

HİDROJEN YAKITIN KULLANIM ALANLARI

Hidrojenin yakıt olarak kullanılma tercihi bu güne kadar endüstriyel gaz olarak üretilip kullanılmasından oldukça farklıdır. Artık hidrojen potansiyel enerji taşıyıcı ve depolayıcı olarak düşünülmektedir. Hidrojen sayesinde depolanamayan güneş, rüzgar ve elektrik enerjileri depolanabilecektir. Ayrıca hidrojen primer enerji kaynakları kullanılarak elde edilebilmektedir.

Bu güne kadar hidrojen endüstriyel proseslerin rafinasyonunda yağların sertleştirilmesinde, çözücü elde etmede (amonyak sanayi), sentetik maddeler elde etmek için üretilip kullanılmaktaydı. Bu tüketim için her yıl dünyada yaklaşık 500 milyar m³ hidrojen üretilmektedir.

Ülkemizde suni gübre sanayi (25 000 m³), bitkisel yağ (margarin üretimi 16.000 m³, petrol rafinasyonu (1.200 m³) ve petrokimya endüstrisinde (30.000 m³) hidrojene hayvansal yağ üretiminde (200 - 300 m³) olmak üzere yaklaşık 75.000 m³ hidrojen kullanılmaktadır.¹

Hidrojenin depolanabilir özelliği onu aynı zamanda geleceğin yakıtı konusunda en iddialı alternatif yapmıştır. Gelecek hidrojen teknolojileri hidrojenin ya yanmalı motorlarda doğrudan kullanımına yönelik olacaktır ya da yakıt pilleri aracılığıyla enerji üretilmesini öngörecektir. Yakıt pili kullanımının oldukça geniş ve yaygın bir alanı vardır. Bu bölümde bunu inceleyeceğiz.

Temelde yakıt pilleri küçük cihazlarda, hem hareketli sistemlerde hemde sabit enerji üreteçleri olarak kullanılabilir. Bu bölümde bunun örneklerini inceleyeceğiz.

6.1. Küçük Elektronik Cihazlarda Kullanım

Yakıt pillerinin gelecekte küçük elektronik aletlerde ve mikro elektronik sistemlerde kullanılması öngörülmektedir. Bu en çok bilgisayar ve mikrociip uygulamalarında önem kazanacaktır. ABD de yapılan bir araştırmada mikrociplerde metanol yakıt kullanan yakıt hücreleri geliştirilmeye çalışılmaktadır. Ebatları 3 x 3 cm olan bu hücreler özellikle çep telefonlarında kullanılması büyük avantaj sağlayacaktır. Diğer yakıt hücre tiplerini bu ebatla kullanımı mümkün değildir. Gücü 15 W olan bu hücreler 3,6 V luk bir tüketimde 5 ve 8 saatlik konuşma ve 400 saate kadar çalışma süresi sunabilecektir. Şu anda geliştirilen bu bataryalar 70g ağırlığındadır. Gelecekte kütlelerin daha da azaltılıp gücünün artırılması planlanmaktadır.



Resim 6.1. Fraunhofer – Enstitüsü tarafından geliştirilen yakıt pilli taşınabilir bazı cihazlar
Almanya'daki Fraunhofer – Enstitüsün'de taşınabilir elektronik cihazlar için yakıt hücresi tasarlamaya devam etmektedir.

Yani geliştirilen 10W ın üzerinde bir güçte 8V luk bir gerilim üretilen kibrit kutusundan daha küçük bir ebattaki model de kullanıma sunmuştur. Batarya onaltıdan fazla hücrenin yanyana yapıştırılmasıyla oluşturulmuştur. Burada yakıt tankı olarak metalhidrür depolayıcılar kullanılmıştır. Böylece kolaylıkla depoyu değiştirmek ve yakıt ikmali yapabilmek olanağı sağlanmıştır.²

Japonya'daki bilim adamları NEC firması altında küçük elektronik cihazlar için küçültülmüş ebatta doğrudan metanol yakıt hücresi (DMFC) geliştirmişlerdir. Şu anda kullanılan lityum iyon bataryalarına göre (enerji kapasitesi 130 Wh/kg) oldukça küçük (40 x 50 x 5m) ve on kat güçlü (enerji kapasitesi 1300 Wh/kg) hücreler geliştirilmiştir. Bu teknolojinin özellikle dizüstü bilgisayarlarda kullanılması planlanmaktadır. Bu bilgisayar 300 cm³ metanol ile beş saat çalışmaktadır. Henüz fiyatı ve pazar payı belli olmamakla birlikte rakamlar talebe göre değişebilecektir.³



Resim 6.2. NEC tarafından geliştirilen metanol yakıt pilli dizüstü bilgisayar

2002 gibi yakın bir geçmişte Electric Fuel Corp. / USA firması metal / hava kombine yakıt pillerini geliştirmeye başlamıştır. Bunlardan biri olan çinko/hava yakıt pilli elektronik cihazlar için uygun bir güç kaynağı olarak düşünülmektedir. Geliştirilen bu hücrede 400 Wh/kg lık bir enerji yoğunluğu elde edilmiştir. Bu mevcut bataryaların iki

katıdır. Notebook modeli bir bilgisayar için geliştirilen 7,6 x 7,6 x 0,7 cm ebatlı ve 30 A/h akım kapasiteli bir batarya 90g ağırlığında olup, 16 saatlik bir kullanım sunmaktadır.⁴

Bu örnekler yakıt hücrelerinin giderek küçülebileceğini ve küçük elektronik cihazlarda kendine iyi bir yer edineceğini göstermektedir. Geliştirilen küçük hacimli cihazlarda kullanılan yakıt pilleri için detaylı bilgi:

www.fuelcells.org/info/charts/micro_charts.pdf adresinden elde edilebilir.

6.2. Diğer taşınabilir uygulamalar

50 W ile 2kW güç isteyen ve taşınabilir olan sistemler bu grup altında incelenebilir. Özellikle 2001 yılından itibaren daha da ciddi alınan bu uygulamalar hemen her ülkenin Ar-Ge kapsamındadır.

Almanya'nın ilk yakıt hücresi geliştiren firmalarından olan Sachsenring AG' de 5 kW ye kadar farklı modeller üzerinde çalışmaktadır. Genelde gaz hidrojenin kullanıldığı bu sistemde basınç (1 ile 10 bar) değişim gösterebilmektedir. Geliştirilen PEM hücresi hem araçlarda hemde diğer taşınabilir orta ölçekli sistemlerde kullanımı öngörülmektedir. Maliyet ise yaklaşık 5.000 – Euro/kW olarak hesaplanmıştır. Elektronik bir yatta kullanılan 2,4 kW lik bir güç üreten bu sistem yaklaşık 75,000 Euro ya malolmuştur.

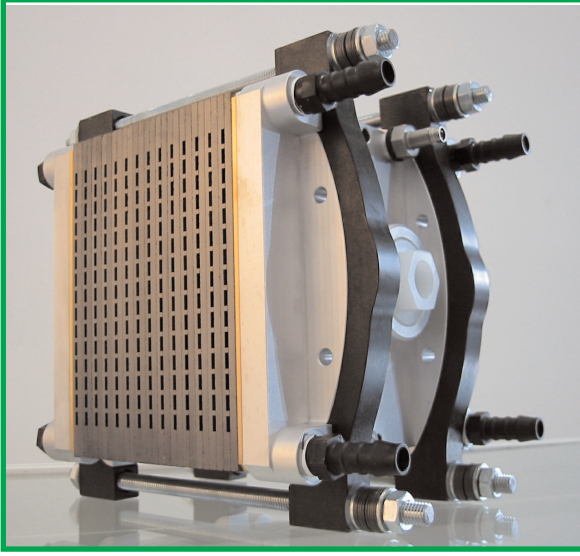


Resim 6.4. Firma geliştirdiği yatın tanıtımını yaparken



Resim 6.3. Smart Full Cell tarafından geliştirilen başka bir model

Ayrıca firma tarafından yapılan en önemli araştırmada yakıt hücresinin güneş enerjisi sistemi ile birleştirilip hizmete sunulmasıdır. Geliştirilen "Powerbag" adlı model 250 W lik bir güç üretebilmektedir. 45 x 32 x 40 cm ebatlarında olan bu araç hava soğutma sistemi kullanıldığında çalışma sıcaklığı 60°C yi geçmemekte böylece membranın kurumasında önlenmektedir. Ayrıca birçok hücrenin yanyana gelmesi ile oluşan bataryada güç 10 ile 12 kW kadar ulaşabilir. Bir fiil kullanılan böyle bir sistemde 40 000 saatlik çalışma süresine erişilmiştir.⁵



Resim 6.5. Sachsenring AG'nin Powerbag modeli

Merkezi Münih'te bulunan Smart Fuel Cell GmbH şirketi özellikle kolay taşınabilir cihazlar için geliştirdiği modelleri 2002 yılından itibaren satışa sunmaya başlamıştır. Batarya ve akülerin yerini alması planlanan bu yakıt pilleri, videolarda, kameralarda, televizyon ve araç buzdolaplarında oldukça fazla kullanım yeri bulacaktır. Sıvı metanolü yakıt olarak kullanan şirket, her güce uygun tasarım yapmaktadır.

Özellikle kamplar, askeri arazi uygulamaları ve yatlar için ön görülen hücrelerin maliyetleri 200W lık bir sistem için 1 500 Euro civarındadır.⁶

Amerikan firması Hydrogenics tarafından metalhidrür depolayıcıların kullanılarak 54 x 62 x 71 cm ebatında ve 2kW güç üreten örnek bir yakıt pili geliştirilmiştir. 10 kg preslenmiş hidrürün kullanıldığı sistem yaklaşık 12 saat çalışma süresi vermektedir.

Henüz ticari pazarda satışa sunulmamakla birlikte birbirine seri bağlı iki yakıt hücrelerinden oluşmuş, basınçlı hidrojen depolanmış ve 1kW lık güç üreten bu sistem elektrik süpürgelerinde dahi kullanılmıştır. Bunlar kablosuz çağın başlangıcı olarak kabul edilmektedir.⁷



Resim 6.6. Smart Fuel Cell tarafından geliştirilen portatif model



Resim 6.7. Aprilia'nın tanıtımı 2002'de yapılmıştır.

Bunlara ek olarak İtalya'da 2000 yılının Aralık ayında yakıt pili ile çalışan bir bisikletin tanıtımı yapılmıştır. Metal hidrojen depolayıcılarla yakıt pillerinin birlikte kullanıldığı sistemde 670 W bir güce ulaşılmıştır. Tankın bir kez dolmasıyla 30 km/h hızla 70 ile 100 km yol alabilen "Aprilla" bu alanda bir devrim yaratmıştır. Elektrikli motor sisteminin şarj edilmesi için uzun süre beklemek gerekirken, burada tankın değiştirilmesi birkaç saniye gibi bir sürede yapılmıştır.⁸

Bunların yanısıra Japonya’da Tokyo Electric Company ve Sanyo, Hitachi, Toshiba, Kawasaki gibi bir çok firma benzer alanlarda çalışmalar yürütmektedir.⁹

6.3. Evsel Enerji – İhtiyaçlarında

Evsel Enerji ihtiyacını karşılayabilmek için $1k W_{el}$ ile $10 k W_{el}$ arasında kurulu güce ihtiyaç vardır. Geliştirilen yakıt hücrelerinin bir evin yada sitenin ısı ve elektriksel enerji ihtiyacını karşılayabilecek nitelikte olması gerekir. Fuel oil, doğalgaz, yada kömür kullanılarak çalışan kalorifer sistemlerine alternatif olarak sunulan bu yöntem, aynı zamanda bir evin, sitenin yada şehir kompleksinin sıcak su ve buna bağlı elektrik ihtiyacını da karşılayabilecektir. Geliştirilen yakıt hücresi ile elektrik elde edilebileceğinden tüm sistem elektrik tüketimine göre düzenlenebilir. Yanmalı motorlarda % 25 olan verim ve 3000 \$/kW olan maliyetler burada 1200 \$/kW_{el} kadar düşürülmektedir.

Bu konuda ilk somut adımlardan biri Buderus Isı ve Teknik GmbH firması tarafından atılmıştır. Buderus UTC Fuel Cells adlı Amerikan firmasıyla gerçekleştirdiği bir projede küçük ve orta ölçekli yakıt hücreli ısıtma ve sıcaksu sistemleri geliştirmiştir.¹⁰

Halen Japonya’da Tokyo Electric Company’ye ait 11 MW lik bir elektrik santrali Rokko adasının elektrik ve ısı ihtiyacını karşılamakla birlikte kapasiteleri 50 ile 500 MW arasında değişen yüzlerce yakıt pilinden oluşan bataryalar kullanılmaktadır. Sadece Tokyo’da şehrin elektrik ihtiyacını 40.000 kW’lik bölümü hidrojen enerji sistemlerinden sağlanmaktadır.



Resim 6.8. Tokyo’da kurulu hidrojen yakıtlı elektrik jeneratörü

Siemens tarafından Kaliforniya’da 200 konutun elektrik ve ısı ihtiyacını karşılamak üzere 250 kW’lik gaz turbinli yakıt hücreli bir kojenerasyon sistemi kurulmuştur.

Hamburg Gas Consult GmbH Şirketi 1994 ten beri yürüttüğü yakıt hücresi çalışmalarının UTC Fuel Cells in geliştirdiği ONSI PC25 modülü ile birleştirip orta ölçekli kullanımlar için piyasaya sunmuştur.¹¹



Resim 6.9. Beta marka hidrojen yakıtlı kombi

Analytic Corp. / USA Şirketi yeni bir kombi modelini vitrine çıkarmıştır. Gücü 1,5 kW ile 8 kW arasında olan doğalgaz ile çalışan “Beta”nın test cihazı avrupada kurulmuştur.

Buna benzer Nuvera, Alstom, Sulzer gibi birçok şirketin Amerika ile ortak projeleri mevcuttur. İrili ufaklı yapılan bu üretimler giderek hızlanmakta ve pazarda pay kapmaya çalışılmaktadır. Bu pazarın büyüklüğü 2030 yılı itibarıyla 60 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Vaillant Amerikalı ortaklığı Plug Power ile birlikte 2004 yılından itibaren ilk seri yakıt pilini üreteceğine açıklamıştır. Yaklaşık 28 kW term olan bu model 12 000 Euro dan satışa sunulacaktır. (Resim 6.10.) Firma Avrupa’ya 2010 yılına kadar yılda ortalama 100.000 yakıt hücresini satmayı planlamaktadır.¹²

Gelecek için düşünülen asıl plan ise yakıt hücrelerini evsel kullanıma açarken, atık gazlardan meydana gelen ısıyı, etrafta bulunan bir su banyosu yardımıyla suya almak, böylece suyun ısınmasını sağlamak ve kalorifer tesislerinde kullanılmaktır. Ancak bununla ilgili henüz pratik bir uygulama yoktur.

6.4. Elektrik Santrali Olarak Kullanım

Yakıt pili sistemleri şimdiye kadar bahsedilen kullanım yerleri dışında büyük boyutta elektrik enerjisi üretmek amacıyla da tasarlanabilir. Çalışma aralığı 250 kW ile 2 MW arasında olan bu piller hastanelerin, komplekslerinin, okulların, otellerin, gökdelenlerin, bağımsız endüstri üretim merkezlerinin elektrik enerji ihtiyacını karşılamak için düzenlenebilir.

Bu kapasitedeki bir enerji üretiminde yakıt pillerinin gaz ya da dizel motorlarla rekabet gücü henüz çok düşüktür. Genel verimin % 40 civarında olduğu bu sistemlerde maliyet 600 \$/ kW gibi oldukça düşük rakamlara tekamül etmektedir. Yüksek sıcaklık yakıt pilleri bu piyasada ancak uzun zaman sonra gündeme gelebilecektir. Buna rağmen teknolojiyi erkenden geliştirmenin stratejik anlamını kavramış devletler bazı uygulamalarla bu konudaki araştırmalarını sürdürmektedir.¹³

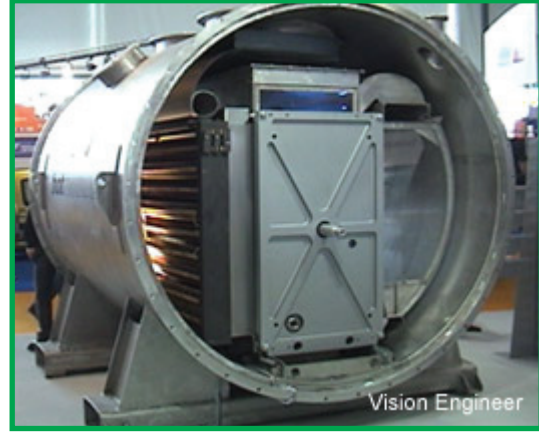
Fuel Cell Energy isimli Amerikan firması 300 kW, 1,5 MW ve 3,0 MW gücünde üç ayrı jenatörü satışa çıkarmıştır. Yaklaşık %56 verim elde edilmiş bu jenatörde bir batarya 340 pilden meydana gelmiştir. Elde edilmek istenilen güce göre batarya sayısının artırılmak mümkündür. 2001 yılı sonu itibarı ile 20 MW’lik üretim yapacak bir jenatör üzerinde araştırmalar devam etmektedir. Burada kullanılacak yakıt hücresi doğrudan



Resim 6.10. Vaillant’ın hidrojen yakıtlı kombisi

karbonat yakıt pili olup, (Direct Carbonate Fuel Cell™ DFC®) firmanın kendi patentli tasarımıdır. 17,0 MW gücü buradan elde etmeyi planlayan firma 3,4 MW'lik gücü ise ilave edeceği bir gaz türbininden sağlamaktadır. Bu şekilde toplam güç 20,4 MW ulaşmış ve verim %71'e çıkarılmıştır. Ayrıca 40 MW'lik güç ve %75 verimin de üretim yapacak yeni model üzerinde çalışmalar devam etmektedir.¹⁴

Almanya'da Münih Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilen MTU-Friedrichshafen modülü, eriyik karbonat yakıt hücresinde (MCFC) ve yakıt olarak doğal gaz ve biogazı birlikte kullanarak yaklaşık %50 ile %65 aralığında verimli 300 kW-10MW güç üretebileceklerdir. Çalışma sıcaklığı 650 °C olan bu modülün benzeri Almanya'nın farklı bölgelerinde de kullanılmıştır.¹⁵



Resim 6.11. MCFC prensibiyle çalışan sıcak modül.



Resim 6.12. Siemens- Westinghouse ait gaz türbinini destekli SOFC prensipli elektrik üretici.

Amerikan-Alman ortak firması olan Siemens-Westinghouse yüksek sıcaklık yakıt hücreleri üzerinde araştırmalarını sürdürmektedir. SOFC (Katı Oksit Yakıt Pili) prensibine göre çalışan bir hücre ile 1997'de başlatılan çalışmalarda 2001 yılında ise Essen'deki bir teknoloji parkının enerji ihtiyacı kesintisiz 16 000 saat karşılayacak düzeye gelinmiştir. SOFC-GT (Gaz türbinini destekli katı oksit yakıt pili) 220kW güce ulaşmış ve yaklaşık 200 evin ihtiyacını karşılayacak bir elektrik üretici haline gelmiştir.

Firmanın Pittsburgh / ABD de bulunan Westinghouse Teknoloji merkezinde, geliştirilen yeni SOFC-GT, Gasturbinini destekli modelde ise, gönderilen gazın basıncı 3 bara kadar yükseltilmiştir. 850 °C çıkan çalışma sıcaklığı, 220 kW üreten bu sistemde doğalgazı %60 verimle elektrik enerjisine çevirmektedir. Bu konuda araştırmasını sürdüren firma 32 kW lık bir SOFC-GT hibrit jenatörü 2005 yılı içinde Almanya'da çalıştırmayı planlamaktadır.¹⁶

Elektrik üretimi yapan buna benzer bir çok firma, Japonya, Kore, Avustralya, Fransa, İtalya vb. ülkelerde faaliyetini sürdürmektedir.

6.5. Yakıt Pillerinin Taşıtlarda Kullanımı

Hidrojenin taşıtlarda kullanılma düşüncesi bu yüzyılın en büyük enerji devrimi olarak kabul edilmektedir. Ancak yüzyıldır kullanılan mevcut yanmalı motorlardan tümüyle vazgeçilmesi daha uzun bir süre alacağına benzemektedir. 100 yıllık bir teknoloji saltanatını yıkmak o kadar kolay olmayacaktır. Ancak çevre koşullarındaki bozulma ve fosil yakıtların tükenmesi bu sonu kaçınılmaz kılmaktadır.

Yakıt pilleri ile birlikte kullanılması planlanan elektrikli motorlar aslında içten yanmalı motorlara göre bir sürü avantajı beraberinde getirmektedir. Örneğin motor hem ileriye hem de geriye doğru çalışabilmektedir. Bu şekilde fren için kullanılan enerjinin kaybı da engellenmiş olacaktır. Ayrıca hareketli motor aksamının az olması da sürtünmeden gelen enerji kayıplarını azaltmaktadır.

Taşıtlarda hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı sistemlerin gelişimi seksenli yıllardan sonraya tekabül eder. Bu tarihe kadar her ne kadar Üniversite boyutunda kişisel araştırmalar mevcutsa da yakın geçmişten itibaren otomobil firmalarının bir fiil araştırmalara destek vermesiyle büyük mesafeler alınmıştır.

Otomobiller

1980'li yıllarda Kanada'lı bir girişimci olan Geoffrey Ballard ilk kez yakıt pillerinin otomobillerde kullanımı üzerine üretim yapma kararı aldı. Bunun üzerine "Ballard Power System" adlı şirket Daimler Chrysler ve Ford gibi otomobil sektörün ileri gelen kuruluşları ile birlikte çalışmaya başladı.¹⁷

Şu anda bir çok prototipi üretilmiş yakıt pillerinde yanyana dizilmiş 200 civarında pilden bir batarya meydana getirilmektedir. Bataryadaki pil sayısı elde edilecek güce ve uygulama yerinin hacmine göre değişebilmektedir. Örneğin uzunluğu 590 mm, eni 270 mm ve yüksekliği 500 mm ebatlarında, 1,44 kW / l (1 kW / kg) lik enerji yoğunluğuna sahip bir yakıt pilinden 80 kW ile 120 kW arası güç elde edilmektedir.

Daimler-Chrysler bu alanda en önemli ve geniş çaplı araştırmaları yapan otomobil firmalarının başında gelir. Firma 2010 yılına kadar yalnızca hidrojen teknolojlili otomobil teknolojisinin geliştirilmesi için 1,8 Milyar Dolarlık bir bütçe ayırmıştır.¹⁸

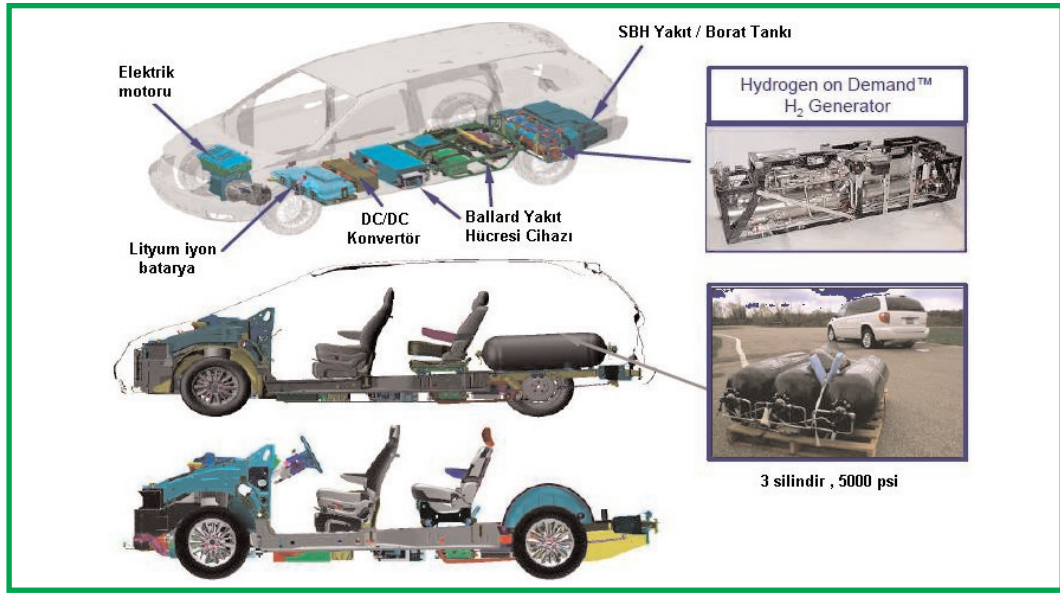
2001 yılında geliştirdiği Necar 5 (New Elektrik Car) modeli ile Ballard yakıt pilini koltukların altına küçük bir hacme monte etmiş mevcutlarına oranla daha yüksek bir güç elde etmiştir. "Sandeviç-Zemin" olarak adlandırılan model resim 6.13 de görülmektedir.



Resim 6.13. Daimler - Chrysler'in geliştirdiği Necar 5 modeli

Daimler Chrysler otomobil sektöründe hidrojenli araçlar için en önde ve en büyük yatırımı yapan şirketlerin başında gelir. 2007 yılına kadar yılda ortalama 1000 araç üretmeyi planlayan firma 2010 yılında ortalama 100 000 aracı hizmete sunmayı planlamaktadır.¹⁹

Ayrıca Daimler Chrysler geliştirdiği yeni bir alternatif modelde araçta hidrojen depolayıcı olarak NaBH_4 kullanılması dikkatlerin firma üzerine odaklanmasını sağlamıştır. Çünkü bu araçtaki sistem kullanıldığında tank hacmi küçülecek ve alınan menzile oldukça çok artacaktır. Kullanılan NaBH_4 (Sodyum Borhidrür) bir bor uç ürünü olup dikkatlerin dünyanın en büyük bor rezervlerine sahip ülkemize çevrilmesine sağlamıştır. Bu konu ileride anlatılacaktır. (Resim 6.14.)



Resim 6.14. Daimler - Chrysler'in Millennium Cell ile birlikte geliştirdiği Natrium® Modeli

Yakıt hücresine gönderilen hidrojenin özel bir sistemle elde edildiği bu modelin Arge çalışmaları Millenium Cell firması tarafından gerçekleştirilmiştir. 1998 yılında kurulan firma 2000 yılında Daimler Chrysler, Rohm Avantum, Ballard ve US Borax ile stratejik ortaklık anlaşmaları yapılmıştır. Firma sahip olduğu “**Hydrogen On Demand™**” (talep edildiği anda hidrojen) sisteminin Natrium® modelinde kullanılmıştır. Geliştirilen araç 5 yolcu yükü ile 750 km yol alabilmiştir.²⁰

Geliştirilen teknolojinin avantajları ileride hidrojen depolama teknolojileri içerisinde ayrıntılı incelenecektir.

Necar modellerinde sürekli bir gelişme gösteren firma bu yeni modeliyle de büyük bir adım daha atmıştır.²¹

Çizelge 6.1 Daimler Chrysler'in geliştirdiği bazı modellerin karşılaştırılması.

İsim	Yıl	Araba	Yakıt	Güç kW	Kütle/Güç kg/kW	Maksimum Hız(km/h)	Menzil (km)
NeCar I	1994	MB 180	H ₂ g	50	21	90	-
NeCar II	1996	V - Klasse	H ₂ g	50	6	110	250
NeCar III	1997	A - Klasse	Met-OHs	50	6	120	400
NeBus	1997	Otobüs	H ₂ g	250	5.6	80	250
Necar IV	1999	A - Klasse	H ₂ s	70	5	145	450
NeCar IVa	2000	A - Klasse	H ₂ g	70	5	145	450
NeCar V	2000	A - Klasse	Met-OHs	75	2.2	150	450

(H₂g: Gaz Hidrojen, H₂S: Sıvı Hidrojen, Met-OHs: Sıvı Metanol)

Ford Motor Company depolanmış hidrojen gazı ile çalışan yeni bir Focus modeli üzerine araştırmalarını sürdürmektedir. Kullanılan yakıt pili Ballard modeli olup yaklaşık 250 barlık hidrojenle doldurulan tankta (87ℓ) 65kWgüç üretilmekte ve 130 km/h hızda gidebilen aracın menzili 160 km'ye kadar ulaşabilmektedir.²²



Resim 6.15. Ford tarafından geliştirilen 2. ve 3. jenerasyon yakıt pilli Focus modelleri.

General Motor (GM) Avrupa'da satın aldığı Opel üzerinde hidrojen yakıtlı yeni bir araç geliştirilmiştir. Opel Zafira modeline monte edilen bu sistemin temeli 1968 yılında ilk geliştirilen teknolojiye dayandırılmaktadır. 1968 yılında 32 kW olarak üretilen bu motor, Daimler Chryslerin ortaklığı ile **HYDRO GEN 1** adlı yeni bir Zafira kompaktına dönüştürülmüştür. Ballard'ın (Mark 900) model yakıt pilinin kullanıldığı sistem 2001 yılında son hali ile görücüye çıkartılmıştır. Enerji yoğunluğu 1,75kW / ℓ olan 640 hücrenin biraraya gelmesiyle oluşan batarya 102 ile 129 kW arasında güç üretebilmektedir.



Resim 6.16. Opel Zafira modelinde modifiye edilen HYDROGEN 3 aracı

Hidrojenin sıvı olarak özel çelik kapılarda depolandığı **HYDRO GEN 1** de 75ℓ hidrojen ortalama 1m uzunluğunda 400 mm çapında bir tüpte saklanmaktadır ve bu depo ile 400 km yol alabilmektedir. Geliştirilen yeni kompaktı **HYDRO GEN 3**'te ise bu mesafe daha da uzatılmıştır.^{23,24}

Avrupa'da bir diğer üretici olan PSA Grup 2003 yılında Ballard yakıt Pili'nin kullandığı H₂O Modelinin tanıtımını yapmıştır. Ayrıca 350 bar hidrojen gazı basıncı ile çalışan ve 30 kW güç üretebilen Milleniumcell yakıt pilinin kullanıldığı yeni bir ticari taksi geliştirilmiştir. 100 km/h hıza ulaşabilen bu araç 2010 yılından itibaren satışa sunulacaktır.²⁵



Resim 6.17 Peugeot - Citroen H₂O Modeli ve geliştirilen ticari araç

Daha önce bahsedildiği gibi BMW bu firmalar arasında hidrojeni doğrudan yanmalı motorda kullanılan tek firmadır. 2000 Hannover fuarında sergilediği 7 serisi konsept aracı 750hl ile 2001 yılında Avrupa, Asya ve Amerika'yı kapsayan bir dünya turu düzenlemiş 150 000 km'lik yolu küçük problemlerle aşmayı başarmıştır. 5,4 ℓ Motor hacmine sahip bu araç 12 silindir olup depolayabildiği 140 litre sıvı hidrojen ile yaklaşık 400 km yol alabilmektedir. Aracın ihtiyacı olan elektrik ise bagaja yerleştirilen bir yakıt pili tarafından sağlanmaktadır. Böylece klima dahil bütün elektrik tüketen sistemler motordan bağımsız olduğundan, çekiş gücünde de bir kayıp meydana gelmemektedir.²⁶



Resim 6.18. BMW 750 hL ve Mini Cooper 745h aracı

2010 yılından itibaren ise 745 h kodlu “MINI Cooper Hidrojen” adlı bir araç V8 motor ve 4,4 litre motor hacmi ile 135kW lık bir güç üretecek şekilde tasarlanıp satışa sunulacaktır. Araçtaki maksimum hız 215 km/h olarak planlanmaktadır.

Otobüsler

Berlin Trafik şube müdürlüğü 2002 yılından itibaren Hidrojen otobüslerini kullanıma sunmuştur. Sayıları 6 adet olan bu araçlar henüz pilot bölgelerin taşımacılığında kullanılmaktadır. Avrupa birliği projesi çerçevesinde ise MAN tarafından geliştirilen yakıt hücresel bir otobüs sırası ile Kopenhag, Lizbon ve Berlin’de çalışacaktır.

18 ton ağırlığında ve 12 m uzunluğundaki bu otobüs; italyan Nuvera şirketi tarafından geliştirilen yakıt hücrelerinden üç adetini (yaklaşık güç 120 kW) ve Siemens tarafından imal edilmiş iki elektro motoru taşımaktadır. Sıvı hidrojenle çalışın sistem için Linde Şirketi otobüsün tavanına 600l hacminde bir depo monte etmiştir. Bir depo ile 400 km yol almayı başarmış bu araç aynı tankla ancak 250 km yol alabilen doğalgazlı partnerine göre oldukça başarılıdır.



Resim 6.19. MAN modeli ve tavana yerleştirilen Hidrojen tanklarının görünümü

1999 yılından bu yana kullanımda olan bir Neoplan modelinde de Sıvı hidrojen kullanılmıştır. Sıfır Emisyon adlı bu araç turist gezilerinde dahi kullanılmaktadır. otobüste 25 MPa basınçlı tüplere doldurulmuş hidrojen gazı otobüsün tavanına monte edilerek 3 bataryadan oluşan pile saf olarak gönderilmiştir.²⁷



Resim 6.20. Neoplan ve Mercedes Citaro Modelleri

Bir başka proje ise Mercedes-Benz tarafından geliştirilen CITARO otobüs projesidir. Burada 150 l hacimde 300 bar basınçla sıkıştırılmış hidrojen gazı otobüsün tavanına yerleştirilmiş PEM yakıt pili kullanan araç 250 kW'lık bir motor gücüne ulaşmıştır.²⁸

Ülkemiz için önemli olan bir projede ICHET tarafından gerçekleştirilecektir. UNİDO destekli bu projede İstanbul Büyükşehir Belediyesi ortaklığı ile toplu taşımada kullanılmak üzere hidrojen yakıtlı otobüsler geliştirilecektir.²⁹

6.6. Hava Taşımacılığında

Hidrojen yakıt kullanmak üzere tasarlanan uçaklarda daha çok sıvı hidrojenin kullanıldığı model öne çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen hidrojen; yandığında, düşük emisyon miktarı ile atmosfere yüksek miktarda CO₂ salan uçak yakıtlarına en önemli ve tek alternatif olmaktadır. Uçak yakıtı olarak kullanılan kerosin yandığında oldukça yüksek oranda CO₂ oluşur. Örneğin 1 ton Kerosin den 3,2 ton CO₂ açığa çıkmaktadır. Büyük uçaklar uçtukları her saat başına 4 ile 20 ton arasında Kerosin tüketirler. Yıllık ortalama 4 x 10⁷ uçuş saatine göre hesap yapıldığında atmosfere salınan CO₂ miktarının 5-25 x 10⁸ ton civarında olduğu bulunur. Bu rakam atmosfere salınan toplam CO₂ miktarının küçümsenmeyecek oranını teşkil eder.

Şu anda bir program çevresinde 25 Avrupalı firma Kerosin yerine yakıt olarak hidrojenin kullanımı hususunda çalışmalarını sürdürmektedir. 1990 yılında Alman ve Rus firmalarının ortak girişimi ile başlatılan çalışmalar üç ayrı konsept üzerine yoğunlaşmıştır. Tupolev T-156, Dornier DO328 ve bir Airbus A310. İlk deneme uçuşları T-156'nın laboratuvar ölçekli prototipi olan T-155 ile sıvı hidrojen kullanarak yapılmış ve Moskova üzerinde 21 dakika uçurulmuştur.³⁰



Resim 6.21. Hava taşımacılığında kullanımı ön görülen CryoPlane A310 ve NASA tarafından geliştirilen hidrojen yakıt test uçağı

Uçaklarda hidrojenin yakıt olarak kullanılması hem Kerosine (uçak yakıtı) göre 2,8 kez daha fazla enerji içermesi bakımından hemde taşınan toplam yakıt miktarına azalması yani uçakların hafiflemesi bakımından oldukça önemli bir adımdır. Böylece aynı hacimdeki uçakta koltuk sayısı artırabilecektir. Ayrıca güvenlik açısından da hiç bir problem arz etmemektedir. Zira hidrojen yakıt sisteminin güvenliği Kerosinden daha iyidir.

Bütün bu avantajlara rağmen hidrojen turbinini ile çalışır bir uçağın hizmete alınması daha yıllar süreceği benzetilmektedir. Buna rağmen yeni inşa edilen hava alanlarının hidrojen teknolojisine uygun şekilde düzenlenmesi ve tasarımların buna göre yapılması öngörülmektedir.

6.7. Denizaltılarda

Yeni geliştirilen dört adet Alman denizaltısı yakıt piliyle çalışmaktadır. Siemens tarafından geliştirilen PEM yakıt pili kullanılan sistem depolanmış hidrojen ve oksijen gazıyla çalışmaktadır. Çalışma sıcaklığının 80 °C olduğu ortamda verim %60 civarındadır.³¹



Resim 6.22. Hidrojen yakıt pilli Alman denizaltısı

6.8. Uzay Seyahatlerinde

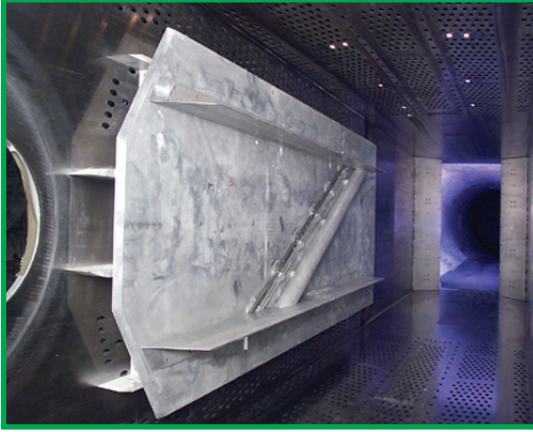
Uzay yolculuğu ve uzaydaki çalışmalarda hidrojenin kullanılması yıllar önce başlatılmış ve halen uygulanmaktadır.

Bu çalışmalarda hidrojen iki ayrı alanda düzenli olarak kullanılmıştır. Birincisi yanma hücrelerinde itici yakıt olarak uygulanmasıdır. Uzay mekiklerini atmosferin dışına taşıyan taşıyıcı roketlerde hidrojen oksijenle yakılmaktadır. Örneğin Ariane V roketinde 600 sn lik fırlatma sırasında 25 ton sıvı hidrojen ile 130 ton sıvı oksijen karıştırılmıştır.



Resim 6.23. Bir roketin fırlama anında yaktığı hidrojenin görüntüsü

İkinci kullanım alanı ise mekik içerisindeki enerji ihtiyacının yakıt hücreleri ile sağlanmasıdır. 1963 de NASA tarafından ilk defa uygulamaya başlamış bu sistemde alkali yakıt hücreleri kullanılmıştır.



Resim 6.24. Bir uzay mekiğinin enerji ihtiyacı karşılamak üzere mekiğe yerleştirilmiş sıvı hidrojen tankı ve uzay üssünde bulunan hidrojen depolama istasyonu

Bu amaçla fırlatma üstlerine hidrojen yakıt ikmalini sağlamak için hidrojen depolama istasyonları kurulmuştur.

Ayrıca uzaya insansız gönderilen araçların çoğunda yakıt hidrojendir. En son Mars araştırmaları için gönderilen robot aracın tüm enerjisi yakıt pilleri tarafından sağlanmıştır.³²



Resim 6.25. Mars'ın yüzeyinde örnek almak için geliştirilmiş hidrojen yakıt pilli araştırma robotu ve uydusu

1. www.eie.gov.tr/hidrojen/hidrojen_uretimi.html
2. www.energie.fraunhofer.de/geman/mirko/home/index.html
3. www.nec.co.jp/press/en/0309/0701.html
4. www.fuelcells.org/info/charts/MicroMarket.pdf
5. www.fair-pr.com/h2fair/el/hm01_exhibitors/25w.html
6. www.smartfuelcell.de/index.php?id=41
7. www.intrative_brennstoffjelle.de/de/ibz/live/nachrichten/detail/166.html
8. www.mhtx.com/novars/index.html
9. www.fuelcells.org
10. www.buderus.ch/public/d/unternehmen/geschichte
11. www.fair_pr.com/h2fair/el/h2tech/application.html
12. www.energieportal24.de/Brennstoffzellen/gry_Brennstoffzella.htm
13. Derby, R., "Unleashing Fuel Cells Holy Grail", *Fuel Cells Bulletin*, vol.1, No:3, p:6-8, 1998
14. www.fce.com/site/products/stationary.html
15. www.mtu-friedrichshafen.com/en/pr/prnecf.htm
16. Ciesar, Y. A., "Hybrid Systems Development by the Siemens Westinghouse Power Corporation", U.S. Department of Energy Natural Gas, Renewable Energy Hybrids Workshop, 7 August 2001, Pennsylvania
17. www.ballard.com/pdfs/PR001109.pdf
18. www.daimlerchrysler.de/news/top/2000/t00406_g.htm
19. www.dasa.ch/news/top/1999/t90422a_g.htm
20. www.antimai.org/cv/mcinki2.htm
21. Hope, A., *Ballard Power Systems, Nesbitt Burns, High Tech Research*, p: 1-15, 1997
22. www.ford.com/en/vehicles/specialtyvehicles/environmental/fuelcell/default.htm
23. www.gm.com/company/gmalibility/sustainability/reports/04400_products/422_alt_fue.html
24. www.energieportal24.de/artikelarchiv_319.htm
25. www.pile_a_combustible.com/psaautoprototype.html
26. www.hydrogeit.de/wassertoff_als_kraftstoff.htm
27. www.tee.uni-essen.de
28. www.mariengymnasium-jever.de/alternative-energien/brenn10b/necar5.html
29. www.unido.ichet.org
30. www.linde-gas.de/.../wasserstofftag-03_exponent_cryoplane
31. www.hydrogencommerce.com/index16.htm
32. www.bellona.nolen/energy/hydrogen/report_6-2002/22852.html