

TEMİZ ENERJİ YAYINLARI

HİDROJEN ENERJİSİ

GİRİŞ	2
FOSİL YAKIT DÖNEMİ	2
Küresel Isınma (Sera etkisi – Greenhouse effect).....	3
FOSİL YAKITLARIN SALIMLARI	4
Hava Kirliliği.....	4
Kükürt.....	4
Partiküller Maddeler	4
Hidrokarbonlar	4
Karbon monoksit	5
Ozon (O ₃)	5
Fosil Yakıtların Sosyal Maliyetleri	5
HİDROJEN GAZI.....	5
İDEAL YAKIT HİDROJEN	6
Hidrojen Taşınması	7
Hidrojen Taşınırken Enerji Kaybı.....	7
Güvenlik.....	7
Hidrojenin Depolanması	8
Hidrojenin Yakıt Olarak Kullanımı.....	8
Tükenmez ve Yenilenebilir Enerji	11
HİDROJEN ÜRETİMİ.....	11
Fosil Yakıt Yöntemleri.....	11
Elektroliz.....	12
Isıl Kimyasal Yöntem	12
GÜNEŞ-HİDROJEN SİSTEMİ	12
Güneş Enerjisi	13
Fotokimyasal Yöntem.....	13
Yarı-İletken (Güneş Pili) Sistemler	14
Foto biyolojik Sistemler.....	14
HİDROJEN ENERJİSİ TEKNOLOJİSİNİN DÜNYADAKİ GELİŞİMİ.....	14
TÜRKİYE'DE YAPILAN ÇALIŞMALAR	15
HİDROJENİN SANAYİDE KULLANILMASI	17
TÜRKİYE İÇİN GÜNEŞ – HİDROJEN SİSTEMİNİN ÖNEMİ.....	17

HİDROJEN ENERJİSİ

GİRİŞ

Dünyanın sahip olduğu petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtların özellikle 20. yüz yılda yoğun bir şekilde kullanılması ile ozon tabakası delinmesi, asit yağmurları, küresel ısınma gibi etkiler, dünyayı belki de geriye dönüşü zor bir çevre kirliliği ile karşı karşıya bırakmıştır. Burada göz önünde tutulması gereken önemli bir başka konuda, fosil yakıtların belli bir rezerve sahip olması ve bu şekilde sorumsuzca kullanım sürerse, gelecek yüzyılın ikinci yarısından bu yakıtlardan eser kalmayacağı gerçeğidir. Başka bir deyişle doğaya, acımasızca davranan insanoğluna doğanın tepkisi de, sel baskınları, küresel ısınma sonucu denizlerin yükselmesi, asit yağmurları, ozon tabakasının koruyucu etkilerinin ortadan kalkması vb. olaylarla çok şiddetli olacak ve bu olaylarda birçok insan yaşamını kaybedecektir.

Çevre kirliliği az olduğu iddia edilen nükleer enerji kullanımının birçok ülkeye yayılması ve artarak devam etmesi durumunda ise, nükleer kazaların yanı sıra, bu gücü silah olarak kullanma riski artacak ve daha önemlisi, hala büyük sorunlar yaratan nükleer atıklar, artık başa çıkılmayacak bir sorun durumuna gelecektir. Dünyada kurulu nükleer reaktörlerin birçoklarının kullanım süreleri bitmektedir. Bilindiği gibi, bu tip santralleri, örneğin kömür işletmelerinde olduğu gibi kolayca yıkmak veya olduğu gibi bırakmak mümkün değildir. Yıllarca radyoaktiviteye maruz kalan reaktörlerin her parçasını dikkatle sökülüp özel koruyucu kaplar içerisinde yerleştirilip, saklanması gerekmektedir.

Bu koşullar altında, dünyanın giderek artan enerji gereksinimini çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek en ileri ve tek enerji kaynağının güneş-hidrojen sistemi olduğu bugün bütün bilim adamlarınca kabul edilmektedir. Bilindiği gibi hidrojen yakıt olarak kullanıldığı enerji sistemlerinde, atmosfere atılan ürün sadece su ve/veya su buharı olmaktadır. Hidrojen gazı ileride tanımlanan yöntemlerden biri ile elde edildiği gibi güneş enerjisi veya onun türevleri olarak kabul edilen rüzgâr, dalga ve biyo kütle de üretilebilmektedir. Güneş enerjisi ile hidrojen eldesi yöntemleri ve bunların verimliliği ayrı-ayrı olarak ele alınmıştır.

FOSİL YAKIT DÖNEMİ

İnsanların ateşi bulmasından bu yana geçen binlerce sene içerisinde son 150 yıl dışında, kullanılan yakıtların başında odun gelmektedir. Bundan başka yel değirmenleri ile rüzgâr ve su enerjileri sayılabilir. Odun, özünde güneş enerjisinin bitkilere depolanması olayı olan fotosentezle oluşan ve biyo kütle olarak tanımlanan doğal ve yenilenebilir bir yakıt olup çevre zararı yok denilecek kadar azdır. Ancak, yetişmesi için uzun yıllar alan ağaçların kesilerek yakıt olarak kullanılması, ormanların yok olmasına ve büyük çevre felaketlerine yol açmaktadır. Bu sorunu çözmek için, hızlı yetişen enerji bitkilerinden yararlanılarak, ağaç kesimi önlenebilir. Son 150 yılda ise, yer altı kaynakları ortaya çıkan ve sınırlı rezerve sahip, petrol, kömür, doğalgaz, yoğun bir şekilde bulunmaktadır. Ancak milyonlarca yılda oluşan bu yer altı kaynakları çok kısa bir süre içerisinde hızla tüketilmektedir.

Hidrojen enerjisinin, özellikle güneş-hidrojen sisteminin yararlarını daha iyi anlayabilmek için, halen yoğun bir şekilde kullanılan bu fosil yakıtların çevre etkilerine kısaca bir göz atmak iyi olacak. Bilindiği gibi kömür, petrol, doğal gaz gibi yakıtlar kullanıldığında, çevreye çeşitli gazlarla birlikte bazı toz parçacıkları atmaktadır. Atılan bu gaz karışımı parçacıklar arasında karbon oksitler, kükürt oksitler, hidrokarbonlar, birincil kirlenimler; poli-nükleer aromatik hidrokarbonlar, olefinler, alditler, bazı aerosoller ise ikincil kirlenimler olarak adlandırılır. Hava kirliliğinin çevre üzerindeki etkileri küresel, bölgesel ve yerel ölçekte ortaya çıkmaktadır. Küresel ölçekte, başta karbondioksit olmak üzere, sera gazlarının yol açtığı küresel ısınma ve ozon tabakasının delinmesi sayılabilir. Bölgesel ölçekte asit yağmurları, ormanların tahribi göllerin asitlik değerinin artması sonucunda ekolojik dengenin bozulması en önemli belirtilerdir.

Küresel Isınma (Sera etkisi - Greenhouse effect)

Fosil yakıtların yoğun bir şekilde yakılması sonucu, başta karbondioksit olmak üzere, atmosferde sera gazlarının giderek artması ve buna bağlı olarak dünyamızın ısınması olayı, sera etkisi nedeniyle küresel ısınma olarak tanımlanmaktadır. Genelde sera etkisi yapan gazlar arasında, karbondioksit, metan, karbonmonoksit, hidrokarbonlar ve kloroflora karbonları saymak olasıdır. Örneğin CO₂ derişimi 19. yy. başlarına kadar 290 ppm basamağında iken yaklaşık 100 yıl içinde 330 ppm basamağına yükselmiştir. CO₂ güneşte gelen ve genelde kısa dalga boyunda olan ışınımlar geçirmekte buna karşılık, yerden yansıyan uzun dalga boyunda ışınımlar emmektedir. Bu nedenle son yüzyılda artan CO₂ derişimi ne koşul olarak dünyamızın ortalama sıcaklığında bir artma olduğu saptanmıştır. Bu artmanın, yeryüzüne yakın yerlerde ısınma ve hava kürenin yukarı kısımlarında yaratacağı soğuma nedeniyle yüksek basınç sistemlerinin etkileneceği, buna bağlı olarak da aşırı iklim koşullarının görüleceği tahmin edilmektedir. Ayrıca sera olayının en büyük etkisinin, kutuplardaki buzulların erimesine yol açması ve denizlerin yükselerek birçok ülkenin sular altında kalması olacağı konusunda değişik senaryolar üretilmektedir. Bu senaryolara göre CO₂ derişimi 2050 yılında ikiye katlanmış olacak ve 2100 yılında ise kabul edilebilir sınırların çok ötesinde olacaktır. Bu konuda yapılan çalışmalar, fosil yakıt tüketiminin aynı hızla sürmesi sonucunda, önümüzdeki 50 yıl içinde dünyamızın sıcaklığının 5 derece artacağını ve bunun da büyük felaketlere yol açacağını göstermektedir. Okyanus yüzeyi sıcaklığının 1 derece artması bile fırtınalardaki en küçük dayanabilirlik basıncını 15-20 milibar arasında azaltmakta ve bu da tayfunların daha sık şiddetli olmasına neden olmaktadır. Günümüzde yaşadıklarımızdan çok daha büyük tayfunlar ve sel felaketlerinin yanı sıra, kutuplardaki buzulların erimesi sonucu okyanusların 1,5-2 metre yükselmesi ile bir çok ada ve ülke toprakları sular altında kalacaktır. Bütün bunların sonucu olarak da, insan kaybı ve büyük maddi zarar meydana gelmesi beklenmektedir.

Ayrıca, sera etkisi nedeniyle yeryüzü sıcaklığının artması ile denizlerden göllerden ve nehirlerden daha çok buharlaşma olacak, dolayısıyla daha fazla yağmur ve doğal sel felaketleri olacaktır. Ayrıca, rüzgârların yön değiştirmesi sonucu normalde yağış alan yerlerde aşırı kuraklık görülmesi de olasıdır. Dünyamızda 1980 yıllardan başlayarak günümüze kadar hiç görülmeyen yerlerde aşırı kuraklığa rastlanması da olasıdır. Bütün bu doğal felaketlerin yarattığı tehlikeler ve manevi zarar yanında maddi kayıplar trilyonlarca dolar tutmaktadır. Gelecekte beklenen daha büyük felaketler göz önüne alındığında, kayıpların ne olacağını hesaplamak bile son derece ürkütücüdür.

Asit Yağmurları

Özellikle kömür ve petrol gibi fosil yakıtlardan hava ya atılan kükürt dioksit, azot oksitler ve karbon gazları, yağmur damlaları ile birleştirilerek sırayla sülfürik asit, nitrik asit ve karbonik asit oluşturur. Yeryüzünde tarım alanlarına, binalara, insanlara ve tüm canlılara zarar veren tüm bu asit yağmurları nedeniyle Avrupa, Amerika ve daha bir çok ülkede ormanlık alanlar hasar görmüştür. Bu hasarlar 1985 yılın dan sonra hesaplanmaya başlanmış ve fosil yakıtların sosyal maliyeti, yani insanlığa verdiği zarar altında toplanmaya başlanmıştır.

Asit yağmurlarının zararı, ormanlarla sınırlı olmayıp, canlı varlıkların yanı sıra, demir yolları, binalar, köprüler ve tarihsel kalıntılar üzerinde de etkili olmuştur. Bu etkiler, Paris teki Notre Dame Katedralinde ve benzeri birçok yapıda belirgin olarak görmek mümkündür.

Türkiye de hava kirliliğinin artması birincil fosil enerji kaynakları kullanımı, özellikle linyit tüketiminin artışı ile paralellik göstermektedir. Türk linyitlerinin büyük bir çoğunluğu, toplam 8.3 milyar tonluk rezervin %63 gibi önemli bir bölümü, düşük kalori değerine sahip olup, bunların kükürt, kül ve nem içerikleri de oldukça fazladır. Yerli linyit kullanımından dolayı 1986 yılında SO₂ salımı 1.6 milyon ton olarak hesaplanmış olup, toplam SO₂ salımı %50 sinden fazlasını oluşturmaktadır.

Fosil yakıtların yanma reaksiyonu sonucunda atmosferik sera etkisine yol açan CO₂ salımı 1990 yılında 0.6 milyar ton/yıl iken, özellikle son 40 yılda büyük bir artış göstererek, 1998 yılında 5.5 milyar ton/yıl olarak gerçekleşmiştir. Türkiye için sadece fosil yakıt kullanımından dolayı tahmini CO₂ salımı 2005 yılında 410 milyar ton 2010 yılı için ise 550 milyar ton olarak hesaplanmıştır. Türkiye deki NO_x Salı nı

mı ise %50 ulaşım sektöründen %20 si enerji sektöründen gelmektedir. Fosil yakıtlardan kaynaklanan bazı kirleticilerin bir ton eődeęeri petrol enerji üretmek için havaya attıkları miktarlar kg olarak verilmiştir.

FOSİL YAKITLARIN SALIMLARI

(1 TEP ENERJİ ÜRETİMİ İÇİN kg OLARAK)

KAYNAKLAR	(CO ₂)	SO ₂	(CO)	(NO _X)	PARTİKÜLLER
Kömür	9900	87	1.5	30	-
Petrol	8600	51	1.3	8	0.5
Doğal Gaz	4900	-	-	-	-

Hava Kirliliği

Özellikle son yıllarda üzerinde önemle durulan hava kirliliği olayı, modern yaşamın bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Hava da katı, sıvı ve gaz şeklindeki yabancı maddelerin insan sağlığına canlı hayata ve ekolojik dengeye zararlı olabilecek yoğunluk ve sürede olması, hava kirliliği olarak tanımlanır. Hava kirliliğinin özellikle insan sağlığı üzerindeki etkisi, kişilerin yaş, dayanıklılık ve diğer fizyolojik faktörlere bağlı olması nedeniyle tam olarak ortaya koyulabilmesi olası değildir. Burada önemli olan diğer bir değişken de kirliliğe maruz kalınma süresidir.

Kükürt

Havadaki kükürt oksitler iğerisindeki en önemli pay kükürt dioksit gazına aittir. Bu gaz yanmayan, renksiz bir madde olup, 0.3-1 ppm yoğunlukta ağızda belirgin bir tat bırakmakta ve 3ppm'in üstünde ise boğucu bir hisse yol açmaktadır. Havadaki kükürt oksitler su damlacıkları ile birleşerek sülfürik asit oluşmasına neden olurlar.

Kükürtlü maddeler en çok malzemeye ve bitkilere verdikleri zarar ile tanımlanırlar. Örneğin, boyaların ömrünü azaltır, metal yüzeylerin korozyonla aşınmasına yol açarlar. Ayrıca, kireç, mermer ve siva gibi yapı malzemelerini de kısa sürede tahrip eder. SO₂ nin solunum yolu rahatsızlıkları yarattığı, özellikle akciğer yetmezliği ve solunum hastaları için ölümcül olabildiği anlaşılmıştır.

Partiküller Maddeler

Ortalama gaz moleköl büyüklüğü 0.0002 mikrometre çaptan iri olan ve hava da bir süre askıda kalabilen katı veya sıvı her türlü madde partiköl sınıfına girer. Partiköl şeklindeki kirletici salımları iriliklerine, yoğunluklarına ve kimyasal yapılarına bağlı olarak çeşitli isimler alırlar. Tozluluk, insan ve çevre sağlığı üzerinde olumsuz etki yapan ilk kirlilik türüdür. Tozları oluşturan maddeler kimyasal yönden etkin olabildiği gibi üzerine bağlanan diğer kirletici gazları da yoğunlaştırarak, canlı dokular üzerinde zararlı olabilirler.

Hidrokarbonlar

Gaz halindeki hidrokarbonların doğrudan etkileri yerine atmosferdeki fotokimyasal tepkime ürünleri büyük önem taşır. Bitki büyümesini durdurduğu bilinen, doğrudan etkisi olan tek organik gaz kirleticidir. Daha büyük moleküller halinde bulunan ve katran, zift gibi sıvı-katı fazlarda olan hidrokarbonlar ise, kanser yapıcı olarak bilinirler.

Azot Oksitler (NO_x)

Azot oksitlerden NO ve NO₂ en önemli kirletici gazlardan dır. Azot oksitlerde kükürt oksitler gibi suyla birleştğinde nitrik asit oluşturur ve asit yağmurlarına neden olurlar. Nitrik asit, her türlü malzeme ile insan sağlığı üzerinde olumsuz etki yaratır.

Karbon monoksit

CO kokusuz, renksiz bir gaz olup, esas olarak yakıtların tam olmayan yanmaları sonucu oluşmaktadır. CO nun mol ağırlığının havanın kine eşit olması, hem kaynaklandığı nokta çevresinde yoğunlaş masına ve hem de dağılmasına engel olmaktadır. Buna ek olarak, varlığı da kolay fark edilmeyen bu gaz yüksek zehir etkisini daha da belirgin göstermekte ve bir çok ölümcül zehirlenmeye yol açmaktadır. Zehir etkisi, hemoglobine olan yüksek bağlanma gücü nedeni ile oksijenin dokulara taşınmasına engel olmasından kaynaklanmaktadır. CO ayrıca atmosferde kolay kolay yok olmaz, ömrü 2-4 aydır.

Ozon (O₃)

Havanın oksitlenme gücünü gösteren, genelde ozon peroksit bileşikleri ve kökçeler in oluşturduğu oksitleyici maddelerin toplamıdır. İnorganik oksitleyiciler de bu gurubun içindedirler. Bunlar arasında ozon hava kirliliğine yol açan en kuvvetli oksijen gazıdır. Ozon, yeryüzünden başlayarak hava kürenin üst katmanlarına kadar hemen her yerde bulunur. Ancak ozon, stratosfer olarak bilinen yukarı katmanlarda güneşin zararlı morötesi ışınlarını tutup, bizleri korumasına karşın, yeryüzüne çok yakın bölgelerde oluşması durumunda ise, sağlığa son derece zararlı olmaktadır. Sanayi devrimi ile birlikte artan fosil yakıt kullanımı, taşıtlar, elektrik santralleri yeryüzünde istenmeyen ozon tabakası yaratırken, buz dolapları, saç spreyleri gibi yerlerde yoğun şekilde kullanılan kloroflorokarbonlar ise, üst tabakalardaki faydalı ozon tabakasına zarar vermektedirler.

Fosil Yakıtların Sosyal Maliyetleri

Fosil yakıtların, kanser etkisi, ozon tabakası incelemesi gibi daha burada değinilmeyen başka zararlarını hesaplamak için yeni yöntemler geliştirilmiş ve fosil yakıtların insanlığa maliyeti, olabildiğince ayrıntılı olarak ortaya çıkartılmıştır. Bütün bu büyük maliyetlere rağmen, insanoğlu hala hızla petrol, doğal gaz ve kömür tüketmekte ve ne yazık ki bu yakıtlardan üretilen enerjinin maliyetleri hesaplanırken çevreye verilen büyük zarar göz önüne alınmamaktadır. Bu nedenle de, tükenmez ve temiz enerji kaynakları olarak bilinen güneş ve rüzgâr gibi doğal kaynaklardan üretilen enerjinin maliyeti, fosil yakıtlardan bir miktar daha pahalı gözükmektedir.

Fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması ve yakın bir gelecekte kesinlikle tükenecek olması belki bir teselli olarak alınabilir. Ancak, yapılan hesaplamalar, tüm fosil yakıt rezervlerinin bu kısa süre içerisinde tüketilmesi ile atmosferdeki karbon monoksit oranının, geri dönüşmesi olası olmayan sınırı geçeceğini göstermektedir. Bu durumda, felaketlerin birbirini izleyeceği süreç içine girileceği, aşırı ısınmadan ve denizlerin yükselmesinden sonra buzul devrinin başlayacağı anlaşılmaktadır. Bütün bu gerçekler bilindiği ve çözüm önerileri ortaya konduğu halde, insanların neden hala önlem almadığını anlamak olanaklı değildir.

HİDROJEN GAZI

Doğadaki en basit atom yapısına sahip hidrojen, günümüzde kabul gören evlerin oluşumu kuramında da belirtildiği gibi, bütün yıldızların ve gezegenlerin temel adresidir. Evrende %90 dan fazla hidrojen bulunmaktadır. Güneş ve diğer yıldızların termonükleer tepkimeye vermiş olduğu ısının yakıtı da yine hidrojen olup, evrenin temel enerji kaynağıdır. Periyodik cetvelin en başında yer alan hidrojenin çekirdeğinde bir proton ve çevresinde yalnız bir elektron bulunur. Ancak 5000 hidrojen atomunun birinin çekirdeğinde birde nötron bulunur. Bu durumdaki hidrojen atomuna döteryum adı verilir. Döteryum, hidrojenin önemli bir yardeşi olup, bu izotopun zenginleştirilmesi ve oksijenle

birleştirilmesinden elde edilen suya "ağır su" denir. Ağır su, nükleer reaktörlerde, uranyumun parçalanması sırasında çıkan nötronların yavaşlatılması için ılımlı olarak kullanılır. Hidrojenin çok daha az bulunan bir başka izotop u da, çekirdeğinde iki nötron bulunan ve trityum adı verilen hidrojenidir. Radyoaktif olan trityum, hidrojen bombası yapımında kullanılır.

Normal sıcaklık ve basınç altında kokusuz ve renksiz olan bu gaz (H₂) oksijenle birleştiğinde yaşam için en önemli madde, yani su elde edilmektedir. Hidrojen çok hafif bir gaz olup, yoğunluğu havanın 1/14 ü, doğal gazın ise 1/9 u kadardır. Atmosfer basıncında -253°C ye soğutulduğunda sıvı hale gelen hidrojenin yoğunluğu ise benzinin 1/10 kadar olmaktadır. Hidrojen gazının ısı değeri metreküp başına yaklaşık 12milyon jule olarak verilmiştir. Sıvı hidrojenin ısı değeri ise metreküp başına 8400milyon jule veya kg başına 120milyon jule olarak bulunmuştur.

Hidrojenin ilk bulunmasının, 1500 yıllarında Paracelsus ça yapılmış olduğu söylenmekle birlikte, havayla karışarak patlama şeklinde yandığı, 1700 yıllarında Lemory tarafından gösterilmiştir. 1781 de ise Cevendish, hidrojenin havayla birleşerek yandığında atık ürünün su olduğunu deneyle saptamıştır. Bu dönemlerde hidrojen, metallerin asit ile tepkimesi sonucu elde edilmekteydi. Fakat daha sonra, endüstri devriminin başlangıcı sayılan 19. yüz yılın ilk yarılarında, kömür-su-gaz tepkimeleri ve 20. yy. elektroliz, başlıca hidrojen üretim şekli olmuştur. Doğalgazın 1940 yıllarında kullanılabilir olmasından önce buhar/demir işlemleri hidrojen üretiminde yer alan önemli bir yöntemdi.

Kolaylıkla anlaşılacağı gibi, güneş enerjisi devam ettiği sürece, dünyanın enerji sorununu çözmek için kullanılacak bu enerji ile okyanuslardan elde edilecek hidrojen tutarı, milyarlarca yıl yetecek enerjiyi devamlı olarak üretebilecektir. Hidrojenin yakıt olarak bazı özellikleri benzin, metan gibi yakıtlarla karşıtirmalı olarak aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

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 . k/j)	0.25	0.19	0.17
Alev yayılması (emisivitesi), (%)	34-42	25-33	17-25

Çizelge 1. hidrojen benzin ve metanın yakıt özellikleri

İDEAL YAKIT HİDROJEN

Enerji yakıtı, ideal olarak aşağıdaki koşulları sağlamalıdır:

- Kolayca ve güvenli olarak her yere taşınabilmeli
- Taşınırken enerji kaybı hiç veya çok az olmalı
- Her yerde, örneğin, sanayide, evlerde, taşıtlarda kullanılabilirmeli
- Depolana bilmeli
- Tükenmez olmalı
- Temiz olmalı
- Birim küle başına yüksek kalori değerine sahip olmalı
- Değişik şekillerde, örneğin, doğrudan yakarak veya kimyasal yolla kullanılabilirmeli
- Güvenli olmalı
- Isı, elektrik veya mekanik enerjiye kolaylıkla dönüştürülebilmeli
- Çevreye hiç zarar vermemeli
- Çok hafif olmalı
- Çok yüksek verimle enerji üretebilmeli
- Karbon içermemeli

· Ekonomik olmalıdır.

Yukarıda sayılan bütün bu koşulları yerine getirebilecek bir yakıt olmadığı düşünülebilir. Ancak öyle bir yakıt vardır. Hidrojen, yakıt olarak bütün bu özellikleri içeren, yalnız önümüzdeki yüzyılın değil, güneş ömrü olarak kestirilen gelecek 5 milyar yılın da yakıtı olarak kabul edilmektedir. Hidrojen yakıt olarak taşıdığı özellikler aşağıda daha ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Hidrojen Taşınması

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 ağının ileride çok az bir değişiklikle hidrojen içinde kullanılması olanaklıdır. Boru hatları dışında hidrojen, basınçlı gaz olarak veya sıvılaştırarak tüplere konup tankerlerle taşınabilir. Çift çeperli yalıtılmış 25m³ hacmindeki tanklara konulan sıvılaştırmış hidrojen, karayolu ile yine benzer şekilde 130m³ hacminde tanklara konulan sıvı hidrojen ise demiryolu ile taşınabilmektedir.

Hidrojen boru ile taşınmasına, Texas da petrol endüstrisi tarafından kullanılmakta olan ve 80 km uzunluğuna sahip boru şebekesi ile Almanya da Ruhr havzasında 1938 yılında işletmeye açılan ve bugün 15 atmosfer basınç altında hidrojen taşımaya devam eden 204km lik boru hattı örnek olarak gösterilebilir.

Hidrojen Taşınırken Enerji Kaybı

Günümüzde petrol tankerlerinden sızan veya kaza sonucu her yıl denizlere saçılan binlerce ton ham petrol, bilindiği üzere telafisi çok zor, hatta olanaksız olan büyük zararlara yol açmaktadır. Elektrik enerjisi taşıma ve dağıtım hatlarında ise, yine büyük enerji kayıpları vardır. Ülkemizde elektrik enerjisinin taşınması sırasında kaybolan enerji miktarının Keban Barajı'nın bir yılda ürettiği elektrikten neredeyse 1.5 kat fazla olduğu hesaplanmıştır. Kömür çıkartılması ve dağıtılması oldukça yüksek maliyet gerektiren bir işlemdir. Doğal gaz ve petrol yataklarının belirli bölgelerde bulunmasından dolayı, bu yakıtların kullanılacak yere boru hatları ile taşınması için çok uzun, bazen birkaç ülkeyi kapsayan binlerce kilometrelik boru hatları, dolayısıyla yatırım maliyeti getirmektedir. Hidrojen ise her yerde bölgesel olarak üretilebildiği için çok uzun boru hatlarına gerek yoktur.

Güvenlik

Son derece hafif bir yakıt olan hidrojen ilk olarak hava taşıtlarında kullanılmaya başlamıştır. Ancak, hidrojenin yaygın olarak kullanımı ile yangın tehlikesinin artacağı görüşü, 1937 yılında New Jersey seyahatinde yanan Alman Zeplini Hindenburg hava gemisinden sonra ortaya çıktığı için bu korkuya Hindenburg sendromu adı verilmiştir. Aradan geçen yıllar içinde, gelişen hidrojen teknolojisi, doğal gaz, petrol, kömür ve uranyum gibi nükleer yakıtların geniş çapta kullanımı nedeniyle ortaya çıkan kazalar yanın da çok daha güvenli kalmaktadır. Hidrojen kullanımında bazı kurallara uyulduğunda tehlike yok denecek kadar azalmaktadır.

Bugün uçaklarda kullanılan yakıtın kaza ile yanmasından aşırı sıcaklık ve duman oluşmakta ve bunun sonucunda birçok insan yaşamını yitirmektedir. Yakıt olarak hidrojenin kullanılması durumunda, yandığında havadaki oksijenle birleşerek su-su buharından başka bir gaz çıkmayan hidrojen alevi, aynı zamanda çok az ısıyayar. Bu nedenle doğrudan alevle temas edilmediğinde tehlike yoktur.

Hava içinde alev alma sınırı, patlama enerjisi, alev sıcaklığı ve atık ürün gibi değişkenler göz önüne alındığında, fosil yakıtların güvenlik katsayılarının 0.5-0.80 arasında olmasına karşın, hidrojen için, daha yüksek (1 dolayında) bir güvenlik olduğunu açıkça göstermektedir.

Hidrojenin Depolanması

Hidrojenin belki de en önemli özelliği, depolanabilir olması. Bilindiği gibi, günümüzde büyük tutarlarda enerji depolamak için hala uygun bir yöntem bulunmuş değildir. Eğer bu gün hidroelektrik santrallerinden depolamamız mümkün olsaydı, enerji sorununu bir ölçüde çözmek mümkün olabilirdi. Ancak, elektrik enerjisi için bilinen en iyi depolama yöntemi hala asitli akümülatör ler den başka bir şey değildir. Ancak, enerjiyi dolaylı olarak iki şekilde depolamak olanaklıdır. Bunlardan birincisi güneş enerjisinin fotosentez yoluyla bitkilere depolamak, yani odun üretmek, ikincisi ise hidrojen elde etmektir. Her iki yöntemde de elde edilen ürünler yakılarak veya başka enerjiye çevrilerek enerji kaynağı olarak kullanılır.

Hidrojen gazını depolamanın belki de en ucuz yöntemi, doğal gaza benzer şekilde yer altında, tükenmiş petrol veya doğal gaz rezervuarlarında depolamaktır. Maliyeti biraz yüksek olan bir depolama şekli ise, maden ocaklarındaki mağaralarda saklamaktır.

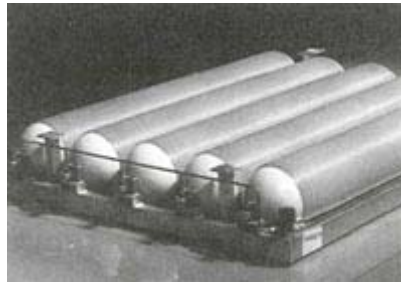
Orta veya küçük ölçekte depolamak için en çok kullanılan yöntem, sıvılaştırılmış hidrojenin yüksek basınç altında çelik tüpler içinde tutulmasıdır. Ancak bu uygulama, büyük miktarlar için oldukça pahalı bir yöntem olarak görülmektedir. Bir diğer pratik çözüm ise, sıvı hidrojeni düşük sıcaklıktaki tanklarda saklamaktır. Uzay programlarında, roket yakıtı olarak sürekli şekilde kullanılan sıvı hidrojen bu yöntemle depolanmaktadır. Dünyadaki en büyük sıvı hidrojen tankı, Kennedy Uzay Merkezinde olup 3400 metreküp sıvı hidrojen alabilmektedir. Bu miktar hidrojenin yakıt olarak değeri 29 milyon Mega Jule veya 8 milyon kW-saat e karşılık gelmektedir.

Hidrojenin bir diğer önemli özelliği de ekzotermik (ısıveren) kimyasal tepkimeyle, bazı metal ve alaşımlarla kolayca büyük miktarlarda hidrit biçimine dönebilmesidir. Bu özellik hidrojenin, metal veya metal alaşımlarla metal hidrit olarak de metal veya alaşım, tekrar depolama için kullanıla bilinir. Hidrojeni daha iyi depolamak için çeşitli metal alaşımları üzerindeki çalışmalar günümüzde sürmekte olup, en iyi depolama için gerekli koşullar şartlar aşağıda verilmiştir.

- Metal veya alaşım oldukça ucuz olmalı
- Birim hacim başına en çok hidrojen depolamalı
- Metal, hidrojenle kolayca tepkimeye girip hidrit oluşabilmeli ve oda sıcaklığında kararlı olmalı
- Hidrojen gazı oldukça yüksek bir sıcaklıkta belirgin bir basınçta metalden ayrılabilmelidirler

Üzerinde yoğun çalışmalar yapılmakta olan hidritler için en umut verici alaşımlar arasında, Lantan-Nikel

(LaNi₃), Demir-Titanyum (FeTi), ve Magnezyum-Nikel (Mg₂Ni) metalleri sayılabilir. Bu çalışmalar için en yüksek hidrojen depolama miktarları için formüller, (LaNi₃)H₆ (FeTi)H₂ ve (Mg₂Ni)H₄ şeklinde yazılabilir.



Taşıtlarda kullanım için tüplere depolanmış hidrojen

Hidrojenin Yakıt Olarak Kullanımı

Bir yakıtın her yerde, örneğin, sanayide, evlerde, taşıtlarda kullanılabilmesi büyük önem taşımaktadır. Diğer yakıtlarla karşılaştırıldığında, bunları birçoğunun ancak belerli uygulamalar için kullanılabildiğini

görmekteyiz. Kömürü, otomobiller de veya uçaklarda kullanmak pratik açıdan uygun değildir. Hidrojen ise, hemen her yerde kolaylıkla kullanılabilir. Evlerde, ısıtma amacı ile kalorifer, fırın ve şofbenlerde doğal gaz yerine rahatlıkla kullanılabilir. Yalnız hidrojenin doğal gaza göre daha az olan yoğunluğu nedeniyle, daha fazla miktarda hidrojenin kalorifer sistemindeki yakıcıya gelmesi gerekir. Hidrojenin oksijenle birleşerek doğrudan yakıldığı bu sistemlerde, atık ürün suyun yanında, alevin yüksek sıcaklığa çıkmasından dolayı az bir miktar azot oksit oluşabilmektedir.

Katalitik yüzeylerde alevsiz yakma mümkün olduğundan, bu tür ısıtıcılarda güvenli olarak ve azot oksit oluşmasına yol açmadan da kullanılabilir.

Hidrojen yakıtlı piller içinde elektriği dönüştürülmesi ile üretilen elektriğin de, evlerde olduğu gibi, sanayi de bölgesel olarak üretilip kullanılması olanaklıdır. Yakıtlı piller konusunda yapılan yoğun çalışmalar sonucu bu alanda büyük ilerlemeler sağlanmıştır.

Hidrojen yakıtının içten yanmalı motorlarda, yani otobüs, kamyon, otomobil, traktör ile tarım makineleri gibi tüm taşıtlarda kullanılabilmesi, sınırlı rezerve sahip petrol ürünlerinin yerini alması ve çevreye dost bir enerji olması, son yıllarda özellikle araç üreten şirketlerin büyük ilgisini çekmektedir. Benzin veya mazot yerine hidrojen gazı kullanılması ile motorların yakma sisteminde bazı değişiklikler gerekmektedir. Hidrojen yakıtlı motor tasarımlarında bu güne kadar kullanılan 3 temel yöntem aşağıda verilmiştir.

1. hidrojen ve hava karışımı, değişmez bir oranda silindirlere giriş manifolduna verilmekte olup, motor gücü Hidrojen-hava karışım miktarlarını değiştiren bir valf vasıtasıyla ayarlanmaktadır. Sistemde, özellikle yüksek hızlarda düzgün çalışmayı sağlamak için, hidrojen hava karışımına su buharı ilave edilmesi gerekebilir.
2. hidrojen gazı basınç altında silindirlere enjekte edilir. Havanın ise başka bir giriş manifold aracılığıyla ayrı olarak silindirlere geldiği için, hidrojen hava patlayıcı karışımı silindirlere dışında oluşmaz. Bu yöntem, ilk tarif edilen sisteme göre daha emniyetlidir. Burada motor gücü, hidrojen gazı basıncını 14 atmosfer ile 70 atmosfer arasında değiştirmek suretiyle ayarlanabilir.
3. üçüncü yöntemde de, ikinciye benzer şekilde yine silindirlere ayrı ayrı verilen hidrojen ve hava karışımı verilmekle beraber, yüksek basınç yerine hidrojen, normal veya orta basınçta tutulur ve motor gücü, hidrojen miktarını değiştirmek suretiyle ayarlanır. Burada silindirlere giren hava tutarı değişmediğinden değişim hidrojen-hava karışımına meydana gelir. Böyle bir ayarlama hidrojen hava karışım oranının oldukça geniş bir aralıkta patlama özelliğine sahip olması nedeniyle kolaylıkla gerçekleştirilebilir.

Hidrojen yakıtlı motorların, benzinli motorlara göre birçok üstünlüğü bulunmaktadır. Bunlardan biri, hidrojenli motorların yüksek verimi, diğeri, belki de en önemlisi, atık ürün olarak sadece su buharı olmasıdır. Silindirlere yağlamak için kullanılan petrol ürünlerinden kaynaklanan çok az miktarda karbon monoksit ve hidrokarbonlar la yüksek sıcaklıktan kaynaklanan azot oksitlerinde atık ürünlerin arasında yer alabileceği göz önüne alınmalıdır. Ancak, bu zararlı gazlar, petrol ürünü kullanan taşıtlara göre göz ardı edilebilecek kadar düşük düzeyde olduğu için, hidrojenli motorları tümüyle çevre dostu olarak varsaymak olanaklıdır. Yanma sıcaklığını, atık su buharının bir kısmını yeniden silindire vermek suretiyle düşürmek ve böylece azot oksitlerin miktarını daha azalma olanağı vardır.



yakıtlı piller çalışan bir otomobil

Yukarıda kısaca belirtildiği gibi, taşıtlarda tümüyle farklı bir yaklaşım olarak, içten yanmalı motorlar yerine, yakıtlı piller ile elektrik üretmek ve elektrik motorları ile taşıta güç sağlamak da mümkündür. Bu tür taşıtlarda havaya atılan zararlı ürün hiç olmayacağı için bunlara, sıfır salımlı taşıtlar da denmektedir. İster içten yanmalı isterse yakıtlı pilli olsun, taşıtlarda temel sorun, hidrojenlerin güvenli olarak depolanmasıdır. Bu konuda yapılan çalışmalarda, yine 3 ayrı yöntem geliştirilmiş olup, her birini kendine göre üstünlükleri bulunmaktadır.

- Basıncı hidrojenin, çelik tüpler içine yerleştirerek taşınması, bu güne kadar geliştiren birçok deneme

Amaçlı hidrojenle çalışan taşıtta kullanılan yöntem olmuştur. Burada görülen en büyük sorun çelik tüplerin kendi ağırlıklarıdır. Benzinli bir otomobil ortalama olarak 65 litre (47kg) benzin almaktadır, bu da enerji olarak 17 kg hidrojene karşılık gelmektedir.

- Hidrojeni sıvı olarak depolamak ağırlık sorununu çözmekle birlikte, tank hacmi ve mal oluşu yükseltmektedir. Diğer bir sorun ise, hidrojenin gaz haline geçmesi ile oluşan kayıplar ve yakıt ikmali zorluğu.

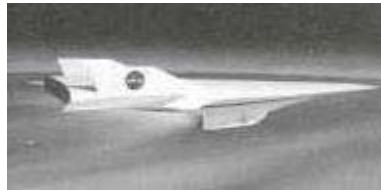
- Metal hidritler hidrojen depolamak için çok uygun bir yöntem olmasına karşın, bunlarında kendi ağırlıkları ciddi sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Daha önce belirtilen üç metal hidritten, Magnezyum-Nikel, en fazla hidrojen depolaması ve en ucuz olmasına karşın, yine ağırlık olarak taşıta 500kg gibi bir ek yük getirmektedir. Bir diğer sorun da, hidrojen gazını belli basınçta elde edebilmek için, metal hidritin, 250°C'ye ısıtılması gereğidir. Bu sıcaklık araç çalışırken egzost çıkışından elde edilen sıcak gazla sağlanabilmekle beraber, motorun ilk başta soğukken çalıştırılması sorun yaratmaktadır. Bu sorun, Almanya'da otobüslerde denen yeni bir yöntemle çözülmüştür. Bu otobüslerde, düşük sıcaklıkta hidrojen sağlayan Demir-Titanyum alaşımı ile Magnezyum-Nikel alaşımı birlikte kullanılmıştır. Buna göre, ilk alaşım motor soğukken devreye girerken daha sonra ikinci alaşım devreye girerek süreklilik sağlanmaktadır. Birinci alaşımın depolanan hidrojen, daha sonraki bir ilk çalıştırma için yedekte tutulmaktadır.



hidrojenle çalışan bir otobüs

Bütün bu sorunlara karşın, hidrojenin özellikle, otobüs, kamyon ve traktör gibi ağır taşıtlarda kullanımı gittikçe artmakta ve gelişen teknoloji ile birlikte sorunlar giderek çözülmektedir. Petrolün sınırlı ömrü ve artan çevre kirliliği, hidrojen yakıtının yaygınlaşmasına yol açmaktadır.

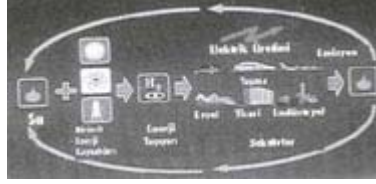
Hidrojen yakıtının ilk kullanım alanlarından biri jet uçakları olup, bu konuda ilk olarak 1957 yılında yapılan denemelerden sonra yapılan çalışmalar artık ticari uygulama aşamasına gelmiştir. Dünya Enerji Ajansı Hidrojen Programı çerçevesinde yürütülen çalışmalarda, Airbus tipi uçakların yakıt olarak hidrojen kullanması 2007 yılında başlayacaktır. Sıvı hidrojen doğrudan veya dolaylı olarak motorları ve dış yüzeyi soğutmak için de kullanılabilirliği için, yüksek hızı supersonik uçaklar için ideal bir yakıt olarak görülmektedir.



Tasarım halindeki Hidrojen Yakıtlı Uçak

Tükenmez ve Yenilenebilir Enerji

İnsanlık tarihin de ateşin bulunmasından sonra ve odunun enerji kaynağı olarak kullanımından bu güne kadar geçen ve gelecek milyonlarca yıl içinde, fosil yakıt olarak tanıdığımız, kömür, petrol, doğal gaz kullanımı, gerçekten son derece küçük bir zaman dilimini kapsamaktadır. İnsanlık on binlerce yıl önceden başlayarak 19. yüzyıl başlarına kadar yalnız, odun, su, güneş ve rüzgar gibi yer üstü kaynakları kullanmış ve 21.yüzyıl ortalarından itibaren gelecek on binlerce sene de yine bu kaynakları, bu sefer farklı bir teknolojiyle kullanacaktır. Aradaki 200 sene fosil yakıtların kullanıldığı bir dönem olarak tarih de kalacaktır. Günümüz insanı bu konuda ne yazık ki ileriye görmekten veya görmek istemekten kaçınmakta, eldeki sınırlı rezervleri sorumsuzca ve çevreyi kirletme pahasına harcamaktadır. Ancak, bütün bunlar fosil yakıtların kısa bir süre sonra biteceği gerçeğini değiştirmedeği için, bu günkü yaşantı ve konforun sürdürülmesine yönelik seçenekler arayışları yoğun bir şekilde sürmektedir.



Su-Hidrojen-Su Çevrimi

Hidrojen, yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi, suyun her hangi bir birincil enerji kaynağı, tercihen güneş kullanılması ile elde edildikten sonra, bir çok yerde kullanılabilen ve atık ürün yine su olmaktadır. Böylece hidrojen yenilenebilir ve asla tükenmeyecek bir enerji kaynağı olarak milyonlarca yıl insanlığın hizmetinde olacaktır.

HİDROJEN ÜRETİMİ

Hidrojen sentetik bir yakıt olup, üretim kaynakları son derece bol ve çeşitlidir. Bunlar arasında su, hava, kömür ve doğal gaz sayılabilir. Ancak, sayılan bu kaynaklardan kömür ve doğal gaz fosil yakıt olup, sınırlı rezerv e sahiptir. Ayrıca, bu gerçek birincil enerji kaynağı, gerekse hidrojen üretim kaynağı olarak kullanması çok büyük çevre zararlarına yol açmaktadır. Bu nedenle, hidrojenin temiz enerji kaynakları ile sudan üretilen en doğru seçim olacaktır.

Her türlü birincil enerji yardımıyla üretilen hidrojen, günümüzde suni gübreden, nebati yağlara, oradan roket yakıtlarına kadar çeşitli alanlarda kullanılmakta ve bunun için dünyada her yıl 600 milyar metreküp hidrojen üretilmektedir. Hidrojen üretimi için çok eskiden beri bilinen bir yöntem, bileşiği H₂O olan suyun içindeki hidrojeni elektroliz yoluyla ayırmaktır. Burada hidrojen üretimi yöntemlerini tanımlarken, kullanılacak birincil enerji kaynaklarını da ayrıca belirtmek yerinde olacaktır. Buna göre hidrojen, fosil yakıtlar yardımıyla olabildiği gibi, güneş, rüzgâr, dalga enerjileri, jeotermal enerji ve biyokütle gibi birincil enerji kaynaklarının hepsi ile aşağıda tanımlanan yöntemlerin her hangi biri ile üretilebilir.

Fosil Yakıt Yöntemleri

Günümüzde sanayide kullanılan hidrojen büyük miktarlarda, doğal gaz, petrol ürünleri veya kömür gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. En çok kullanılan yöntemler, doğal gazın katalitik buhar islahı, petrolün kısmi oksidasyonu, buhar demir işlemi ve kömür gazlaştırılması şeklindedir. Bunlardan başka, temel amacı hidrojen üretimi olmakla birlikte başka sanayi maddelerinin üretimi sırasında, yan ürün olarak hidrojen elde edilen yöntemler arasında, klor-alkaliden karışık klor üretimi, ham petrolün rafineri işleminde hafif gazların üretimi, kok fırınlarında kömürden kok üretimi ve margarin sanayiinde kimyasal hidrojenerasyon işlemleri sayılabilir.

Elektroliz

Suyun doğru akım kullanılarak hidrojen ve oksijenlerine ayrılması işlemine elektroliz denmektedir. Hidrojen üretimi için en basit yöntem olarak bilinmektedir. İlke olarak, bir elektroliz hücresi içinde, genelde düzlem bir metal veya karbon plakalar olan, iki elektrot ve bunların içine daldırıldığı, elektrolit olarak adlandırılan iletken bir sıvı bulunmaktadır. Doğru akım kaynağı bu elektrotlara bağlandığında akım iletken sıvı içinde, pozitif elektrottan negatif elektroda doğru akacaktır. Bunun sonucu olarak da, elektrolit içindeki su, katot tan çıkan hidrojen ve anot tan çıkan oksijene ayrışacaktır. Burada yalnız suyun ayrışmasına karşılık, su iyi bir iletken olmadığı için elektrolit in içine iletkenliği artırıcı olarak genelde potasyum hidro oksit gibi bir madde eklenir.

Suyun elektrolizi için, normal basınç ve sıcaklıkta, ideal olarak 1.23 volt yeterlidir. Tepkimenin yavaş olması ve başka nedenlerle, elektroliz işleminde daha yüksek gerilimlerde kullanılır. Hidrojen üretim hızı, gerçek akım şiddeti ile orantılı olduğundan, ekonomik nedenlerle yüksek akım yoğunlukları yeğlenmektedir. Bundan dolayı pratikte suyun ayrıştırılması için hücre başına uygulanan gerilim genelde 2 volt dolayındadır.

Kuramsal olarak, her metreküp oksijen için 2.8kW-saat elektrik enerjisi yeterli olmakla birlikte, yukarıda özetlenen nedenlerle pratikte kullanılan elektrik enerjisi miktarı bir metreküp hidrojen üretimi için 3.9-4.6 kW-saat arasında değişmektedir. Buna göre elektroliz işleminin verimi %70 dolayında olmaktadır. Ancak, son yıllarda bu alanda yapılan çalışmalar ve gelişen teknoloji sayesinde %90 verim elde edilmiştir. Pratikte kullanılan elektroliz hücrelerinde, nikel kaplı çelik elektrotlar kullanılmaktadır.

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 dolayında dır. Elektroliz hücresinin ticari olarak %80 verim de çalıştığı düşünüldüğünde, fosil yakıtlardan elektroliz yoluyla hidrojen elde etmede toplam verim %25-30 olmaktadır.

Elektrik üretimi sırasında oluşan ısı enerjisi, suyun ayrıştırılması için kullanıldığında, daha yüksek verim elde etmek olanaklıdır. Ancak, suyun ısı enerjisi ile ayrıştırılması için en az 2500°C lik bir sıcaklık gerekmektedir. Burada, tek basamakta termo-kimyasal işlem yerine, birkaç basamaklı işlemler ön görülmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar sonucu, çok basamaklı ısıl kimyasal işlemlerde gerekli sıcaklık 950°C ye kadar indirilmiş, toplam verim ise %50 olarak bulunmuştur. Isıl-kimyasal yöntem üzerindeki çalışmalar yoğun bir şekilde sürmektedir.

GÜNEŞ-HİDROJEN SİSTEMİ

Hidrojenin güneş enerjisi kullanımı ile üretilmesi, daha önce de belirtildiği üzere, hem çevre yönünden hem de ekonomik yönden büyük bir üstünlük sağlamaktadır. Fosil yakıtların zaten yakın bir gelecekte tükeneceği gerçeği de göz önüne alındığında, son yıllarda çalışmalar güneş-hidrojen sistemi üzerinde yoğunlaşmıştır. Güneş-Hidrojen sistemi son derece temiz ve güvenli bir enerji üretim yoludur. Çeşitli kirleticiler yönünden diğer sistemlerle karşılaştırıldığında bu gerçek açık bir şekilde görülmektedir. (çizelge-2)

Kirleticiler	Fosil Yakıt Sistemi	Kömür/Sentetik Yakıt Sistemleri	Güneş-Hidrojen Sistemi
Karbondioksit (CO ₂)	72.40	100.00	0
Karbonmonksit (CO)	0.80	0.65	0
Kükürtoksit (SO _x)	0.38	0.50	0

Azot Oksitler (NO _x)	0.34	0.32	0.10
hidrokarbonlar	0.20	0.12	0
partiküller	0.09	0.14	0

Çizelge-2. Değişik enerji sistemlerinde üretilen kirletici miktarları (kg/milyar jule)

Güneş enerjisinin faydalı enerji şekline dönüşümü, ısı (termal) ve foton sal olarak iki kısma ayrılabilir. Isıl işlemde, güneş enerjisi önce ısıya çevrilerek ya bu ısı enerjisinden yararlanılır veya enerji değişik çevrimleri ile mekanik ya da elektrik enerjisine dönüştürülür. Başka bir seçenek de, bu enerjiyi çeşitli şekilde depolamadır. Foton sal işlemde ise, fotonlar bir yutucu madde tarafından doğrudan soğurulur. Bu soğurucu maddeler foton enerjisinin bir kısmını ya doğrudan elektrik enerjisine çevirir veya suyu hidrojen ve oksijenlerine ayrıştırır. Güneş enerjisi fotolarının başka bir çevrimi de, fotosentez olayıyla biyo kütle oluşumudur. Burada önce foton enerjisinden hidrojen eldesi ve bunun enerji kaynağı olarak kullanımındaki kuramsal ve deneysel verimleri incelemek gerekir. Bütün çevrim işlemlerinde olduğu gibi, güneş enerjisinde hidrojen üretimi için de, yüksek verim sağlayabilmek maliyeti düşüreceğinden, bu konuda sınırlamalar ve kayıpların neler olduğunu iyi bilmek önem taşımaktadır. Güneş enerjisi, yani ışık fotonlarını kullanarak hidrojen elde etmek için aşağıdaki yöntemlerden birini kullanmak gerekir.

- Fotokimyasal Sistemler
- Yarı-İletken Sistemler
- Foto biyolojik Sistemler

Güneş Enerjisi

Daha önce de belirtildiği gibi, güneş enerjisini fotosentezle bitki, yani biyokütle olarak veya hidrojene çevirerek depolamak olanaklıdır. Biyokütle konusu ayrıca inceleneceği için, burada önce güneş enerjisi hakkında bilgi verildikten sonra, tükenmeyen ve çevre dostu enerji kaynağı olarak güneş-hidrojen sistemi açıklanacaktır.

Fotokimyasal Yöntem

Bu tür yapılarda ışık soğurucu yarı-iletkenin anot veya katodu, ya da her ikisi birden elektrokimyasal hücrenin içinde yer alabilirler. Fujima ve Honda'nın 1972 yılında ilk olarak geliştirdiği ve titanyumdioksit elektrot kullanılan hücrede, hidrojen ve oksijen elde edilmesinden sonra, bu alanda büyük bir gelişme yaşanmıştır. Günümüzde p-InP üzerindeki küçük Pt (platin) alanlar kaplanmış fotokatotlu hücreler %13 gibi yüksek verim vermektedirler., n-CdS, n-TiO₃ veya SrTiO₃ ün foto-anot olarak kullanıldığı hücrelerden yaklaşık %10 verim sağlamaktadırlar.

Bu yöntem, suyu hidrojen ve oksijenlerine ayrıştırmak için, yüksek sıcaklık veya elektriğe gerek olmadan, doğrudan güneş enerjisinin mor ötesi (UV) bölgesini kullanmaktadır. Güneşten gelen UV ışınları suyun doğrudan ayrıştırılması için yeterli enerjiye sahip olmakla birlikte, atmosferdeki ozon tabakası tarafından büyük miktarlarda tutulduklarından çok az bir kısmı dünya ya gelebilmektedir. Gerçekte tüm canlılar için oldukça zararlı olan UV ışınlarının, incelen ozon tabakasından daha fazla miktarda geçmesi, fotokimyasal yöntem için verimi artırıcı bir öge olarak görülse de, dünyamız için ciddi bir tehlike oluşturmaktadır. Ancak fotokimyasal yöntem için bu ışınların güçlendirilmesi veya su tarafından soğurulmasının artırılması gerekmektedir. Bunun için, güneş ışınımını yoğunlaştırıcı bir takım düzenekler ile, su içerisine bazı mineral ve metaller eklenerek UV etkisi arttırılmaktadır. Bu yöntem çok verimli olmamakla birlikte, her hangi bir oynar parça ve ya makine kullanımı gerektirmediğinden, diğer yöntemlere göre daha ucuzdur.

Yarı-İletken (Güneş Pili) Sistemler

Bu sistemlerde güneş enerjisi ile hidrojen üretimi iki basamaklı olarak gerçekleştirilir. Burada ilk basamakta, genelde silisyumdan yapılan güneş pili aracılığı ile DC elektrik akımı elde edilir. Daha sonra bu akım, bir elektroliz hücresinin elektrotlarına verilerek suyun oksijen ve hidrojenlerine ayrıştırılmaları gerçekleştirilir. Güneş pilleri, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken sistemlerdir. Paneller birçok fotovoltaik hücreden meydana gelir ve sistemler bazen tek başlarına, bazen de diğer alışla gelmiş kaynaklarla benzer kullanılabilirler. Burada güneş pillerinin verimi, ortalama %15, elektroliz hücresi verimi %75 den büyük alınabilir. Örneğin güneş pilleri konusunda son 15 yıl içerisinde %4 dolayında olan verim 7 katına artarak %28-30 lara çıkmış, watt başına 18US doları olan üretim maliyeti ise 3-4 US doları düzeyine düşmüştür. Dünyamızın 2/3 nün sularla kaplı olduğu ve her gün dünya üzerine düşen güneş enerjisinin bir yılda kullanılan toplam enerjiden çok daha büyük olduğu düşünüldüğünde, ortaya çıkan potansiyelin boyutu, gelecek için umut verici olmaktadır.

Foto biyolojik Sistemler

Foto sentetik organizmalar, güneş enerjisini bütün dünyada çok büyük miktarlarda depolayan bir enerji depolama mekanizması oluşturulmaktadır. Normal olarak, foto sentetik sistemler CO₂ karbonhidratlara indirger fakat doğrudan hidrojen vermez bu güne kadar H₂/O₂ üretebilen en verimli foto biyolojik sistemlerin, yeşil alg ve cyano-bakteria gibi algler olduğu anlaşılmıştır. Yeşil alglerin havasız ortamda inkübasyonu sonucu hidrojen ürettiği saptanmış ve verim yaklaşık %10 u bulmuştur. Burada en önemli problem, alg sistemlerinin 0.03 güneşten daha yüksek ışınım altında doyuma ulaşmalarıdır. Bu alanda gen mühendisliği devreye girmiş ve problemin çözümünde epey yol alınmıştır. 1995 sonlarında Greenbaum tarafından yayınlanan bir çalışma, "Chlamydomonas reinhardtii" gibi bazı mutantlarda %15-20 ye yaklaşan verimin mümkün olabileceği gösterilmiştir.

HİDROJEN ENERJİSİ TEKNOLOJİSİNİN DÜNYADAKİ GELİŞİMİ

İdeal bir yakıt konumunda olan hidrojenin, üretim, uygulama ve ekonomik yönlerinde karşılaşılan sorunların çözülmesi ile yaygın bir şekilde kullanılacağı açıkça görülmektedir. Bu alanda dünyada özellikle ABD, Japonya ve Almanya başta olmak üzere, birçok ülkede yoğun araştırmalar sürmektedir. Yapılan çalışmalar, hidrojenin yaygın kullanımı için halen en büyük sorun olarak ortaya çıkan maliyet konusunun en geç 15 yıl içinde çözüleceğini ve hidrojen fosil yakıtlarla yarışabilecek duruma gelebileceğini göstermektedir. Burada üzerinde önemle durulması gereken bir diğer nokta da, fosil yakıtların maliyeti içine sokulmayan çevre kirliliği, yani sosyal maliyettir. Günümüzde bu alanda bir çok çalışma yapılmakta olup, fosil yakıtların aşırı kullanımından kaynaklanan sağlık sorunları ile, asit yağmurlarının neden olduğu zararlar ciddi bir şekilde ele alınıp ayrıntılı bir maliyet hesabı yapılmaktadır. Bu konuda, Miami Temiz Enerji Enstitüsünün (ABD) yaptığı çalışmanın verilerine göre, fosil yakıt salımlarının dünyaya verdiği zarar 2.7trilyon dolar, yani dünya brüt gelirinin %14 ü olarak hesaplanmıştır. Her yıl gittikçe şiddetini artıran fırtınalar, seller ve kuraklığın açtığı maddi ve manevi zarar göz önüne alındığında bu rakamın giderek büyüyeceği açıkça görülmektedir.

Hidrojen enerjisi teknolojisinin giderek yaygınlaşabilmesi için önemli bir konuda, bu yakıtın tanımı, taşınması, emniyeti, bunları kullanacak uçak, otomobil gibi taşıtlarda yapılacak değişiklikler, elektro-kimyasal çevrimler ve tüm uygulama alanları için standartları saptanmasıdır. Yeni bir teknolojiyi standartlar olmadan kullanmak ve yaymak olanaklı değildir. Uluslar arası Enerji Ajansı Hidrojen Programı Yürütme Komitesi ve Uluslar arası Standartlar Organizasyonu tarafından oluşturulan SO/TC-197 Komitesi bu alanda çalışmalar yapmış ve birçok standart belirlenmiştir. Ancak, henüz gelişmekte olan bazı yeni teknolojiler konusunda çalışmalar sürmektedir.

Hidrojen, roket yakıtı olarak uzun yıllardan beri kullanılmasına karşın, bu enerji taşıyıcısının geniş çapta uygulama alanı olduğu ve her yerde kullanılabilmesi için yapılan çalışmalar 1970 yıllarında başlamıştır. Birincisi 1974 yılında Miami'de yapılan Dünya Hidrojen Enerjisi konferansları, bu yıldan sonra her iki yılda bir sürekli olarak yapılmaya başlanmış olup, 12. konferans 1998 yılında Buenos Aires de

yapılmıştır. Günümüzde hidrojenle ilgili uluslar arası programlar, birçok sivil toplum kuruluşları bulunmakta ve bu konuda ona yakın periyodik yayınlanmaktadır.

Taşıtlarda hidrojenin içten yanmalı motorlar veya yakıtlı piller aracılığıyla kullanımı konusunda da, Daimler-Benz şirketinin sıfır salımlı minübüs'ü, BMW, Dodge, Buick, Suzuki firmalarının deneme otomobilleri, Macchi-Ansoldo'nun ve MAN firmasının SL202 otobüsleri, Kanada demiryollarının Lokomotifi ile Almanya, Avustralya ve Kanada donanmaları için imal edilen deniz altları sayılabilir. Bunların dışında, %15-20 hidrojen ve %80-85 doğal gaz karışımından oluşan hıyane adlı yakıt ile çalışan yeni bir otobüs 1993 senesinden beri Montreal de (KANADA) denenmektedir.



Hidrojen yakıtlı, Havaya salım yapmayan Araç (Daimler-Benz Mercedes)

Hidrojen, uzun yıllardır uzay mekiği ve diğer tüm roketlerde rakipsiz bir yakıt olarak kullanılmaktadır. Ancak, bunların dışında uçaklarda ilk kullanımı 1956 yılında B-57 Canberra deneme uçağında gerçekleştirilmiştir. Sovyetler Birliği de 1988 yılında Tupolev-155 deneme uçağında yakıt olarak hidrojen kullanmıştır. Hidrojenin ticari uçaklarda yaygın kullanımı konusunda Avrupa Airbus konsorsiyumu ile Almanya-Rusya ortak çalışmaları sürmektedir.

TÜRKİYE'DE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Türkiye'nin henüz ulusal bir Hidrojen Programı bulunmamaktadır. 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu'nun yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları raporunda hidrojen enerjisi geleceğin enerjisi olarak tanınmakla birlikte, Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu tarafından saptanan 1993-2003 yılı ulusal bilim ve teknoloji politikasında, hidrojen enerjisi öncelikli alanlar arasına girememiştir. Bu konu üzerinde araştırma kuruluşları ve çeşitli üniversiteler tarafından sınırlı şekilde çalışma yapılmaktadır. Türkiye de hidrojenin taşınması, saklanması, üretimi ve diğer konuları ile ilgili olarak değişik üniversitelerde yapılan araştırma-geliştirme çalışmaları aşağıda belirtilmiştir.

- Değişik gaz karışımları ve hidrojenin boru ile taşınması
- Hidrojen-metan kombinasyonunun yakılması
- Sıvı hidrojen tanklarında basınç yükselmesinin incelenmesi
- Doğal gaz motorlarında yakıtta hidrojenin katılmasının etkileri
- Hidrojen eldesi için güneş pillerinin kullanımı
- Hidrojenin fotokimyasal yolla üretimi

Uzun yıllardan beri Miami Üniversitesi, Temiz Enerji Enstitüsü Müdürlüğü görevini yürüten Prof. Dr. Nejat- veziroğlu'nun İstanbul da bir uluslar arası Hidrojen Enerji Teknolojileri Merkezi (ICHET) kurulması için yaptığı girişim, Birleşmiş Milletler UNIDO Endüstriyel Kalkınma Kurulunun 20-22 Kasım 1996 tarihinde Viyana da yapılan toplantısında kabul edilmiştir. Alınan bu karar çerçevesinde UNIDO gözetiminde özerk bir kurum olarak çalışacak ICHET in amacı, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında, hidrojen enerjisi alanında bir köprü oluşturmak ve bu konuda işbirliği içinde uygulamalı araştırma-geliştirme çalışmaları yapmaktır. ICHET in çalışmaları arasında, hidrojen enerjisi konusunda

konferanslar ve eğitim programları düzenlemek, danışmanlık yapmak da bulunmaktadır. ICHET projesi, geleceğin enerjisi olarak kabul edilen hidrojen enerjisi konusunda Türkiye'nin önde olmasını ve zaten var olan güneş enerjisi potansiyelini en iyi şekilde kullanmasını sağlayacak önemli bir girişimdir. Türkiye gibi fosil yakıt kaynakları sınırlı bir ülke için ileride güneş-hidrojen sistemine geçmek son derece uygun bir seçenektir. Güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren güneş panelleri yardımıyla suyun elektrolizi ile hidrojen üretiminde 1m² sudan yaklaşık 108 kg hidrojen elde edilmekte olup, bu da enerji olarak 420 lt. Benzine eş değerdir. Ancak, bu projenin gerçekleşmesi için Türkiye tarafından yapılması gereken parasal destek henüz sağlanmış değildir.

Yukarıda sayılanlara ek olarak, Türk sanayiinde hidrojen oldukça büyük miktarlarda üretilip, kullanılmakta veya havaya atılmaktadır. Hidrojenin yer aldığı bu sanayii sektörleri ve yaklaşık üretilen hidrojen tutarları aşağıda verilmiştir.

- Suni Gübre Sanayii (25.000m³)
- Bitkisel yağ (margarin) üretimi (16.000m³)
- Petrol arıtım evleri (rafineri) (1.200m³)
- Petrokimya endüstrisi (30.000m³)
- Hidrojene hayvansal yağ üretimi (200-300m³)
- Çeşitli yerlerde kullanılmak üzere basınçlı silindirlerde gaz veya sıvı hidrojen üretimi (6.000m³)

Uluslar arası Enerji Ajansı (IEA) Hidrojen Grubu Yönetim Kuruluna, 1995-1996 arasında kısa bir süre katılan Türkiye, bu grup içinde güneşle hidrojen elde edilmesi teknik çalışmalarına katılmış, ancak daha sonra bu katılımdan vazgeçmiştir. Türkiye'nin geleceğin enerjisi olarak kabul edilen hidrojen enerjisi konusunda IEA şemsiyesi altında oluşan bu gruptaki çalışmalara devam etmesi ülkenin alt yapı olanakları göz önüne alındığında, zaman açısından erken görünmekle beraber, UNIDO tarafından İstanbul'da kurulması öngörülen Uluslar arası Hidrojen Enerji Merkezi Projesi, bu görüşü değiştirecek boyuttadır. Bu şartlar altında, Hidrojen enerjisi konusunda, ülke çapında yapılan bireysel çalışmalarını organize etmek ve ulusal bir hidrojen enerjisi programı oluşturmak çok yararlı olacaktır.

HİDROJENİN SANAYİDE KULLANILMASI

Sanayii de çok önemli bir yeri olan hidrojenin, günümüzde büyük miktarlarda üretilip, margarin yapımından metal işlemeye kadar çok çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidrojenin sanayide kullanıldığı başlıca alanları aşağıda liste de verilmiştir.

Katalitik Hidrojen lame

- Amonyak sentezi
- Metil alkol sentezi
- Bitkisel yağ katılaştırma
- Yağ asitlerinden alkol eldesi
- Fenolden kapı hegzanol, benzenden kapalı hegzanol eldesi
- Yapay iplik eldesi
- İlaç üretimi

Yakıt olarak

- Kaynak alevi
- Metal ısı birleşiminde
- Elektrik üretiminde
- Roketlerde

Metalürjide

- İndirgeme maddesi
- Tungsten ve molibden eldesi
 - Metal hidritleri hazırlamada

TÜRKİYE İÇİN GÜNEŞ – HİDROJEN SİSTEMİNİN ÖNEMİ

Türkiye fosil yakıt rezervleri açısından oldukça fakir bir ülke konumunda olup, her yıl enerji gereğinin %50 sinden fazlasını ithal etmek zorundadır. Türkiye deki fosil yakıt rezervlerine bir göz atılacak olursa, neredeyse linyit rezervlerinin yarısını oluşturan Elbistan ve diğer benzer havaların kalite açısından oldukça düşük sayılabilecek durumda olduğu anlaşılmaktadır. Buradaki linyitlerin kalorileri çok düşük, kükürt, kül ve nem oranları oldukça yüksektir. Enerji olarak yakılan miktar değil, üretilen kalori önem taşıdığından, bu rezervler kalori yönünden değerlendirildiğinde, Türkiye de bugünkü üretimle 70-80 yıl yetecek kömür bulunduğu ortaya çıkmaktadır. Düşük kalorinin yanı sıra, yukarıda belirtilen kirletici özellikler de dikkate alındığında, bunları çevreye vereceği zararın boyutları sanılanın çok üzerinde olmaktadır.

Petrol ve doğal gaz yönünden de oldukça sınırlı rezervler sahip Türkiye, bütün bunlara karşın güneş, rüzgâr ve biyokütle gibi doğal, temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları açısından son derece zengindir. Bu durumda, yeni gelişmekte olan güneş-hidrojen sistemi teknolojisi üzerinde zaman geçirmeden gerekli çalışmaların yapılması önem taşımaktadır.