İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Hidrojen Kullanılması

Nafiz KAHRAMAN, Selahattin Orhan AKANSU
Yrd.Doç.Dr., Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

Bilge ALBAYRAK
Araş.Görv., Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Motor yakıtlarının kolay buharlaşabilme, hava ile kolay karışabilme birim hacminden yüksek enerji sağlayabilme ve kolay tutuşabilme özelliklerinde olması istenir [1]. Bu özellikleri ile sıvı hidrokarbon yakıtlar motorlu taşıtlar için çok uygun yakıtlardır. Bu yakıtların diğer bir özellikleri de kolay elde edilebilmeleri, istenilen her yerde kolayca bulunabilmeleri ya da dünya çapında çok iyi bir pazarlama ağı vasıtasıyla kullanıcılara sunulabilmesi ve birim hacimlerinde yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasıdır. Bu sebepten benzinli ve dizel motorlarda kullanılan bu yakıtlar motorlar icat edildiğinden beri rakipsiz kaldılar [2]. Bununla birlikte petrol rezervlerinin sınırlı olması ve bir gün biteceği endişesi yanında, fosil yakıtların çevreye yaydıkları zararları da göz önüne alan bilim adamları özellikle son otuz yıldır alternatif ve yenilenebilir motor yakıtlarını araştırmaya başladılar.

Ancak alternatif yakıtlardan sadece hidrojenin tabiatta bulunan en bol element olması ve çevreye hiçbir zararlı etkisi olmaması açısından mevcut yakıtlarla rekabet edebilecek tek yakıt olduğu söylenebilir.

Bu makalede yenilenebilir bir yakıt olarak hidrojenin içten yanmalı motorlarda kullanımının avantajları hidrojen kullanılması durumunda motorda yapılası gereken değişiklikler ve hidrojenin yakıt olarak özellikleri ile hidrojen üretim metotları hakkında bilgi verilecektir.

Anahtar Kelimeler: *İçten yanmalı motor, hidrojen, alternatif yakıt*

ABSTRACT

It is demanded that motor fuel should have the characteristics to be able to evaporate easily; to be mixed with air easily; to provide energy higher than its unit mass and to be on fire easily [1]. With all these characteristics liquid carbohydrate fuel is appropriate for the motor vehicles. Moreover, this fuel is gotten easily and found easily on everywhere. Other characteristics of this fuel are its ability to be offered to the users through the successful worldwide marketing web and its high energy intensity in its unit masses. Thence, liquid carbohydrate fuel, used in gasoline engine and in diesel motor, has been matchless as of the invention of the motors [2]. Nonetheless, reckoning with the limited petroleum reserves and the damage of fossil fuel to the environment, scientists has began to research alternative and renewable motor fuels especially since thirty years.

On the other hand, it can be said that among the fuels mentioned above, only the hydrogen is capable to compete with existing fuels because it is the most plentiful element which exists in nature and it does not cause any damage to the environment.

In this article, information will be given about the advantages of using hydrogen as renewable fuel in internal combustion engines; some required changes in motor in case of using hydrogen as fuel; the characteristics of hydrogen as fuel and the methods of producing hydrogen.

Keywords: *Internal combustion engine, hydrogen, alternative fuel*

GİRİŞ

Artan dünya nüfusu ve ekonomik gelişmeler enerji talebini hızla artırmaktadır. Günümüzün başlıca etkin enerji kaynaklarını kömür, fosil yakıtlar ve doğal gaz, nükleer enerji ve hidrolik enerji oluşturmaktadır.

Dünya üzerinde, endüstride ve konutlarda gerekli olan ısının üretimi, taşıt motorlarının ve stasyoner motorların güç üretimi aydınlatma ve iletişim amaçları için enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkelerin enerji gereksinimi ise genelde, uygarlık düzeyi ve yaşam standartları, kullanılan teknolojinin seviyesi, iklim şartları vb. ile bağıntılı olarak değişmektedir [4].

Hidrojen gelecek dönemlerin en etkin kullanıma sahip enerji sektörü olmaktadır. Sudan elde edilerek, kullanımı sonucu tekrar suya dönüşüm özelliği ile hidrojen, "yenilenebilir enerji" kaynağıdır. Çünkü hidrojenin hava ile yanması sonucu oluşan yanma ürünü tekrar hidrojen üretiminde kullanılabilecek olan su buharıdır. Böylece dünyadaki doğal su kaynaklarında elektroliz vb. yöntemler ile üretilen hidrojenin yanması sonucu bu kaynakları besleyecek su tekrar üretilmektedir [5].

Hidrojen yakıtların kullanımlarındaki bir diğer avantaj da, hava kirliliğine olan etkisinin çok düşük düzeyde olmasıdır.

Hidrojenin hava ile yanması sonucu, hidrokarbon yakıtlarda görülen CO, CO_2, SO_2 gibi gazlar ve yanmamış hidrokarbonlar oluşmamaktadır. Böylece yanma ürünlerinin oluşturduğu asit yağmuru, fotokimyasal sis, sera etkisi gibi olaylar hidrojenin yakıt olarak kullanımında söz konusu değildir. Hidrojen yanması sonucu oluşan NO_x bileşenlerinin düzeyi ise, sıcaklık seviyelerindeki artış nedeniyle, öteki yakıtlara oranla daha yüksek olmaktadır. Hidrojenin üretim ve depolama maliyetlerinin günümüzde hala yüksek olması hidrojenin yaygın olarak kullanılamamasının nedenlerinden biridir. Ancak hidrojenin yaygın olarak kullanımına geçilmesi ve üretim kapasitesinin artması ile birlikte maliyet de doğal olarak düşecektir [6].

HİDROJEN YAKITININ ÖZELLİKLERİ

Hidrojenin en önemli özelliği sıvı ve gaz olarak kullanılabilmesidir. Gaz halindeki hidrojen, aynı hacimdeki havadan yaklaşık 14 kez daha hafiftir. İçten yanmalı motorlarda kullanılmakta olan yakıtlarla karşılaştırıldığında ise, sıvı hidrojenin sıvı hidrokarbon yakıtlara oranla yaklaşık 10 kere daha hafif, gaz halindeki hidrojenin ise metan, doğal gaz vb. gaz halindeki yakıtlardan yine 10 kere daha hafif olduğu görülecektir (Tablo 1)[7].

Tablo 1. Hidrojen, Benzin ve Metanın Yakıt Özellikleri

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 ısısı, (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 (^0C)	228-471	540	585
Hava da alev sıcaklığı (^0C)	2197	1875	2045
Patlama enerjisi (g.TNT . k/j)	0.25	0.19	0.17
Alev yayılması (emissivitesi), (%)	34-42	25-33	17-25

Hidrojenin motorlarda yakıt olarak kullanımında avantaj sağlayacak en önemli özelliklerden bir diğeri tutuşma sınırlarının çok geniş yakıt karışım oranlarına uzanmasıdır [8-10]. Hidrojen, hava içerisinde %4 ile %75 oranları arasında bulunduğunda tutuşabilmektedir. Benzin-hava karışımlarında, hava fazlalık katsayısının 0.3-1.7 değerleri arasında tutuşma sağlanabilmekte iken, hidrojen-hava karışımları için bu sınır 0.14-4.35 değerlerine ulaşmaktadır. Hidrojen-hava karışımları, gaz yakıtlara göre de daha geniş tutuşma sınırlarına sahiptir. Örneğin metan-hava karışımlarının tutuşabilmesi için hava fazlalık katsayısının 0.6-1.9 değerleri arasında bulunması gerekmektedir.

Hidrojenin alt ısıl değeri de öteki mevcut motor yakıtlarından daha yüksektir (hidrojen için 119.93 kj/g, benzin için 43.4 kj/g). Ancak hacimsel olarak ele alındığında hidrojenin alt ısıl değeri diğer yakıtlara göre daha azdır (hidrojen için 8.41 Mj/litre, benzin için 31.8Mj/litre, metanol için 15.9Mj/litre, metan için 20.8 Mj/litre). Hidrojenin adyabatik alev sıcaklığı ise benzinle aynı mertebelerdedir (Hidrojen 2318 K, Benzin 2470 K, Metan 2148 K) [11].

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 rezerve sahiptir. Ayrıca fosil yakıtların giderek tükenmekte olması, hidrojen üretiminde geniş kaynaklara sahip olan suyun kullanımını daha avantajlı hale getirmektedir. Her türlü birincil enerji kaynağı 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 H_2O olan suyun içindeki hidrojeni elektroliz yoluyla ayırmaktır. Burada hidrojen üretimi yöntemlerini tanımlarken, kullanılabilecek birincil enerji kaynaklarını da ayrıca belirtmek yerinde olacaktır. Buna göre hidrojen, fosil yakıtlar yardımıyla olabildiği gibi, güneş,rüzgar, dalga enerjileri, jeotermal enerji ve biyokütle gibi birincil enerji kaynaklarının hepsi ile aşağıda tanımlanan yöntemlerin herhangi biri ile üretilebilir [5].

Hidrojenin Fosil Yakıtlardan Üretimi

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 ıslahı, 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 karşıt klor üretimi, ham petrolün rafineri işleminde hafif gazların üretimi, kok fırınlarında kömürden kok üretimi ve margarin sanayiinde kimyasal hidrojenerasyon işlemleri sayılabilir [12,13].

Hidrojenin Elektroliz Yöntemi ile Üretimi

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, katottan çıkan hidrojen ve anottan 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 [12].

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.

Hidrojenin Isıl Kimyasal Yöntem ile Üretimi

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. Elektroliz hücresinin ticari olarak %80 verim de çalıştığı düşünüldüğünde, fosil yakıtlardan elektroliz yoluyla hidrojen elde etmede toplam verim %25-30 olmaktadır [13].

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 [12]. Isıl-kimyasal yöntem üzerindeki çalışmalar yoğun bir şekilde sürmektedir.

HİDROJENİN YAKIT OLARAK KULLANILMASI

Bir yakıtın her yerde, örneğin, sanayide, evlerde, taşıtlarda kullanılabilmesi büyük önem taşımaktadır. Diğer yakıtlarla karşılaştırıldığında, bunları birçoğunun ancak belirli 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 kullanılabilmektedir. 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 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 bugüne kadar kullanılan 3 temel yöntem aşağıda verilmiştir [12].

Hidrojen ve hava karışımı, değişmez bir oranda silindirlerin 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.

Hidrojen gazı basınç altında silindirlere enjekte edilir. Havanın ise başka bir giriş manifoldu aracılığıyla ayrı olarak silindirlere geldiği için, hidrojen hava patlayıcı karışımı silindirlerin 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.

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 karışımından meydana gelir. Böyle bir ayarlama hidrojen hava karışım oranının oldukça geniş bir aralıkta patlama özelliğine sahip olması nedeniyle kolaylıkla gerçekleşebilir.

Hidrojen yakıtlı motorların, benzinli motorlara göre bir çok üstünlüğü bulunmaktadır. Bunlardan biri, hidrojenli motorların yüksek verimi, diğeri, belki de en önemlisi, atık ürün olarak sadece su buharı olmasıdır. Silindirleri yağlamak için kullanılan petrol ürünlerinden kaynaklanan çok az miktarda karbonmonoksit ve hidrokarbonlarla 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. 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 salınımlı 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 birinin kendine göre üstünlükleri bulunmaktadır [20].

- Basınçlı hidrojenin, çelik tüpler içine yerleştirerek taşınması, bugüne kadar geliştirilen 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 almakta olup, bu da enerji olarak 17 kg hidrojene karşılık gelmektedir.
- Hidrojeni sıvı olarak depolamak ağırlık sorununu çözmekle birlikte, tank hacmi ve maliyeti yükseltmektedir. Diğer bir sorun ise, hidrojenin gaz haline geçmesi ile oluşan kayıplar ve yakıt ikmali zorluğudur.
- 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 basınç da elde edebilmek için, metal hidritin, 250°C ye ısıtılması gereğidir. Bu sıcaklık araç çalışırken egzoz çıkışından elde edilen sıcak gazla sağlanabilmekle beraber, motorun ilk başta soğukken çalıştırılması sorun yaratmaktadır. 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 yakıtı kullanımının yaygınlaşmasına yol açmaktadır.

YAKIT OLARAK İÇTEN YANMALI MOTORLARDA HİDROJEN KULLANILMASI

Hidrojenin içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılması konusunda birçok çalışma yapılmaktadır. Fakat bu çalışmalarda benzine göre tasarlanmış olan motorlar kullanılmaktadır ve bu motorlar hidrojen kullanımına imkan sağlayacak şekilde modifiye edilmişlerdir. Hidrojenin içten yanmalı motorlarda kullanılmasına ilişkin yapılan ilk incelemelerde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir [16].

- Bazı küçük değişikliklerle benzin motorları hidrojen ile çalışır duruma getirilebilirler. Isıl verimleri benzin motorununkine yakındır.
- Stokiyometrik çalışma şartlarında hidrojen motorunda yüksek miktarda NO_x oluşur. Fakat silindirlere gönderilen karışım fakirleştirilerek NO_x oluşumu azaltılabilir.
- Benzin motorundan hidrojen motoruna çevrilmiş motorda, stokiyometrik hidrojen-hava karışımında %20 güç kaybı meydana gelir.
- Karbüratörlü motorlarda emme manifoldundaki alev tepmesi önemli bir problemdir.

Hidrojen motorunun bu dezavantajları, onun benzin motoru ile rekabet etme şansını azaltmaktadır. Fakat günümüze kadar yapılan çalışmalar ile bu problemler çözülerek, hidrojenin motor verimine ve hava kirliliğinin azaltılmasına olan katkıları görülmüştür. Hidrojenin sıkıştırma oranı yüksek olan motorlarda kullanılması ile de sebep olduğu güç kaybı azaltılabilir. Ayrıca aşırı doldurma uygulanarak ilave güç sağlanabilir. Sıkıştırma oranının arttırılması ve fakir karışım ile hidrojen motorunun ısıl veriminde, benzinli motora göre %25'lik bir artış sağlanabilir. Fakir karışım ile alev tepmesi önemli miktarda azaltılır [5]. Akaryakıt motorlarında görülen buhar tıkacı, soğuk yüzeylerde yoğuşma, yeterince buharlaşmama gibi sorunlar hidrojen motorlarında yoktur. Hidrojen motorları 20,13 °K' de (253C) ilk harekete geçerken bile sorun çıkarmaz [16].

Benzin motoruna hidrojen takviyesi ile yanmamış hidrokarbon emisyonları azaltılarak ısıl verim iyileştirilir [17]. Hidrojen takviyesi yapılan Otto motorlarında küçük bir ön yanma odası mevcuttur. Yanma odası bujinin yerine yerleştirilmiştir. Bu ön yanma odası içinde hidrojen enjektörü ile buji vardır. Esas yakıt ise (benzin, metanol, propan vs.) emme portlarındaki enjektörlerden püskürtülerek silindirlere gönderilir. Hidrojen takviyesi ile esas yanma odası içinde yakılan hidrokarbon esaslı yakıtların çok fakir karışım oranlarında düzgün bir şekilde yakılması sağlanır. Böylece ısıl verim arttırılarak, azot oksit emisyonları önemli derecede zaltılır [18].

Hidrojenin hava ile yanmasının sonucu da, yakıtta karbon bulunmaması nedeni ile yanma ürünleri arasında CO, CO_2, HC'ler mevcut olmayacak, sadece motorun yağlama yağının yanması nedeni ile oluşan HC'ler egzoz gazları arasında bulunacaktır. Ayrıca yüksek yanma sıcaklıkları nedeniyle havanın kimyasal reaksiyonu sonucu azot oksitler oluşacaktır [19].

Hidrojenin yanma ürünü su buharıdır ve sınırlı maksimum sıcaklıklardaki NO_x emisyonları ihmal edilebilir. Nitekim hidrojenle çalışan bir içten yanmalı motor, günümüz taşıt motorlarından çok daha az NO_x emisyonuna neden olmaktadır [16].

İçten Yanmalı Motorlarda Hidrojen Kullanımının Ortaya Çıkardığı İşletim Problemleri

Hidrojen yakıtlı motorlarda yanma açısından ortaya çıkan en önemli iki sorun, geri tutuşma ve erken ateşleme olaylarıdır. Yanma odasına gönderilen yakıt hava karışımının silindire girmeden önce tutuşması sonucunda motorun emme manifoldu içinde geriye doğru alevin ilerlemesi geri tutuşma olarak tanımlanmaktadır. Bu olay emme sistemi elamanlarını tahrip etmekte ve emniyet açısından sorun oluşturmaktadır. Yanma odasına gönderilen karışımın bujide kıvılcım çakmadan önce sıcak odaklar tarafından tutuşturularak yanmayı istenilenden önce başlatması da erken tutuşma olarak tanımlanmaktadır. Hidrojenin tutuşma enerjisinin düşük olması bu iki sorunu ortaya çıkarmaktadır [12]. Geri tutuşma hava fazlalık kat sayısının(λ) 2 ila 3 arasında olduğu durumlarda oluşmaktadır. Hidrojenin yakıt olarak kullanılabilmesi için bu sorunların ortadan kaldırılması gerekir.

Geri tutuşmanın sebeplerinden biri benzin ile kıyaslandığında hidrojenin tutuşturulabilmesi için daha düşük iyonlaşma enerjisine ihtiyaç duymasıdır. Dolayısıyla

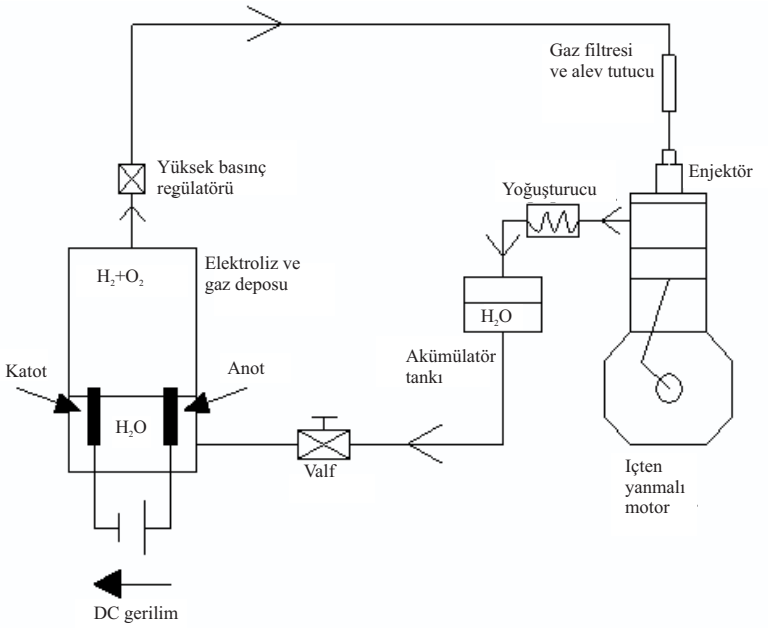
hidrojen yakıtlı motorlarda buji kıvılcımından sonra ateşleme sisteminde kalan artık enerji miktarı daha fazla olur. Egzoz zamanı genişleme periyodundan sonra silindir içi basıncının atmosfer basıncına yakın olduğu durumlarda, sistemdeki artık enerji bujide kıvılcım oluşmasına sebep olur. Kıvılcımın oluştuğu nokta çevrimden çevrime farklılık gösterir. Eğer buji kıvılcımı emme zamanında oluşursa, diğer bazı etkenlerle birlikte geri tutuşmaya sebep olur. Artık enerji oluşumunu önlemek için ateşleme sistemi modifiye edilmelidir [13].

Yüksek yük altında, yanma odasındaki sıcak noktalar karışımın erken ateşlenmesine sebep olur. Hidrojenin tutuşma enerjisinin düşük olması nedeniyle; yanma odasındaki sıcak noktalar, supap bindirmesinde sıcak egzoz gazları, çok fakir karışımlarda yanma hızlarının düşük olması nedeni ile yanma süresinin artması sonucu yanan gazlarla yeni karışımın teması, motor yağından gelen sıcak partiküller, yanmayı istenilenden önce başlatabilmektedir. Bu amaçla yanma odası sıcaklığının düşürülmesi gerekmektedir. Bunun için; Karışımın bir miktar fakirleştirilmesi, egzoz gazları resirkülasyonu (EGR), yanma odasına su püskürtülmesi, supap bindirmesi süresinin azaltılması, giriş havasının sıvı hidrojen kullanımı sonucu soğutulması gibi çeşitli yöntemler uygulanabilir. Ancak karışıma EGR uygulanması veya gönderilen hidrojenin azaltılması sonucu fakirleştirilmesi çevrimden çevrime olan farklılıkları artıracak ve motorun düzenli çalışmasını önleyecektir. Ayrıca EGR sonucu ortalama efektif basınç da düşecektir [15]. Hidrojen yakıtlı motorlarda hava-yakıt oranı 0,8 olduğunda egzoz gazları içindeki NO_x miktarı maksimum olur. NO_x oluşumunu azaltmak için hidrojene saf oksijen ilave edilmelidir. Bu durum ise sistemi daha karmaşık hale getirir ve taşıt ağırlığını arttırır. Bu sorunun çözümü için kullanılan yöntemlerden biri; taşıt üzerinde suyu elektroliz ederek, açığa çıkan hidrojen ve oksijenin basınç altında depo edilmesidir. Aşağıdaki şekilde böyle bir sistem görülmektedir.

Hidrojen-hava karışımı içindeki su buharı yanma sıcaklığını azaltacağından maksimum basıncın, dolayısıyla gücün azalmasına sebep olur. Bunun için karışım içindeki su buharı bir yoğuşturucudan geçirilerek su deposuna geri döndürülür. Yanma odası içinde bırakılan su buharı miktarı ayarlanarak yanma hızı ve vuruntu oluşumu kontrol edilebilir [15].

SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya nüfusunun hızla artması, mevcut enerji kaynaklarının yakın gelecekte yetersiz kalacak olması ve çevre kirliliğinin tehlikeli boyutlara ulaşması alternatif yakıtların önemini arttırmıştır. Bu durum araştırılacak alternatif yakıtların çevre dostu olmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışma da incelenen hidrojen hem elde edilebilme potansiyeli hem de çevre dostu olması bakımından alternatif yakıtlar içinde önemli bir konumdadır. Yanma ve depolama ile ilişkin sorunların halledilmesi durumunda hidrojen önümüzdeki yıllarda rakipsiz bir içten yanmalı motor yakıtı olacaktır.



Şekil 1. Sıfır Emisyonlu Motor Sistemi Şeması [

Elektroliz yoluyla sudan elde edilmesi hidrojenin sonsuz bir enerji kaynağı olduğunu göstermektedir. Yanma hızının ve kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olması buji ile ateşlemeli motorlardaki vuruntu ihtimalini azaltmaktadır. Tutuşma enerjisinin düşük olması ilk hareket kolaylığı sağlar. Hidrojenin içerisinde karbon bulunmamasından dolayı, egzoz emisyonları fosil yakıt kullanılan motorlara göre daha iyidir. Herhangi bir sebeple yakıt donanımında meydana gelen bir sızıntı durumunda hidrojenin uçuculuğunun çok yüksek

olması nedeniyle hızla sistemden uzaklaşacağından herhangi bir tehlike oluşturmaz.

Hidrojenin içten yanmalı motorlarda kullanılabilmesi için geri tutuşma, erken ateşleme ve depolama problemlerinin çözülmesi gereklidir. Bu amaçla çalışmalar bu konular üzerinde yoğunlaşmalıdır.

KAYNAKÇA

1. **N.Kahraman ve S.O.Akansu** "Otto Motorlarına LPG Dönüşümü Yapılmasının Ekonomik Analizi" Niğde Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 1,105-109 1997
2. **Poultan Mark L.,** Alternative Fuels for Road Vehicles, Computational Mechanics Publication TRL Crowthorne, April, 1994.
3. **Ültanır M.Özcan,** Hidrojenin Yakıt olarak Kullanımı ve Özellikleri, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Çevre ve Enerji Kongresi, No:192 ISBN 975-395-231,1997.
4. **Hafele, W.,** Energy in Finite World, Cambridge, Mass., Ballinger, 1981.
5. http://www.youthforhab.org.tr/
6. **Swain, M.R., Adt, R.R. ve Pappas, J.M.,** Experimental Hydrogen Fuelled Automotive Eng Design Data-Base Project, Report prepared for U.S. Dept. Of Energy, 1983.
7. **Finegold, J.G., Lynch, F.E., Baker, N.R., Takahashi, R. And Bush, A.F.,** The UCLA Hydrogen Car: Design, Construction and Performance, SAE Paper No.73 0507,1973.
8. **Billings, R.E. and Lynch, F.E.,** Performance and Nitric Oxide Control Parameters of the Hydrogen Engine, Billings Energy Research Corporation, Publ. No. 73002, 1974
9. **Arslan, E., Ergeneman, M., Soruşbay, C.,** Hidrojenin İçten Yanmalı Motorlarda Yakıt Olarak Kullanımı, Proje, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı, 1991.
10. **Veziroğlu , T., Momirlan, M.** "Recent Directions of World Hydrogen Production", Renewable and Sustainable Energy Reviews 3,1999,219-231
11. Prepared for UNIDO by Veziroğlu, T.Nejat and Barbir, Frano "Hydrogen Energy Technologies" Vienna, 1998.
12. **Ültanır, M.Ö.,** 1997, Temiz Enerji Olarak Hidrojen Yakıtı ve Teknolojisi, Türkiye 7.Enerji Kongresi,Teknik Oturum Tebliğleri, Cilt:3, Ankara
13. **Soruşbay, C., Arslan, E.,** Hidrojen Yakıtlı İçten Yanmalı Motorlarda Yanma Performansı, Mühendis Ve Makine Dergisi, Cilt:29, Sayı:339.
14. **Kondo, T., Lio,S., Hiruma, M.,** A Study On The Mechanism Of Backfire İn Extarnal Mixture Formation Hydrogen Engines SAE Paper No: 971704.
15. **Bohacik, T., Maria, S.D., Travbridge, C., Saman, W.,** Combustion Characteristic Of Electrolycally Produced Hydrogen-Oxygen Mixture SAE Paper No: 971703.
16. **Vorst, W., D.V., Finegold, J.G.,** Automotive Hydrogen Engines, And Onboard Storage Methods, Hydrogen Energy Fundamentals, Miami Beach, Florida U.S.A., 1975.
17. **Apostolescu, N., Chırıac, R.,** A Study Of Combustion Of Hydrogen Enriched Gasoline in A Spark Ignition Engine, SAE Paper No: 9606603.
18. **Glasson, N., Lumsden,G., Dingli,R., Watson,H.,** Development Of The Hajı System For A Multi-Cylinder Spark Ignition Engine SAE Paper No: 961104.
19. **Veziroğlu, T., Momirlan, M.** Recent Directions of World Hydrogen Production, Renewable and Sustainable Energy Reviews 3,1999,219-231.
20. Prepared for UNIDO by Veziroğlu, T.Nejat and Barbir, Frano "Hydrogen Energy Technologies" Vienna, 1998.

