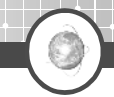






Hidrojen Enerjisi ve Yakıt Pili Teknolojisi



Hidrojen Enerjisi

Hidrojen: Geleceğin enerji kaynağı?
Yeryüzünde en fazla bulunan element olan hidrojen temiz ama pahalı


Hidrojen Enerjisi




- 1500'lü yıllarda keşif
- 1700'lü yıllarda yanabilme özelliği
- Doğada en çok bulunan element
- Serbest halde bulunmaz
- Çevre dostu ve yenilenebilir

ENERJİ

1 kg Hidrojen = 2.1 kg Doğalgaz = 2.8 kg Petrol



- ❖ Atomik sembolü "H" olan hidrojenin atom ağırlığı 1,00797, atom sayısı 1 olan en basit ve en hafif elementtir.
- ❖ Hidrojen doğada en çok bulunan element olmasına rağmen, hafifliği sebebiyle atmosfere yükselip orada serbest kaldığından, yeryüzünde serbest halde çok az bulunur.
- ❖ Görünmez ve kokusuz bir gaz olan hidrojene yeryüzünde diğer elementlerle bileşik yapmış halde rastlanır. 0 °C'deki yoğunluğu 0,08987 g/lit ve havaya göre özgül ağırlığı 0,0695'dir. Hidrojenin yanma ısısı oldukça yüksektir ve zehirli etkisi yoktur.

Hidrojen Enerjisi

- ❖ Fosil kökenli yakıtların teknolojinin gelişmesi ve artırılması sonucu hızla tükenmesi, alternatif yakıt arayışına itmiştir.
- ❖ Sudan elde edilebilirliği sayesinde sonsuz bir enerji kaynağı olan hidrojen günümüz teknolojisi ile motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılabilme sınırına gelmiştir.
- ❖ Hidrojenin çevre dostu olması ve geleneksel yakıtlara göre avantajlarının bulunması, yakın gelecekte en gözde enerji kaynağı olmasını sağlamaktadır.

Hidrojen Enerjisi

H₂ 1785 yılında Lavoisier tarafından, ısıtılmış bir bakır tüpün içinde suyun ayrıştırılması sonucunda “yanmayan hava” üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu gaz H₂ DROJEN adı verilmiştir.

Yıllık hidrojen üretimi 500 x 10⁹ m³, %10'u ticaridir.

Bugün hidrojenin yaklaşık %95'i hidrokarbonlardan, geriye kalan %5'i de elektroliz yoluyla üretilmektedir.

Hidrojen, pek çok farklı kaynaktan üretilebilmektedir

H₂ DROJEN ÜRETİM YENİDE GELİMLERİ

Hidrojen Kaynakları

Biyo kütle

Su Kızgın Güneş Enerjisi

Nükleer

Petrol

Kömür

Doğalgaz

H₂

Hidrojen Üretim Yöntemleri

$H_2O(l) \rightarrow H_2(g) + O_2(g)$ $H = 281 \text{ kJ/mol } H_2 \text{ (HHV)}$

- 1800: Hidrojenin elektroliz yoluyla ilk defa üretilmesi
- 1902: ilk ticari elektrolizörün üretilmesi

SUYUN ELEKTROLİZİNE YÖNELİK BİR TESİS - 1891

Hidrojen Üretim Yöntemleri

Yöntem	Proses	Kaynak	Enerji
Termal	Buharlı donüüm	Do al gaz	Yüksek sıcaklıkta buhar
	Termokimyasal su ayrımı	Su	Nükleer reaktörlerden elde edilen yüksek sıcaklık
	Gazifikasyon	Kömür, Biyo-kütle	Yüksek sıcaklık ve basınçta su buharı ve oksijen
	Piroliz	Biyo-kütle	Orta sıcaklıkta su buharı
Elektro-kimyasal	Elektroliz	Su	Elektrik (Rüzgar, güneş, nükleer)
	Elektroliz	Su	Elektrik (kömür, do al gaz)
	Foto-elektrokimyasal	Su	Güneş ışığı
Biyolojik	Fotobiyolojik	Su ve alg bakterisi	Güneş ışığı
	Oksijensiz sindirim	Biyo-kütle	Yüksek ısı
	Fermentatif mikroorganizmalar	Biyo-kütle	Yüksek ısı

Hidrojenin En Belirgin Üretim Yöntemleri

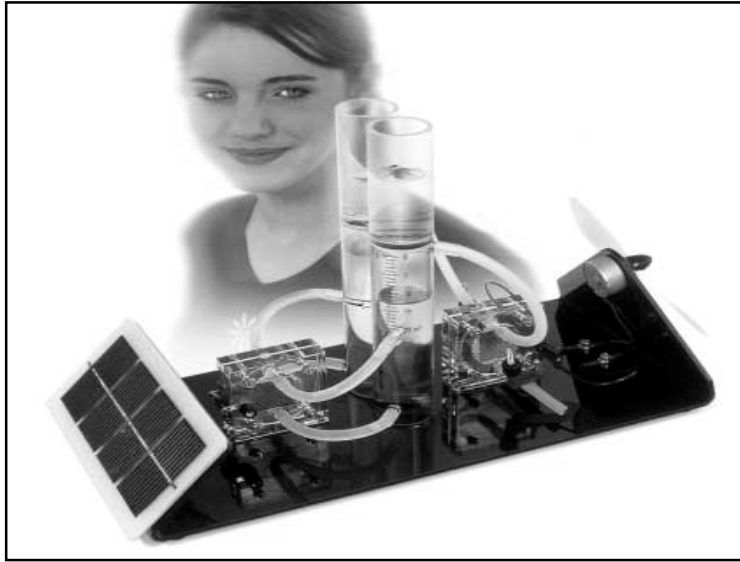
- ❖ Fossil Yakıt Yöntemleri
- ❖ Elektroliz
- ❖ Isıl Kimyasal Yöntem

Fossil Yakıt Yöntemleri

- ❖ Günümüzde sanayide kullanılan hidrojen büyük miktarlarda, do al gaz, petrol ürünleri veya kömür gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir.
- ❖ En çok kullanılan yöntemler, do al gazın katalitik buhar ıslahı, petrolün kısmi oksidasyonu, buhar demir i lemi ve kömür gazla tırılması eklindedir.

Elektrolizle

- ❖ Elektrolizde, su moleküllerini hidrojen ve oksijene ayır tırmak için elektrik enerjisi kullanılır. Elektrik enerjisi, yenilenebilir yakıt dahil, herhangi bir kaynaktan sağlanabilir. Elektrolizin, gelecekte fazla miktarlardaki hidrojen üretiminin esas yöntemi olması beklenmemektedir.



Isıl Kimyasal Yöntem

- ❖ Fosil veya nükleer yakıtlardan elde edilen birincil enerjilerin elektroliz yolu ile hidrojene dönüştürülmesinin verimi, ilk başlarda bu yakıtlardan elde edilecek elektrik enerjisinin verimine bağlıdır. Elektrik üretim verimi, modern fosil yakıt santralleri için %38 ve nükleer tesisler için %32 dolayındadır.
- ❖ Elektrik üretimi sırasında oluşan ısı enerjisi, suyun ayrıştırılması için kullanıldığında, daha yüksek verim elde etmek olanaklıdır.

Benzin, Metan ve Hidrojenin Kararlaştırılması

Özellik	Benzin	Metan	Hidrojen
Yoğunluk, (kg/m ³)	4.40	0.65	0.084
Hava içindeki difüzyonu (cm ² /s)	0.05	0.16	0.61
Sabit basınçta özgül ısı, (J.g/K)	1.20	2.22	14.89
Hava da ateşlenme sınırı (%hacim)	1.0-7.6	5.3-15.0	4.0-75.0
Havada ateşlenme enerjisi (mJ)	0.24	0.29	0.02
Ateşlenme sıcaklığı (°C)	228-471	540	585
Hava da alev sıcaklığı (°C)	2197	1875	2045
Patlama enerjisi (g.TNT . kJ)	0.25	0.19	0.17
Alev yayılması (emisivitesi), (%)	34-42	25-33	17-25

Hayata Geçirmedeki Zorluklar

- Üretim
- Depolama
- Taahhüt



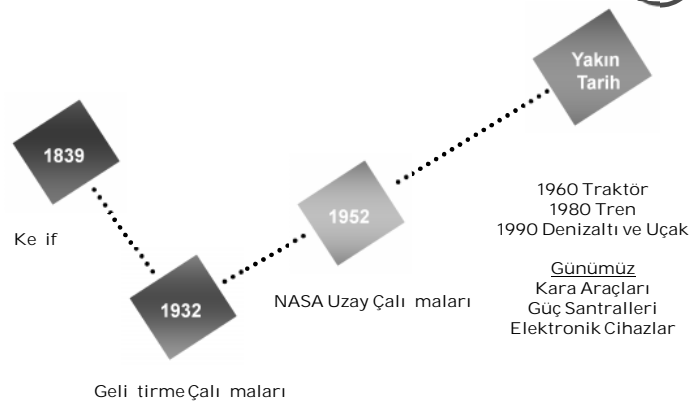
Hidrojenin Kullanım Yöntemleri

- Doğrudan kullanım (alevli yanma)
içten yanmalı motorlar, gaz türbinleri, jet motorları, roket motorları, ısıtma, pişirme
- Katalitik yüzeylerde kullanım (alevsiz yanma)
pişirme, su ısıtma, hacim ısıtma, absorpsiyonlu soğutma
- Yakıt pillerinde kullanım
elektrik

Yakıt Pili Teknolojisi

Yakıt Pili: içten yanmalı motorlara ve pillere alternatif?

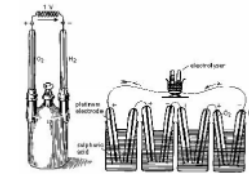
Yakıt Pili Tarihi



Yakıt Pili Tarihi

1839: Sir William Grove

Elektrolizin tersi bir işlem ve doğrudan katalizör kullanılarak H₂ ve O₂'den elektrik üretilebileceğinin farkına vardı.



Grove'un yakıt pili

1959: Francis T. Bacon

40 hücreden oluşan ve 5 kW güç üretebilen yakıt pili yapısını üretti. Bu yılın kaynak makinesi ve elektrikli testereyi çalıştırdı.



Francis T. Bacon ve 5 kW'lık alkali yakıt pili yapısını

Yakıt Pili Tarihi

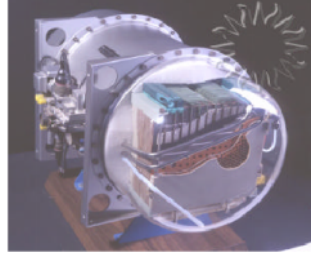
1950: General Electric (GE)

GE Polimer Elektrolit (PEM) Yakıt Pillerinin ara tırma ve geli tırma çalı malarınınba ladı.

1960: Gemini

Gemini uzay meki i GE tarafından üretilen PEM Yakıt Pili ni kullandı.

Dupont firmasının Nafion® zararlı geli tirmesiyle PEM Yakıt Pilleri için yeni bir devir ba ladı.



Gemini uzay meki inde kullanılan PEMFC

Yakıt Pili Tarihi

BALLARD



MK900 (2000) (80 kW)	MK800 (1997) (50 kW)	MK700 (1995) (25 kW)	MK500 (1993) (10 kW)	MK300 (1991) (5 kW)
----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------

Yakıt Pilleri

Genel Tanım

Kimyasal Enerji (H_2 ve O_2 - Hava) → Elektrik Enerjisi + Isı + Su

Çe itleri

Polimer Elektrolit Yakıt Pili (PEMFC)

Alkali Yakıt Pili (AFC)

Fosforik Asit Yakıt Pili (PAFC)

Erimi Karbonat Yakıt Pili (MCFC)

Katı Oksit Yakıt Pili (SOFC)

Kaynak: Fuel Cell Handbook, U.S. Department of Energy, Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory, 5th Ed., 2004.

Yakıt Pillerinin Avantajları

Verimli
Yüksek güç yoğunlu u
Çevre dostu



Sessiz
Modüler
Dayanıklı
Birden çok yakıt
(Do algaz, H_2 , MeOH)



Polimer Elektrolit Yakıt Pili

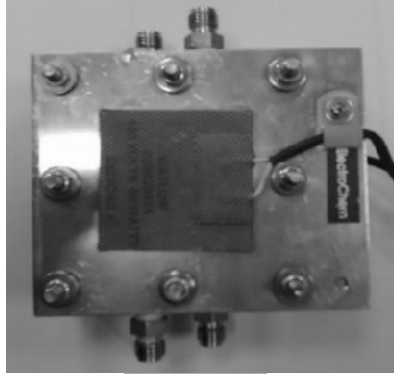
İletken: Katı polimer zar
(Nafion, SPEEK, SPES, PBI)
Çalışma sıcaklığı: 20-100 °C
Verimlilik: %40-50
Yakıt: Saf H_2 , MeOH, C_2H_5OH

Nafion zar



CO toleransı az
Platin katalizör
Termal stabilite taşıyıcı uygulamaları

Ballard PEMFC yakıt pili ürünü



Electrochem tek hücreli test yakıt pili

PEMFC Bileşenleri

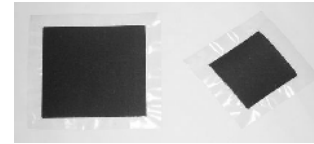
Zar-Elektrot Yapısı (MEA)

Elektrot

- Karbonan yapılmış gaz difüzyon tabakası ve platin katalizörün birleşimine denir.
- Reaksiyona giren gazların reaksiyona girmesini ve zara iletilmesini sağlar.
- Elektrik iletkenliği vardır.

Zar

- Protonları iletir, gazları ve elektronları geçirmez.
- Nafion, SPEEK, SPES, PBI



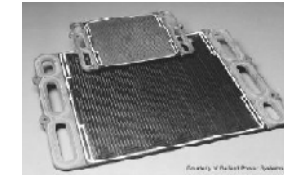
Gaz Akı Kanalları

- Grafit veya grafit-metal karışımı maddelerden yapılır.

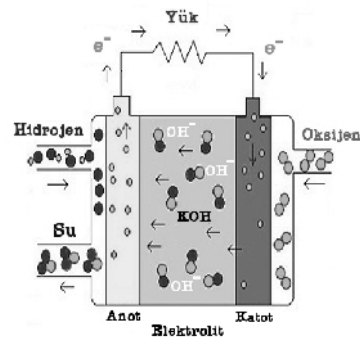
- Gazların akış yönüdür.

- Akım toplayıcısı olma görevi de vardır.

- Basınç düşmesi ve su yönetimi en kritik hususlardır.



Alkali Yakıt Pili



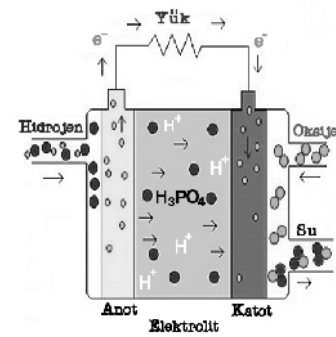
Apollo Uzay Mekkinde Kullanılan Alkali Yakıt Pili

İletken: KOH çözeltisi
Çalışma sıcaklığı: 120-250 °C
Verimlilik: %70' kadar
Yakıt: Saf H_2

Diğer Bilgiler

CO toleransı çok az
Birçok katalizör kullanılabilir
Pahalı

Fosforik Asit Yakıt Pili



İletken: Konsantre H_3PO_4 çözeltisi
Çalışma sıcaklığı: 150-220 °C
Verimlilik: %37-42
Yakıt: H_2 , doğal gaz, metanol

Diğer Bilgiler

CO toleransı AFC'ye oranla fazla
Platin katalizör gerek
Korozyona dayanıklı maddeler kullanılmalı

Erimi Karbonat Yakıt Pili

İtken: $\text{Li}_2\text{CO}_3, \text{K}_2\text{CO}_3$
 Çalışma sıcaklığı: 600-700 °C
 Verimlilik: %70-80
 Yakıt: Doğal gaz

Diğer Bilgiler
 CO toleransı çok
 Ucuz katalizör (Ni)
 Korozyona ve yüksek sıcaklığa dayanıklı maddeler kullanılmalı
 Sabit güç sistemleri

Erimi Karbonat Yakıt Pili

Katı Oksit Yakıt Pili

İtken: Seramik
 Çalışma sıcaklığı: 1000 °C'ye kadar
 Verimlilik: %60-85
 Yakıt: Doğal gaz

Diğer Bilgiler
 CO toleransı çok
 Uzun çalışma zamanı
 Korozyona ve yüksek sıcaklığa dayanıklı maddeler kullanılmalı
 Sabit güç sistemleri

Global Thermoelectric
 750 °C'de Çalışan Katı Oksit Yakıt Pili

Yakıt Pilleri Özet

T	Reaksiyon türleri YAKIT ve diğer gazlar	İLETİM	Reaksiyon türleri O ₂ /HAVA ve H ₂ O
PEMFC	$2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H} + 4\text{e}^-$	Polimer İP	$4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
APC	$\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	KOH / OH	$1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{OH}^-$
PAFC	$2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H} + 4\text{e}^-$	H_2PO_4 İP	$4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
MCFC	$2\text{H}_2 + 2\text{CO}_3^{2-} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 + 4\text{e}^-$	$\text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{K}_2\text{CO}_3$ İP	$\text{O}_2 + 2\text{CO}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{CO}_3^{2-}$
SOFC	$2\text{H}_2 + 2\text{O}^{2-} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$	YSZ İP	$\text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{O}^{2-}$
	$1/2\text{BH}_4 + 2\text{OH}^- \rightarrow 1/2\text{BH}_3 + \text{H}_2\text{O}$		

YAKIT → → O₂/HAVA

Hidrojen Taınması

- ❖ Hidrojen gazı, doğal gaz veya hava gazına benzer olarak borular aracılığıyla her yere kolaylıkla ve güvenli olarak taşınabilmektedir.
- ❖ Doğal gaz için kurulan yer altı boru dağıtım ağına kıyasla hidrojen için çok az bir değişiklikle hidrojen içinde kullanılması olanaklıdır. Boru hatları dışında hidrojen, basınçlı gaz olarak veya sıvılaştırılarak tüplere konup tankerlerle taşınabilir.

Hidrojenin Depolanması

1. Daıtım Sisteminde Depolama

- ❖ Hidrojen daıtım sisteminde depolanması gaz veya sıvı ekilde olabilir.
- ❖ Gaz hidrojen depolanması genellikle do al gazın tükendi i yer altı ma aralarında yapılmaktadır.
- ❖ Hidrojenin sıvı olarak depolanmasında, sıvı hidrojen ta ınım tanklarına benzer tanklar kullanılır.

2. Son Kullanımda Hidrojenin Depolanması

- ❖ Sıkı tırlımı gaz olarak hidrojenin depolanması
- ❖ Karyojenik (dondurulmu) sıvı depolama
- ❖ Metal hidrit sistemi ile depolama
- ❖ Karbon absorpsiyon tekni i
- ❖ Cam mikrokürelerde depolama
- ❖ Yerinde kısmi oksidasyon

Hidrojenin Basınçlı Gaz Olarak Depolanması

- ❖ Bu yöntem en ekonomik çözüm ekli olmakla birlikte hidrojenin enerji yo unlu unun oldukça dü ük olu u ve ta ıt boyutlarına ba lı olarak basınçlı kapların belirli boyutlarda yapılma zorunlulu u nedeni ile depolanan hidrojen miktarı a ırlık olarak yetersiz kalmaktadır. Üstelik kullanılan basınçlı kapların emniyetli olmaları gere i nedeniyle kap içindeki hidrojenin az olmasına kar ın kabın bo a ırlı ı da fazla olmaktadır. Bu durum küçük boyutlardaki ta ıtlar için önemli sorunlar yaratmakta ve ta ıtın bir depo yakıtla kat edebilece i mesafe kısalmaktadır .

Orta veya küçük ölçekte depolamak için en çok kullanılan yöntem, sıvıla tırlımı hidrojenin yüksek basınç altında çelik tüpler içinde tutulmasıdır.



Ta ıtlarda kullanım için tüplere depolanmı hidrojen

Hidrojenin Sıvı Olarak Depolanması

- ❖ Sıvı hidrojen bilinen yakıtlar içerisinde kaynama noktasındaki yoğunluğu en küçük ve özgül ısıtma kuvvetinin en yüksek olması sebebiyle roketler, süpersonik ve hipersonik uzay araçlarında yakıt olarak kullanılır.
- ❖ Hidrojen yaklaşık 20 OK ve 2 bar'da sıvıdır. Sıvı hidrojen ısı transferini ve kaynama olayını minimize eden süper izoleli dizayn edilmiş çift cidarlı kriojenik kaplarda depolanır. Taıtlar için gerekli yakıt hem sıvı hem de gaz fazdan çekilerek motara sevk edilir. Hidrojen taıtları için sıvı hidrojenin (LH2) tankları Japonya, Almanya ve Amerika'da demonstrasyon amacı ile başarıyla kullanılmaktadır.

Hidrojenin Taıtlarda Metal Hidrid Eklinde Depolanması

- ❖ Küçük miktarlardaki hidrojenin depolanması için önerilen yöntemdir. Hidrojen hidrid metallerle veya bu metallerin alaımlarıyla kimyasal kombinasyon oluşturularak depolanır.
- ❖ Hidridler, bir tank içinde hidrojen gazının metal alaım parçacıkları ile bileşik olarak depolanmasıdır. Hafif kütleli metal hidridler tercih edilmektedir. Hidridlere ısı verildiğinde hidrojen serbest kalmaktadır. Hidrid oluşturulan metaller ve alaımlar, bir süngerin suyu absorblaması gibi hidrojeni absorbe eder.

Hidrojen Kullanımında Güvenlik

Özellik	Yakıt Güvenirliliği		
	Benzin	Metan	Hidrojen
Yakıtın Zehirliliği	3	2	1
Yanma Zehirliliği	3	2	2
Yoğunluk	3	2	1
Difüzyon Katsayısı	3	2	1
Özgül Isı	3	2	1
Tutma Limiti	1	2	3
Tutma Enerjisi	2	1	3
Tutma Sıcaklığı	3	2	1
Yanma Sıcaklığı	3	1	2
Patlama Enerjisi	3	2	1
Yanma Yayılımı	3	2	1
Toplam	30	20	16
Güvenlik faktörü ϕ_s	0.53	0.80	1.00

Hidrojen Enerjisinin Çevresel Yönü

Kirletici	Fosil Yakıt Sistemi (kg/GJ)	Kömür/Sentetik Fosil Sistem (kg/GJ)	Solar-Hidrojen Sistemi (kg/GJ)
CO ₂	72,40	100,00	0
CO	0,80	0,65	0
SO ₂	0,38	0,50	0
NO _x	0,34	0,32	0,10
HC	0,20	0,12	0
Partikül Madde	0,09	0,14	0

Hidrojen Enerjisi ve Türkiye

❖ Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi (ICHET)

- ❖ ICHET'in tasarlanan amacı, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında hidrojen teknolojileri köprüsünü oluşturmak, hidrojen teknolojilerinin geliştirilmesini sağlamak ve uygulamalı Ar-Ge çalışmalarını yürütmektir.

- ❖ Türkiye'nin hidrojen üretimi açısından bir avantajı, uzun bir kıyıya sahip olduğu ve Karadeniz'in tabanında kimyasal biçimde depolanmış hidrojen bulunmasıdır.

- ❖ Elektroliz reaktörü ve oksidasyon reaktörü gibi iki reaktör kullanılarak, H₂S den hidrojen üretimi konusunda yapılmış teknolojik çalışmalar vardır

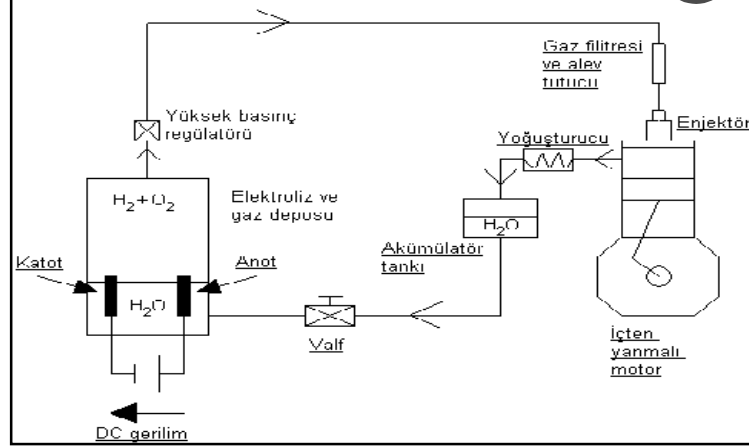
Türkiye'de hidrojenin taşınması, saklanması, üretimi ile ilgili olarak değişik üniversitelerde yapılan araştırmalar-geliştirme çalışmaları

- ❖ Değişik gaz karışımları ve hidrojenin boru ile taşınması
- ❖ Hidrojen-metan kombinasyonunun yakılması
- ❖ Sıvı hidrojen tanklarında basınç yükselmesinin incelenmesi
- ❖ Doğal gaz motorlarında yakıt olarak hidrojenin kullanılmasının etkileri
- ❖ Hidrojen elde etme için güneş pillerinin kullanımı
- ❖ Hidrojenin fotokimyasal yolla üretimi

HİDROJENİN KULLANIM ALANLARI

Dönüşümler	Hidrojen	Fosil Yakıtlar
Alevli Yanma	Evet	Evet
Direkt Buhar üretimi	Evet	Hayır
Katalitik Yanma	Evet	Hayır
Kimyasal Dönüşüm (Hidrit)	Evet	Hayır
Elektrokimyasal Dönüşüm (Yakıt Pilleri)	Evet	Hayır

Hidrojenin Motorlarda Kullanımı



Hidrojen istasyonu



Hidrojenle çalışan bir otobüs



Yakıt Pili Uygulama Alanları



Uzay çalı maları
 Askeri uygulamalar
 Ev hayatı içindeki uygulamalar
 Sabit güç sistemleri
 Ta nabilir güç kayna ı
 Atık / Atık su uygulamaları
 Ta it uygulamaları



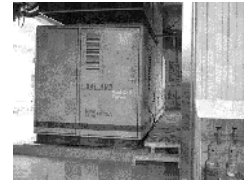
Sabit Güç Sistemleri



1999 - Crane, Hindistan



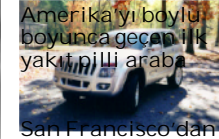
2000 - Berlin, Almanya



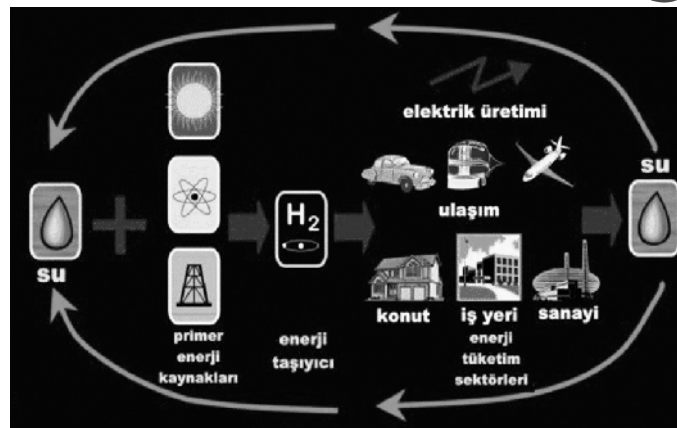
2000 - Tokyo, Japonya

Ballard'ın 250 kW'lık doğal gaz beslemeli yakıt pili
Kuzey Amerika, Avrupa ve Japonya'da 9 deneme sahası bulunuyor
Şu ana kadar 3.5 milyon kW's'ten fazla güç üretildi

Otomobil Uygulamaları

Honda FCX V3
DaimlerChrysler Necar 5
Mazda Premacy FC-EVAmerikalı bdylu boyunca geçen ilk yakıt pili araba
San Francisco'dan Washington D.C'ye20 Mayıs - 4 Haziran 2002
MeOH yakıtlı
Nissan Xterra FCV

Temiz ve Sürdürülebilir Enerji Sistemi



Sonuçlar

- Hidrojenin yakıt pillerinde kullanılması yoluyla enerji eldesi dünyanın giderek artan enerji gereksinimini çevreyi kirlilemeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek en ileri teknolojilerden biridir.
- Hidrojen üretimi diğer yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak suyun elektrolizi veya biyolojik olarak yapılmalıdır. Bu yüzden dünyanın enerji sorunu yenilenebilir enerjilerin ortak kullanımı ile çözülebilir.
- Hidrojenin taşınması ve depolanması için daha gelişmiş ve verimli teknolojiler geliştirilmelidir.

TE EKKÜRLER

Yararlı linkler

<http://www.hidrojen.gen.tr> (yakında)

<http://www.metu.edu.tr/~wwwbiohg>