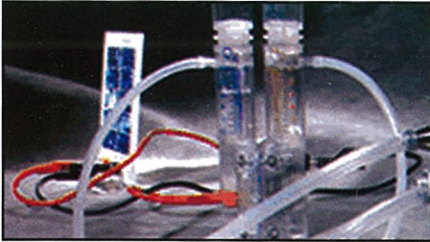


# HİDROJEN GELECEKTİR



*İnanıyorum ki suyu oluşturan hidrojen ve oksijen birlikte yada ayrı ayrı kullanıldığında taş kömüründen daha kuvvetli bir ısı ve ışık kaynağı oluşturacak ve bir gün lokomotiflerin buhar kazanlarını yakmada ve buharlı gemilerin hareketini sağlamada kömür yerine bu gazların sıkıştırılmışı kullanılacaktır.*

**1874, Jules Verne "Esrarlı Ada"**

Dr.Mükerrem ŞAHİN  
MTA genel Müdürlüğü ,MAT Dairesi,  
Bor ve Hidrojen Enerjisi Araştırma  
Laboratuvarı  
mukerremshahin@gmail.com

## 1.Enerjimiz tükeniyor mu?

Halen enerji ve enerji biçimleri bilim adamları tarafından farklı izah edilebilmektedir. Bazı kaynaklara göre enerji Fransızca kökenli olup maddelerde var olan ısı ve ışık biçiminde ortaya çıkan güç anlamına gelmekte bazı kaynaklara göre ise; Yunanca “energeia” yani hareket faaliyet anlamında olup maddelerin karşılıklı etkisi ve hareketinin toplam genel ölçüsü demektir. Tanımı nasıl yapılırsa yapılsın, enerji insanoğlunun en temel vazgeçilmez gereksinimidir.

İnsanlık tarihi boyunca kullanılan enerjiler, teknolojik gelişmelere paralel olarak sürekli şekil değiştirmiştir. Günümüzde dünya ekonomisinin enerji ihtiyacının yaklaşık %80 i fosil yakıtlar tarafından karşılanmaktadır. Hindistan ve Çin gibi gelişmekte olan ülkelerin sanayileşmiş ülkeleri yakalamaya çalışırken, enerji tüketimlerini artırmaları sonucu fosil yakıt kaynakları hızla tükenmektedir. Arz sınırlı iken talebin sürekli artması, fosil yakıt fiyatlarını da yükseltmektedir. Bununla birlikte, fosil yakıt tüketimi hava kirliliği, asit yağmurları, küresel ısınma, iklim değişikliği, ozon tabakasının delinmesi ve benzeri çevre sorunlarına sebep olmaktadır. Bu çevre felaketlerinin açtığı küresel hasarın yaklaşık 5 trilyon dolar /yıl civarında olduğu ve bu rakamın her geçen gün arttığı ilgili çevreler tarafından belirtilmektedir.

İnsanlık için en önemli sorun yeryüzünde bulunan enerji kaynaklarının ihtiyaçları karşılayıp karşılayamayacağıdır. Burada en belirleyici faktör teknolojinin gelişmesi ve nüfusun sürekli artmasıdır. İnsan nüfusunun sürekli artması ihtiyaç duyulan enerji miktarının artmasını da beraberinde getirmekte; bu anlamda en büyük enerji tüketimi başta elektrik üretimi ve taşıt yakıtları olmak üzere sanayi üretiminde olmaktadır.

Bunlara paralel gelişen sanayileşme ile kişi başına tüketilen enerji miktarı sürekli artmakta ve araçlarda yılda ortalama kat edilen yol mesafesi de uzamaktadır. İnsanların temel kazanımlarından olan serbest dolaşım hakkı kısıtlanamayacağına göre enerji tüketiminin sürekli artması kaçınılmazdır.

Günümüzde petrol üretiminin hemen hemen yarısı taşımacılıkta kullanılmaktadır. Bu sayıya kara, deniz, hava ve askeri amaçlı kullanım da dahildir. Yeryüzünde bulunan taşıt araçlarının sayısının 800 milyon adet olduğu tahmin edilmekle birlikte bu sayının 2030 yılında ikiye katlanacağı da ortak bir görüştür. Buradan şu sonuç çıkarılabilir: taşıt sayısındaki artış, insan nüfus artışının iki katına eşit olacaktır.

Teknolojinin sürekli kendini yenilemesiyle, taşıtın katettiği mesafe başına yakıt tüketimi sürekli azaltılmasına rağmen, taşıt sayısındaki artış ihtiyacı da artırmaktadır. 1900 den 2000 yılına kadar Dünyadaki enerji kullanımı 15 kat artmıştır. Enerji kaynaklarını tükenebilir ve tükenmez olarak ikiye ayırırsak, günümüzde üretilen ve tüketilen enerji kaynağının % 80-85 tükenebilir olarak adlandırdığımız fosil yakıtlar (%23.5 Kömür, %34.9 petrol, %21.1 doğalgaz) içinde yer almakta; %6.8 nükleer, %13’ü ise tükenmez nitelikteki güneş, rüzgar, biyoyakıt, hidrojen, termal enerji kaynakları arasında yer almaktadır. [1].

Türkiye’nin enerji tüketiminin yıllık % 6,8 artış hızı ile 2010 yılında 171,3 milyon ton eşdeğeri petrole (TEP), 2020 yılında ise 298,4 milyon TEP ulaşması beklenmektedir. Dış Ticaret Müsteşarlığı’nın, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine dayanarak hazırladığı “Türkiye’de Enerji Üretim ve Tüketim Beklentileri” isimli rapora göre Türkiye’deki genel enerji üretiminin ise 2020’ye kadarki süreçte yıllık % 4,8 artışla 70,2 milyon TEP olması beklenmektedir. Bir başka deyişle, 1999’da enerji ihtiyacının % 65’ini ithalatla karşılayan ülkemizde bu oran, 2010 yılında % 73’e, 2020 yılında ise % 78’e yükselecektir [2].

Hidrojen, kömür veya biyogaz gibi birincil enerji kaynağı değildir; birincil enerji kaynaklarından üretilen bir enerji taşıyıcıdır. Fosil yakıtlardan gazlaştırma ve yeniden oluşturma (reforming) ile hidrojen üretimi teknolojisi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, hidrojen elektroliz ile sudan üretilmektedir. Elektroliz için gerekli olan elektrik güneş pilleri, hidrolik ve rüzgar gibi

yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanabileceği gibi nükleer elektrik de bu amaç için kullanılabilir.

## 2. Enerji Taşıyıcı olarak Hidrojen

Hidrojen ifadesi 1787 yılından beri kullanılmaktadır. Bu tarihte ünlü Fransız kimyacı Lavoissier Hidrojeni "Hydrogenes" olarak tanımlamıştır. Latince Hydro= su genes=oluşturan demektir. Böylece hidrojen su oluşturan olarak tanımlanmıştır.

Hidrojen doğada en basit atom yapısına sahip elementtir. Atomunun merkezindeki çekirdek pozitif yüklü proton ve yüksüz nötrondan oluşmaktadır. Negatif yüklü elektron ise çekirdeğin çevresinde dönmektedir. Elektronun belli bir orbiti olmadığından herhangi bir zaman diliminde nerede olduğunun bulunması mümkün değildir. Sanki çekirdeğin çevresinde yayılmış bir yapı oluşturmuştur (Resim 1).

## Hidrojen

- Zehirsizdir ve kendiliğinden yanmaz.
- Çevrecidir ve suları tehdit etmez.
- Kokusuz ve tatsızdır.
- Kolay uçucudur.
- Kendi başına patlayıcı değildir
- Radyoaktif değildir.
- Kanserojen değildir.

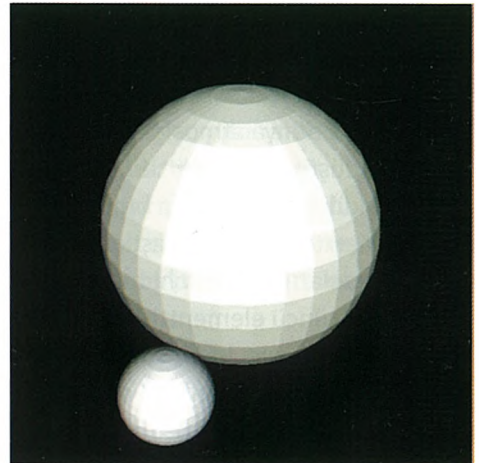
Hidrojenin fiziksel özellikleri aşağıdaki tabloda topluca verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Hidrojenin fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikleri	
Maddenin hali	Gaz
Yoğunluk	(0 °C, 101.325 kPa) 0.00008988 g/cm <sup>3</sup>
Sıvı haldeki yoğunluğu	2.267 g/cm <sup>3</sup>
Ergime noktası	14.01 °K (-259.14 °C -434.45 °F)
Kaynama noktası	20.28 °K (-252.87 °C -434.45 °F)
Ergime ısı	(H <sup>2</sup> ) 0.117 kJ/mol
Buharlaştırma ısı	(H <sup>2</sup> ) 0.904 kJ/mol
Isı kapasitesi	(H <sup>2</sup> ) 28.836 (25 °C) J/(mol·



Hidrojen evrenin kütlesinin %75'ini, atom sayısının ise %90'nı oluşturur ve bu oranlarıyla evrende en çok bulunan elementtir. Bu element yıldızlarda ve dev gaz gezegenlerinde büyük miktarda bulunur. Moleküler hidrojen bulutları, yıldızların oluşumuyla bağlantılıdır ve



Resim 1: Hidrojen molekülü



Resim 2:Evrende hidrojen resmi

hidrojen, yıldızların proton-proton reaksiyonuyla enerji üretmesinde önemli rol oynar.

Evrende hidrojen, atomik ya da plazma halinde bulunur. Uzayda ise hidrojen nötral atomik halde bulunur. Plazma hali atomik halinden oldukça farklıdır; bu halde hidrojen elektronu ve protonu bağlı değildir ve bu oldukça yüksek elektrik iletkenliği ve ışık yayılımına (güneş ve diğer yıldızlar ışık yayar) sahiptir. Yüklü partiküller elektrik ve manyetik alanlarda oldukça etkilenirler. Mesela, güneş rüzgarında dünyanın magnetosferi ile etkileşerek Birkeland akımları ve auroraya yol açarlar.

Normal şartlar altında hidrojen biatomik gaz ( $H_2$ ) halinde bulunur. Hafifliği nedeniyle diğer daha ağır gazlara göre yerçekimi kuvvetinden kolayca kurtulur. Bu nedenle dünya atmosferinde hidrojen gazı oranı oldukça düşüktür (hacimce 1). Hidrojen atomu ve  $H_2$  molekülü uzayda bolca bulunduğu halde dünya da bunların üretimi ve saflaştırılması oldukça güçtür. Bütün bunlara rağmen hidrojen dünyada en çok bulunan üçüncü elementtir. Yeryüzündeki hidrojen çoğunlukla su ve hidrokarbonlar gibi kimyasal bileşiklerin içinde bulunur. Hidrojen gazı bazı bakteri ve algler tarafından üretilir. Günümüzde metan gazı önemi artan bir hidrojen kaynağıdır [3]

## 2.1 Hidrojen Enerjisinin Kullanılma Önceliği

Ülkemizin enerji alanında karşı karşıya kaldığı problemler, dünya genelinde diğer ülkelerin de ortak sorundur. Özellikle dünyadaki fosil kökenli yakıt rezervlerinin giderek azalmasının yanı sıra bu tür kaynakların kullanımı ile oluşan hava ve çevre kirliliği, son yıllarda enerji üretimi alanındaki araştırmaların temini kolay, yenilenebilir ve temiz enerji üreten kaynaklar üzerinde yoğunlaşmasına neden olmuştur. Güneş enerjisi, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının bol bulunmalarına ve temiz olmalarına karşın, bir ara taşıyıcıya gereksinim gösterdikleri için yaygın kullanım alanına sahip, uç-nihayi enerji kaynağı değildirler. Fosil yakıtlardan, sudan ve biyokütleden üretilebilen hidrojen, bu tür enerji kaynakları için iyi bir enerji taşıyıcıdır. Hidrojen, ara enerji taşıyıcı olarak kullanıldığında aşağıdaki avantajlara sahiptir;

- Elektrik enerjisinden farklı olarak daha kolay depolanabilir özelliktedir.
- Enerji üretiminde son ürün sudur.
- Boru hattı veya tankerlerle çok uzak mesafelere taşınabilmektedir.
- Alevli yanma, katalitik yanma, elektrokimyasal dönüşüm ve hidrür oluşumu gibi pek çok yöntemle etkin bir şekilde enerji üretiminde kullanılabilir.
- Yenilenebilir kaynaklardan üretildiğinde çevreye herhangi bir zararlı emisyon söz konusu değildir.

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.

## 2.2 Hidrojen Nasıl Üretilir?

Hidrojen ikincil bir enerji kaynağı olup, mevcut enerjiler kullanılarak üretilebilir. Ancak Fosil yakıtların (petrol, kömür, doğalgaz) çevresel etkileri göz önüne alındığında, yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi anlamlı bulunmaktadır.

ENERJİ KAYNAKLARI								
Fosil Yakıtlar		Yenilenebilir Enerji Kaynakları					Nükleer	
Kömür ✓	Doğalgaz ?	Biyokütle ✓	Güneş ✓	Rüzgar ✓	Hidrolik ✓	Jeotermal ✓	Elektrik X	İsı X
Gazlaştırma		Termoliz	Elektroliz					
HİDROJEN								
İC motorları	Yakıt Hücreleri					Prosesler, sentezler	Türbinler, İC motorları	
	FC motorları	Ticari	Yerel	Üçüncül sanayi	Çoklu üretim			
Taşıma		Binalar			Endüstri			

Tablo 2. Türkiye'deki Hidrojen Üretim ve Kullanım Potansiyeli ( işareti olanlar ülkemizdeki mevcut kaynakları göstermektedir [9].

Tablo 2'de Türkiye'deki Hidrojen Üretim ve Kullanım Potansiyeli gösterilmektedir. Ülkemizde yakın dönemdeki mevcut enerji sisteminde hidrojen, kömür, doğalgaz ve biyokütleden gazlaştırmayla üretilmektedir. Yine yakın dönemde hidrojen üretiminin gece kullanılmayan elektrik enerjisinden üretilmesi planlanmaktadır. Uzun dönemde ise güneş, rüzgar, hidrolik ve jeotermal kaynaklar kullanılarak elde edilen elektrik ile suyun elektrolizi sonucunda oluşan hidrojen, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmelidir. İleriye yönelik olarak ise Karadeniz'de bulunan hidrojen sülfürden hidrojen elde edilmesi konusunda araştırmalar yapılmaktadır [4].

### 2.3 Depolama ve Taşınma Problemleri

Araştırmalar, hidrojen gazının temininden çok, nasıl depolanacağı ve taşınacağı hususunda yoğun olarak sürdürülmektedir.

- Hidrojen sıvılaştırılarak tankerlerde depolanabilir
- Gaz olarak depolanıp taşınabilir.
- Karbon nanaotütlerde ve metal hidrürlerde depolanabilir
- Bir bor bileşiği olan Sodyum bor hidrürde depolanabilir.

- Amin-Boranlarda depolanabilir

Bunlar arasında son ikisi ülkemiz için büyük önem taşımaktadır. Zira bu şekilde depolanan hidrojen anında kullanıma sunulmakta ve hacimsel depolama verimi oldukça yüksek olmaktadır. Dünyada bu konu üzerine araştırma faaliyetlerinin en yoğun yürütüldüğü ABD'de otomotiv şirketlerinin en büyüğü General Motors bu alanda Ar-Ge faaliyetlerini yürütmektedir. Son yıllarda Sodyum borhidür (SBH) üretimi ve SBH den hidrojen ayıran katalizörler konusunda ülkemizde de Ar-Ge çalışmaları başlatılmıştır. BOREN ve TÜBİTAK destekli bu çalışmaların birinde MTA laboratuvarlarında yeni bir yöntem ile SBH sentezi yapılmış ve üretim için pilot sistem kurulmuş; buna bağlı olarak SBH'den hidrojeni hızla ayıran katalizör odası geliştirilmiştir. Ancak bu çalışmalar henüz sanayisel ölçeğe taşınmamıştır. Bunun başlıca sebebi ise iç pazar talebinin istenilen seviyede olmamasıdır.

Ayrıca Dünyada yürütülen Ar-Ge çalışmalarına paralel olarak ülkemizde de hidrojen depolayıcı özel bor bileşikleri üzerine araştırmalar son aşamalarına gelmiştir. Tahminen 2015 yılına kadar

Depolama Parametresi	Birim	2005	2010	2015
Özgül enerji	kWh/kg	1,5	2,0	3,0
Enerji yoğunluğu	kWh/L	1,2	1,5	2,7
Sistem maliyeti	\$/kWh	6	4	2
Çevrim ömrü	Çevrim	500	1000	1500
Tekrar yakıt dönüşürme hızı	kgH <sub>2</sub> /dakika	0,5	1,5	2
H <sub>2</sub> kaybı	(g/hr)/kg H <sub>2</sub>	1	0,1	0,05

Tablo 3. Taşımada kullanılan araçların H<sub>2</sub> depolama sistemlerinde gerçekleştirilmesi planlanan hedefler[9].

neredeyse sıvı hidrojen depolama kapasitesine sahip bor bileşiklerinin sentezi gerçekleşmiş olacaktır.

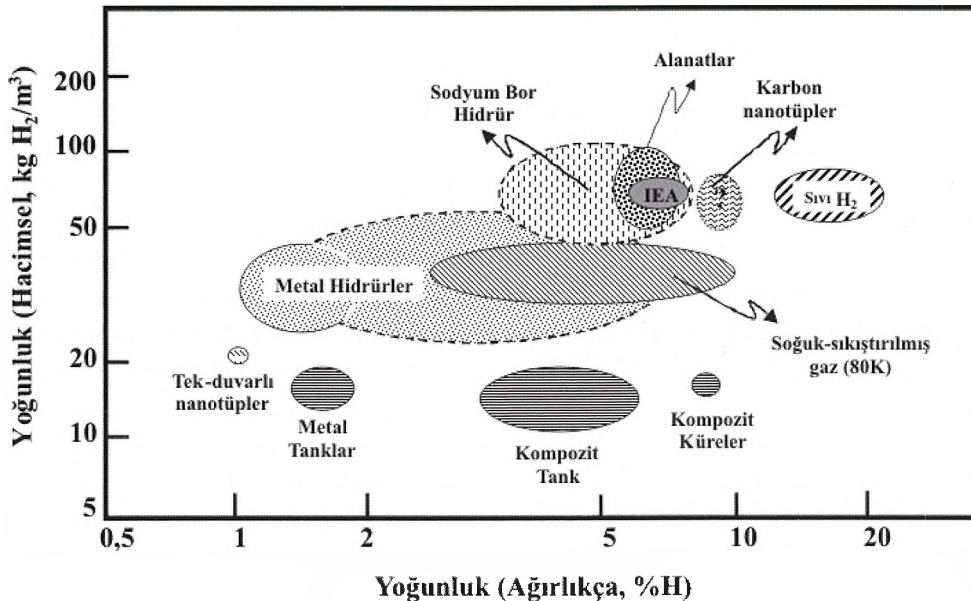
#### 2.4. Hidrojen Enerjisinin Uzun ve Kısa Vadede Kullanılma Potansiyeli

Hidrojen enerjisi, Avrupa Komisyonu Altıncı Çerçeve Programının "Sürdürülebilir Kalkınma ve Ekosistem-Sürdürülebilir Enerji Sistemleri" tematik alanında, önceliğe sahiptir. Avrupa Komisyonu'nun Hidrojen

üretiminin biyokütleden sağlanmasının önemli ölçüde yaygınlaştırılması, 2050'den sonra ise tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrojen üretimi planlanmaktadır [6].

Yakıt hücresi uygulamaları portatif, sabit ve hareket eden sistemlerde kullanılmak üzere üç ayrı sistemde incelenmelidir. Yakın dönemde, 2010 yılına kadar, tüm uygulamalarda 50 kW'tan az olan sistemlerde düşük sıcaklıkta çalışan proton değişim zarlı (PEM gibi) yakıt hücresi sistemleri, 500 kW'a kadar yüksek

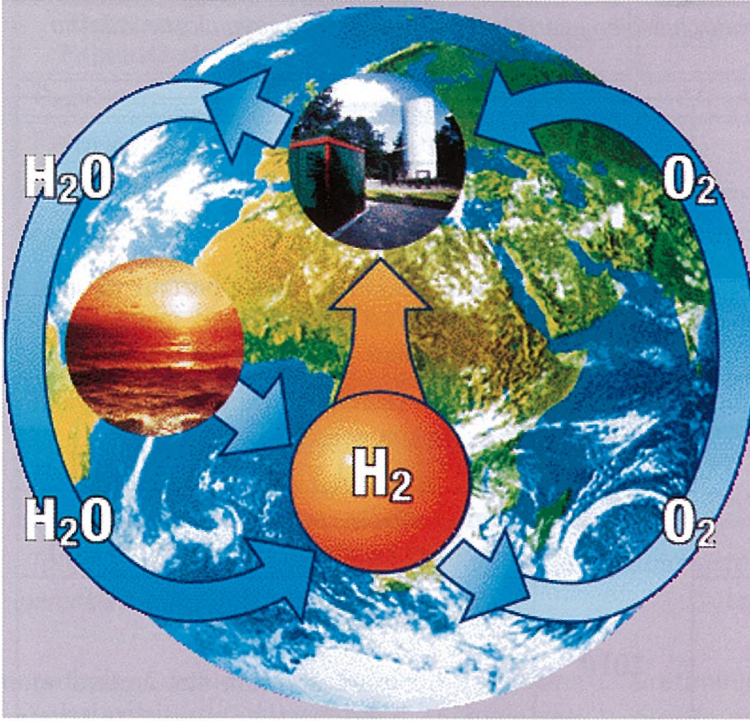
ve Yakıt Pilleri Üst Kurulu'nun hidrojen enerjisine geçiş için hazırlanmış olduğu 2050 yılına kadar olan stratejisi Tablo 4'de gösterilmektedir. Bu öneri incelendiğinde, yakın ve orta dönemde (2010'a kadar) hidrojenin elektrolizle ve doğal gaz reforming yöntemiyle üretilmesi, orta dönemde (2020'ye kadar) çevreye uyumlu teknolojilerle hidrojen üretimi, orta ve uzun dönemde ise (2020 yılından sonrası) hidrojen



Şekil 1. Hidrojende Depolama Şekilleri ve Elde Edilebilen Hacimsel ve Gravimetrik Yoğunluk Değerleri [5]

Tablo 4. Avrupa Birliği'nin 2050 yılına kadar hidrojen enerjisinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasına yönelik stratejisi [6].

Hidrojen Üretimi ve Dağıtım Stratejisi	Yıl	Yakıt Hücresi ve Hidrojen Sistemlerinin Geliştirilmesi ve Yaygınlaştırılması	
Hidrojenin, elektrolizle ve doğal gaz reforming yöntemiyle üretilmesi	2005	Düşük sıcaklıkta çalışan portatif ve sabit yakıt hücresi sistemlerinin uygun ticari uygulamaları (<50 kW)	
Bölgesel hidrojen dolun istasyonları, karayolu ile hidrojen taşınması ve yakıt ikmal istasyonlarında hidrojen üretimi (Reforming ve elektroliz)	↓	Yüksek sıcaklıkta çalışan sabit yakıt hücrelerinin geliştirilmesi (MCFC/SOFC) (<500 kW)	
		Sabit, düşük sıcaklık yakıt hücresi sistemleri kurulması (PEM) (<300 kW)	
Bölgesel hidrojen dağıtım şebekeleri kurulması	2010	Hidrojenli araç tatbikatları	
Çevreyle uyumlu hidrojen üretimi		Yakıt hücresi araçlarının seri üretimi ve diğer taşımacılık işlemlerine uygulanması	
	Yolcu araçlarında yakıt hücrelerinin kullanımı		
	SOFC sistemlerinin ticarileşmesi (<10 MW)		
Bölgesel hidrojen dağıtım şebekeleri arasında bağlantı kurulması.	2020	Mikro uygulamalar için yakıt hücresi kullanımının ticarileşmesi	
		Düşük maliyette, yüksek sıcaklıkta çalışan yakıt hücresi sistemleri (MCFC/SOFC)	
Hidrojen üretiminin önemli ölçüde biyokütle gazlaştırmasını da içeren yenilenebilir enerjiden üretimi	↓	Yakıt hücrelerinin yaygınlaşmasıyla güç üretiminin dağılımında önemli ölçüde büyüme	
Yaygın hidrojen boru hattı alt yapısı	2030	Hidrojenli yakıt hücresi araçlarının yaygınlaşması	
		Yakıt hücrelerinin taşımacılıkta, yaygın güç üretiminde ve portatif uygulamalarda baskın teknoloji haline gelmesi	
Hidrojenin doğrudan yenilenebilir enerji kaynaklarından üretiminin artması	↓	2040	Hidrojenin havacılıkta kullanılması
			2050



Resim 3:Yakıt pili ve uygulaması

sıcaklıkta çalışan doğal gaz, LPG, dizel gibi yakıtların doğrudan uygulanabileceği ergimiş karbonat (MCFC) ve katı oksit (SOFC) yakıt hücrelerinin geliştirilmesi planlanmaktadır. Orta dönemde, 2020'ye kadar, yakıt hücreli araç filolarının seri üretimi (doğrudan hidrojen veya araçta reforming yapan), diğer taşımacılık işlemlerinde ve maden ocaklarında uygulanması ve sabit yardımcı güç ünitelerinde yakıt hücrelerinin kullanımı planlanmaktadır. Katı oksit yakıt hücresi sistemlerinin 10 MW'a kadar atmosferik ve hibrit ticari uygulamasının gerçekleştirilmesi, portatif uygulamalarda yakıt hücresi kullanımının yaygınlaştırılması ve yolcu araçlarında yakıt hücrelerinin kullanımı planlanmaktadır. Uzun dönemde 2020–2050 yılları arasında ise yakıt hücrelerinin taşımacılıkta, güç üretiminde ve portatif uygulamalarda baskın teknoloji haline gelmesi beklenmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin Hidrojen Ekonomisine Geçiş Planı Tablo 4'e paralellik arz etmektedir. Burada devlet 2030 yılına kadar AR-GE'de baskın rol üstlenmekte, 2020 yılında ise ticarileşme kararı alınması planlanmaktadır [7].

Amerika Birleşik Devletleri, hidrojen ve yakıt pilinin AR-GE çalışmaları için önümüzdeki 5 yıllık bütçesinden 2.7 milyar dolar ayırmıştır.

## 2.5. Sürdürülebilirlik

Bugün dünyada Avrupa Topluluğu, Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya'da birçok kişi hidrojen ve yakıt hücrelerinin 21. yüzyılın enerji problemlerine çözüm getirmesini beklemektedir. Hidrojen enerjisine geçişin, mevcut sistemi ve ekonomik koşulları aşırı zorlamadan belirlenecek olan bir strateji ile uygulanması planlanmalıdır.

Günümüzde enerji ekonomisi fosil yakıtlara dayanmaktadır. Ülkemizde 2020 yılına kadar hidrojenin üretimi, taşınması, dağıtımı ve kullanımı

konusunda yapılacak temel araştırma, uygulamalı araştırma ve tatbikata yönelik çalışmaların ve AR-GE'nin teşvik edilmesi gerekmektedir. 2020 ile 2050 arasında ise hidrojen ve yakıt hücrelerinin büyük ölçekte ticarileştirilmesi, hidrojen üretimi, taşınması, depolanması ve buna paralel olarak yakıt hücrelerinin sabit, seyyar ve portatif uygulamalarındaki pazarın yaygınlaştırılması planlanmalıdır. Ancak bu koşullarda Avrupa Birliği'ne paralel olarak dünyadaki diğer gelişmiş ülkelerin gerisinde kalmadan 2050'de hidrojene dayalı bir ekonomi gerçekleştirilebilir. [8].

## 2.6. Hidrojen Enerjisinin Çevresel Boyutu

Fosil kökenli enerji kaynaklarının enerji yakıtı olarak kullanılması sırasında açığa çıkan  $SO_x$ ,  $NO_x$ ,  $CO_2$  gibi sera gazlarının ilgili emisyon değerlerini aşması, küresel ölçekte hava kirliliğine yol açmakta ve çevre kirliliği yaratmaktadır. Türkiye'de ucuz, temiz ve sürdürülebilir enerji politikasının hayata geçirilmesi ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile olasıdır. Önerilen çeşitli alternatifler arasında hidrojen, fosil yakıtlara dayalı teknolojiye nispeten kolayca uyum sağlayabilecek işlevselliğe sahip bir



enerji taşıyıcısı olarak göze çarpmaktadır. Bunun yanı sıra tek yanma ürününün su olması, birim kütle başına yüksek enerji içermesi ve yakıt pilleri aracılığıyla doğrudan elektrik enerjisine çevrilmesi, hidrojeni geleceğin yakıtı haline getirmiştir.

## 2.7. Hidrojen Enerjisi İçin Sonuç ve Öneriler

- Hidrojen enerjisi Türkiye'nin şartlarına en uygun doğal kaynaklardan elde edilmelidir.
- Gerekli Ar-Ge faaliyetlerine hız ve destek verilmelidir. Bu faaliyetlere savunma sanayi, beyaz eşya, otomotiv endüstrileri mutlaka katılmalıdır.
- Hidrojenle çalışan içten yanmalı yerli motor geliştirilmelidir.
- Hidrojen enerjisinin kullanımında bor madeninin de yardımcı malzeme olarak teknolojiye dahil olması, bu maden açısından oldukça zengin olan ülkemizi stratejik olarak daha da önemli bir konuma getirmiştir. Bu alanda nihai ürünler elde edilip Dünya'daki teknolojik gelişmeler ile yarışılmalıdır.
- Hidrojen enerjisi teknolojilerine geçiş için gerekli yasal düzenlemeler yapılmalıdır. İstanbul'da kurulması için çalışmaları devam eden UNIDO-ICHET (Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı - Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi) için gerekli maddi ve hukuksal destek acilen sağlanmalıdır.
- Mevcut Hidroelektrik Santrallerde (HES) elektriğin kullanılmadığı ve kolektörlerin kapalı olduğu zamanlarda elektrik enerjisinin hidrojene dönüştürülüp depolanması için gerekli yatırımlar desteklenmelidir. HES'lerin hidrojen üreten bölümleri oluşturulmalıdır.
- Hidrojen enerjisine geçişte gerekli yasal düzenlemelerin hazırlanması için Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nda (EPDK) hidrojen enerjisi birimi oluşturulmalıdır.
- Başbakanlığa bağlı "**Hidrojen Enerjisi Kurumu**" (HEK) oluşturulmalıdır.
- Son beş yılda bu alanda 15 kat artan Ar-Ge destekleri nihai hedefleri olan sanayisel ürünlere yönlendirilmeli ve güdümlü projeler desteklenmelidir.

2030 yılına kadar Türkiye için önerilen hidrojen vizyonu "Hidrojen Enerjisi ve Borun Kullanma Potansiyeli, Dünya Enerji Konseyi, Sonuç Raporu"ndan [9] alınarak aşağıda yıl bazında maddeler halinde belirtilmiştir.

### 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
- Araçlarda hidrojenin hareket halinde iken üretebilecek teknolojinin geliştirilmesi
- Yakıt hücrelerinin küçük portatif cihazlarda kullanılması
- Biyolojik hidrojen üretim proseslerinin araştırılması
- Tanıtımın hızlandırılması

### 2015

- Hidrojenin temiz enerji kaynaklarından (rüzgar, güneş vb) elde edilmesi
- Düzenli ve ulusal enerji ağından bağımsız çalışabilecek izole enerji sistemlerinin geliştirilmesi
- Hidrojen Motorun üretilmesi ve buna göre araç dizayn edilmesi
- Hidrojen dağıtım istasyonlarının kurulması
- Biyolojik hidrojen üretim prosesinin 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 (çevrim santrali) ticarileştirilmesi
- Yakıt temini sistemlerinin kurulması ve pazarın kendi kendini sürdürülebilir gelişiminin sağlanması
- Hidrojenin tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi
- Hidrojen enerjisinin ülke enerji ekonomisine mümkün olduğunca katkısının sağlanması

Bunların yapılması için her şeyden önce inanç, karar, azim ve ısrar gerekmektedir. Ülkemiz bunu başaramazsa önceleri petrolde, sonraları doğalgazda, şimdilerde güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi teknolojilerinde dışa bağımlı olduğu gibi gelecekte de Hidrojen enerjisi teknolojilerinde

dışa bağımlı olmaktan kurtulamayacaktır. Bu ise gelecek nesiller için çok acı sonuçlar doğurabilecektir. Tam bağımsızlık için önce enerjide bağımsızlığın şart olduğu unutulmamalıdır.

### Kaynaklar;

1. Veziroğlu T.N., Bockirs J.M., Smith D.L., "Solar Hydrogen Energy", Macdonald Co. Ltd., London, 1991
2. Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği, "21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi", TÜSIAD-T/98-12/239, İstanbul, 1998
3. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Hidrojen>
4. Midilli A., Ay H., Kale A., Veziroğlu T.N., "Karadeniz dip sularında hidrojen enerji potansiyeli", 5. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Sempozyum Bildiri Kitabı, Cilt 2, 716-717
5. Mat M., Kaplan Y., Int. J. Hydrogen Energy, 26(9): 957-963, 2001, İstanbul, 26-28 Mayıs, 2004
6. Eroğlu İ., "Hidrojen Üretimi ve PEM Yakıt Hücreleri Araştırmaları", 2. Ulusal Hidrojen Kongresi, Bildiri Kitabı, s. 193-207, Ankara, Temmuz – 2003
7. Eroğlu İ., "Türkiye'de ve Dünyada Hidrojen Enerjisi", 5. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Sempozyum Bildiri Kitabı, Cilt 2, 671-681, İstanbul, 26-28, Mayıs - 2004
8. Şahin M., "Hidrojen Enerjisi Teknolojileri" UHK6 özel baskısı sayfa 141. Haziran 2006 -Ankara
9. "Hidrojen Enerjisi ve Borun Kullanma Potansiyeli", Dünya Enerji Konseyi, Sonuç Raporu, 2006 ,Ankara