyasal süreçte yarı iletken maddeler ışığa maruz kaldığında gerilim farkı yaratır ve buda suyun hidrojen ve oksijene parçalanmasını sağlar. Günümüzde hidrojen araştırma programlarının çoğu fotosüreçlerden oluşmaktadır [6].

*Termokimyasal Süreçler: Suyun hidrojen ve oksijene ayrılması için ısının kullanıldığı bir süreçtir. Basit bir uygulaması suyun çok yüksek sıcaklığa (3400 K) ısıtılması ile doğrudan ısıl dönuşümdür. Yüksek sıcaklık gerektiğinden, doğrudan ısıl dönuşüm pratik bir süreç değildir. Kompleks, çok basamaklı süreçler çalışılmaktadır. Ayrıca bir veya daha fazla tepkime basamağının elektrolizi içerdiği hibrit çalışmalar da yapılmaktadır [6].

*Radyoliz: Bu metotta nükleer reaktörde üretilen yüksek enerjili partiküllerin çarpışması ile su molekülleri parçalanır. Üretilen hidrojen ve oksijen atomları tekrar su oluşturmak üzere çok çabuk bir araya geldikleri için radyolizin verimi %1 civarındadır [6].

*Solar Hidrojen: Bu yöntemde fotovoltaiik hücreler kullanılarak güneş ışığından üretilen elektrik ile su elektroliz edilir. Genellikle solar hidrojen terimi rüzgar gibi diğer yenilenebilir kaynaklı elektrikle suyun elektrolizinden elde edilen hidrojen için de

kullanılmaktadır. Fosil yakıt yerine yenilenebilir enerji kaynağının kullanımı çevresel yararından dolayı oldukça ilgi çekmiştir [6].

*Hidrokarbonların Kısmi Oksidasyonu: Bu yöntemde hidrojen hidrokarbonların katalitik olmayan kısmi oksidasyonundan (örneğin gazifikasyon) elde edilir. Bu teknikte sıkıştırılabilen veya pompalanabilen hidrokarbon kaynağı kullanılmaktadır. Ancak sürecin toplam verimi %50 civarındadır ve saf oksijen gereklidir. Bu dönüşümün kullanıldığı iki ticari teknoloji vardır:Texaco gazifikasyon süreci ve Shell gazifikasyon sürecidir [6].

Bu sayılan teknolojilerden başka bir çok hidrojen üretim teknolojileri vardır. Ancak bu süreçlerin çoğu gelişme aşamasındadır [6].

3. HİDROJEN ENERJİSİNİN EKONOMİSİ

Hidrojen diğer yakıtlara göre pahalıdır. Ancak teknolojik ilerlemeler ile maliyet düşürülürse uzun dönemde hidrojen pazarda önemli rol oynayacaktır. Fosil yakıt, ısı ve elektrik kullanılarak hidrojenin elde edildiği yöntemlerde petrol veya kömürün fiyatının artması hidrojen fiyatını da yukarı çekecektir. Bu nedenle fosil yakıtların fiyatlarının artması fosil kaynaklı hidrojeni ticari olarak rekabet edebilir duruma getirmeyecektir[6].

Hidrojen ekonomisinin gerçek bir değerlendirilmesi kirlilik önleme/ortadan kaldırma ve kirleticilerin etki maliyetleri olan dış maliyetler dikkate alınarak yapılabilir. Fosil yakıtların neden olduğu kirleticilerin iklim değişikliğine etkisinin maliyeti ölçülemez ve nümerik olarak hesap edilemez [8]. İklim değişikliğinin ölçülemez maliyeti dikkate alınmaksızın dış maliyetler dahil edilirse hidrojen enerjisi, hidrokarbon enerji maliyetinden 2,9 kat yüksektir.

Yakıt hücreli otomobillerde hidrojenin kullanılması için maliyet analizi Tablo 1’de verilmektedir. Buradan görüleceği gibi pazarın bölgesine ve boyuta bağlı olarak hidrojenin kg başına maliyeti 2,35 ile 7\$ arasındadır. İçten yanmalı motora sahip araçların 300 mil (483 km) mesafedeki etkin yakıt maliyetleri (yakıtın çevresel hasarlarını da içermektedir) Tablo 2’de verilmiştir. Ayrıca solar hidrojen enerji sistemlerinin çeşitli kullanım alanlarındaki etkin maliyetleri de Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 1: Yakıt hücreli otomobillere hidrojen sağlayıcı altyapı sistemlerinin maliyet analizi [8].

| Maliyet (ton/gün) (Bin \$) | Boyut (\$/kg) | Yatırım Maliyeti | |
|------------------------------------|------------------|------------------|------|
| Uzak bölgede dönüşüm+sıvılaştırıcı | 27 | 63 000 | 3,35 |
| | 270 | 259 000 | 2,35 |
| Bölgesel dönüşüm+boruhattı | 27 | 82 000 | 2,91 |
| | 270 | 67 000 | 2,47 |
| Kullanım yerinde doğal gaz dönüş. | 2,7 | 96 000 | 3,57 |
| Petrolün kısmi oksidasyonu | 2,7 | 12 500 | 3,96 |
| Suyun elektrolizi | 3 kg/gün | 13,5-23,1 | 6,97 |
| Metanol Dönüşümü | 2,7 | 6 800 | 3,76 |

Tablo 2: 2000 yılı için içten yanmalı motora sahip araçların 300 mil (483 km) mesafedeki etkin yakıt maliyetleri [8].

| Yakıt | Maliyet (1996 \$/km) | | Ortalama Maliyet (1996 \$/km) |
|--------------|----------------------|-----------|-------------------------------|
| | En düşük | En Yüksek | |
| Rüzgar-H2 | 0,0848 | 0,1251 | 0,1049 |
| PV-H2 | 0,0947 | 0,1710 | 0,1329 |
| Hidro-H2 | 0,0487 | 0,0869 | 0,0678 |
| Biokütle-H2 | 0,0410 | 0,0565 | 0,0487 |
| Doğal gaz-H2 | 0,0559 | 0,0786 | 0,0673 |
| Ethanol | 0,0616 | 0,0763 | 0,0689 |
| Methanol | 0,0487 | 0,0545 | 0,0516 |
| CNG | 0,0386 | - | 0,0386 |
| LPG | 0,0464 | 0,0484 | 0,0474 |
| Gazolin | 0,0594 | - | 0,0594 |

Enerji üretim sistemlerinin ekonomik karşılaştırılmasında sistemin yaşam döngüsü boyunca talep ettiği birincil enerji miktarı da dikkate alınmalıdır. Hidrojen ekonomisi hidrojenin elde edilme sürecinde kullanılan birincil enerji miktarına göre değişmektedir. Enerji üretim sistemlerinin ürettikleri 1 kWh enerji için gerek duydukları birincil enerji miktarları ve maliyetleri 1995 ve 2020 yılı için Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 3: Solar hidrojen sisteminin çeşitli uygulama alanlarındaki etkin maliyeti [5].

| Uygulama | Yakıt | Enerji | Etkin Maliyet |
|--------------------------|-------------------|-------------|---------------|
| Tüketim Kesri* | (1998 U.S. \$/GJ) | | |
| Isıl Enerji | | | |
| Alevli yanma | GH2 | 0,20 | 26,04 |
| Buhar üretme | GH2 | 0,10 | 20,83 |
| Katalitik Yanma | GH2 | 0,10 | 20,83 |
| Elektrik | | | |
| Yakıt Hücresi | GH2 | 0,30 | 14,06 |
| Kara Taşımacılığı | | | |
| İçten yanmalı motor | GH2 | 0,10 | 21,36 |
| Yakıt hücresi | GH2 | 0,10 | 10,41 |
| Hava Taşımacılığı | | | |
| Subsonik | LH2 | 0,05 | 26,26 |
| Süpersonik | LH2 | 0,05 | 22,51 |
| Toplam Kesir | | 1,00 | |
| Tüm Etkin Maliyet | | | 19,23 |

GH2: Gaz hidrojen; LH2: Sıvı hidrojen

*Hidrojenin 1/3’ünün hidrogüçten veya rüzgar gücünden, 2/3’ünün solardan elde edildiği varsayılmıştır.

Tablo 4: Enerji üretim sistemlerinin 1995 ve 2020 yılları için maliyetleri ve birincil enerji talepleri [14].

| Süreç | Tüketiciye Sunulan | TA * | Birincil Enerji+ |
|----------|--------------------|-----------------------------|------------------|
| Maliyet# | Son Enerji Şekli | (saat/yıl) Talebi (kWh/kWh) | (DM/kWh) |
| | | 1995 (2020) | 1995 (2020) |

| | | | | |
|--|----------|----------|---------------|---------------|
| 1)Hidrogüç | Elektrik | 5000 | 0,035 (0,035) | 0,094 (0,094) |
| 2)Rüzgar gücü | Elektrik | 1000 | 0,122 (0,122) | 0,305 (0,305) |
| 3)Fotovoltaik, Bavaria,Almanya | Elektrik | 1000 | 1,063 (0,535) | 2,810 (1,420) |
| 4)Nükleer güç | Elektrik | 7000 | 3,455 (3,455) | 0,136 (0,136) |
| 5)Birleşik döngülü sistem | Elektrik | 5000 | 2,037 (2,037) | 0,222 (0,222) |
| 6)PV Bavaria, elektroliz-sıvılaştırma-dağıtım (3,500) | LH2 | 1000 | 2,780 (1,213) | 7,870 |
| 7)PV Kuzey Afrika, elektroliz- sıvılaştırma-uzun mesafe taşıma-dağıtım 6,110 (2,700) | LH2 | 2000 | 1,787 (0,760) | |
| 8)PV Kuzey Afrika, elektroliz- depolama-taşıma-dağıtım 3,380 (1,510) | GH2 | 2000 | 1,001 (0,443) | |
| 9)Hidrogüç-elektoliz-sıvılaştırma-dağıtım 0,462 (0,232) | LH2 | 5000 | 0,121 (0,102) | |
| 10)Rüzgar gücü-elektoliz-sıvılaştırma-dağıtım 1,950 (1,030) | LH2 | 1000 | 0,373 (0,346) | |
| 11)Rüzgar gücü-elektroliz-paketleme-dağıtım 1,110 (0,600) | GH2 | 1000 | 0,219 (0,217) | |
| 12)Nükleer güç-elektroliz-paketleme- depolama-taşıma-dağıtım 0,276 (0,079) | GH2 | 7000 | 5,941 (4,923) | |
| 13)Buhar iyileştirme 0,079 (0,078) | GH2 | 7000 | 5,941 (4,923) | |
| 14)Kvaerner Süreci 0,079 (0,078) | GH2 | 8000 | 1,803 (1,747) | |
| 15)Biokütle gazifikasyonu 0,159 (0,082) | GH2 | 8000 | 0,165 (0,159) | |
| 16)Kimyasal artık hidrojen 0,053 (0,052) | GH2 | veri yok | 0,012 (0,010) | |

* Yılda saat olarak maksimum talebi kullanma periyodu

+Yenilenebilir enerjinin üretimi, kullanımı ve atılması için gerekli birincil enerji talebi

Yatırım, işletme ve atılma maliyeti

Tablo 4'ten de görüleceği gibi günümüzde ve 2020 yılında hidrojenin üretimi için en uygun süreç ısıl sürece dayalı olanıdır. Yeterli kapasite elde edilirse hidrojen üretiminde mali olarak en uygun süreç ise kimyasal artık hidrojenidir. Enerji açısından en iyi süreç biokütlenin gazifikasyonudur. Ancak bu da toprağın sulanması, hasat gibi enerji tüketimi gerektirir. Doğrudan nükleer güç sağlamak yerine nükleer güçten hidrojen üretilirse, hidrojenin üretimi ve dağıtımından dolayı hidrojenin maliyeti nükleer güç maliyetinin iki katı olmaktadır. Enerji, yenilenebilir kaynaktan sağlandığında en kullanılabilir olan sistem hidrogüçle birleştirilmiş suyun elektrolizidir. Böylece en düşük birincil enerji ihtiyacına ve elde edilen her kWh enerji için en düşük maliyete sahiptir. İkinci en iyi metot rüzgar gücü ile birleştirilmiş suyun elektrolizidir. Birincil enerji talebi buhar iyileştirmeden daha da düşüktür. Teçhizatın üretimi için yüksek birincil enerji talebi ve oldukça yüksek yatırım maliyetinden dolayı fotovoltaik ile birleştirilmiş suyun elektroliz maliyeti yüksektir ve üretim yerine bağlı olarak farklı

sonuçlar verir [14]. Ancak PV-hidrojen sistemi için ayrıca maliyet analizleri yapılmıştır [15]. Mümkün olan her yerde uygulanabilen gaz hidrojen, hem enerji, hem de maliyet açısından en iyisidir. Hidrojenin sıvılaştırılması enerji yoğun bir süreç olduğundan, sıvı hidrojen kara ve hava trafiği gibi sadece mutlaka sıvı hidrojenin kullanılması gereken alanlarda uygulanmalıdır. 2020 yılına kadar sadece fotovoltaiiklerin fiyatlarında önemli düşüşler beklendiğinden mevcut maliyet şemasının diğer sistemler için çok değişmeyeceği söylenebilir[14].

4. SONUÇ

evre sorunları hidrojen kullanımına yönelmeyi gerektirirken, fosil yakıt rezervlerinin sınırlı oluşu bu gelişmeyi zorunlu duruma getirmektedir. Çağdaş teknolojinin ürünü olan hidrojenin üretimi, taşınması, depolanması ve hemen her sektörel kesimde kullanımı için geliştirilmiş hazır teknolojiler mevcuttur ve ilk uygulamalar da yapılmıştır. Uzun dönemde de hidrojen üretim alanındaki problemler üzülerek gelecekte hangi hidrojenin uygun bir enerji kaynağı olacağı belirlenmelidir.

Hidrojen enerjisinin maliyetleri karşılaştırıldığında, pazarın bölgesine ve boyutuna bağlı olarak hidrojenin maliyeti 2,35-7\$/kg arasındadır. Ancak bu maliyet göreceli olup, hidrojen çağına adım atılmakla hızlı düşüşü beklenmektedir. evre etkisini de içeren etkin maliyeti ise düşüktür.

Hidrojen enerjisi alanında, çeşitli ülkelerin işbirliği sonucu uluslararası programlar başlatılmıştır. 2010 yılına kadar yakıt hidrojenin ticari kullanımının başlaması beklenmektedir. Önümüzdeki ağ hidrojen çağıdır. Hiçbir lke bu ağdaş gelişimden soyutlanamayacağı için Türkiye'nin hidrojen ile ilgili bir strateji, bir politika saptaması ve çalışmalara girişmesi gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

- 1.Eral, M. (Koordinatör), Tübitak-TTGV Bilim-Teknoloji-Sanayi Tartışmaları Platformu, Enerji Teknolojileri Politikası alışma Grubu Raporu, Ankara, 1998.
- 2.Veziroğlu, T.N., "Quarter Century of Hydrogen Movement 1974-2000", International Journal of Hydrogen Energy 25, pp.1143-1150, 2000.
- 3.Youth for Habitat, Türkiye "Yakıt Olarak Hidrojen", www.youthforhab.org.tr
- 4.Barbir, F., "Review of Hydrogen Conversion Technologies", www.iahe.org, 2003.
- 5.Veziroğlu, T.N., "Hydrogen Energy System:A Permanent Solution To Global Problems", www.iahe.org, 2003.
- 6.Dincer, I., "Technical, Environmental and Exergetic Aspects of Hydrogen Energy Systems", International Journal of Hydrogen Energy 27, pp.265-285, 2002.
- 7.ltanır, M.., "21. Yzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi", TSİAD Parlamento İşleri Komisyonu Raporu, www.tusiad.org, 1998
- 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. Arnason, B., Sigfusson, T.I., "Iceland-a Future Hydrogen Economy", International Journal of Hydrogen Energy 25, pp.389-394, 2000.
13. 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.
14. Wagner, U., Geiger, B., Schaefer, H., "Energy Life Cycle Analysis of Hydrogen Systems", International Journal of Hydrogen Energy 23, No.1, pp.1-6, 1998.
15. Tanı, T., Sekiguchi, N., Sakai, M., Ohta, D., "Optimization of Solar Hydrogen Systems Based on Hydrogen Production Cost", Solar Energy, Vol.68, No.2, pp.143-149, 2000.