

## GELECEĞİN ENERJİSİ: HİDROJEN EKONOMİSİ VE TÜRKİYE

Filiz TUTAR<sup>1</sup>  
Mehmet Vahit EREN<sup>2</sup>

### ÖZET

Hidrojen enerjisine “21. yüzyılın enerjisi” gözüyle bakılmaktadır. Dünya’da enerji ihtiyacının artması ve kaynakların azalması ve bir gün biteceği gerçeği insanları alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Gelişmiş bazı ülkelerde teknolojinin de verdiği nimetlerden yararlanarak hidrojen enerjisinde ciddi ilerleme kaydetmiştir. Türkiye’nin de enerji konusunda dışa bağımlı bir ülke olmasından dolayı hidrojen enerjisine önem vermesi ülkemizin lehine olacaktır. Türkiye hidrojen bakımından enerji ihtiyacını karşılayabilecek potansiyele sahiptir. Bu bağlamda, çalışmada hidrojen kavramı ve ekonomisi hakkında bilgi verildikten sonra hidrojen ekonomisinin SWOT analizi yapılmıştır. Ayrıca bazı ülkelerin hidrojen enerjisinde geldikleri noktaya değinilmiştir. Son olarak Türkiye’de yapılan hidrojen ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji, Hidrojen Ekonomisi, Hidrojen ve Türkiye

**JEL Sınıflandırması:** Q10, Q20, Q42

## ENERGY OF THE FUTURE: HYDROGEN ECONOMY AND TURKEY

### ABSTRACT

Hydrogen energy is considered to be the energy of the 21st century. The fact that world energy resource are decreasing and the need for energy is increasing has made people turn to alternative energy sources. Some developed countries have made stride in hydrogen energy by benefiting from the blessings of the hydrogen technology. Turkey is dependent on foreign sources regarding energy, therefore the promotion of hydrogen energy will be in favor of our country. Turkey has potential to meet energy needs with hydrogen energy. In this context, the study provides information about hydrogen economy and relevant concepts and then SWOT Analysis of hydrogen economy is done. The study also includes some countries in terms of the progress they have made in hydrogen energy. Finally, the study explores the researches on hydrogen energy conducted in Turkey.

**Keywords:** Energy, Hydrogen Economy, Hydrogen and Turkey

**JEL Classification:** Q10, Q20, Q42

---

<sup>1</sup> Yrd. Doç. Dr., Niğde Üniversitesi, İİBF, İktisat Bölümü, flztutar@hotmail.com

<sup>2</sup> Arş. Gör., Şırnak Üniversitesi, İİBF, İktisat Bölümü, mvahiteren@sirnak.edu.tr

## 1. Giriş

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Bu kaynaklar içerisinde rüzgar ve güneş enerjisi öne çıkmaktadır. Şu an da yeryüzünde kullanılan fosil yakıtların çevreye zarar vermesinden ve kaynakların azalmasından dolayı insanlar alternatif bir enerji arayışı içerisindeyler. Bu arayışlar sonucunda hidrojen enerjisinin öneminin farkına varılmıştır. Temiz, bol, çevreye zarar vermemesi gibi bazı özelliklerinden dolayı insanlar hidrojeni gelecekte kullanabileceklerdir.

Bu çalışma hidrojenin bir enerji kaynağı olarak Türkiye ekonomisindeki önemini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Çalışmada, enerji kavramı ve başlıca enerji kaynakları kapsamında; enerji kavramı, başlıca enerji kaynakları, yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji ekonomisi hakkında bilgi verilecektir. Hidrojen ekonomisi kapsamında; hidrojen kavramı, hidrojenin gelişimi, enerji kaynakları içerisinde hidrojenin yeri, hidrojenin elde edilmesi, hidrojenin üretimi, depolanması, taşınması ve hidrojenin kullanım alanları ve hidrojene geçiş aşamalarına değinildikten sonra hidrojen ekonomisinin SWOT analizi yapılacaktır. Dünya'da AB'de hidrojen enerjisi uygulamalarından bahsedildikten sonra Türkiye'de hidrojen ekonomisinin geleceği kapsamında; Hidrojen ve Türkiye, hidrojen ekonomisinin Türkiye açısından SWOT analizi ile Türkiye'de hidrojenin geleceği konusunda bilgi verilecektir.

## 2. Enerji Kavramı ve Başlıca Enerji Kaynakları

Enerji, içinde bulunduğumuz yüzyıldaki en önemli kavramlardan biridir. Enerji ekonomisinin içerisinde yer alan başlıca enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynaklarının dünya ekonomisindeki yeri ve önemi son zamanlarda sıkça bahsedilen bir konudur.

### 2.1. Enerji Kavramı

Enerji basit olarak, iş yapabilme kapasitesi ya da yeteneği olarak tanımlanabilir. Canlı cansız herhangi bir maddenin bir noktadan bir başka noktaya hareketi ya da fiziksel, kimyasal olarak bir şekilden başka bir şekle dönüşmesi bir iştir ve enerji kullanımını gerektirir (KÜKRER, 2007:12).

Enerji, modern insanın gündelik yaşamını sürdürebilmesi için temel gereksinimleridir. Endüstriyel çağdan önce enerji ihtiyaçları doğada bulunan odun, rüzgar, su gibi temel kaynaklardan ve insan ve hayvanın kas gücünden karşılanırken, kömürle çalışan buhar makinelerinin keşfi kullanılan enerji kaynaklarını tamamen değiştirmiştir. Kömür, petrol, doğalgaz, hidro elektrik santraller ve nükleer santraller günümüzde kullanılan başlıca birincil enerji kaynaklarıdır (SOYLU ve TÜRKAY, 2005:1).

Günümüzde, var olan enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, bu kaynakların akılcı yöntemlerle kullanıma sunulması enerji politikalarının temelini oluşturmaktadır. Geleneksel enerji üretim ve tüketiminin çevre ve doğal varlıklar üzerinde yerel, bölgesel ve küresel düzeyde olumsuz etkilere neden oluşu, kaynak çeşitliliğine gidilince, seçilen kaynakların en az erişilebilirliği kadar önem taşımaya başlamıştır (KÜLEKÇİ, 2009:84). Enerji kavramının giderek artan kullanımı, başlıca enerji kaynaklarının durumunu ele almamıza yol açmıştır.

## 2.2. Başlıca Enerji Kaynakları

Yeryüzünde görülen başlıca enerji kaynakları; mekanik enerji, kimyasal enerji, ısı enerjisi, elektrik enerjisi ve nükleer enerjisidir.

Mekanik Enerji, faydalı iş yapabilen hareket enerjisidir. Elde edilen mekanik enerji ile herhangi bir iş yapılabileceği gibi elektrik enerjisi de üretilebilmektedir.

Isı enerjisi; kömür, petrol, linyit, doğalgaz gibi yakıtların yakılmasıyla ısı enerjisi ortaya çıkmaktadır. Elde edilen ısı enerjisi ilk önce türbinler yardımıyla mekanik enerjiye, daha sonra da jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Evlerimizde, kışın ısınmak, mutfak ve banyoda sıcak su elde etmek, yemek pişirmek için ısı enerjisinden sıkça faydalanılmaktadır.

Elektrik enerjisi hem sanayinin temel girdisi olması hem de kaynaklarının kıtlığı nedeniyle, hem sanayileşme açısından hem de ülkede gelişmişlik göstergesi olarak önemini korumaktadır (KÜKRER, 2007:16).

Dünya enerji ihtiyacının her geçen gün artış göstermesi ve enerji kaynaklarının bir gün biteceği gerçeği dünyanın dikkatini yenilenebilir enerji kaynaklarına çevirmiştir.

## 2.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları çerçevesinde güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerji, biyoenerji, hidrojen enerjisi ve deniz kökenli yenilenebilir enerji incelenecektir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, çevremizde doğal haliyle mevcut olup, sürekli akış halinde bulunan enerji türleridir. Fosil yakıtlar gibi sınırlı bir rezerv sahip olmadıkları için insanoğlu var olduğu müddetçe hizmet verebilirler. Küresel ısınmaya katkıda bulunmazlar ve karbon kökenli olmadıklarından çevreyi kirleten atıkları ya hiç yoktur, ya da en az seviyededir. Buna benzer daha birçok avantajlarına rağmen nispeten yüksek maliyeti yaygınlaşmasının önündeki en büyük engeldir. Günümüzde tüm dünyada, özellikle gelişmiş ülkelerde, çeşitli teşvikler ve örnek projeler yolu ile yenilenebilir enerjilerin kullanımını yaygınlaştırmaya ve toplumda bir farkındalık yaratılmaya çalışılmaktadır. Böylece yenilenebilir enerji sektörü pazarının gelişmesi sağlanarak maliyetlerin arz-talep ilişkisi içerisinde düşmesi beklen-

mektedir. Artan enerji maliyetleri, birçok alanda yenilenebilir enerjileri daha ekonomik ve dolayısıyla tercih edilebilir olmasını sağlamaktadır (BOZTEPE, 2009:2).

Güneş, dünyamıza ve diğer gezegenlere enerji veren sonsuz denebilecek bir güce sahip tek enerji kaynağıdır. Kömür, petrol, su potansiyeli, biyokütle, rüzgâr gibi diğer enerjiler, güneş ışınlarının maddeler üzerindeki fiziksel etkisinden oluşmaktadır. Basitliği ve ucuzluğu nedeniyle en yaygın kullanılan güneş enerjisi uygulamasıdır. Evlere, yüzme havuzlarına ve sanayi tesislerine sıcak su sağlamakta kullanılırlar (ÇAKAR vd. 2009:239). Güneş kaynağının tükenmesi güç bir kaynak olarak kabul edersek, alternatif enerji kaynakları içerisinde yer alacaktır.

Rüzgâr enerjisi, fosil yakıtlara nazaran elektriğin birimi başına daha pahalıya gelse de, hidro elektriğin ardından en verimli ikinci yenilenebilir enerji kaynağıdır. Rüzgâr türbinleri kule şeklinde ve genellikle iki ya da üç kanatlıdır. Çapı metrelerce olabilir, kirlilik yaratmaz ve monte etmesi kolaydır. Kıyıda ya da açıkta bulunabilir ancak üretim rüzgâra bağlıdır. Bazıları rüzgâr türbinlerini, manzarayı bozduğu gerekçesiyle eleştirir ([www.bbc.co.uk/turkish/indepth/story/2006/02/060216\\_energy\\_renewables.shtml](http://www.bbc.co.uk/turkish/indepth/story/2006/02/060216_energy_renewables.shtml)). Doğada bulunan rüzgârdan yararlanılarak elde edilen enerjinin, doğaya bir zararının olmaması da göz önünde bulundurulması gereken bir özelliktir.

Jeotermal enerji, Dünya'nın kilometrelerce altındaki merkezinde, erimiş kayalardan oluşan mağmadan gelen ısıyı kullanıyor. Bu ısı ya kuyular açılarak ya da yüzeye yakın yerlerdeki su kaynakları ya da kayalardan elde edilir. Dünyada tüketilen enerjinin sadece yüzde 0.4'ü bu yolla elde ediliyor. Örneğin İzlanda'da sıcak jeotermal sular, ısıtma amacıyla kullanılmak amacıyla doğrudan binalara pompalanır (ERDOĞAN, [kongreikt.ege.edu.tr/cd/pdf/26.pdf](http://kongreikt.ege.edu.tr/cd/pdf/26.pdf)). Bu enerjiyi elde etmek için teknolojiye ihtiyaç vardır bu da artan bir maliyet demektir.

Hidroelektrik enerji hızla akan suyun enerjisiyle döndürülen elektrik jeneratörlerinden elde edilen elektriktir. Hidroelektrik enerji santralleri içme, kullanma ya da sanayi suyu sağlamak amacıyla ırmakların önü kesilerek oluşturulan baraj göllerinde kurulmaktadır (YUMURTACI ve ÖZTÜRK, 2007). Ülkemizdeki mevcut yağış miktarları ve akarsularımızın durumu göz önüne alındığında bu enerjinin elde edilmesi için yağmura ihtiyaç vardır. Bu enerji bol yağış alan ülkelerde kolay ve ucuz maliyetle elde edilebilir.

Biyogaz, bilindiği gibi hayvansal ve bitkisel organik atık maddelerin çürütülmesiyle oluşan metan gazı çevreye zarar veren bir etkidir. Ancak aktif gazın depolanması, depolanan gazların arıtılması ve daha sonra oluşan metan gazın yakılması yoluyla enerjiye dönüştürülerek biyoenerji sağlanabilmektedir. Ayrıca yakılması mümkün olmayan atıklar da tarım topraklarında gübre olarak kullanılmaktadır (KÜLEKÇİ, 2009:85) Bu enerji şuan sadece otomobilde kullanılmasına rağmen gelecekte diğer sektörlerde de kullanılacaktır.

Hidrojen bir doğal yakıt olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak su, fosil yakıtlar ve biyokütle gibi değişik hammaddelerden üretilen sentetik

bir yakıttır. Üretilmesi aşamasında buhar iyileştirme, atık gazların saflaştırılması, elektroliz, foto süreçler, termokimyasal süreçler, radyoliz gibi alternatif birçok hidrojen üretim teknolojileri mevcuttur. Üretilen hidrojen boru hatları veya tankerler ile büyük mesafelere taşınabilir (ÜN, 2007). Hidrojenin taşınmasında engellerin olmaması, daha fazla kullanımı sağlayacaktır.

Deniz kökenli yenilenebilir enerjileri: deniz dalga enerjisi, deniz sıcaklık gradyent enerjisi, deniz akıntıları (boğazlarda) ve gel-git enerjisidir. Türkiye’de gel-git enerjisi olasılığı yoktur. Türkiye için söz edilebilecek olanlar deniz dalga enerjisi ve deniz akıntıları enerjisidir. İstanbul ve Çanakkale Boğazları’nda deniz trafiğinin yoğun olması nedeniyle deniz akıntıları enerjisinin kullanımı azalmıştır (AKAY, 2005). Bu enerji, denizle iç içe olan ülkeler için kolay ve ucuz iken; denize kıyası olmayan ülkeler için pahalı ve iletimi zordur.

Bu enerji kaynaklarının ekonomik anlamda öneminin ve geleceğinin değerlendirilmesinin yapılmasında fayda vardır.

#### **2.4. Enerji Ekonomisi**

Tarihte insan yaşamında enerjinin yeri hep olmuştur ve gereksinim duyulan enerji doğal kaynaklardan sağlanmıştır. Modern yaşamın gelişmesine paralel olarak özellikle sanayi devriminden günümüze kadar geçen süreçte enerji gereksinimi artarak sürmüştür. Bugün enerji talebi tarihin hiçbir döneminde rastlanmayacak boyutta yüksektir (BAŞOL vd., 2007:73). Böylesine ciddi bir boyutun olması incelenmesi gereken yeni bir terimin doğurmuştur.

Enerji ekonomisi diğer tüm ilişkilerin temelinde olduğu gibi enerji ilişkilerinin odaklandığı ekonominin bir alt birimidir. Enerjinin kaynaklar itibarıyla büyük miktarda çeşitlenmesi endüstrinin her kesiminde ve toplumun her katında geniş ölçüde yer alması onun önemli ekonomik faaliyetlerden biri olarak ortaya çıkmasına neden olmuş ve böylece ekonominin bir dalı olan “Enerji Ekonomisi” doğmuştur.

Enerji ekonomisi enerji kaynaklarının varlığını ve bu kaynakların ekonomik faaliyetlerle ilişkisini ele almaktadır. Enerji talebi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki ve enerjinin bolluğu ya da yetersizliğinin ekonomik çalışmalar üzerindeki etkileri bu bilim dalının önemli konularını oluşturmaktadır (KÜKRER, 2007:35-36).

Artan enerji ihtiyacı karşısında kaynakların tükenmesi, insanları yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde hidrojen enerjisi 21. yüzyılın enerjisi olarak kabul görmüştür.

### 3. Hidrojen Ekonomisi

Hidrojen ekonomisi çerçevesinde hidrojen kavramı, hidrojenin gelişimi, enerji kaynakları içerisinde hidrojenin yeri, hidrojenin elde edilmesi, üretilmesi, taşınması, depolanması ve kullanım alanları ile hidrojen ekonomilerine geçiş stratejileri hakkında bilgi verilecektir.

#### 3.1. Hidrojen Kavramı

Hidrojen, yakıt hücreleri üzerinde çalışan evrendeki en basit eleman ve en bol gazdır. Hidrojen, renksiz kokusuz ve tatsızdır. Hidrojen, geleceğin temiz enerji sistemlerinde elektronlar için mükemmel bir tamamlayıcıdır ([worldwide.fuelcells.org/](http://worldwide.fuelcells.org/) - 3k -). Hidrojen en küçük atomdur (BOSEL, 2005:8) Ayrıca en hafif olanıdır ve periyodik tablodaki ilk elementtir. Birçok yıldız ve gezegen ya tamamen oluşmuştur ya da çok miktarda hidrojen içerir. Örneğin, Güneş'te en çok bulunan element hidrojendir (VEZİROĞLU, 2004:271)

Hidrojen enerjisi; fosil enerji kaynaklarının (kömür, petrol, doğal gaz) hızla tükenmesi nedeniyle çevreye zarar vermeyen "geleceğin enerjisi" olarak anılmaktadır. 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; güneş ömrü olarak tahmin edilen gelecek 5 milyar yılın da yakıtı olacağı söylenmektedir. Hidrojen bir doğal yakıt olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak su, fosil yakıtlar ve biyokütle gibi değişik hammaddelerden üretilen sentetik bir yakıttır. Hidrojen, diğer yakıtlara göre pahalı olmasına rağmen uzun dönemde teknolojik ilerlemelerle enerji kullanımında önemli rol oynayacaktır.

Hidrojen ve elektrik birbirine kolaylıkla dönüştürülebilir enerji türleri olduğundan hidrojen, tüm sektörleri doğrudan ya da dolaylı etkileyebilmesi, toplumsal gelişme ve refah düzeyini belirleyici oluşu açısından çok kritik bir konumdadır. Yaklaşık otuz yılı aşkın bir süredir hidrojen üretiminin gelişmesiyle, dünya genelinde kimya ve petrol sanayine bağlı olan ve giderek büyüyen bir hidrojen ekonomisi söz konusudur. Bu nedenle hidrojen; petrol, kömür ve doğal gazın gelecekte yaygınlaşabilecek tek alternatif olarak işaret edilmektedir (KILIÇ, 2009:24-25). Hidrojenin sahip olduğu avantajların bu kadar fazla olması uygulamaya geçilmesi gereken tarihi her geçen gün daha da kısaltmaktadır.

#### 3.2. Hidrojenin Gelişimi

19. yüzyılda buharın bulunması ile başlayan ve devamında Sanayi Devrimi ile devam eden süreçte insan gücünden ziyade makine gücüne duyulan ihtiyacın artmasıyla beraber enerjiye duyulan ihtiyaç da sürekli olarak artmıştır. Bu enerji ihtiyacını karşılamak için günümüze kadar odundan kömüre, daha sonraları hidrokarbon kökenli fosil yakıtlara kadar birçok kaynağa başvurulmuştur. Böylece yaşam standart-

ları, daha üst düzeylere ulaşarak günümüze kadar gelmiştir. Günümüzde ekonomik gelişmeyi devam ettirebilmek için gerek duyulan enerji, hidrokarbon kökenli fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Ancak bu durum iki yönden sakınca teşkil etmektedir:

1. Fosil kökenli yakıtların giderek tükenmesi
2. Çevreye verdikleri ciddi zararlar

Bununla beraber hidrokarbon fosil yakıtların ilerleyen zamanlarda dünyadaki enerji ihtiyacını karşılayamayacağı düşünülmektedir. Artan dünya nüfusu ve gelişen ülkelerin yaşam standartlarını daha iyi şartlara getirmek için enerjiye duydukları ihtiyaç bunun temel sebepleridir. Diğer yönden baktığımızda, hidrokarbon fosil yakıtların üretim süreçleri, taşınmaları, kullanım sonrası açığa çıkardıkları ürünler, çevremize çok büyük zararlar vermektedir. Bu zararlar; hava, su, toprak kirliliği, küresel ısınmaya yol açmakta ve Dünya'mızı yaşanmazlık noktasında belki de geri dönülemez bir noktaya doğru götürmektedir. Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri düşünüldüğünde, fosil yakıt yerine hidrojen kullanılması ile fiziksel sağlık şartlarında da iyileşmeler olacaktır (AÇIKGÖZ, 2009:1).

Hidrojenin boru hatları ile evlere kadar ulaştırılması olanaklı olup, bu konuda projeler geliştirilmekte ve doğalgaz hatlarından yararlanılması tasarlanmaktadır. Hidrojen enerjisi alanında çeşitli ülkelerin işbirliği sonucu uluslararası programlar başlatılmıştır ([www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/pdf/sec16.pdf](http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/pdf/sec16.pdf)). Fosil yakıtların azalması ülkeleri hidrojenle ilgili programlar yapmaya zorlamıştır. Bu programlarda mutlaka hidrojenin enerjisinin önemli oluşunun nedenleri de tartışılmalıdır.

### 3.3. Enerji Kaynakları İçerisinde Hidrojenin Yeri

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi gibi her zaman enerji üretmek mümkün değildir. Ama hidrojen ihtiyaç olan yerlere taşınabilir ve stoklanabilir (<http://www.energyquest.ca.gov/story/chapter20.html>). Bunlar, hidrojenin diğer alternatif enerji kaynaklarından ayıran en önemli özelliklerinden birkaçıdır.

Dünyanın enerji gereksiniminin büyük bölümünü karşılayan fosil kaynaklar hem gittikçe azalmakta hem de çok ciddi çevre ve hava kirliliğine sebep olmaktadır. Hidrojen, bir enerji taşıyıcısı olarak bu sorunların çözümü için bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu sebeple son yıllarda hidrojen enerjisi üzerinde yoğun araştırma ve geliştirme faaliyeti sürdürülmektedir. Temiz ve yenilenebilir hidrojen enerjisinin dünyanın artan enerji gereksinimini karşılayacağı bir gelecek için gelişmiş ülkeler çok yoğun bir şekilde büyük ölçekli teknolojik araştırma ve geliştirme programları yürütmektedirler. Hidrojen enerjisi konusunda son yıllarda meydana gelen gelişmeler, 2010 yılından itibaren hızlanan bir süreç içinde hidrojenin özellikle ulaşım sektöründe diğer yakıtların yerine geçeceği bir geleceği işaret etmektedir. Bu vizyonda hidrojenin çeşitli üretim yerlerinden kullanım yerlerine ulaşması için gereken dağıtım altyapısı ve hidrojen istasyonları da yer almaktadır (İDER, 2003:101). Dünyanın  $\frac{3}{4}$ ' ünün su ile kaplıdır. Suyun içinde de hidrojen atomunun bulunması nedeniyle

hidrojen dünyada en fazla bulunan elementtir. Sudan hidrojenin elde edilmesi çeşitli metotlar uygulanmaktadır.

### 3.4. Hidrojenin Elde Edilmesi

Hidrojen üretme teknolojileri şöyle sayılabilir (İDER, 2003:102):

1. Kömür, doğalgaz, benzin gibi fosil yakıtlardan termokimyasal yöntemlerle hidrojen elde edilmesi. Buharla reaksiyon yöntemi en çok kullanılan yöntemdir. Burada fosil yakıt bir nikel esaslı katalizör vasıtası ile buharla reaksiyona girer ve hidrojen açığa çıkar. Ayrıca biomas'dan proliz yöntemi ile elde edilen bio-yag'dan da benzer şekilde buharla reaksiyon ile hidrojen elde edilir.

2. Suyun elektrolizi ile hidrojen elde edilmesi. Elektrik enerjisi kullanarak su hidrojen ve oksijene ayrılır.

3. Fotoelektrokimyasal yöntemle güneş enerjisinden hidrojen elde etme. Elektroliz yönteminin bir benzeridir. Elektrik akımı suya batırılmış güneş pillerinden elde edilir. Normal elektroliz yönteminden daha verimlidir.

4. Fotobiyolojik yöntemle yeşil yosunlardan doğal fotosentez faaliyetlerinden faydalanarak hidrojen elde etme.

5. Çeşitli hidrit bileşiklerinden kimyasal yöntemlerle hidrojen elde etme. Bunların en önemlisi sodyum borohidrit'tir. Hidrojen halen en ucuz olarak fosil yakıtlardan buharla reaksiyon yöntemi ile elde edilmektedir. Ancak bu yöntem fosil kaynaklara olan bağımlılığı azaltmamakta ve aynı zamanda hava kirliliğine sebep olmaktadır. Diğer en çok kullanılan yöntem elektrolizle suyun ayrıştırılmasıdır. Elektroliz yönteminin ve diğer yöntemlerin verimlerinin artırılması ve üretim maliyetlerinin azaltılması için yoğun araştırmalar yapılmaktadır.

Hidrojeni elde ettikten sonra üretilmesi, depolanması ve taşınması için de ayrı bir çalışma gerekmektedir.

### 3.5. Hidrojenin Üretilmesi, Depolanması ve Taşınması

'Sonsuz' güneş enerjisi yardımıyla, her yerde bulunan suyu ayrıştırarak hidrojen elde edilmesi en temiz ve sürdürülebilir yol olarak görülmektedir. İlk akla gelen ve üzerinde durulması gereken yöntem, güneş enerjisinin önce yarı iletken kristallere dayalı güneş hücrelerinden yaklaşık %30 verimle elektrik enerjisine çevrilmesidir. Hidrojen üretiminde ikinci adım ise elde edilen elektrik enerjisi kullanarak elektroliz yoluyla suyun oksijen ve hidrojene ayrıştırılmasıdır (BİLİM ve TEKNİK, 2006:4).

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. (ÜN, 2007).

Üretilen hidrojen depolanabilmekte, boru hatları ve/veya tankerlerle taşınabilmektedir. Doğal gaz boru hatlarının gelecekte hidrojen taşınması için kullanılacağı belirtilmektedir. Hidrojen gaz biçiminde boru hatlarıyla taşınabildiği gibi, yüksek basınçlı gaz ve sıvılaştırılmış biçimde tankerlerle taşınabilmektedir. Gaz hidrojenin zeolit ortamlarda depolanması çalışmaları vardır. Ancak, enerji içeriğinin yüksekliği açısından gaz yerine sıvı hidrojen depolama teknikleri üzerinde durulmaktadır. ([www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif\\_enerji/Hidrojen\\_Enerjisi.htm](http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif_enerji/Hidrojen_Enerjisi.htm)).

Hidrojen sıkıştırılmış gaz, sıvı ya da metal hidritlerle katı halde taşınabilir. En ucuz taşıma yöntemi, taşınacak hidrojenin miktarına ve taşıma yapılan yola bağlı olmaktadır. Hidrojenin taşınması için uygulanan ve burada incelenen metodlar, karayolu, demiryolu, denizyolu ve boru hatları olacaktır (YUMURTACI vd. 2002:47)

Hidrojenin üretimi çeşitli yollarla yapılabilen, depolama doğal gazın tükendiği yeraltı mağaralarına yapılabilen, taşıma ise doğal gaz borularıyla ya da tankerle yapılabilen, Ev ve iş yerlerine ulaşan hidrojen, insanların kullanımına sunulmuştur.

### **3.6. Hidrojenin Kullanım Alanları**

Hidrojenin kullanımından bahsettikten sonra başta ulaşım olmak üzere sabit kullanım ve portatif kullanım alanlarında kullanılmaktadır.

#### **3.6.1. Hidrojen Nasıl Kullanılır?**

Hidrojen iki şekilde kullanılmaktadır. İlki yakıt pili teknolojisidir. Bu teknoloji, konutlarda ısıtma amaçlı, doğrudan elektrik üretici, taşıt araçlarında ve savunma sanayinde kullanılmaktadır. Diğeri ise doğrudan yanmalı motor teknolojisidir. Bu sadece taşıt araçlarında kullanılmaktadır. Hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı ve kimyasal enerjinin elektrik enerjisine çevrildiği sistemler yakıt hücreleri diye adlandırılır. Bu sistemlerde hidrojenin yanma ürünleri yalnızca su ve su buharlarıdır. Yeni geliştirilen bu sistemlerde hidrojen doğrudan ya da hidrojen salan herhangi bir kaynak yardımıyla sisteme verilmekte ve istenilen enerji elde edilmektedir (ŞAHİN, [hydrogen.cankaya.edu.tr/sunum/sunum4.ppt](http://hydrogen.cankaya.edu.tr/sunum/sunum4.ppt)).

#### **3.6.2. Ulaşım**

Günümüzde hidrojen konusundaki çalışmaların önemli bir kısmı otomotiv sektörüne odaklanmıştır. Hidrojen içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilen ancak hidrojenin gerçek anlamda üstünlüğü yakıt pillerinde ortaya çıkmaktadır. Otomobillerde kullanılacak kapasitedeki yakıt pilleri hali hazırda uygula-

maya geçmiş durumdadır. Söz konusu çalışmaların otomotiv sektöründe yoğunlaşmasının önemli nedenleri bulunmaktadır. Otomotiv sektörünün en önemli özelliklerinden bazıları, bu sektördeki rekabetin son derece yüksek olması pazarın oldukça büyük ve çeşitli olması otomotiv üreticilerinin büyük firmalar olması, üretim ve kullanım maliyetlerinin yüksek olması, küçük oranlı maliyet avantajlarının bile hem kullanıcılara hem de üreticilere önemli avantajlar sağlayabilmesi gibi nedenler sayılabilir (ÜN, 2007).

Uygun şekilde depolandığı takdirde hidrojen, ister sıvı, ister gaz halde bulunsun yakıt olarak kullanılabilir. Otomobil üreticileri hidrojenle çalışan otomobiller geliştirmişlerdir. Hidrojen benzinden %50 daha verimli yanar. Ve daha az kirliliğe yol açar. Kirliliğin azaltılması için benzin, etanol, metanol ve doğalgazla karıştırılabilir. Tamamıyla hidrojen yakan bir motor sadece su ve az miktarda azot oksit üretmektedir (KÜKRER, 2007:90). Hidrojen yenilenebilir enerji kaynaklarından ya da nükleer enerjilerden üretilirse hidrojen teknolojileri karbon emisyonlarını azaltabilir (TSENG vd. s.12)

Bugün hava kirliliğinin en önemli sebebi araçlardan çıkan egzoz gazıdır. Çevre ve insan sağlığı açısından çok zararlıdır. Fakat hidrojenin böyle bir zararının olmaması özellikle otomotiv sektöründe kullanımını arttırmıştır.

### 3.6.3. Sabit Kullanım Alanları

Yakıt hücrelerinin sabit (ev ve işyerlerindeki) kullanım alanları da oldukça geniştir. Yakıt hücreleri, evlerde ve iş yerlerinde enerji (elektrik, ısıtma, soğutma vb.) ihtiyacını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Hâlihazırda, Japonya'nın bazı kentlerinde evlerde yakıt hücresi ile elektrik üretiminin yapıldığı ve ısınmanın buna dayalı olarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu alanda sağlanan başarılar sabit kullanımları hızlı bir şekilde artırmakta ve bu pazarın büyümesine imkan sağlamaktadır. Yani, yakıt hücrelerine dayalı elektrik üretimi ev ve işyerlerinde hızla artmaktadır (ÜN, 2007). Günümüzde elektrik insanoğlunun vazgeçilmez ihtiyacı durumdadır. Bir dakika bile elektriğin kesilmesi hayatın durmasına neden olmaktadır. Bunun olmaması için alternatif olarak hidrojen devreye girebilmektedir hatta daimi olarak kullanılabilir. (ÜN, 2007).

### 3.6.4. Portatif Kullanım Alanları

Hidrojen ve yakıt hücrelerinin birçok portatif kullanım alanı bulunmaktadır. Cep telefonları bataryalar, dizüstü bilgisayarlar, dijital kameralar, video kameralar ve mobil araç uygulamaları (Portatif Device Applications– PDAs) bu kullanım alanları arasındadır. Cep telefonları yakıt hücreleri için en büyük pazar potansiyeline sahip gözükmektedir. Örneğin; dünyada 2004 yılında 8,6 milyon cep telefonu satılırken, 2009 yılında bu rakamın 463,8 milyona çıkması beklenmektedir. Dizüstü bilgisayarlar ise yakıt hücreleri için ikinci en büyük pazar potansiyelinde sahip alan olarak nitelendirilmektedir (ÜN, 2007). Özellikle cep telefonunda hidrojenin kullanımı,

insanlarda giderek birden fazla cep telefonuna ihtiyaç duymaları sebebiyle her geçen gün artmaktadır. Bu sebeple hidrojene geçiş için çalışmalar hız kazanmıştır.

### **3.7. Hidrojen Ekonomilerine Geçiş Stratejileri**

‘Geleceğin enerjisi’ denilen hidrojen enerjisini pratiğe geçirme çalışmalarına hız verilmiştir.

Hidrojen ekonomisine geçiş aşamaları 4 aşamadan oluşmaktadır.

#### **Birinci Aşama: Teknolojide, Politikalarda ve Pazarda İlerlemeler**

Bu aşamada, laboratuvar araştırmalarında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu çerçevede; Yakıt Pilleri ve Katı Hal Depolama Tekniklerinde Maliyetin Azaltılması, Uluslararası Standartların, Hidrojenin Güvenli Kullanımı Açısından Uygulanması ve İçten Yanmalı Motorlarda Hidrojen Kullanımına Yönelik Çalışmalar yapılmıştır.

#### **İkinci Aşama: Pazara Geçiş**

Bu Aşamada, Hidrojen Dağıtım Sistemlerinin Yerlerini Alması, Yenilenebilir Enerji Sistemleri ile Entegrasyonu, Hafif ve Maliyeti Düşük Hidrojen Sistemlerinin, Ticari Olarak Elverişli Olması yönünde çalışmalar yapılmıştır.

#### **Üçüncü Aşama: Pazarların ve Altyapıların Yayılması**

Bu aşamada, Hidrojen Üretiminin Artması, Maliyetlerin Düşmesi, Pazar Payının Yükselmesi, Yakıt Pili Araçlarının ve Otobüslerinin Artması, Ulusal Hidrojen Altyapılarının Oluşturulması’na çalışılmaktadır.

#### **Dördüncü Aşama: Hidrojen Vizyonunun Gerçekleşmesi**

Son aşamada, Hidrojenin, Yenilenebilir Enerji Kaynaklar ile Birlikte Fosil Yakıtların Yerini Alması, Hidrojenin, Yakıt ve Elektrik Üretiminde Kullanılması İçin Ulusal Altyapının Oluşması yönünde çalışmalar yapılmaktadır (YILMAZ, 2006). Bu aşamaların gerçekleştirilmesi ile hidrojen enerjisinin 21. yüzyılın enerjisi olma yolunda önemli adımlar atmış olacaktır.

Son 25-30 yıllık süreçte hidrojen enerjisi ile ilgili yapılan projelerde başarılı sonuçlar alınırken günümüzde hidrojenle çalışan otomobil, otobüs, pil, cep telefonu, klima ve bilgisayarlar yapılmaya başlanmıştır. Dünya hidrojen ekonomisinde önemli gelişmeler kaydederken, Türkiye’nin de enerji bakımından dışa bağımlı olmasından dolayı bu konuda acilen projeler geliştirmelidir.

Hidrojenin üretiminden, hayatımıza bir an önce girmesi için yapılan çalışmalardan bahsettikten sonra hidrojen ekonomisinin SWOT analizi yapılmıştır.

#### 4. Hidrojen Ekonomisinin SWOT Analizi

Hidrojen ekonomisinin SWOT analizinde güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

##### Güçlü yönler;

- Yakıtı ulaştırmak için altyapıya gerek yoktur.
- Zaman içinde enerji kaybı olmadan mevsimlik enerji depolanabilir.
- Yenilenebilir enerji kaynakları sistemlerinden garanti güç sağlayabilir.
- Sıkıştırılmış gazların teslimatında deneyimin olması.
- Aralıklı yenilenebilir enerji kaynakları ile ideal bir entegrasyon için güç dalgalanmalarını ele almak mümkündür (H-SAPS, [www.cres.gr/kape/hmerida/files/ydrogen/HSAPS%20brochure.pdf](http://www.cres.gr/kape/hmerida/files/ydrogen/HSAPS%20brochure.pdf)).
- Hidrojen kirlenici değildir.
- Hidrojen örneğin aşırı rüzgar enerjisi tarafından üretildiği zaman serbest enerji emisyonu sağlar.
- Hidrojen evrendeki en fazla bulunan elementtir. Neredeyse sınırsız olan suyun bir bileşenidir (COLE vd., s.6).

##### Zayıf yönler;

- Kodları ve standartları eksiktir
- Düşük elverişlilik ve küçük elektroliz uygulayıcılarının yüksek maliyeti sorunudur.
- Satış sonrası destek eksikliği
- Satın alma maliyeti (H-SAPS, [www.cres.gr/kape/hmerida/files/ydrogen/HSAPS%20brochure.pdf](http://www.cres.gr/kape/hmerida/files/ydrogen/HSAPS%20brochure.pdf))
- Hidrojene dönüşüm ucuz değildir.
- Dönüşüm ekipmanı pahalı ve süreç yüksek enerji tüketimine sahiptir (COLE vd., s.6).

##### Fırsatlar;

- Şu anki AB ve ulusal finansman planları
- Yeni iş fırsatları
- Enerji sektöründe yer alan şirketlerin çeşitliliği

- Çevresel etkilerin azaltılması (H-SAPS, [www.cres.gr/kape/hmerida/files/ydrogen/HSAPS%20brochure.pdf](http://www.cres.gr/kape/hmerida/files/ydrogen/HSAPS%20brochure.pdf))
- Daha kısıtlayıcı karbondioksit emisyon normları hidrojen teknolojisinin gelişimini hızlandırmak için bir teşvik olabilir (COLE vd., s.6).

#### **Tehditler;**

- Potansiyel kullanıcıların deneyimsiz olması
- AB’de SAPS için kamuda piyasa araştırması yoktur.
- Yetersiz ticarileşme planı
- Yetersiz yasal çerçeve (H-SAPS, [www.cres.gr/kape/hmerida/files/ydrogen/HSAPS%20brochure.pdf](http://www.cres.gr/kape/hmerida/files/ydrogen/HSAPS%20brochure.pdf))
- Birçok engelden özellikle maliyet ve düşük verimlilik, büyük ölçekli hidrojen teknolojisinin girişini engeller (COLE vd., s.6).

Hidrojen ekonomisinin güçlü yönleri, temiz bir enerji olmasının yanında şu anda sıkıştırılmış gazların taşınabilmesinden dolayı ulaşımı için altyapıya gerek yoktur. Zayıf yönleri, verimliliğin düşük ve maliyetlerin yüksek olmasıdır. Fırsatlar, istihdam açısından yeni iş kolları yaratarak işsizlik oranının düşmesine yardımcı olacaktır. Tehditler ise, yasal çerçevenin olmaması ve toplumun bilinçsiz olmasıdır.

#### **5. Dünya’da ve Avrupa Birliği’nde Hidrojen Ekonomisi Uygulamaları**

Dünya’da ve Avrupa Birliği’ne üye bazı ülkelerde hidrojenle ilgili ciddi çalışmalar yapılmaktadır.

##### **5.1. Dünya’da Hidrojen Ekonomisi**

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 Uluslararası 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 ada da solar radyasyon kullanarak deniz suyundan elektrolizle hidrojen üretmeyi planlamaktadırlar ([www.eie.gov.tr/turkce/YEK/hidrojen/teknolojik\\_gelismeler.html](http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/hidrojen/teknolojik_gelismeler.html)). Japonya’nın ilk somut adımı ulaşım alanında atılmıştır.

Japonya’nın en büyük tren şirketi -East Japan Railways- NE Train (Yeni Enerji Treni) adı verilen yakıt hücreli trenin ilk deneme sürüşünü 2006 yılında gerçekleştirmiş ve 2007 yılından itibaren de hizmete gireceği belirtilmiştir. Bu tren sayesinde, hidrojenle oksijen arasında bir kimyasal reaksiyonla elektrik üreten yakıt hücresi teknolojisi atık madde olarak su buharı üretecektir. Yakıt hücreli trenin lokomotifli elektrikli pille çalışarak, saatte 100 km yol alması planlanmıştır (KILINÇ,

2008:37). Japonya'nın bu girişimine karşı Almanya da ikili ilişkiler çerçevesinde ortak programlar geliştirmektedir.

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. Suudi Arabistan ayrıca solar hidrojeni sürekli ihraç etmeyi planlamaktadır. Diğer uluslararası başarılı program Avrupa ve Kanada arasındaki Euro-Quebec'tir. Bu programda nispeten ucuz olan hidrogüçten üretilerek Kanada'dan Avrupa'ya ithal edilecek sıvı hidrojenin deniz aşırı taşınımı, depolanması ve kullanım alanları araştırılmaktadır.

Almanya ile ortak projeler yürüten petrol zengini ülkelerden biri olan Suudi Arabistan'ın hidrojenle ilgilenmesi, yatırımlar yapması ilerde hidrojenin önemli bir enerji kaynağı olacağı ve petrolün bir gün biteceği gerçeğinin en büyük göstergesidir.

Büyük miktarlarda yenilenebilir enerji rezervlerine sahip olan İzlanda'nın asıl umut kaynağı hidrojenidir. Jeotermal enerjiden büyük ölçüde faydalanan İzlanda, dünyanın ilk "hidrojen ekonomisi" olmayı planlıyor. Ülkenin jeotermal su kaynakları ev ve büroların yüzde 90'ının ısıtılmasında kullanılıyor, aynı zamanda herhangi bir sera gazı yaymadan büyük çapta elektrik enerjisi üretiyor ([www.dw-world.de/dw/article/0,,2523282,00.html-28k](http://www.dw-world.de/dw/article/0,,2523282,00.html-28k)). Hidrojenle ilgili en büyük ilerleme kaydeden ülke konumunda olan ülkelerden birisi İzlanda'dır.

## 5.2. AB'de Hidrojen Ekonomisi

Eğer hiçbir faaliyet gösterilmezse, Avrupa Birliği 20-30 yıl içinde % 90 oranında petrol, % 70 oranında gaz ve % 100 oranında kömür ithalatına bağımlı hale gelecektir. Avrupa Komisyonu, "Bağımlılığımızın Üstesinden Gelelim" adlı raporunda, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve yeni teknolojilerin, Avrupa Birliği'nde enerji arzının sağlanmasına yardımcı olabileceği belirtilmektedir. 2003 yılından itibaren hidrojen ekonomisi kavramı, AB'deki gelecek on yıllar için bir strateji haline gelmiştir. AB Komisyonu, bu strateji için uygun araçlar planlamayı amaçlamaktadır. 2003'te otomobil üreticilerinden, enerji sektöründen, araştırmacılarla birlikte, politika yapıcılardan oluşan Yüksek Düzey Grup "Hidrojen ve Yakıt Hücreleri: Geleceğimiz için Bir Vizyon" adlı final raporunu hazırlamışlardır. Avrupa çapında, hidrojenin farklı yönleri üzerine odaklanan çalışmalar vardır (ASLAN, 2007:292).

İngiltere'de 2005 yılı itibarıyla hidrojen ve yakıt hücreleriyle ilgili 375'in üzerinde proje bulunduğu belirtilmektedir. İngiltere AR-GE faaliyetleri için 670 milyon £ ayırmış ve bu miktarın 280 milyon £ kısmı bizzat hükümet tarafından sağlanmıştır. İngiltere'deki projelerin toplam maliyetinin 276.000.000 £'i aştığı belirtilmektedir. Bu arada bazı deneme programları başarıyla tamamlanmıştır. 2004 Ocak

ayında Londra’da iki otobüsle başlanan ve 2005 Aralık ayında tamamlanan yakıt hücresi deneme programı bunlar arasındadır.

Fransa’nın yakıt hücreleriyle ilgili AR-GE çalışmalarının başlangıcı çok daha eskilere, 1960’lı yıllara dayanmaktadır. Bu ülkede, 2004 yılındaki hidrojen ve yakıt hücresi AR-GE harcamalarının %57’sini özel sektör, %43’ünü de kamu sektörü gerçekleştirmiştir. Bu, konuya verilen önemin derecesini göstermesi bakımından anlamlıdır. Ayrıca Fransa’daki projelerin %52’sinin yakıt hücreleri; %32’sinin ise hidrojenle ilgili olduğu belirtilmektedir. Fransa’da hidrojen teknolojileri konusunda araştırma yapan çeşitli kamu araştırma merkezleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları CEA (Atomic Energy Commission), CNRS (Centre National de Recherche Scientifique) ve IFP (Institut Français du Pétrole)’dir. CEA hidrojen üretimi, depolanması, PEM ve SOFC yakıt hücreleri üzerine çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalar farklı merkezlerde 135 araştırmacı tarafından yapılmaktadır. CNRS de hidrojen ve yakıt hücresi ile ilgili çok büyük araştırmalar yapan gelişmiş bir merkezdir. IFP ise yıllardır hidrojen üretimi, depolanması, kullanımı ve ulaşımı üzerinde araştırmalar yapmaktadır (POLAT ve KILINÇ, [www.insanbilimleri.com/ojs/index.php/uib/article/viewFile/298/228](http://www.insanbilimleri.com/ojs/index.php/uib/article/viewFile/298/228)).

Genel olarak baktığımızda ülkelerin çoğunda hidrojenle ilgili yapılan çalışmalar ve projeler geçmişte başlamasına rağmen somut adımların 21. yüzyılda atıldığı görülmektedir. Bu projelerin hızlandırılmasını sağlayan sebepler arasında gerekli altyapı çalışmalarının tamamlanması, fosil yakıt rezervlerinin azalmaya başlaması, dünya nüfusunun hızla artması, teknolojinin hızla ilerlemesi sayılabilir.

## **6. Türkiye’de Hidrojen Ekonomisinin Geleceği**

Hidrojen enerjisi ve Türkiye’nin ön planda olmak üzere hidrojen ekonomisinin Türkiye açısından SWOT analizi ile hidrojenin geleceği konuları ele alınacaktır.

### **6.1. Hidrojen Enerjisi ve Türkiye**

Türkiye, enerji ihtiyacının çok büyük bir kısmını geleneksel enerji kaynaklarından sağlamaktadır. Örneğin; enerji ihtiyacının %85 gibi çok büyük bir kısmının kaynağını petrol, taşkömürü, doğalgaz ve linyit oluşturmaktadır. Ayrıca enerjisinin % 70 veya daha fazlasını da ithal kaynaklardan sağlayan bir ülke durumundadır. Genel enerji tüketiminde %38 ile petrol, %27 ile kömür, %23 ile doğal gaz ve geriye kalan %12’lik pay ile de -hidrolik dâhil olmak üzere- yenilenebilir kaynaklar gelmektedir.

Ülkemizde hidrojen ve hidrojen teknolojileri konusunda dünyadaki gelişmeleri ne derece yakından takip edebildiği konusunda soru işaretleri bulunmakla birlikte bu alanda ülkemiz açısından dikkat çekici çalışmaların yapıldığını da belirtmek gerekir. Türkiye birkaç nedenden dolayı bu alanda önemli gelişmeleri yakalama potansiyeli olan bir ülkedir.

Geliştirilebilir AR-GE altyapısı, hidrojen üretimine uygun kaynakları ve konunun önemini anlayan ve bu alana yatırım yapan bir özel sektör ile Türkiye bu fırsatı yakalama şansına sahiptir (POLAT ve KILINÇ, [www.insanbilimleri.com/ojs/index.php/uib/article/viewFile/298/228](http://www.insanbilimleri.com/ojs/index.php/uib/article/viewFile/298/228)). Hidrojen temelli altyapının gelişimi için teknolojik ve ekonomik kısıtlamaların çözülmesi gerekir (CONTE vd. s.176) Ülkemizin enerjide dışa bağımlı bir ülke olması çalışmaları hızlandıracak fakat araştırma yapacak birimlerin olmaması sıkıntı yaratmaktadır.

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde hidrojen alanında Uluslararası Enerji Ajansı programları kapsamında çalışma başlatılmak istenmişse de, söz konusu işbirliği 1996 yılında kesilmiştir. Birleşmiş Milletler (UNIDO) desteği ile ICHET projesi kapsamında, İstanbul'da Hidrojen Enstitüsü kurulması konusu gündemdir. 20-22 Kasım 1996 tarihlerinde Viyana'da yapılan 16. UNIDO Endüstriyel Kalkınma Kurulu Toplantısı'nda, UNIDO işbirliği ile ülkemizde Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi (ICHET) kurulması kararı alınmıştır. Buna göre, UNIDO hukuksal çerçevesinde özerk bir kurum olarak çalışacak ICHET, İstanbul'da kurulacaktır.

ICHET'in tasarlanan amacı, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında hidrojen teknolojileri köprüsünü oluşturmak, hidrojen teknolojilerinin geliştirilmesini sağlamak ve uygulamalı Ar-Ge çalışmalarını yürütmektir ([www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif\\_enerji/Hidrojen\\_Enerjisi.htm](http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif_enerji/Hidrojen_Enerjisi.htm)). ICHET'in Türkiye'de kurulacak olması Dünya'nın hidrojene ve Türkiye'ye verdiği önemi vurgulamaktadır. Böylece Türkiye, hidrojen üssü olarak önemli bir görev üstlenmiş olacaktır.

Türkiye, ilk beş yıllık dönem için arazi, tesis, ilk yatırım ekipmanı ve işletme faaliyetlerini finanse etmek üzere, 40 milyon ABD \$'ı verecektir. ICHET projesi Türkiye'nin hidrojen çağına tutarlı biçimde adım atmasını sağlayacak, Türkiye'ye avantaj kazandıracak önemli bir girişimdir (ÖZTÜRK vd., [www.emo.org.tr/ekler/51c5ffd6b62cc21\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/51c5ffd6b62cc21_ek.pdf)). Bu girişimle Türkiye'de bol miktarda bulunan hidrojenin üretilmesi yolundaki ilk adım atılmış olmaktadır.

Türkiye'nin hidrojen üretimi açısından bir şansı, uzun bir kıyı şeridi olan Karadeniz'in tabanında kimyasal biçimde depolanmış hidrojen bulunmasıdır. Karadeniz'in suyunun % 90'ı anaerobiktir ve hidrojen sülfid (H<sub>2</sub>S) içermektedir. 1000 m derinlikte 8 ml.lt-1 olan H<sub>2</sub>S konsantrasyonu, tabanda 13.5 ml.lt-1 düzeyine ulaşmaktadır. Elektroliz reaktörü ve oksidasyon reaktörü gibi iki reaktör kullanılarak, H<sub>2</sub>S den hidrojen üretimi konusunda yapılmış teknolojik çalışmalar vardır. Bu konuda yapılmış bir diğer teknoloji geliştirme çalışması, semikondüktör partikülleri kullanarak fotokatalitik yöntemle hidrojen üretimidir. Güneş ve rüzgar enerjisinden yararlanarak, Karadeniz'in H<sub>2</sub>S içeren suyundan hidrojen üretimi için literatüre geçmiş bilimsel araştırma olup, Bulgaristan proje geliştirmeye çalışmaktadır (TUSİAD, 1998:214). Karadeniz'de hidrojenin bol miktarda bulunması nedeniyle Türkiye'nin hidrojen üssü olma yolundaki önemli bir kaynaktır.



Hidrojeni elektrik enerjisine çevirmenin en iyi yolu olan yakıt hücrelerine ilişkin çalışmalar son yıllarda Türkiye’de de önemli oranda artmaya başlamıştır. Bu çalışmalardan biri, Ford Otosan, Arçelik, TOFAŞ, Aygaz ve Demirdöküm firmaları ile Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) işbirliği ile geliştirilmesi, üretilmesi ve ticarileşmesi planlanan yakıt hücresi projesidir.

Türkiye’de yürütülen hidrojen tabanlı projelerden bazıları şunlardır:

• **Atatürk hava meydanı otobüs projesi:** TPAO ve TEMSA’nın ortak olarak yürüttükleri bir projedir. TEMSA’nın ürettiği hidrojenle çalışan otobüsler hava meydanı içinde ve dışında TPAO tarafından işletilecektir. Otobüslerde içten yanmalı motorların kullanılması planlanmaktadır.

• **Rüzgâr-hidrojen projesi:** Demirer Holding, BOS, Çukurova Holding ve Unilever şirketlerinin yer aldığı bir konsorsiyum tarafından yürütülecek proje, rüzgârdan hidrojen üretimini öngörmektedir.

• **Hastane Projesi:** Ankara’da bir hastanede hidrolizle oksijen ve hidrojen üretimi planlanmaktadır. Oksijen, ameliyathanede ve bebek doğum kısmında; hidrojen ise ambulans yakıtı ve yemek pişirmede kullanılacaktır. Proje Haziran 2008’de bitirilmiştir.

• **Ambarlı santrali hidrojen projesi:** EÜAŞ ve İGDAŞ tarafından yürütülmekte olan proje, hidrojen üretilip doğalgaz boru hattına verilmesi ilkesine dayanmaktadır. Proje, gece kullanılmayan elektriği kullanarak hidrojen üretimini öngörmektedir. Doğalgaz boru hatlarına verilen hidrojen oranı giderek artırılarak, mevcut doğalgaz boru hattının gelecek 50 yıl içinde hidrojen boru hattına dönüşeceği tahmin edilmektedir.

• **Hidroelektrik-hidrojen projesi:** EÜAŞ, TPAO ve İGDAŞ’ın oluşturduğu bu projede uygun bir hidroelektrik santralinden hidrojen üretilip doğalgaz boru hattına verilmesi öngörülmektedir. Projenin Haziran 2009’da faaliyete geçirilmesi beklenmektedir.

• **Biyomas-hidrojen projesi:** Proje, tatlı sorgum bitkisinden hidrojen üretimini öngörmektedir. Yapılan bazı AR-GE çalışmalarına göre, bugün için en ucuz hidrojenin biyo-yakıtlardan üretilebileceği görülmektedir. Proje Eylül 2008’de faaliyete geçirilmiştir.

• **Hidrojenli ev projesi:** Bu projede Denizli’de güneş pillerinden elde edilen elektrik ile hidrojen üretilmesi öngörülmektedir. Evin ve aracın yakıtı hidrojenle sağlanacaktır. Ekim 2008’de tamamlanan projenin finansmanı Devlet Planlama Teşkilatı tarafından sağlanmıştır.

• **Traktör projesi:** Türk Traktör ve Petrol Ofisi tarafından ortaklaşa yürütülen bu projede, Türk Traktör’ün ürettiği bir traktör hidrojenle çalışacak ve Petrol

Ofisi de aracın hidrojenini sağlayacaktır. Bu proje Kasım 2007'de faaliyete geçmiştir.

• **Forklift projesi:** Çukurova Holding ve BOS firmaları tarafından gerçekleştirilen proje, hidrojenle çalışan bir forklift geliştirilmesini öngörmektedir. Çukurova Holding tarafından geliştirilen forkliftin hidrojeninin BOS tarafından sağlanması planlanmıştır. Proje Nisan 2008'de tamamlanmıştır. Çukurova Holding'e göre bu ürünün pazarlanabilirliği oldukça yüksektir.

• **Deniz taksi projesi:** T-Design, Okted ve BOS tarafından ortaklaşa yürütülen projeye göre hidrojenle işleyen iki adet deniz taksisinin geliştirilmesi öngörülmektedir. Projeye göre deniz taksilerinden birisi üzerinde hidrojen deposu olacak şekilde tasarlanacak ancak diğeri üstüne yerleştirilecek güneş pili vasıtasıyla yakıtını kendisi üretecektir. Projenin yapımına Ekim 2008'de başlanmıştır.

• **Güneş-hidrojen projesi:** Proje, güneş enerjisinden hidrojen üretilmesini öngörmektedir. Güneş pillerinin araçların üstüne konularak elde edilen güneş enerjisiyle, hidrojen yakıt hücresinin doldurulması planlanmaktadır. Sistemle motosiklet gibi küçük araçların yakıtlarının karşılanması planlanmıştır. Proje, Ekim 2006'da başlamıştır.

• **İzmit Belediyesi otobüs projesi:** Bu projeye İzmit'te 10 adet otobüsün hidrojenle çalışması planlanmıştır. Bunlar içten yanmalı motorlu araçlara ve dizel otobüslere göre yüzde 30 daha pahalı fakat yakıt pilli otobüslere göre daha ucuz olması beklenmektedir. Otobüslerin TEMSA tarafından üretilmesi, hidrojenin ise BOS veya TPAO tarafından sağlanması planlanmıştır.

• **Türkiye'de Hidrojenle Çalışan Otobüs Projesi:** Proje, İstanbul'da hidrojenle çalışan otobüslerin hizmete sokularak gerekli hidrojenin gece kullanılmayan elektrikten elde edilmesini içermektedir. Bu otobüslerin üç yıl gibi bir süre içerisinde hizmete girmesi planlanmıştır. Bu otobüslerden bir kısmının hidrojen yakıt hücreleriyle, bir kısmının da hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlarla çalışması planlanmıştır. Bu otobüslerin önümüzdeki yılda hizmete girmesi düşünülmektedir.

• **Bozcaada'da Hidrojen Üretimi Projesi:** Bu proje, nüfusunun kışın 3 000, yazın ise 10 000 civarında olan Bozcaada'da rüzgâr enerjisinden yararlanılarak hidrojen üretimini öngörmektedir. Elde edilen hidrojenin yerli sanayi ve taşıma için gerekli yakıt da dâhil olmak üzere ada halkının yakıt ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılması planlanmıştır (POLAT ve KILINÇ, [www.insanbilimleri.com/ojs/index.php/uib/article/viewFile/298/228](http://www.insanbilimleri.com/ojs/index.php/uib/article/viewFile/298/228)). Bu projelerin gerçekleşmesi halinde hem dışa bağımlılığımız azalacak hem de çevre kirliliğini azaltmış olacaktır.

Hidrojen enerjisine geçmenin Türkiye'ye faydaları;

▪ Petrol, doğalgaz ve kömür için sarf ettiğimiz döviz miktarları giderek düşecek, neticede bütün yakıt ihtiyacımızı kendi birincil enerji kaynaklarımızla sağlamış olacağız. Fosil yakıt ithal etmek mecburiyetinden kurtulacağız.

- Hidrojen enerjisi teknolojileri Türkiye'ye girecek, bazılarını Türk mühendisleri yaratacak ve bu konuda bilgi birikimi olacaktır.
- Yeni iş sahaları açılacak, hem tarımda ve hem de sanayide istihdam yaratacaktır.
- Türkiye ürettiği fazla hidrojeni Avrupa'ya satıp döviz kazanacaktır.
- Küresel ısınmanın, hava kirliliğinin ve asit yağmurlarının getirdiği zararlar ortadan kalkacak,
- Türkiye temiz çevreye kavuşacaktır.
- Türkiye Kyoto Protokolü kurallarına uymuş olacaktır.

Türkiye teknoloji ihraç eden bir ülke konumunda olacak, kalkınmasını hızlandıracak, ekonomik bağımsızlığını sağlayacak ve çağdaş uygarlığa erişecektir. Bu enerji sayesinde Türkiye'nin yolu açılacaktır. Çünkü geleceği parlak olan hidrojen konusunda birçok avantaja sahiptir.

## 6.2. Hidrojen Ekonomisinin Türkiye Açısından SWOT Analizi

Hidrojen ekonomisinin Türkiye açısından SWOT analizi yapılmıştır.

### Güçlü Yönler;

- Hidrojen, suda oksijenle birleşik olarak ve fosil yakıtlarda ve sayısız hidrokarbon bileşiklerde, karbon ve diğer elementlerle birleşik halde bulunmaktadır (ASLAN, 2007:284-285). Türkiye'nin üç tarafının denizlerle çevrili olması, hidrojen bakımından zengin bir ülke olduğunu gösterir.
- Hidrojen temiz, yenilenebilir, enerjiye dönüştürülebilir bir element olduğundan Türkiye'nin enerji ihtiyacını karşılayabilir.
- Türkiye'nin petrol ve doğalgaz ihtiyacını başka ülkelerden yüksek maliyetlerle karşılaması, yenilenebilir, ucuz enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Bu nedenle hidrojen önemli bir enerji kaynağıdır.

### Zayıf Yönler;

- Kamu ve özel sektöre yönelik uzun dönemli politikaların eksikliği
- Hidrojen enerjisi ve teknolojilerinin ilerlemesi yönünde öngörülerin yetersiz olması
- Hidrojen enerjisinin bilinmemesi ve hidrojen eğitiminin yetersiz olması
- Enerji endüstrisinde orta ve uzun döneme yönelik yatırımların olmaması
- Temiz enerji iş alanlarının yakın geçmişe kadar beklentileri karşılayamaması
- Hidrojen pazar potansiyelinin şirketler tarafından anlaşılammış olması (YILMAZ, 2006).

**Fırsatlar;**

- Hidrojen enerjisi ve teknolojileri ülkemiz adına büyük bir fırsattır.
- Enerji bağımsızlığı ve kontrolünü, sürdürülebilir kalkınma programı çerçevesinde ülkemize sağlayacaktır.
- Geleceğin teknolojisine bir vizyon oluşturup şimdiden yatırım yapmak, teknoloji liderliğini getirecektir (YILMAZ, 2006).
- Ülkemizde üretilen hidrojenle çalışan otomobillerin seri üretime geçmesi halinde önemli bir istihdam sağlanacak, işgücünü artırarak ülke ekonomisine önemli bir katkı yapacaktır.

**Tehditler;**

- Toplumun bir enerji taşıyıcısı olarak hidrojeni anlayamaması
- Hidrojen enerjisi ve teknolojilerinin ilerlemesi yönünde öngörülerin yetersiz olması (YILMAZ, 2006)
- Altyapının tamamlanmamış olması (ASLAN, 2007:296)
- Kamunun bu konuya yeterli önemi vermemesi, yasal bir düzenlemenin olmaması

Hidrojen ekonomisinin Türkiye açısından güçlü yönleri, ülkemizin büyük bir bölümünün denizlerle çevrili olması ve hidrojen üretiminde su miktarının önemli olması iken zayıf yönleri ise hidrojen enerjisi hakkında çok fazla şey bilinmemesi, dolayısıyla ileriye dönük yatırımların yetersiz kalmasıdır. Fırsatlar, hidrojenle çalışan araçlar geliştirildiği takdirde işsiz sayısı azalacak, piyasayı canlandıracaktır. Tehditler ise, kamunun gerekli önemi vermemesi dolayısıyla altyapının olmamasıdır.

**6.3. Türkiye’de Hidrojenin Geleceği**

Teknolojik verilere ve Türkiye'nin enerji-ekonomi verilerine göre, 1995-2095 arasında güneş-hidrojen sistemi ile yapılabilecek yakıt üretimi ve bunun fosil yakıtlarla rekabet olanağı, özel bir simülasyon modeli kapsamında bilgisayar çözümleri ile araştırılmıştır. Bu ulusal modelde, hidrojen üretiminin artışı için yavaş ve hızlı olmak üzere iki ayrı seçenek alınmıştır. Her iki seçenekte de 2010-2015 döneminde hidrojen enerjisi maliyetinin fosil enerji maliyetinin altına düşebileceği, ancak yapılabilecek yerli hidrojen üretiminin 2.3 Mtep'in altında kalacağı görülmüştür.

2020-2025 döneminde yerli hidrojen üretiminin 10 Mtep'in üzerine çıkabileceği, 2015 yılından sonra fosil yakıt dışalımını azaltıcı etki yapacağı bulgulanmıştır. Giderek sağlanacak hidrojen üretimi artışıyla, yerli petrol, doğal gaz ve kömür üretiminin sıfırlanabileceği 2065 yılında, yaklaşık 290 Mtep hidrojen üretilebileceği görülmüştür. Hidrojen üretimine bağlı biçimde ulusal kazancın artacağı saptanmıştır. Model bulguları, diğer bazı ülkeler ve dünya geneli için yapılmış benzer çalışmalara koşut durumdadır (TUSİAD, 1998:214). Bu sürecin kısılması için hükümete büyük iş düşmektedir.

İş faaliyetleri ve hükümet tedbirlerinin kombinasyonu, sürdürülebilir hidrojen enerjisi sektörünün büyümesinin teşvik edilmesi için gereklidir (BARRETO vd. 2002:9)

Hükümet ve iş dünyasının birlikte hareket etmesi ile hidrojenin Türkiye'deki geleceğinin planı çizilmiştir.

2010 yılında hidrojenin üretilmesi için altyapı çalışmalarına öncelik verilecek, toplumun ilgisini çekmesi için tanıtım yapılacak ve öncelikle küçük ölçekli araçlarda kullanılarak test edilecektir. 2015 yılına gelindiğinde, hidrojen temiz enerji kaynaklarından elde edilmeye başlanacak, topluma sağlayacağı faydalar tespit edilecek buna göre Pazar araştırması yapılacaktır. 2030 yılında ise, hidrojen ticarileştirilmeye çalışılacak ve ülke ekonomisine olabildiğince katkı sağlamasına çalışılacaktır.

### **2010**

- Termik ve hidroelektrik santrallerin maliyeti en iyi kılan koşullarda çalıştırılması
- Fazla enerjinin hidrojen olarak depolanması
- Alt yapı, temel araştırma, uygulamalı araştırma, tatbikat çalışmaları
- Elektroliz ve yakıt hücresi teknolojilerinin geliştirilmesi ve sahada test edilmesi
- Yakıt hücreli araç ve otobüslerin yakıt hücreli taşımacılığa öncülük etmesi
- Yakıt hücrelerinin küçük portatif cihazlarda kullanılması
- Biyolojik hidrojen üretim projelerinin araştırılması
- Tanıtımın hızlandırılması
- Özel çaba ile toplumun teşvik edilmesi

### **2015**

- Hidrojenin temiz enerji kaynaklarından (rüzgar, güneş vb) elde edilmesi
- Düzenli ve ulusal enerji ağından bağımsız alılabilecek izole enerji sistemlerinin geliştirilmesi
- Biyolojik hidrojen üretim projesinin geliştirilmesi
- Toplumsal ve kişisel faydaların belirlenmesi
- Pazarın yaygınlaşması

**2030**

- Büyüme hızı yüksek olan enerji bitkileri ve mevcut biyokütleden hidrojen üretilmesi
- Hidrojen ve yakıt hücrelerinin büyük ölçekte ticarileştirilmesi
- Yakıt temini sistemlerinin kurulması ve pazarın kendi kendini sürdürülebilir gelişiminin sağlanması
- Hidrojenin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi
- Hidrojen enerjisinin ülke enerji ekonomisine mümkün olduğunca katkısının sağlanması (ŞAHİN, [hydrogen.cankaya.edu.tr/sunum/sunum4.ppt](http://hydrogen.cankaya.edu.tr/sunum/sunum4.ppt) -).

Hidrojenin geleceği konusunda takvimler hazırlanmış olup yapılan çalışmaların zamanında gerçekleştirilmesi ile hidrojenle ilgili yapılan “21. yüzyılın enerjisi” varsayımı geçerli olacaktır.

**7. Sonuç**

Ülkelerin, uluslar arası alanda rekabet edebilmesi için sahip oldukları beşeri ve fiziki kaynakları etkin bir şekilde kullanmaları gerekmektedir. Beşeri kaynak arasında insanı, fiziki kaynaklar arasından da doğal kaynakları ele alabiliriz. Doğal kaynaklar bilinen bir gerçek olan sınırlı bir kaynaktır. Fosil yakıtların yenilenmesinin mümkün olmaması nedeniyle sürdürülebilir enerji konusu önemli bir konudur.

İktisadi bir bakış açısıyla dünyada var olan tüm ekonomilerin enerjiye bağımlı olmaları dikkate alınmış ve bu bağlamda başlıca enerji kaynakları ve bu kaynaklar içerisinde hidrojenin yeri vurgulanmaya çalışılmıştır. Dünya’da ve AB’de hidrojen ekonomisi ve dolayısıyla Türkiye hidrojen ekonomisinin geleceği konusunda bir bakış açısı verilmiştir.

Günümüzde, dünya ciddi bir sorunla karşı karşıyadır: Küresel ısınma. Bu sorunun en büyük sebebi çevre kirliliğine sebep olan fosil yakıtların doğaya vermiş olduğu zararlı gazlardır. Hem küresel ısınmayı önlemek hem de giderek tükenen fosil yakıtlara alternatif olarak hidrojen enerjisi dikkat çekmektedir. İnsanların enerji ihtiyacının artması, hidrojen enerjisine olan ilgiyi arttırmaktadır. Temiz ve bol olması, çevreye hiçbir zararının olmaması, depolanması ve taşınmasının kolay olması gibi özellikleriyle diğer alternatif enerji kaynaklarından ayrılmaktadır. Dünya’da hidrojenle ilgili önemli çalışmalar yapılmış hatta bazı ülkeler özellikle ulaşım alanında kullanmaya başlamıştır. Türkiye’nin yapılan SWOT analizinde ise önemli avantajları vardır. Üç tarafının denizlerle çevrili olması ve özellikle Karadeniz’in sahip olduğu hidrojen potansiyeli sebebiyle burada ilgili çalışmaları yürütecek birimler kurulmalıdır. Yani, Karadeniz Türkiye’nin hidrojen üssü olmalıdır. Hidrojenle çalışan ilk araçların üretilmesine rağmen geliştirilmesi gerekmektedir. Bunun için gerekli Ar-Ge çalışmaları yapılmalı, projeler geliştirilmeli, hidrojen sistemleri uygulamaları enerji politikalarıyla desteklenmeli ve üniversitelerde ilgili birimler kurulmalıdır.

Hidrojen enerjisinin kullanım alanlarında devlet tarafından başta vergi teşvikleri olmak üzere destek verilmelidir. Hidrojenin uygulamaya geçmesi ile ülkemiz dışa bağımlı bir ülke olmaktan çıkacak, döviz rezervleri azalmayacaktır.

### **Kaynaklar**

AÇIKGÖZ, Volkan (2009), Geleceğin Enerjisi: Hidrojen (H2), Kimya Mühendisliği Dergisi, Sayı:173, Ankara.

AKAY, Pınar (2005), Enerji Kaynakları ve Yenilenebilir Enerji, [www.eie.gov.tr/turkce/en\\_tasarrufu/en\\_tas\\_etkinlik/2005\\_bildiriler/oturma7/PinarAkay.doc](http://www.eie.gov.tr/turkce/en_tasarrufu/en_tas_etkinlik/2005_bildiriler/oturma7/PinarAkay.doc)

ASLAN, Özgür (2007), Hidrojen Ekonomisine Doğru, İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Yıl:6, Sayı:11, Bahar, İstanbul.

BARRETO, Leonardo; Makihira, Atsutoshi; Riahi, Keywan, The Hydrogen Economy in the 21st Century: A Sustainable Development Scenario, [www.iiasa.ac.at/Research/ECS/docs/h2short.pdf](http://www.iiasa.ac.at/Research/ECS/docs/h2short.pdf)

BAŞOL, Koray; DURMAN, Mustafa ve ÖNDER, Hüseyin (2007), Doğal Kaynakların ve Çevrenin Ekonomik Analizi, Alfa Aktüel, Bursa.

BİLİM ve TEKNİK DERGİSİ (2006), YENİ UFUKLARA, HİDROJENLİ GELECEK.

BOSSEL, Ulf; Eliasson, Baldur; Taylor, Gordon (2005), The Future Of The Hydrogen Economy: Bright or Bleak?, [www.ev-sae-china.org/index.files/E08.pdf](http://www.ev-sae-china.org/index.files/E08.pdf)

BOZTEPE, Mutlu (2009), İzmir ve Çevresinde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli ve Kullanımı, TMMOB İKK İzmir Kent Sempozyumu, İzmir.

COLE, Stijn; HERTEM, Dirk Van; MEEUS, Leonardo ve BELMANS, Ronnie, Energy Storage On Production and Transmission Level: A SWOT Analysis, Belgium.

CONTE, M.; IACOBAZZI, A.; RONCHETTI, M.; VELLONE, R., Hydrogen Economy For A Sustainable Development: State-of-the-art And Technological Perspectives, Italy, [maecourses.ucsd.edu/mae118b/PDF-PublishedDocuments/HydrogenEconomy-Conte.pdf](http://maecourses.ucsd.edu/mae118b/PDF-PublishedDocuments/HydrogenEconomy-Conte.pdf)

ÇAKAR, M. Caner; BAŞARAN FİLİK, Ümmühan; KURBAN, Mehmet (2009), Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Ulaşım Sistemlerinde Kullanım Uygulaması, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır.

Energy Story, <http://www.energyquest.ca.gov/story/chapter20.html>.

ERDOĞAN, Dilek, Jeotermal Enerji, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, <http://kongreikt.ege.edu.tr/cd/pdf/26.pdf>

H-SAPS, Market Potential Analysis For The Introduction of Hydrogen Energy Technology in Stand-Alone Power Systems, <http://www.cres.gr/kape/hmerida/files/ydrogen/HSAPS%20brochure.pdf>

Hidrojen Enerjisi, [http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif\\_enerji/Hidrojen\\_Enerjisi.htm](http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif_enerji/Hidrojen_Enerjisi.htm)

Hidrojen Enerjisi, <http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/pdf/sec16.pdf>

İDER, S. Kemal, Hidrojen Enerji Sistemi, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, Sayı 134, İstanbul.

KILIÇ, Nurel (2009), Geleceğin Enerjisi Olarak Adlandırılan Hidrojen Enerjisi, İzmir Ticaret Odası, Arge Bülten, Ekim, İzmir.

KILINÇ, Nurcan (2008), Geleceğin Yakıtı Hidrojen Enerjisi ve Hidrojene Dayalı Ürünler, Ticaret Dergisi, Cilt:3, Sayı:15-16, Niğde.

KÜKRER, Barış (2007), HİDROJEN ENERJİSİNİN GELİŞME POTANSİYELİ VE TÜRKİYE EKONOMİSİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.

KÜLEKÇİ, Özlem Candan (2009), Yenilenebilir enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, Cilt:1, Sayı:2, Ankara.

ÖZTÜRK, Nihat; BİLGİÇ, Mehmet; ARSLAN, Cemali (2009) HİDROJEN ENERJİSİ VE TÜRKİYE'DEKİ HİDROJEN POTANSİYELİ, [http://www.emo.org.tr/ekler/51c5ffd6b62cc21\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/51c5ffd6b62cc21_ek.pdf)

POLAT, Cihat ve KILINÇ, Nurcan (2007), Dünya'da ve Türkiye'de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: "Hidrojen enerjisi ve hidrojen teknolojisi ürünleri" pazarı <http://www.insanbilimleri.com/ojs/index.php/uib/article/view/File/298/228>

Rüzgar Enerjisi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, [http://www.bbc.co.uk/turkish/indepth/story/2006/02/060216\\_energy\\_renewables.shtml](http://www.bbc.co.uk/turkish/indepth/story/2006/02/060216_energy_renewables.shtml)

SOYLU, Ahu ve TÜRKAY, Metin (2005), Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Geçiş Sürecinin Planlanmasında Doğrusal En İyileme Tekniğinin Kullanılması, 3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İstanbul.

ŞAHİN, Mükerrerem, Enerji Problemine Çözüm: Hidrojen Enerjisi, MTA, [hydrogen.cankaya.edu.tr/sunum/sunum4.ppt](http://hydrogen.cankaya.edu.tr/sunum/sunum4.ppt) -

TSENG, Phillip; LEE, John; FRİLEY, Paul, Hydrogen Economy: Opportunities and Challenges, USA, [www.etsap.org/worksh\\_6\\_2003/2003P\\_tseng.pdf](http://www.etsap.org/worksh_6_2003/2003P_tseng.pdf)



TUSİAD (1998), 21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi, İstanbul.

ÜN, TEZCAN, Ümran (2007) Hidrojen Enerjisi, [http://www.genbilim.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1893](http://www.genbilim.com/index.php?option=com_content&task=view&id=1893)

VEZİROĞLU, Nejat (2004), Dünya Barışı İçin Türkiye Dünya Barışı İçin Hidrojen, Ed. Ö. Faruk Noyan, İstanbul.

YILMAZ, Pelin (2006), Hidrojen Ekonomisine Geçiş Stratejileri ve Türkiye [www.unido-ichet.org/ichet.org/ichet\\_news/2006\\_05\\_20\\_hydrogen\\_education/presentations/assets/Pelin%20Yilmaz.pdf](http://www.unido-ichet.org/ichet.org/ichet_news/2006_05_20_hydrogen_education/presentations/assets/Pelin%20Yilmaz.pdf)

YUMURTACI, Zehra ve ÖZTÜRK, Recep (2007), Hidroelektrik Enerji, <http://www.genbilim.com/content/view/1473/84/>

YUMURTACI, Zehra; BEKİROĞLU, Nur; AKARYILDIZ, Eyüp (2002), Hidrojen Enerjisi Kullanımında Temel Kriterler, tesisat Mühendisliği Dergisi, sayı:72, İstanbul.

[worldwide.fuelcells.org/](http://worldwide.fuelcells.org/) - 3k -

[www.dw-world.de/dw/article/0,,2523282,00.html](http://www.dw-world.de/dw/article/0,,2523282,00.html)-28k

[www.eie.gov.tr/turkce/YEK/hidrojen/teknolojik\\_gelismeler.html](http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/hidrojen/teknolojik_gelismeler.html)

