

**İÇTEN YANMALI MOTORLARDA
KULLANILAN YAKITA İLAVE OLARAK
HİDROJENDE EKLENMESİ VE EKONOMİK
FAYDALARININ İNCELENMESİ**

DÜZGÜN DENİZ KARABULUT

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
HAZİRAN – 2009**

**İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN YAKITA
İLAVE OLARAK HİDROJENDE EKLENMESİ VE EKONOMİK
FAYDALARININ İNCELENMESİ**

DÜZGÜN DENİZ KARABULUT

**Mersin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği
Ana Bilim Dalı**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Yusuf ZEREN**

**MERSİN
HAZİRAN - 2009**

Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan ve aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Yusuf ZEREN

Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Dr. İbrahim SEVİM

Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Dr. Azize AYÇAYOĞLU

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../.....tarih ve/..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr.Mahir TURHAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ÖZ

Son yıllarda içten yanmalı motorlarla tahrik edilen karayolu taşıtlarında yakıt tüketiminin azaltılması ve çevre kirliliğine neden olan yanma ürünlerinin kontrol alınabilmesine ilişkin çabalar, motor ve yakıt teknolojisinde yenilik arayışlarını hızlandırmış, alternatif yakıt olarak hidrojen kullanımı ön plana çıkarmıştır. Alternatif yakıtların motor performansını olumsuz etkilemeden, kirleticiliği azaltıcı egzoz gazları emisyonunu azaltmaları ve konvansiyonel yakıtlara göre kullanım, depolama, dağıtım, maliyet gibi konularda da olumsuz yönlerinin olmaması amaçlanmaktadır. Taşıtlarda alternatif enerji kaynağı olarak, elektrikli veya hibrid taşıt uygulamalarında hidrojen yakıt hücrelerinde kullanımına ilişkin teknoloji geliştirilmektedir. Ancak yakın dönemdeki uygulamalarda, hidrojenin içten yanmalı motorlarda doğrudan yakıt olarak kullanımı söz konusudur. Bu çalışmada hidrojenin içten yanmalı motorlardaki çeşitli dual yakıt uygulamaları karışım oluşturma teknolojisi ve motor performansı açısından değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alternatif yakıt, Hidrojen, Elektroliz,

ABSTRACT

For decades, fears and numerous alarms have been raised regarding commodity price rising of fuels and reduce fossil fuel consumption. It also lower thermal emanations are expected. Alternative fuels should provide reduced pollutant emissions without effecting performance while providing compatible level of fuel economy and solution to storage, mixture preparation and distribution problems. Hydrogen as a soruce of energy in road vehicles can be used with fuel cells operations in electric or hybrid vehicles. But short term application will be focused on the direct utilization of hydrogen as a fuel in internal combustion engines. In this study various applications are compared with only gasoline and gasoline plus hydrogen and engine performances were compared.

Keywords: Alternative fuels, Hydrogen, Electrolysis

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarımnda ve tez çalışmalarımnda bana danışmanlık eden ve beni yönlendiren sayın, Prof. Dr. Yusuf ZEREN'e, çalışmalarımnda bana yardımcı olan asistan arkadışım Yasin Özdemir'e ve özellikle Aileme yüksek lisans çalışması süresince göstermiş oldukları sabırdan dolayı teőekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	2
2.1. HİDROJEN	2
2.1.1. Hidrojenin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	5
2.2. HİDROJENİN ÜRETİLMESİ	8
2.2.1. Üretim Yöntemleri	9
2.2.1.1. Hidrojenin Fosil Yakıtlardan Üretimi	9
2.2.1.2. Hidrojenin Elektroliz Yöntemi ile Üretimi	9
2.2.1.4. Diğer Hidrojen Üretme Yöntemleri	12
2.3. HİDROJENİN DEPOLANMASI	
2.3.1. Sıkıştırılmış Hidrojen Deposu Yöntemiyle Depolanması	13
2.3.2. Likit Hidrojen Yöntemi ile Depolama	14
2.3.3. Metal Hidritlerde	15
2.4. ALTERNATİF YAKIT ARAYIŞLARI VE HİDROJEN	16
2.4.1. Alternatif Yakıt Olarak Hidrojen	18
2.4.2. Yakıt Pilli Motor Teknolojisi:	20
2.5. MOTORLU TAŞITLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ:	22
2.6. HİDROJENİN MOTORLARDA KULLANIMI	24
2.6.1. Emniyet Sorunları	25
2.6.2. Harici Karışım Metodu:	26
2.6.3. Dahili Karışım Hazırlama Metodu	27
2.6.4. Çift Yakıtlı Motorlar:	29

İÇİNDEKİLER (DEVAMI)

	<u>Sayfa</u>
2.7 HİDROJEN MOTORLARI ÜZERİNE YAPILMIŞ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARI.....	32
2.8. EKONOMİK ANLAMDA ALTERNATİF YAKITLAR.....	34
3. MATERYAL ve METOT	37
3.1. DENEYLERDE KULLANILAN MATERYAL.....	37
3.1.1. Motor	37
3.1.2. Hidrojen Jeneratörü	38
3.1.3. Yakıt	41
3.1.3.1. Benzin.....	41
3.2. YÖNTEM	43
3.2.1. Testlerde Kullanılan Bağıntılar	45
4. BULGULAR ve TARTIŞMASI	49
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	56
EKLER	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE	SAYFA
Çizelge 2.1. Yapılan çalışmaların tarihsel sıralaması	3
Çizelge 2.2: Hidrojenin genel özellikleri :	6
Çizelge 2.3. Hidrojenin depolanmasının petrol ile değerlendirilmesi	15
Çizelge 2.4. Alternatif yakıtların emisyon kirliliklerinin karşılaştırılması	23
Çizelge 2.5 Yakıtların karşılaştırılmaları	35
Çizelge 2.6. Alternatif yakıtların maliyetler bazında karşılaştırılması	36
Çizelge 3.1. Deney motoru özellikleri,	38
Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan benzinin özellikleri	42
Çizelge 3.3. Testlerde kullanılan yakıtların özellikleri	47
Çizelge 4.1. Benzinle çalıştırmada elde edilen sonuçlar	48
Çizelge 4.2. Hidrojen ilaveli çalıştırmada elde edilen sonuçlar	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	SAYFA
Şekil 2.1. Su elektroliz hücresinin şematik görünümü	11
Şekil 2.2 Hidrojen depolama yöntemlerinin basınçla olan ilişkisi	14
Şekil 2.3. Taşıtlarda yakıt depolamanın ağırlık ve hacim ilişkisi	16
Şekil 2.4 Fosil kaynaklı enerjilerden hidrojen enerjisine geçiş grafiği	17
Şekil 2.5 Şematik Yakıt pilli Taşıt Sistemi	21
Şekil 2.6. Yakıt Pili Sistemi	22
Şekil 2.7. Harici Karışım teşkili bir motorun kesiti	26
Şekil 2.8 Dahili karışım teşkilli bir motor kesiti ve püskürtme sistem	28
Şekil 2.9. Sıfır emisyonlu motor sistemi şeması	31
Şekil 3.1 GX120 motorunun şematik görünümü	37
Şekil 3.2. Deney motoru	39
Şekil 3.3. Hidrojen jeneratörü komple gösterimi	39
Şekil 3.4. Testlerde kullanılan hidrojen jeneratörü ve valf	44
Şekil 3.5 Araçlarda elektrolizde kullanılan solusyon	40
Şekil 3.6. Elektronik kontrol kartı	41
Şekil 3.7. Prony freni çalışma prensib	43
Şekil 3.8. Frenleme sisteminde kullanılan biyel kolu	43
Şekil 3.9: Deney motoru için tasarlanan manifold örneği	44
Şekil 3.10. Tasarlanan manifold sisteminin montaj hali	44
Şekil 4.1. Motor momenti grafiksel gösterimi	49
Şekil 4.2. Motor gücü grafiksel gösterimi	50
Şekil 4.3. Özgül yakıt tüketimi grafiksel gösterimi	51
Şekil 4.4. Benzinle çalıştırmada özgül yakıt tüketimi, moment ve değerlerinin karşılaştırılması	52
Şekil 4.5. Hidrojen ilaveli olarak çalıştırmada özgül yakıt tüketimi, güç ve moment değerlerinin karşılaştırılması	52
Şekil 5.1. Benzin, doğalgaz ve hidrojenin yakıt olarak kullanımının karşılaştırılması	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklamaları
Be	Yakı tüketimi (gr/dak)
be:	Özgül yakıt tüketimi (gr/kWh)
CO	Karbonmonooksit (%)
Kd	Moment düzeltme katsayısı
Ne	Motor gücü (kW)
HC	Hidrokarbon (ppm)
NOx	Azot oksit
H2	Hidrojen
Me	Düzeltilmiş moment (Nm)
T	Deney ortamı sıcaklığı (K)
P	Deney ortamı basıncı (kPa)
F	fren yükleme kuvveti (N)
L	Fren yükleme kuvvetinin kuvvet kolu (m)
n	Motor devri (min^{-1})
Vh	Motor silindir hacmi (lt)
Qgerçek	Tüketilen gerçek hava miktarı (gr/dak)

Kisaltmalar	Açıklamaları
CNG	Sıkıştırılmış doğal gaz
KOH	Potasyum hidroksit
LH ₂	Likit hidrojen
LNG	Sıvılaştırılmış doğal gaz
MON	Motor oktan sayısı
NaOH	Sodyum hidroksit
RON	Araştırma oktan sayısı

1. GİRİŞ

Dünya nüfus artışına paralel olarak enerji tüketimi de artmıştır. Mevcut enerji kaynaklarının hızla tükenmekte olması alternatif kaynak arayışını hızlandırmıştır. Benzin ve dizel yakıtı gibi petrol kökenli konvansiyonel motor yakıtlarının da giderek tükenmekte olması, içten yanmalı motorlarda alternatif yakıtların kullanımını gerektirmektedir. Diğer taraftan taşıtların ürettiği kirletici egzoz gazlarının çevre kirliliği açısından yaratmakta olduğu sorunlar, emisyon bakımından da üstün niteliklere sahip alternatif yakıtların ve hatta farklı tahrik sistemlerinin kullanımını giderek zorunlu hale getirmektedir. Hidrojen de üzerinde durulması gereken önemli bir enerji kaynağıdır.

Hidrojenin motorlu araçlarda enerji kaynağı olarak kullanımında günümüz teknolojisinde iki farklı yöntem söz konusudur. Birinci yöntemde elektrikli veya hibrid taşıtlarda, çalışma sırasında yakıt hücrelerinde hidrojen ve oksijenden elektrik elde edilmektedir. Hidrojen yakıt pili içerisinde oksidasyona uğradığında emisyon olarak sadece su buharı çıkarır. Bugün için seri üretimine geçildiğinde çözüm gerektiren bazı sorunları bulunan bu uygulama, orta ve uzun dönemde giderek yaygınlaşacak potansiyele sahiptir. İkinci yöntemde ise, hidrojen bir gaz yakıt gibi motorda yakılarak kullanılabilir. Hidrojenin yakıt olarak kullanımında, fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak önemli avantajlar sağlamaktadır. Hidrojen-hava karışımlarının geniş tutuşma sınırlarına sahip olması özelliğinden yararlanılarak, motorun fakir karışım oranlarında çalıştırılması yüksek ısı verim elde edilmesini ve özellikle azot oksit (NO_x) emisyonlarının istenilen düzeye düşürülmesini sağlamaktadır. Diğer taraftan hidrojen motorlarında CO, CO_2 , HC ve is emisyonu yoktur. Hidrojen özellikle motorlarda yakıt karışımına belirli oranlarda katılarak motorun fakir karışım oranlarında çalıştırılmasını sağlayarak egzoz emisyonlarını da düşük düzeye indirgemektedir. Bu çalışmada, hidrojenin ilave yakıt olarak motorlarda kullanımı, üretilmesi, egzoz emisyonları ve çevresel etkileri, ekonomikliği açısından bulgularla incelenmiş ve deneysel olarak değerlendirilmiştir.

Bu araştırmada tek silindirli bir benzin motorunda doğrudan benzin ve bir hidrojen jeneratörü yardımıyla elde edilen bir karışım ve bu hidrojenin manifolda benzine ilavesi ile elde edilen benzin + hidrojen karışımının motor performansına etkisi incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. HİDROJEN

1766'da Cavendish "alev alan hava" adını verdiği değişik bir maddeden söz eden bir makale yayınlamıştır. Ama bu maddenin niteliğini, 1783'te suyun bileşimini bulan Lavoiser ortaya çıkardı ve söz konusu maddeye "Hidrojenyum" adını verdi. Havadan çok hafif olan bu gaz ilk kez 1783 yılında Paris'te bir balonun uçurulması amacıyla kullanılmıştır. Hidrojenin yakıt olarak kullanımına ilişkin düşünceler de oldukça eski yıllara kadar uzanmaktadır. Günümüzden yaklaşık 130 yıl kadar önce Jules Verne, *Esrarengiz Ada* isimli bilim kurgu romanında, hidrojenin geleceğin en önemli enerji vektörü olacağını vurgulamıştır. Gene Jules Verne üç yıl sonra yazdığı *Doktor Ox* isimli romanında, elektrik enerjisinden yararlanılarak suyun hidrojen ve oksijen moleküllerine ayrılması sonucu yakıt elde edilebileceğini belirtmiştir. [1]

Atomik sembolü "H" olan hidrojenin atom ağırlığı 1,00797, atom sayısı 1 olan en basit ve en hafif elementtir. Hidrojen doğada en çok bulunan element olmasına rağmen, hafifliği sebebi ile atmosfere yükselip orada serbest kaldığında, yeryüzünde serbest halde çok az bulunur. Görünmez ve kokusuz bir gaz olan hidrojene yeryüzünde diğer elementlerle bileşik yapmış halde rastlanır. Çok düşük yoğunluğa ve havaya göre çok düşük ağırlığa sahiptir. Hidrojenin yanma ısısı oldukça yüksektir ve zehirli etkisi yoktur. Yanma sonucunda ise sadece su buharı meydana gelir. Aynı ağırlıktaki benzine göre sıvı hidrojenin enerjisi 2,75 kat daha fazladır. [2]

Çizelge 2.1. Hidrojen üzerine günümüze kadar yapılan çalışmalar [1]

1820	Hidrojenin yakıt olarak kullanımı ilk olarak Cecil tarafından İngiltere'de tasarlanıyor
1854	İtalya'da Bursanti ve Matteucci tarafından serbest pistonlu bir hidrojen motoru geliştiriliyor
1900	Karbüratörün geliştirilmesi sonucu sıvı yakıtlarda benzine verilen önem

	artıyor
1920	Almanya'da Erren hidrojen motoru ile ilgili çalışmalara başlıyor. Daha sonra bu çalışmalara İngiltere'de devam ediyor
1924	Ricardo, İngiltere'de hidrojenle çalışan bir motorda geri-tutuşma ve erken-tutuşma konularında incelemeler yapıyor
1930	Erren, Hastings ve Campbell hidrojenin hava kirliliği açısından avantajlı bir yakıt olduğunu vurguluyor
1940	Avustralya'da benzin sıkıntısı nedeniyle hidrojen kullanımı uygulanıyor. Almanya'da Oemichen hidrojen konusunda temel oluşturacak çalışmalar gerçekleştiriyor
1950	Kanada'da King, erken-tutuşma ve geri-tutuşma konularında çalışmalar yapıyor. ABD'de jet motorlarının hidrojenle çalışması konusunda denemeler yapılıyor. Uzay programında hidrojen-oksijen yakıtlı sistemler üzerinde çalışılıyor
1960	Uzay projesinde Atlas Centaur roketinde sıvı hidrojen yakıt uygulaması gerçekleştiriliyor (1962). Saturn roketi ile aynı çalışmalar devam ediyor (1966). ABD'de Billings hava kirliliğine çözüm olarak hidrojen kullanımını öneriyor
1970	Petrol krizi nedeniyle alternatif yakıtlar konusundaki çalışmalar yoğunlaştırılıyor. ABD'de Miami Üniversitesi ve UCLA'de ve GM, Billings, Los Alamos gibi kuruluşlarda, Almanya'da Mercedes, DFVLR gibi kuruluşlarda, Japonya'da Musashi Enstitüsünde hidrojenin içten yanmalı motorlarda kullanımı üzerinde çalışmalar yapılıyor.
1980	Japonya, Almanya, A.B.D. ve eski Sovyetler Birliğinde hidrojen araştırma çalışmaları devam ediyor. Türkiye' de hidrojen enerjisi üzerine çalışmalar gerçekleştiriliyor.
1990	Uzay projesinde, Uzay Mekiği ile hidrojen kullanımına devam ediliyor. Motorlarda hidrojen kullanımı konusundaki araştırmalar sürdürülüyor. Özellikle taşıtlarda hidrojenin depolanması ve üretim tekniklerinin geliştirilmesi konularında çalışmalar yapılıyor. Ticari olarak üretim yapan bir firma tarafından, hidrojen-yakıtlı prototip otomobilin tanıtımı Tokyo Motor Show'da yapılıyor. (1992)
2000	Hidrojenin elektrikli taşıtlarda kullanımına ilişkin çalışmalar sürdürülüyor. Hidrojen yakıtlı içten yanmalı motor içeren prototip taşıtlar üretiliyor

Hidrojenin uçaklarda ilk kullanımı, 1956 yılında, Amerikan B-57 bombardıman uçağında gerçekleştirilmiştir. Ruslar ise 1988 yılında Tupelov TU-154 deneme uçağında yakıt olarak sıvı hidrojen kullanmıştır. Sıvı hidrojen yakıtı, havacılıkta uzun yılladır alternatif bir türbin-jet yakıtı olarak göz önünde bulundurulmuştur. Dünya Enerji Ajansı Hidrojen Programı çerçevesinde yürütülen çalışmalarda da Airbus tipi uçaklarda, yakıt olarak hidrojen kullanılmasına yönelik planlanmış çalışmalar mevcuttur.(Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2006).

Denizcilikte ilk hidrojen kullanımı İzlanda'da görülmüştür. Ulusal hidrojen yakıt ekonomisi kuruluşu ile petrole alternatif olan bu enerjiyi araştırma kararı almışlardır. Ayrıca Denizcilik Hidrojen Teknolojileri Geliştirme Kurulu da içten yanmalı motorlarda hidrojen kullanılmasına ilişkin çalışmaları yürütmektedir. Yine ilk defa hidrojen destekli feribot, Pasifik Denizciliği, Hawaii'de kullanılmıştır. Sanfransisco'da Donanma Araştırma Ofisi, dizel motorlarda hidrojen kullanmıştır. [3]

2.1.1. Hidrojenin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Hidrojen renksiz kokusuz bir gazdır. Özgül kütlesi 0.899 g/L dir. Hidrojen - 252,77 °C de kaynamaya başlar. Sıvı hidrojenin kütlesi 70,99 g/L dir. Bu özellikleriyle hidrojen, tüm yakıtlar içinde en yüksek enerji / ağırlık oranına sahiptir. 1 kg hidrojen 1,2 kg doğalgaz veya 2,8 kg benzinle aynı enerjiye sahiptir. Fakat enerji/hacim oranı benzinin ¼ ü ve doğalgazın 1/3 ü mertebesindedir. Suda, ağırlıksal olarak %12 hidrojen vardır.

Çizelge 2.2: Hidrojenin özellikleri : [2, 3]

Özellikleri	Değeri		Birimi
Molekül ağırlığı	2,016	~4	kg/kmol
Yoğunluğu	0,0838	~4,40	kg/m ³
Üst Isıl Değer (Kütlesel)	141,9	31,8	MJ/kg
Üst Isıl Değer (Hacimsel)	11,89	-	MJ/m ³
Alt Isıl Değer (Kütlesel)	119,9	43,4	MJ/kg
Alt Isıl Değer (Hacimsel)	10,05	-	MJ/m ³
Kaynama Sıcaklığı	20,3	310-478	K
Sıvı Yoğunluğu	70,8	~700	kg/m ³
Kritik Noktadaki Sıcaklık	32,94	-	K
Kritik Noktadaki Basınç	12,84	24,5-27	bar
Kritik Noktadaki Yoğunluk	31,40	14,7	kg/m ³
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı	858	501-744	K
Havada Tutuşma Limitleri	4-75	1-7,6	% hacimsel
Havada Stoikiometrik Karışım	29,53	1,1-3,3	% hacimsel
Havadaki Alev Sıcaklığı	2318	2470	K
Difüzyon Katsayısı	0,61	~0,05	cm ² /s
Özgül Isısı	14,89	2,0	kJ/kg.K

Hidrojen havayla, 4-75% hacimsel oranlarda yanar. Çok geniş yakıt karışım oranını ifade eden bu değer, hidrojenin motorlarda kullanımı için avantaj sağlayacak en önemli özelliklerindedir. Benzin için hava fazlalık katsayısının 0,3-1,7 değerleri arasında tutuşma sağlanabilmekteyken hidrojen için bu değer aralığı 0,14-4,35 tir. Metan için aynı değer aralığı 0,6-1,9 dur.

Hidrojenin en yüksek yanma sıcaklığı olan 2318 °C, %29 hacimsel hidrojen/hava karışımında elde edilir. Fakat oksijen ile yakılma durumunda sıcaklık 3000 °C ye kadar çıkabilmektedir. Bu maksimum sıcaklık değeri, diğer yakıtlarda da hemen hemen bu civardadır.

Hidrojen için stokiometrik yakıt/oksijen karışımını tutuşturmak için gerekli minimum enerji 0,002 MJ dır. Bu değer doğalgazın tutuşma enerjisinin onda biri kadardır. Bu düşük değer, tutuşma garantisi bakımından avantaj sağlamakla beraber, ileriki konularda incelenecek erken tutuşma, geri tutuşma gibi çeşitli sorunları da yaratmaktadır. [4]

Hidrojenin patlama bölgesi %13-%59 aralığı içindedir. Bu aralık diğer yakıtlarla kıyaslandığında oldukça fazladır. Hidrojenin difüzyon katsayısı 0,62 değerindedir ve metanla karşılaştırılacak olursak 4 kat daha fazladır. Bu özelliği sayesinde hidrojen hava ile daha hızlı bir şekilde karışmakta, daha düzgün bir karışım teşkili sağlanabilmektedir. Fakat bu özellik havalandırılmayan bölgelerde yüksek riskler taşımaktadır.

Hidrojenin yanma hızı da oldukça yüksektir. Stokiometrik karışım oranlarında hidrojen hava karışımlarının yanma hızı, benzin hava karışımlarının yaklaşık 7-8 katı kadardır.

Yüksek difüzyon katsayısı ve yanma hızı sayesinde karışım teşkili daha düzgün ve yanma daha hızlı olacağı için motordan ısı kaybı azalacak, dolayısıyla motorun termik verimi artacaktır.

Ancak, bütün bu pozitif özelliklerine rağmen hidrojenin günümüzde taşıtlarda kullanılamamasının en önemli sebeplerinden biri, ekonomik anlamda mevcut yakıtlarla üretim ve depolama yönünden rekabet edememesidir. Üzerinden yoğun çalışmalar devam eden bu alanlarda elde edilen ilerlemeler yakın gelecekte hidrojenin taşıtlarda kullanılmasına olanak sağlayacaktır [5].

2.2. HİDROJENİN ÜRETİLMESİ

Hidrojen doğada saf halde bulunmaz. Bu nedenle çeşitli bileşiklerden ayrıştırılması gerekir. Bu anlamda temel olarak hidrojenin; mevcut fosil yakıtlardan, biyokütleden ve elektroliz yöntemiyle sudan üretimi üzerinde çalışılmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan yöntem, hafif hidrokarbonların özel olarak da doğal gazın reformasyonu yöntemidir. Enerji olarak elektrik bağımlısı olan elektroliz yöntemiyle hidrojen üretiminin, günümüzde maliyetli olsada yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişmesiyle, öneminin artması beklenmektedir. Hidrojen sayesinde, mevcut santrallerde ya da yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilecek fazla enerji depo edilecektir. Böylece depolanması daha zor ve verimsiz olan elektrik enerjisi, elektroliz yoluyla hidrojen biçiminde depo edilebilecektir. İstenildiği yer ve zamanda bu enerji, farklı enerji üretim metotları ile (yakıt pilleri, içten yanmalı motorlar, gaz türbinleri, buhar türbinleri vb.) tekrar açığa çıkarabilecektir. [2]

Hidrojen sentetik bir yakıt olup, üretim kaynakları son derece bol ve çeşitlidir. Bunlar arasında su, hava, kömür ve doğalgaz sayılabilir. Ancak, sayılan bu kaynaklardan kömür ve doğalgaz fosil yakıt olup, sınırlı rezerve sahiptir. Ayrıca fosil yakıtların giderek tükenmekte olması, hidrojen üretiminde geniş kaynaklara sahip suyun kullanımını daha avantajlı hale getirmektedir. Birincil enerji kaynakları yardımıyla üretilen hidrojen, günümüzde suni gübreden, nebati yağlara ve roket yakıtlarına kadar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır ve bunun için dünyada her yıl 600 milyar metreküp hidrojen üretildiği tahmin edilmektedir. Hidrojen üretimi için çok eskiden beri bilinen bir yöntem suyun (H_2O) içindeki hidrojeni ayırmaktır. Fakat hidrojen elde etmek için başka yöntemlerde mevcuttur. Bu yöntemler arasında, fosil yakıtlar, güneş, rüzgar, dalga enerjisi, jeotermal enerji, ve biokütle gibi enerji kaynakları bulunmaktadır.

2.2.1. Üretim Yöntemleri

Yeryüzünde elementsel hidrojen serbest halde çok az miktarda bulunur Bundan dolayı hidrojen zengin bileşiklerden üretmek, hidrojen ihtiyacını karşılamının tek yoludur. Hidrojen, hem çok değişik metotlarla hem de çok farklı materyallerden üretilmektedir. Hidrojen en yoğun olarak su, kömür, petrol ve doğalgazda bulunur ve üretim yöntemleri bunlar üzerinde yoğunlaşmıştır.

2.2.1.1. 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 sanayinde kimyasal hidrojenerasyon işlemleri sayılabilir.

2.2.1.2. Hidrojenin Elektroliz Yöntemi ile Üretimi

Suyun doğru akım kullanılarak hidrojen ve oksijenlerine ayrılması işlemidir. Hidrojen üretimi için en basit yöntem olarak bilinmektedir. Lise ve kolej derslerinden hatırlanacağı üzere elektroliz denilince; sodyum sülfatla (küçük bir miktar) çözünmüş bir suyun içerisine iki grafit elektrotla direk elektrik akımı verilerek gazların açığa çıkması anlaşılır. Moleküler olarak hidrojenin ve oksijenin ayrı ayrı elektrotlara çekildiği görülür. Doğru akım kaynağı 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 arttırıcı maddeler eklenir Elektrolit olarak seyreltik tuz çözeltisi kullanılabilir (H₂SO₄ ve KOH). Bu sayede elektrik direncini düşürmüş oluruz. Su dekompozisyonunun eşitliğini yazarsak;



Şekilinde olduğunu görürüz.

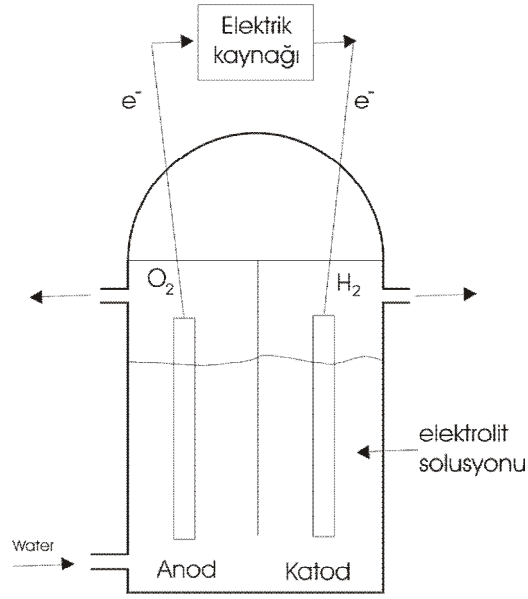
Suyun elektrolizi için, normal basınç ve sıcaklıkta, ideal olarak 1,23 volt yeterlidir. Tepkimenin yavaş olması ve başka nedenlerle, elektroliz işleminde daha yüksek gerilimlerde kullanılır. Hidrojen üretim hızı, gerçek akım şiddeti ile orantılı olduğundan, ekonomik nedenlerle yüksek akım yoğunlukları yeğlenmektedir. Bundan dolayı pratikte suyun ayrıştırılması için hücre başına uygulanan gerilim genelde 2 volt dolayındadır. Kurumsal olarak, her metreküp oksijen için 2,8 kilo watt saat elektrik enerjisi yeterli olmakla birlikte, yukarıda özetlenen nedenlerden pratikte kullanılan elektrik enerjisi miktarı bir metreküp hidrojen üretimi için 3,9-46 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 kaplı elektrotlar kullanılmaktadır.

Günümüzde hidrojen üretim metodları ise; 1) Alkaline su elektrolizi, 2) Solid polimer elektroliz ve 3)Yüksek sıcaklık, buhar reformasyonu olduğunu görürüz. 4) Diğer hidrojen üretim yöntemleri

Alkaline Su Elektrolizi; Çok geniş çapta kullanılan bir yöntemdir. Temel olarak öğrenci deneylerinde de sıklıkla rastlanır. Ticari olarak kullanılan hücrelerde %25-35'lik oranlarda KOH solüsyonuyla 80 °C'de işletilmektedir. .Reaksiyon aşağıdaki gibidir.

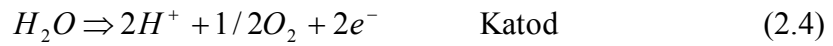


Burada, suyun elektrolizinden kullanılan elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık 50 kWh/kg'dır. Metanın buharlaştırılması metoduyla karşılaştırıldığında büyük ölçekte elektrolit ve elektrik masrafı gerektirmektedir.



Şekil 2.1. Su elektroliz hücresinin şematik görünümü

Solid Polimer Elektrolizi; Fiziksel elemanlar önemli değişiklikler yapılarak hidrojenin eldesi sağlanır. Bu karışımda KOH gibi korozif elektrolit ile elektrotlar arasında solid membran bulunmaktadır. Bu zar sayesinde elektron hareketlerinden etkilenmeden iyonize olabilmektedir. En çok kullanılan PEM'lere göre reaksiyon;



ve protonların mebrandan difüze olması ile,



Yüksek masraflı mebran ve yüksek yüklemeli platinyum katalizörlerden dolayı Solid polimer elektrolizler ticari amaçla kullanılamamaktadır.

Yüksek-Sıcaklık Buhar Reformasyonu İle; trium ve zirkonyum oksit gibi (Y_2O_3 , ZrO_3) seramiklerden 1000 °C'nin üzerinde sıcaklıklardan oluşan sistemlerde sıvı su yerine su buharı ile electroliz edilmektedir. [6]

2.2.1.3. Diğer Hidrojen Üretme Yöntemleri

Hidrojenin Isıl Kimyasal Yöntem İle Üretimi; Fosil veya nükleer yakıtlardan elde edilen birincil enerjilerin elektroliz yolu ile hidrojene dönüştürülmesinin verimi, ilk başlarda bu yakıtlardan elde dilecek elektrik enerjisinin verimine bağlıdır. Elektrik üretim verimi, modern fosil yakıt santralleri için %38 ve nükleer tesisler için %32 dolayındadır. Elektroliz hücresinin ticari olarak %80 verimde 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 sıcaklık gerekmektedir. Burada, tek basamakta termokimyasal işlem yerine, birkaç basamaklı işlemler şeklindedir.

Ayrıca Hidrojen üretiminde; fotokimyasal yöntem ile biokütleden üretim metotları mevcuttur. Geleceğin yakıtı olarak düşünülen hidrojenin özellikle araçlarda kullanımının hayata geçirilmesinde karşılaşılan depolama ve dağıtma problemlerinin önüne geçebilmek için, araç üzerinde hidrojen üretim yöntemleri konusunda çalışmalar sürdürülmektedir.

Yukarıda belirtildiği üzere günümüzde en çok kullanılan yöntem, hafif hidrocarbonların, özel olarak da doğalgazın reformasyonu yöntemidir. Ancak gelecekte fosil kaynakların, gerek rezerv gerekse çevre bilincinin etkisiyle alternatif arayışının neticesinde geleceğin yakıtı olarak belirlenen hidrojenin bu yöntemle üretimine de bir alternatif gerekmektedir. Günümüzde tek potansiyeli olan yöntem elektrolizdir. Enerji olarak elektrik bağımlısı olan elektroliz yönetimi ile hidrojen üretimi günümüzde maliyetli olsa da, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının

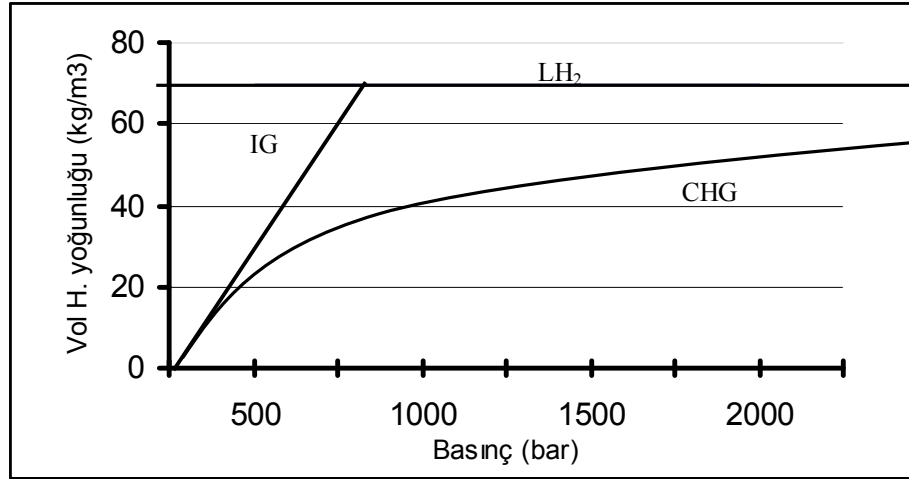
gelişmesi ile elektroliz yönteminin popülerlik kazanacağı aşikardır. Hidrojenin depolanabilmesi sayesinde, mevcut santrallerde veya yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilecek fazla enerjinin depolanmasında kullanılabilir. Böylece depolanması daha zor elektrik enerjisi depo edilmiş bu hidrojen elde edilebilir.

2.3. HİDROJENİN DEPOLANMASI

Yakıt pilleri yada hidrojen jeneratörleri, elektronların hareketi için bir kinetik enerji vermektedir fakat depolama görevini üstlenmemektedir. Bu potansiyel enerjiyi ihtiyaca göre depolamak gerekebilir. Mamafih normal koşullarda çok düşük yoğunluklu olan hidrojen ($0,0899 \text{ kg/m}^3$) kullanım amaçlarından ayrı olarak çok büyük hacimlere ihtiyaç duymaktadır. Karşılaştırmak gerekirse $11,1 \text{ m}^3$ hacme karşılık 1 kg ağırlığında hidrojen olduğunu görürüz. 1 kilogram hidrojenin 1 litre benzine eşit olduğunu düşünürsek, 15 litrelik bir benzin deposunun otomobillerde ihtiyaç duyacağı hidrojen yakıtı normal koşullarda 167 litreye denk gelmektedir. Bu taşıtlar için uygulanması mümkün olmayan bir durumdur. Hidrojenin saklanması uygun 3 metot mevcuttur. Sıkıştırılarak, sıvı fazda, ve metal hidritler ile yapılabildiği gibi günümüzde popüler bir yaklaşım olan Ülkemizin zengin maden kaynağı olan Bor ile de saklanması mümkündür.

2.3.1. Sıkıştırılmış Hidrojen Deposu Yöntemiyle Depolanması

Hidrojen CNG gibi sıkıştırılmış gaz olarak da saklanabilir, fakat oldukça yüksek basınçlı depo ister. Gaz halinde 50 litrelik çelik silindirlerde, yaklaşık 200 bar basınç uygulayarak saklanmaktadır. Bu basınç taşıtlarda kullanımı için biraz güvensiz kalmaktadır. Depolama silindirleri 4 parçadan oluşmakta ve her biri 3 kg hidrojen tedarik edebilmek için toplam 270 kg ağırlığa ulaşmaktadır. Bu da sadece küçük ölçekli bir kara taşıtını (otomobil) 400 km. yol götürebilmektedir.



Şekil 2.2. Hidrojen depolama yöntemlerinin basınçla olan ilişkisi

Şekilde; CHG: Sıkıştırılmış hidrojen gazı, LH₂: sıvı hidrojen (Soğutulmuş), IG: Ideal gaz [6]

2.3.2. Sıvı Hidrojen Yöntemi ile Depolama

Uzay programlarında roketlerde sıvı oksijen ile kullanıldığı bilinmektedir. Yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi sıvı hidrojenin yoğunluğu 70,8 kg/m³ (20 K'de). Sıvı hidrojen genel olarak çok kademeli işlemlerden geçirilip sıvı nitrojen ile ortam basıncından muhafaza ederek soğuk olarak sıkıştırılmasıyla üretilmektedir. Bu depolama çeşidinde boil-off problemleri vardır. Her ne kadar teorik olarak 3,2 kWh/kg enerji gerektirse de gerçekte 13 ile 14 kWh/kg ve böylece sıkıştırılmış hidrojen tankı için yaklaşık 53 kWh/kg (800 bar basınç altında) enerji, sıvı hidrojeni elde etmektir ise toplam 64 kWh/kg enerji gerekir. Depolama masraflarına rağmen uzay ve havacılık teknolojisinde kullanılmaktadır ayrıca bazı büyük otomobil kuruluşları da bu metodu kullanmaktadır.

Sıvı hidrojenin soğutulmuş depolarda saklanmaktadır. Hidrojenin kaynama noktası -253 °C olmasından dolayı depolanacak konteynerin çok iyi izole edilmesi gerekir. Seçilecek depo malzemesinin paslanmaz çelikten olması gerekir. İzolasyon teknolojisinin patlama riskine karşı yakıcı maddelerden koruyacak şekilde

tasarlanması gerekir. Yoğunluk viskozite ve difüzyon katsayısı gibi özellikleri nedeniyle hidrojenin herhangi bir sızıntı olma ihtimali doğalgaza göre 1,26-2,8 kat daha fazladır. Buharlaşma ısı, benzinden %28, motorinden ise %92 daha fazladır. [7]

2.3.3. Metal Hidritlerde

Hidrojen düşük sıcaklıklarda matrisler yapılarında gaz olarak saklanabilmektedir. Yoğunlukla metallerden magnezyum, nikel, titanyum, ve alüminyum kullanılmıştır. MgH_2 , $MgNiH_4$, $FeTiH_2$ ve LNi_5H_6 , olan metal hidritler sade hidrojene karşın yüksek hacimsel yoğunluğa sahiptirler. Buna karşın hidrit deposunun ağırlığının sadece %1 ila 8 i kadar hidrojen basınçlı hidrojen tüpüyle karşılaştırıldığında (%100 H_2 , 200 bar basınç) hacimsel atom yoğunluğunun 5-7 derece ($atoms/m^3$) fazla olduğu görülür.

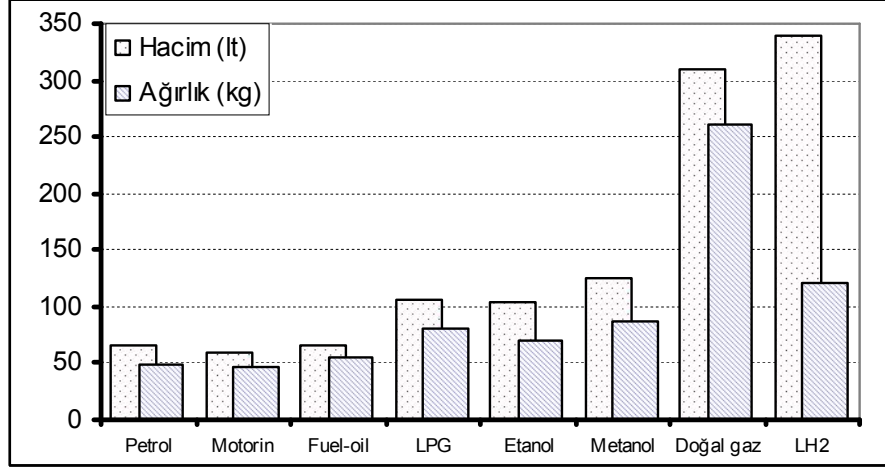
Bunların dışında, karbon matrislerde depolama ve bor ile depolama yöntemleri de ayrıca araştırılması sürdürülmektedir.[6]

Bor ile depolama yönteminde $NaBH_4$ 'ün teorik hidrojen içeriğinin yüksek (%10,9) olmasıdır. $NaBH_4$, diğer kimyasal hidritlere göre kararludur ve taşınması kolaydır. Oda sıcaklığında $NaBH_4$ ün H_2O ile hidroliz reaksiyonu sonucu çok az miktarda H_2 açığa çıkarken hidrolizin arttırılması için katalizör kullanması gerekir. [8]

Çizelge 2.3. Hidrojenin depolanmasının petrol ile karşılaştırılması [10]

Fuel / storage system	Yakıt Miktarı / kg	Depolama tankı hacim / litre	Depolama tankı ağırlık / kg
Petrol	25	36,2	42
Sıvı hidrojen	9,5	136	64,5
$FeTiH_2$ (Hidrid)	8,5	99	860

Aşağıda taşıtlarda kullanılan diğer alternatif yakıtların depolama sistemleri ağırlık ve hacim ilişkisi yönünden şekillendirilmiştir.



Şekil 2.3. Taşıtlarda yakıt depolamanın ağırlık ve hacim ilişkisi (Şekildeki eşitlikler 55 litrelik benzin ölçüsüne dayandırılarak ölçeklendirilmiştir)

Yukarıda görüldüğü gibi benzin ve dizel yakıtlara oranla diğer yakıtların depolanabilirliği konusunda dezavantajlar vardır. Bunlardan doğalgaz (CNG) depolama basıncı 165 bar gerektirir ve genellikle daha yüksektir (20 MPa veya 200 bar). Kriyojenik tanklarda, 124 kg sıvı hidrojenin saklanması için 350 litre depo gerekir.

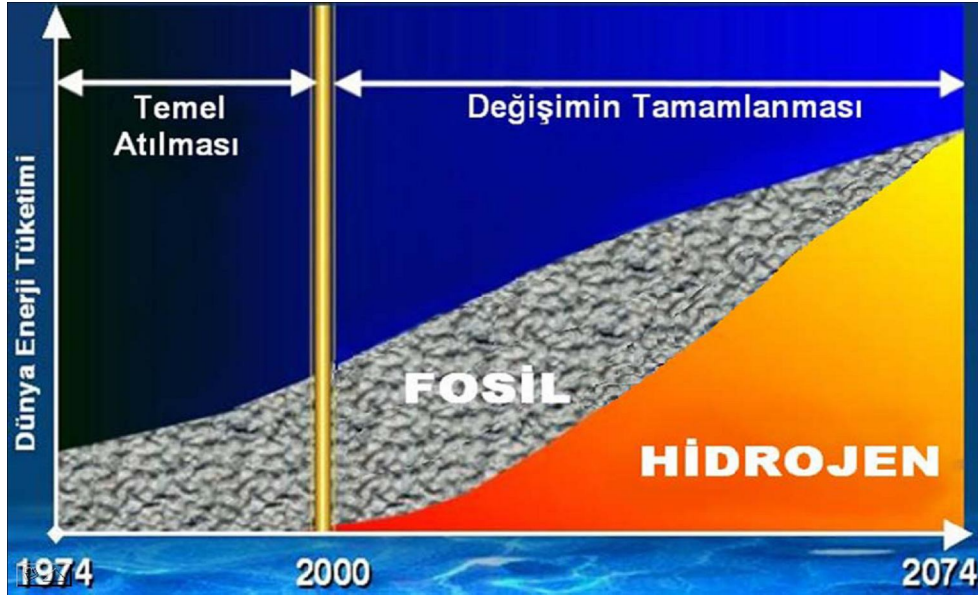
2.4. ALTERNATİF YAKIT ARAYIŞLARI VE HİDROJEN

İçten yanmalı motorlar, Otto ve Diesel'in icadından günümüze taşımacılığın vazgeçilmez unsuru haline gelmiştir. Fakat petrol rezervlerindeki kaçınılmaz tükeniş ve egzoz emisyonlarının sebep olduğu hava kirliliği motorlu taşıtlar için alternatif enerji kaynağı arayışlarını öncelikli hedef haline getirmiştir.

Hidrojen oldukça ilgi çekici bir gazdır. Hidrojen, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan, güneş enerjisi ve nükleer enerjiden, su gibi sonsuz bir kaynaktan

elde edilebilir. Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasında, yanma ürünü olarak su buharı açığa çıkarması nedeni ile çevreye hiç zararı yoktur. Sınırsız kaynaklara sahip olan ve havayı kirletmesi açısından içten yanmalı motorlarda kullanılan diğer alternatif yakıtlara göre daha iyi durumda olan hidrojenin, içten yanmalı motorlarda kullanımı çalışmalarına 1900'lü yıllarda başladığı ve 1970'li yıllarda çalışmaların yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Çizelge 2.1 de hidrojen araştırmaları kronolojik olarak belirtilmiştir.

Ülkemizde değişik sektörlerde tüketilen enerjinin %51'i petrolden ve doğalgazdan sağlanmakta olup bu enerjinin %90'ı ithal edilmektedir. Önemli bir ihracaat açığının bulunduğu ve petrolün ithalat değerinin toplam ihracat değerine yakın olduğu dikkate alınırsa enerji problemimizin boyutu daha iyi anlaşılır. Enerji problemini çözmek için fosil enerji kaynaklarına alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik edecek önlemler alınmalı, bu konuda gerekli teknolojik geliştirmeleri yerine getirmelidir. [9] Bunun için hidrojen geleceğin enerji ihtiyacını karşılaması beklenmektedir (Şekil 2.1)



Şekil 2.4 Fosil kaynaklı enerjilerden hidrojen enerjisine geçiş grafiği [11]

Enerji ve çevre örgütlerinin bulgularına göre devletlerin ve kurumların mümkün olduğu kadar çabuk enerji geçiş planları yapmaları konusunda uyarılmaktadır.

- 1- Fosil yakıtların yerini alacağından mümkün olduğu kadar yakıt maliyetlerinin teknolojik ilerlemeye paralel olarak düşürülmesi ve altyapı oluşturulması gerekir.
- 2- Global enerji kaynağı olarak konumunu çok uzun süre sürdürecektir. yöresel ekonomilere de katkıda bulunup ekonomik eşitsizliğe engel olacaktır. Geleneksel yakıt dağıtımında başı çeken Amerika, haftalık ekonomik bütçesinden 1 trilyon dolar harcamaktadır.
- 3- Özgül enerjisi bakımından en üstün yakıttır
- 4- Birincil üretim kaynağı sınırsız derecede su ve carbon içerikli kaynakları kullanmaya gerek kalmaz.
- 5- Yenilenebilir enerji kaynağıdır.
- 6- Greenhouse gaz emisyonları tersine döndürerek çevresel bir faktör temiz havalı metropol vaatmektedir.
- 7- Yeni endüstri anlayışıyla ekonominin gelişmesine ancak 2 nesil sonra katkıda bulunacak olması kaçınılmazdır.

Herhangi bir alternatif yakıtın günümüz petrol türevi yakıtların yerini alabilmesi için sahip olması gereken bazı özellikler aşağıdaki gibidir.

- Motorlu taşıtın performans ve emisyonları petrol türevi kullanan motorlu taşıttan daha iyi ya da eşit olmalıdır.

-Uzun ömürlü olmalı ve petrol türevi yakıt kullanan motorlu taşıtlardan fazla bakım gerektirmemelidir.

- Alternatif yakıtı kullanacak motorlu yakıtın maliyeti petrol türevi yakıtın ve bu yakıtı kullanan motorlu taşıt'ın maliyeti ile kıyaslanabilir olmalıdır.

2.4.1. Alternatif Yakıt Olarak Hidrojen

Alternatif yakıt olarak hidrojen düşünüldüğünde, hem emisyon gereksinimini karşılayan hem de fosil yakıtlara bağıllığı ortadan kaldıracak bir yakıtın olan

hidrojen adeta yeniden keşfedilmiştir. Çünkü 20 yy'ın başlarına kadar, içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılması belki bugünkünden çok tartışılan hidrojen, gerek günün teknolojisinin üretim ve depolama yönünden güçlükler doğurması, gerekse Hindenburg zeplin kazasının, hidrojen kullanımının güvensiz olduğu yönünde yargı oluşması nedeniyle gündemden çıkmıştı.

Termal özellikleri açısından hidrojen ulaşımda yakıt olarak kullanılması umut vaatmektedir. Yakıt enerjisi verileri aşağıdaki tablodaki gibidir. Kullanılan ulaşım yakıtlarından benzin ve doğalgaza göre karşılaştırılma yapıldığında potansiyel bir gücünün olduğunu görürüz. Başlıca termal avantajı diğer yakıtlara oranla özgül enerjisinin hemen hemen 3 kat fazla olduğu ve patlama gücü verdiği anlaşılır. Buna rağmen en büyük dezavantajı dünyadaki en hafif gaz olmasıdır ki buda atmosferik basınçta volumetrik veriminin diğer yakıtlara oranla 3,5 kez daha düşüktür. Bu durumda yakıt tanklarının yaklaşık 350 bar basınçta tutulduğunu ve bununla doldurulan yakıtın ne kadar yol gideceği düşünülmelidir.

Hidrojenin alev hızı da oldukça yüksektir. Bu değer stokiometrik benzin-hava karışımı alev hızının yaklaşık 4 katı kadardır. Alev hızının yüksek olması Otto motorlarında ideale yakın bir yanmanın oluşmasını sağlayarak ısı verimi arttırabilmektedir. [6]

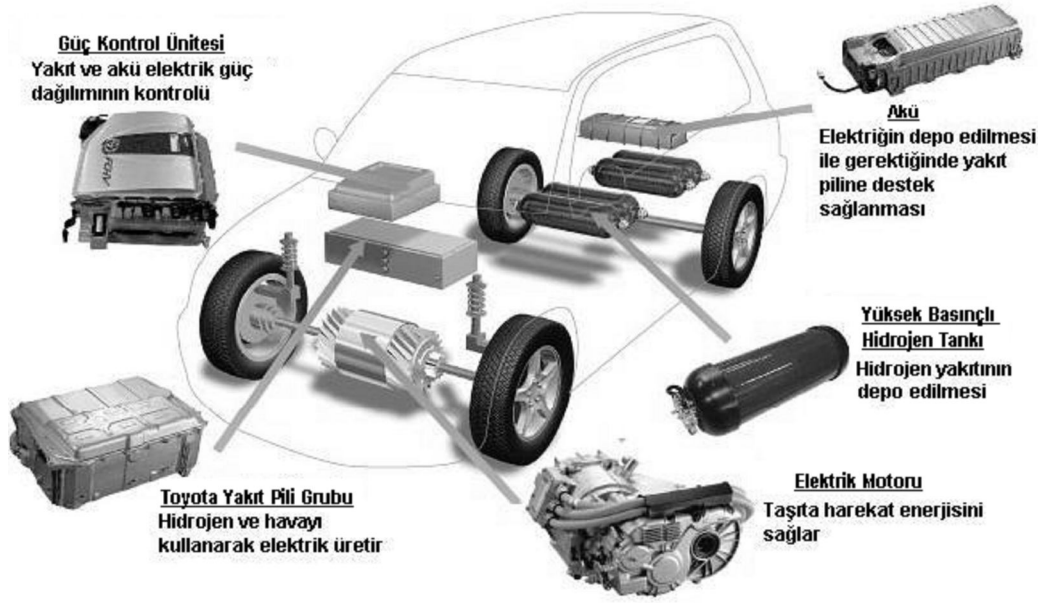
Hidrojenin yüksek sıkıştırma oranlarında, fakir karışımlarda yanabilmesi yakıt tüketimini azalttığı gibi yanma sonucu oluşan maksimum sıcaklığı da azaltır. Yanma sonucu partikül madde kalmadığı için bujiler kirlenmez. Alev parlaklığının düşük olması, diğer karbon esaslı yakıtlara göre radyasyon yolu ile ısı kaybını azalttığından daha yüksek verim sağlamaktadır.

Bilinen en hafifi element olan hidrojen renksiz, kokusuz ve normal şartlarda gaz fazdadır. Atmosfer basıncında ancak -253 °C altındaki sıcaklıkta sıvı faza geçer, çok düşük yoğunluğa sahip bir gaz olması nedeni ile geniş bir hacim kaplar. Hidrojenin genel özellikleri çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Hidrojen yakıt olarak ele alındığında ise, kütleli olarak ısı değeri rakipsizdir. Bu değeri benzinin yaklaşık 3 katıdır. Hidrojenin en yüksek yanma sıcaklığı olan 2318 °C'ye %29 hacimsel hidrojen/hava karışım oranlarında ulaşılır. Şayet oksitleyici olarak hava yerine oksijen kullanılırsa bu değeri, 3000 °C ye çıkar. Hidrojen-hava karışımı gaz yakıtlara göre de daha geniş tutuşma sınırlarına sahiptir. Örneğin, metan-hava karışımının tutuşabilmesi için hava fazlalık katsayısının 0.6-1,9 değerleri arasında bulunması gerekmektedir. [12]

2.4.2 Yakıt Pili Motor Teknolojisi

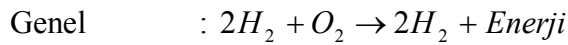
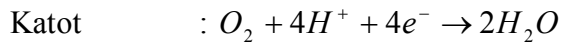
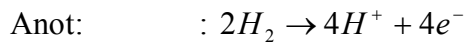
Yakıt pili taşıtlar da diyebileceğimiz yakıt pili motor teknolojisi, hidrojenin ya da reforme edilerek hidrokarbon yakıtlarının kullanıldığı, yakıt pili sistemleriyle üretilen ve DC'den AC'ye dönüşümü gerçekleştirilen elektrik akımı kullanılarak, AC elektrik motorları ile aracın tahriki prensibine dayanır. Yani klasik araç teknolojisinde izlenen yanma kimyasal enerjisi-mekanik enerji dönüşümü ve böylelikle aracın tahrik edilmesi yerine, elektro-kimyasal dönüşümüyle aracın tahriki temin edilmektedir. Böylece çok yüksek sıcaklık ve basınçlarda, çok yüksek gürültü seviyelerinde gerçekleştirilen, oldukça fazla, kompleks parçaların oluşturduğu, büyük atalet kuvvetlerinin ve titreşimlerin meydana geldiği bir mekanizma ortadan kalkmış olmaktadır. Şekil 2.5'de Toyota tarafından üretilen yakıt pili ile çalışan araç görülmektedir.



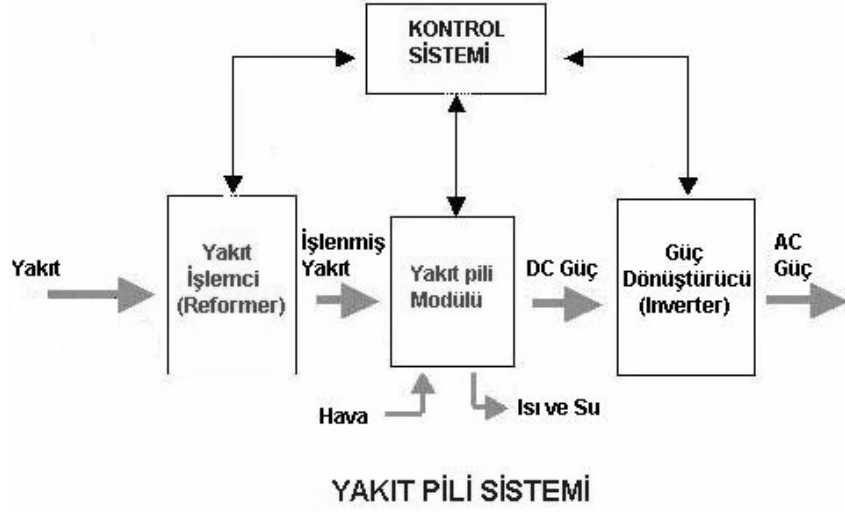
Şekil 2.5. Şematik yakıt pilli taşıt sistemi (TOYOTA)

Yakıt pilinden çıkan yan ürün sadece su ve ısıdır (hidrojen kullanılması durumunda). Bu sistemi, pilden ayıran en önemli fark ise, güç üretimi için şarja gereksinim olmaması ve yakıt sağlandıkça güç üretiminin devam ediyor olmasıdır.

Yakıt pilinde gerçekleşen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir;



Genel olarak yakıt pilli sistemleri Şekil 2.6'da şematik olarak gösterilen yakıt pili sisteminin çalışma sisteminde olduğu gibi 4 ünitelerden oluşmaktadır. Bunlar; yakıt işleme ünitesi, güç üretim sistemi (yakıt pili grubu – modül), güç dönüştürücü (inverter), kontrol sistemi şeklindedir.



Şekil 2.6. Yakıt ili sistemi şematik gösterimi [2]

2.5. MOTORLU TAŞITLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ:

Model olarak seçilen üç büyük şehirde (Meksika, Los Angeles, Tokyo) yapılan çalışmalarda jeografik alan, araç sayısı ve yoğunluğu, trafik yoğunluğu olarak kapsamlı incelemeler yapılmış ve taşıtların buldukları çevreye olan zararlarının data verileri çıkartılmıştır. Sonuç olarak daha küçük alanda, daha fazla araç ve trafik yoğunluğuyla bilinen Tokyo en çevreci bir motropol modeli olduğu ve taşıtlarda emisyon sorunlarına çözüm bulunması gerektiğini göstermiştir. [6]

Alternatif yakıtları kullanmaları durumunda çevreye bıraktıkları egzoz gaz emisyonları tablo 2.4'te verilmiştir. Bu tabloya göre hidrojen çevreye en az zarar veren gazdır. Bu özelliği dolayısıyla motorlu taşıtlarda hidrojenin kullanılması en uygundur.

Çizelge 2.4. Alternatif yakıtların emisyon kirliliklerinin karşılaştırılması [10]

Yakıt	Egzos Emisyonları					
	CO	NO _x	THC	NMHC	Aldehit formu	Aset Aldehit
Petrol	baseline	baeline	baseline	baseline	baseline	baseline
Motorin	düşük	yüksek	=/düşük	düşük		
Benzin	düşük	=	düşük	düşük		
Metanol	=	±	lower	düşük	yüksek	=
M85	=/düşük	=/düşük	düşük	düşük	yüksek	=
Etanol	=	±	düşük	düşük	=	higher
Doğal Gaz	düşük	±	=/yüksek	düşük	düşük	
LPG	lower	±	düşük	düşük		
Hidrojen	düşük	=/düşük	düşük	düşük	yok	yok

THC: Toplam hidrokarbonlar, NMHC: Metan içermeyen hidrokarbonlar, =: Eşit, ±: değişik çoklukta sonuçlar (zayıf yanma veya stokiometrik olma durumlarına bağlı olarak)

Tablodan anlaşılacağı üzere hidrojen temizliği ile en cazibeli gazdır. Çok düşük emisyonları nazaran sıklıkla NO_x yaptığı bilinmektedir.

2.6. HİDROJENİN MOTORLARDA KULLANIMI

Özellikle içten yanmalı motorlar için büyük önem taşıyan yakıtların bazı özelliklere sahip olması istenir. Bu özellikler idealize edilecek olursa şöyle sıralanabilir:

- Kolaylıkla ve güvenli olarak her yere taşınabilmeli
- Her yerde (sanayide, evlerde, taşıtlarda) kullanılabilmesi, depolanabilmesi
- Birim kütle başına yüksek ısıl değerde, temiz, güvenli, hafif olmalı
- Isı, elektrik ve mekanik enerjiye kolaylıkla dönüşebilmeli
- Yüksek verimle enerji üretilebilmesi ve ekonomik olması

İdeal şartlarda yukarıdaki özellikler isteriz. Gerçekte bu özelliklerin tamamına sahip bir yakıt yoktur. Fakat denilebilirki hidrojen bu kategoriye en uygun olan yakıttır. [2]

Termal özellikleri açısından hidrojen motorları petrol kökenli yakıtlara karşı en az 15 derece daha verimlidir. oktan sayısının 106 dan yüksek olması, yüksek sıkıştırma oranlarına izin vermesine rağmen çok geniş yanma aralıklarında yandığından erken ateşlemeye sebebiyet vermektedir. Hidrojenin silindirlere verdiği indike güç kullanım durumlarına göre petrolden yüksekte olabilir düşükte olabilir. Harici karışım koşullarında %50 dereceye varan düşüşler gözlenebilir. Dahili karıştırma koşullarında, kriyojenik hidrojen kullanılması durumlarda dış güç %15-20 dolaylarında artacaktır. [10]

Konvansiyonel benzinli ve dizel motorlar hidrojen motorlarına dönüştürmek için uygundur. Dual-yakıtlı sistem olarak önceleri Daimler-Benz araştırmalar yapmış ve değişik karışım oranlarında denemeler yapmıştır. Bir çok araştırmacı tek hidrojeni yakıt olarak kullanarak çalışmalarını yapmıştır.

Kesinleşmiş ve memnun edici bir operasyon olan yöntem; manifolda enjekte ederek ve genellikle çoklu noktalardan tercih edilmektedir. Mekanik hidrolik,

elektromekanik enjektörler kullanılabilir. Yüksek hacimde hidrojen gazını (sıvı hale göre) gönderdiğimiz zaman çoklu yöntem kullanmak gerekir. Krayojenik veya yüksek basınçlı yakıt durumuna göre enjektörlerin modifiye edilmesi gerekir. Örneğin sıvı yakıt kullanılıyorsa sıcaklık farkından dolayı buharlaşmanın önüne geçilmelidir.

Gerek hidrit olsun gerekse sıvı, her iki depolama petrol yakıtlarına oranla çok kısıtlıdır.

2.6.1. Emniyet Sorunları:

Hidrojen diğer yanıcı sıvı ve gazlara oranla daha tehlikeli olabileceği göz önünde tutulmalıdır. 1930'lu yıllarda, zamanın teknolojisine göre bez torbalarda gaz halinde saklanmakta olan hidrojenin neden olduğu Hindenberg faciası bu düşüncenin temelini oluşturmuştur. Ancak son yıllarda, özellikle uzay projeleri kapsamında, gaz ve sıvı yakıtların özelliklerine ilişkin yürütülmekte olan yoğun araştırma çalışmaları bazı mevcut sorunlara çözüm getirmiştir. Günümüz teknolojisinde, depolanması mümkündür. Kriyojenik tanklarda, 200 kPa basınçta depolanan hidrojenin emniyet sorunları da oldukça azalmıştır.

Sıvı haldeki hidrojenin, hasara uğrayan yakıt deposundan diğer yakıtlarda olduğu gibi sıvı halde çevreye yayılması söz konusu değildir. Bu durumda hidrojen derhal buharlaşmakta ve havadan çok daha hafif olduğundan atmosferde yükselerek yanıcı bir karışım oluşturma olasılığı azalmaktadır. Diğer taraftan, motorlarda yaygın olarak kullanılan benzin, depoda bir hasar olduğunda sıvı halde çevreye yayılarak daha fazla tehlike oluşturmaktadır. Havadan daha ağır olan LPG vb yakıtlar zemine çökerek tehlike yaratmamaktadır:

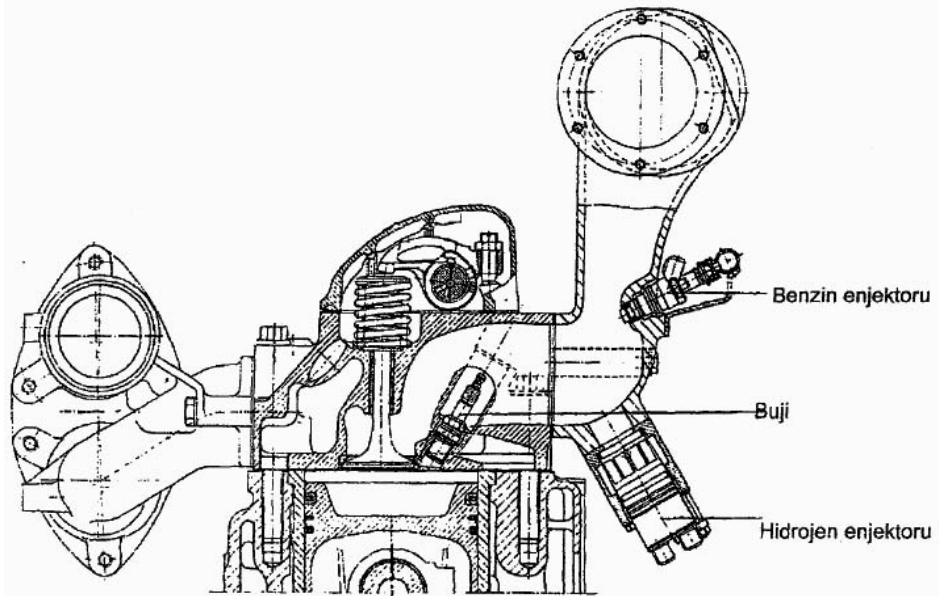
Hidrojenin kaza ile yanması durumunda çevreye olan ısı radyasyon miktarı, yayılan duman ve zehirli gazlar diğer yakıtlara göre daha azdır. Ancak kriyojenik hidrojen depolarının ani olarak hasara uğraması halinde ortam sıcaklığı aşırı düşük değerlere ulaşmaktadır. Diğer taraftan hidrojen alevinin renksiz olması da tehlike

durumunda algılanmasını güçleştirmektedir. Hidrojen – hava karışımlarının geniş tutuşma sınırlarına sahip olması ve kolay tutuşabilmesi emniyet sorunları yaratmaktadır.

Hidrojenin motorlarda “dahili karışım” veya harici karışım” metodu olarak incelenebilir.

2.6.2. Harici Karışım Metodu

Harici karışım hazırlama yönteminde, bir gaz karıştırıcı yardımıyla, hava ile hidrojen karıştırılarak düşük basınçlarda motorun emme manifolduna sürekli olarak veya kesikli olarak gönderilmektedir. Hidrojen-hava karışımlarının geniş tutuşma özelliğinden yararlanılarak, Diesel ilkesi ile çalışan motorlarda olduğu gibi, yüke bağlı olarak karışımın ayarı yapılabilmektedir. Bu durumda gaz kelebeği kullanılmayacağından, kısılma kayıpları azalacak ve motorun volumetrik veriminde ve dolayısı ile maksimum gücünde artış sağlanabilmektedir.



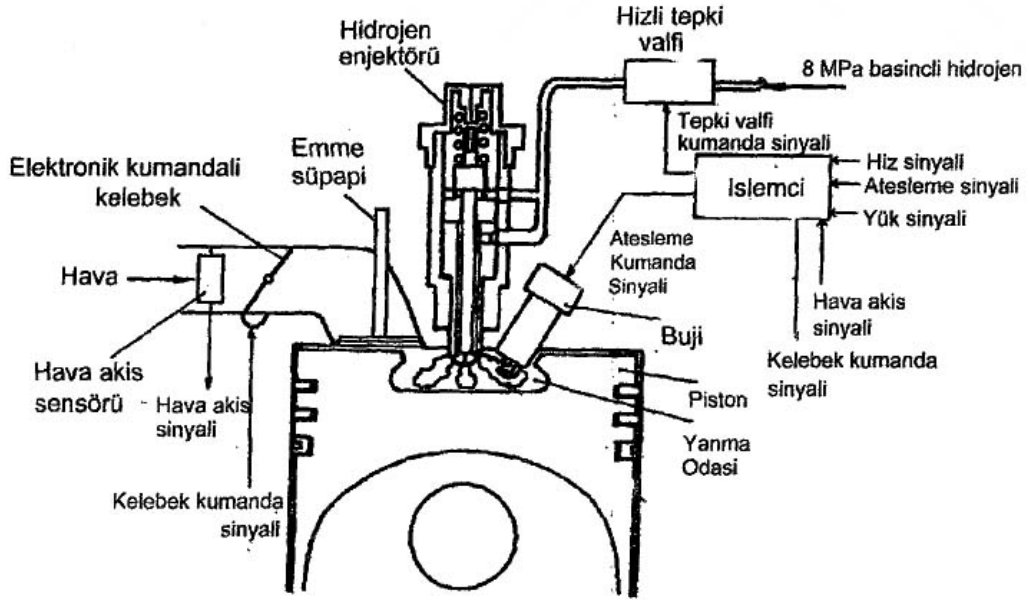
Şekil 2.7. – Harici Karışım teşkili bir motorun kesiti (MAN AG)

Diğer taraftan hidrojen yakıtlı motorların ilk uygulamalarından itibaren ortaya çıkmış olan geri tutuşma ve erken tutuşma sorunları bu yöntemde görülmektedir. Geri-tutuşma, yanma odasına gönderilmekte olan karışımın emme tamamlanmadan çeşitli etkenlerle tutuşması sonucu motorun emme manifoldunda alevin geriye doğru iletilmesidir. Bu olay emme sistemi elemanlarına zarar verebileceği gibi emniyet açısından da sakıncalıdır.

Geri tutuşma sorunun önlenmesi, emme manifoldunda tutuşmaya hazır karışımın bulundurulması veya bulunan sürenin kısaltılması ile sağlanabilmektedir. Bunun için de ya karışım dahili olarak hazırlanmalı, ya da geri-tutuşma olasılığını azaltmak için yakıt gönderme işlemi zamanlamalı olarak yapılmalı ve emme manifoldu yeterince soğutulmalıdır.

2.6.3. Dahili Karışım Hazırlama Metodu

Hidrojen emme zamanında veya sıkıştırma zamanında direkt olarak yanma odasına gönderilmesi ile geri-tutuşma ve erken tutuşma sorunlarına çözüm getirebilmektedir. Karışımın geç hazırlanması emme kanalında tutuşabilecek yakıt-hava karışımının mevcudiyetini kısıtladığı için geri-tutuşma olayını da önlemektedir. Yakıt gönderme işlemi, emme subabı kapandıktan sonra, yanma odası içerisinde yapıldığında emme manifoldunda yakıtın tutuşması sorunu ortadan kalkacaktır. Yakıt püskürtme zamanı ayarlanarak sıkıştırma zamanının sonlarına doğru hidrojen silindirlerine gönderildiğinde ise erken tutuşma sorununa da çözüm sağlanmaktadır. Ancak püskürtme işlemi geciktirilerek, emme zamanında sıkıştırma başlangıcına kaydırıldığında püskürtme basıncının da yükseltilmesi gerekmektedir. Püskürtme işlemi, yanma odası basıncının daha da yüksek olduğu sıkıştırma sonuna kaydırıldığında ise daha da yüksek püskürtme basıncı gerekecektir. Yanma odasına sıvı halde hidrojen püskürtülmesi durumunda, püskürtme işlemi açısından bazı kısıtlamalar ortaya çıkmakta ve püskürtme pompalarının yağlama sorunları gibi araştırmaya açık noktalar bulunmaktadır.



Şekil 2.8 – Bir motorda karışımın oluşumunun şematik olarak gösterilmesi

Dahili Karışım hazırlama yöntemlerinin avantajlarından yararlanabilmek için sıvı halde hidrojen kullanılmaktadır. Bu durumda yaklaşık 10 Mpa basınçla yakıt her silindire ayrı ayrı püskürtülmektedir.

Verim açısından değerlendirildiğinde, gaz halde hidrojenin kullanımı sonucu, eşdeğer benzin motoruna oranla motorun maksimum gücünde bir miktar azalma olmaktadır. Benzin motorlarında, stokiometrik karışımlarda tam buharlaşmamış benzinin yanma odası içerisindeki hacimsel oranı %1,7 mertebesindedir. Buna karşılık gaz hidrojen silindir hacminin yaklaşık %30 kadarını kaplamaktadır. Karışımların ısı değerlerine bakıldığında, hidrojen yakıtlı motorda %15 mertebesinde güç düşüşü görülecektir. Sıvı halde hidrojenin aynı şartlar altında, ancak emme subabı kapandıktan sonra yanma odası içinde püskürtülmesi durumunda benzin motoruna oranla %20, ön karışimli hidrojen motoruna oranla da %40 mertebesinde varan güç artışı sağlanabilecektir.

2.6.4. Çift Yakıtlı Motorlar:

Benzin motorlarında karışımın fakirleştirilmesi özgül yakıt tüketiminin azaltılmasını sağlamaktadır. Ayrıca fakir karışımlı motorlarda CO ve HC emisyonları da azalmaktadır. Ancak karışımın aşırı fakirleştirilmesi ile birlikte tutuşma sorunları çıkmakta, yanma süresi uzamakta, ısı kayıpları artmakta, yanma olayı genişleme zamanına doğru kaymakta ve çevrimden-çevrime farklılıklar büyümektedir. Bu nedenle yanma olayını olumsuz olarak etkilemeden karışımın fakirleştirilmesi önem taşımaktadır. Yanma odası ve emme manifoldu tasarımı ile ilgili olarak alınacak önlemler sonucunda gaz hareketlerinin ve türbülans şiddetinin belirli ölçüde artırılması, geliştirilmiş ateşleme sistemlerinin kullanımı ile güvenli tutuşma sağlanması ve kademeli dolgulu motor uygulamaları vb yaklaşımlarda bu sorunlara çözüm getirebilmektedir. Diğer bir yaklaşım ise stokiometrik oranlardan daha fakir benzin-hava karışımları içerisinde belirli oranlarda hidrojen katılmasıdır.

Çift yakıtlı hidrojen-benzin motorları, fakir karışım oranlarında çalıştırıldığında hem fakir karışımın avantajlarından yararlanmakta, hem de hidrojenin kolay tutuşma özelliğinden yararlanarak ortaya çıkacak sorunları önlemektir. Silindire gönderilen toplam yakıt kütlelerinin %20'sine ulaşan oranlarda hidrojen kullanımı pratikte amaçlanan sonuçları sağlamaktadır.

Benzin motorlarına karışıma hidrojen eklenmesi ayrıca egzoz gazları emisyonu açısından da yarar sağlamaktadır. Fakir karışımlarda yanmanın iyileşmesi, hidrojen-benzin oranına bağlı olarak karbon monoksit (CO) ve yanmamış (HC) emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. [1]

Araştırmacılar diğer bir karışım metodu üzerinde de çalışmaktadırlar. Bu yöntemde dahili karışım metodu gibi ve silindirlere ayrı ayrı verilen hidrojen ve hava karışımı şeklindedir. 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. [13]

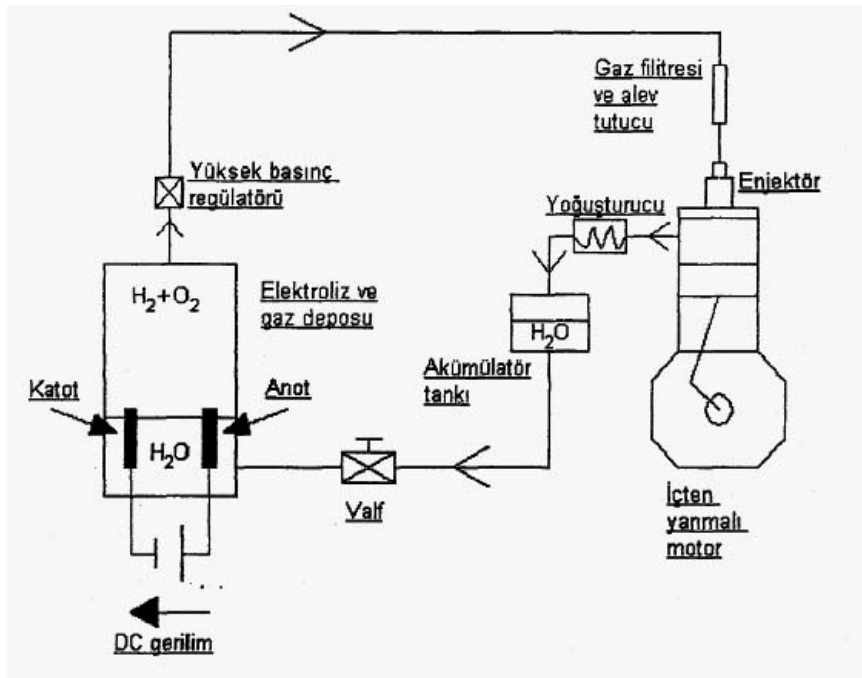
Hidrojen diğer yakıtlarla karşılaştırıldığında en yüksek enerji içeriğine sahiptir. Üst ısıl değeri 140,9 MJ/kg, alt ısıl değeri 120 MJ/kg ile 1 kg hidrojen 2,1 kg doğal gaz veya 2.8 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir. Ancak birim enerji hacmi yüksektir. Bu durumda hidrojenin petrol yakıtlarına oranla ortalama 1,33 kat daha verimli olduğu söylenebilir.

Halen denenmekte olan hidrojen otomobillerinde sıvı hidrojen tankı, sıvı hidrojen pompası, ısı eşanjörü ve enjektör gibi elemanlar bulunmaktadır. Bunlarda sıvı hidrojen takımının soğutulması, sıvı hidrojen takımının çalıştırılması için fazladan enerji harcanmaktadır ve maliyetleri konvansiyonel araçlara oranla oldukça yüksektir.

Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olmasına rağmen, hidrojen-hava karışımların tutuşturulabilmesi için gerekli enerji miktarı düşüktür. Tutuşma aralığının geniş olması, hidrojenin daha geniş karışım aralığında düzgün yanmasını sağlar ve yanma sonucunda daha az kirletici oluşur. Benzin motorları ise stokiometrik orana daha yakın oranlarda ya da zengin karışım oranlarında çalıştırılmak zorunda olduklarından egzoz gazlarında önemli miktarda azot oksit (NO_x), karbon monoksit ve yanmamış hidrokarbonlar oluşur. Hidrojen motorları, maksimum yanma sıcaklığını azaltacak biçimde fakir karışımlarda çalıştırılması uygundur. Böylece daha az NO_x oluşurken, HC ve CO emisyonları oluşmaz. Alev hızının yüksek olması ise Otto motorlarında ideale yakın bir yanmanın oluşmasını sağlayarak, ısıl verimini artırır. Geniş tutuşma aralığı sayesinde gaz keleşine gerek kalmadan, karışımın silindirlere kısılmadan gönderilmesi sonucu pompalama kayıpları azaltılmış olur. Hidrojenin yüksek sıkıştırma oranlarında, fakir karışım ile yanabilmesi yakıt tüketimini azalttığı gibi, yanma sonucu oluşan maksimum sıcaklığı da azaltır. Yanma sonucu partikül madde oluşmadığından bujiler kirlenmez. Alev parlaklığının düşük olması, diğer karbon esaslı yakıtlara göre radyasyon yolu ile olan ısı kaybını azaltacağından daha yüksek verim sağlar.

Hidrojen alev hızının yüksek olması, buji kıvılcımından sonra detenasyon ihtimalini azaltır. Bu durum sıkıştırma oranının artırılmasını sağlayacağından motorun gücü de artar. [14]

Benzin motoruna hidrojen takviyesi ile yanmamış hidrokarbon emisyonları azalarak ısı verim iyileştirilir. 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 ısı verim artırılarak, azot oksit emisyonları önemli derecede azaltılır. Yanma ürünü su buharı olan hidrojenin maksimum sıcaklıktaki NO_x emisyonları ihmal edilebilir. Nitekim NO_x emisyonları günümüz taşıtlarından çok daha azdır. Şekil 2.9'da taşıtlarda kullanılabilir "0" emisyon sistemi görülmektedir. Bu sistem araç üzerinden aldığı elektrik sayesinde suyu elektroliz ederek motorda yakılmasıyla oluşan suyu bir yoğuşturucudan geçirerek tekrar yakıt olarak kullanan bir çalışma sistemidir. [13]



Şekil 2.9. Sıfır emisyonlu motor sistemi şeması [13]

Wankel Rotor ele alındığında, hidrojen ve Wankel'in birbirine çok uyumlu olduğu görülmektedir. Wankel rotorlarının döndüğü odası içerisinde, hareketli bir yanma hacmi meydana gelmekte ve diğer motorlara oranla daha fazla olan yüzey alanı, ortaya çıkan ısıyı dağıtmaktadır. Hiçbir bölgesinin daha fazla sıcak olmaması veya sıcak noktalar oluşmaması nedeniyle motor, hidrojen kullanımına uygundur. Wankel'in emme, kompresyon, genişleme ve egzoz bölgelerinin birbirinden farklı olması sonucunda hidrojenin hızlı hareket eden alevine hiçbir problem oluşturmamaktadır. Benzinle çalışan bir motorun λ değerini 1,3 oranının üzerine çıkartabilmek çok güçtür. Hidrojenle çalışan bir motor ise [$\lambda = 3,0$] ve üzerini kabul edebilirken tüm emisyon sorunları ortadan kalkmaktadır.

2.7 HİDROJEN MOTORLARI ÜZERİNE YAPILMIŞ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARI

Hidrojen Zenginleştirme düşüncesi ilk olarak Amerika'da, Jet Tahrik Laboratuvarından Bresheas tarafından NO_x emisyonlarını azaltmak için motorun fakir karışımında çalışabilmesini sağlamak amacıyla ortaya atılmıştır. Çalışmada, NO_x konsantrasyonunun yakıt fakirleştikçe azaldığını ve yakıtın içine hidrojen katılmasıyla karışımın fakir çalışma sınırının genişletildiğini ve motorun termik veriminin %25-50 arası değişen oranlarda arttığı sonucuna varmışlardır. Bundan sonra bu konuda daha kompleks birçok çalışma yapılmıştır. [15]

Petkov ve Barzev, 1987 yılında enerji-ekoloji ilişkisi ile ilgili olarak içten yanmalı motorlarda hidrojen ilave teknikleri konusunda çeşitli çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarını sonucunda; benzin ve havanın fizikokimyasal özelliklerine göre optimum hidrojen besleme sistemi dizaynının kaçınılmaz olduğu sonucuna varmışlardır. Matematiksel çalışmalarında hidrojen ilavesi teknikleri için gereksinim duyulan temel noktalar bulunmaktadır. Yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda; HC, CO ve aldehitler gibi kirleticilerin hidrojen ilavesi ile azaldığını, fakat azot oksit seviyesinin arttığını tespit etmişlerdir. Bunun muhtemel sebebi olarakta, daha iyi yanma sağlamak için oluşturulan karışım şartlarının olduğu öne

sürülmüştür. Ateşleme zamanı ve yakıt enjeksiyon zamanının değiştirilmesi ve optimum su beslenmesi ile NO_x seviyesinde değişim gözlenmiştir. [16]

Lui ve arkadaşları, 1995 yılında, çeşitli oranlarda hidrojen metan karışımlarının vuruğu üzerinde oluşturduğu etkileri incelemek amacı ile detaylı bir model hazırlamışlardır. Bu model ve ikili yakıtla yaptıkları çalışmalar sonucunda, diğer yakıtlardan çok farklı karakteristiklere sahip olan hidrojenin erken tutuşma aktivitesinin düşük olduğu ancak silindir içerisinde hidrojen oranı arttıkça erken tutuşma ihtimalinin arttığını gözlemlemişlerdir. Hidrojen ilavesi ile vuruntulu çalışma alanının diğer gaz yakıtlara göre arttığını bundan dolayı hidrojenin ikili yakıt sistemlerinde kullanıldığında yüksek vuruğu meyilinden dolayı dikkat edilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır. [17]

May ve Gwinner; 1983 yılında, toplam hacmi 2,8 lt olan, 6 silindirli, Daimler-Benz üretimi D-Jetronik yakıt enjeksiyonlu DBM110 tipi bir motorda hidrojen ve benzini elektromanyetik enjeksiyon jetleri ile sisteme vererek egzoz gaz emisyonları ve verim üzerinde çeşitli çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Rölanti ve çok düşük yükleme pozisyonlarında motorda, saf hidrojen, tam yük durumunda ise hidrojen-benzin karışımı kullanılmıştır. Çoğu zaman kısmi yükte çalıştığı için motorda hidrojen-benzin karışımı çok daha fazla kullanılmıştır. Hibrid (hidrojen-benzin karışımı, dual-yakıt yöntemi ile) çalışma durumunda özellikle düşük ve kısmi yük şartlarında benzin motoruna göre daha yüksek termal verim ve daha az yakıt tüketimi sağlanmıştır. Bu durumun asıl sebebinin muhtemelen keleksiz ve aşırı hava ile deneylerin gerçekleştirilmesi olarak tahmin edilmektedir. [18]

Lucas ve Richards, 1982 yılında sıkıştırma oranı 8,9:1 ve 11,7:1 olan 1275 cm³ silindir hacimli ve 4 silindirli bir motor üzerinde çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Rölanti hızını korumak için hidrojen debisi 69,5 mg/sn değerinde set edilmiştir. (850 d/dak). Hidrojen ilavesi sayesinde kısmi yük termal veriminde artış sağlanmış ve özgül yakıt tüketiminde %30'lara varan düşüş gözlenmiştir. Soğutucu akışkana olan ısı kayıplarının ve pompa kayıplarının azaltılması sayesinde termal verim artmış, ancak hidrojenin hava ile yer değiştirmesi sayesinde volumetrik verimde ve buna

bağlı olarak da maksimum güçte düşüş olmuştur. Hidrojen ilavesi ile NO_x ve CO emisyonlarında azalma buna karşılık HC emisyonlarında çok düşük yüklerde büyük oranda artış gözlenmiştir. [15]

2.8. EKONOMİK ANLAMDA ALTERNATİF YAKITLAR

Alternatif olarak kullanılacak yakıtın motorlu taşıt üzerinde kullanılmakta olan petrol yakıtın maliyeti ile kıyaslanabilir düzeyde olmalıdır. Doğalgaz açısından inceleme yapıldığında %25 daha az emisyon oranlarıyla çevreci görülmektedir. Buji ile ateşlemeli motorların doğalgaz motoruna dönüştürülmesi 330 dolar ile 2000 dolar arasında değişmektedir. Doğalgazın Motorlu araçlar için fiyatı 2003 yılı itibariyle 0,9 Dolar/kg'dır. Bu fiyat benzinden (1,2 Dolar/litre) ve hemde dizel yakıtından (1,0 Dolar/litre-Motorin) daha ekonomiktir. Eğer doğal gaz sabit tesislerde kullanılırsa motorlu taşıtlara uygulanan yaklaşık 0,35 Dolar/kg olan doğalgaz tüketim vergisinden muaf tutulmaktadır.

Depolanmış hidrojen kullanımı durumunda maliyetler oldukça yükselir. Örneğin 1 kg NaBH₄'ü günümüzdeki fiyatı 80 dolardır. Sıvılaştırılarak kullanılan yöntemlerde oldukça masraflıdır.

Almanya ve Avusturya da biodizel %18 daha ucuz satılmaktadır (0,70 Euro biodizel, 0,81 Euro motorin). Fransa %5 vergi indirimi uygulamaktadır. %30 varan indirimler için çalışmalar sürdürülmektedir. ABD'de 2,19-2,23 dolar / galon olarak üretilen soya yağı biodizelin 1,36'ya düşürülmesi için çalışılmaktadır.

Etanolda, mineral yakıt vergisi olarak Farnsa 0,086 Euro/L, Hollanda ise 0,267 Euro/L olarak uygulamaktadır.

Yakıt pillerinde sadece ek olarak kullanılan platinyumun fiyatı 200 dolardır.

Metanol yakıt hücreli bir araba fiyatı 24000 dolar, Hidrojen yakıt pilli araba fiyatı 27000 dolar. Buuna karşılık batarya beslemeli bir aracın (400 km mesafeli, elektrikli) fiyatıda 27000 dolardan daha düşüktür.

Sıkıştırılmış hidrojen gazlı bir depo ve elemanları 4000dolar civarında olduğu bilinmektedir. İçten yanmalı bir motorlu bir araca monte edilmesi içinde yaklaşık 4000 dolar gerekir ve maliyetler en fazla standart yakıt hücreli fiyatından en fazla 1000 dolar fazla olur. Çizelge 2.5’de alternatif yakıtlaın etraflı olarak karşılaştırmasını vermektedir.

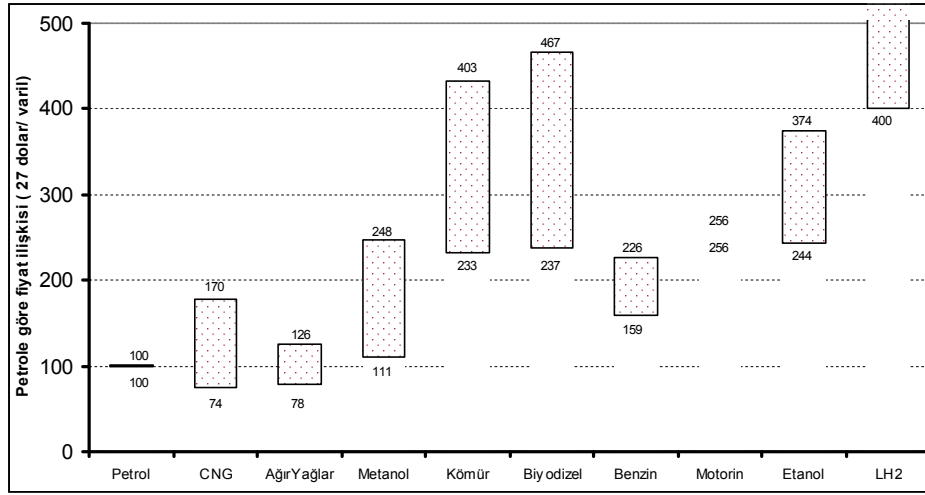
Çizelge 2.5 Yakıtların kapsamlı olarak karşılaştırılmaları [19]

Yakıt / Motor	Emisyonlar				Özgül Güç	Öys	Depo	Maliyeti			Rezerv	Motor ömrü
	HC	CO	NOx	COx				Taşıt	Yakıt	Altyapı		
Benzin	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Motorin	+++	+++	+	++	+	+++	++	++	+++	++	++	++
Doğal Gaz	+	+++	++	+++	+	++	-	-	+++	-	+++	+++
Bio gaz	-	+	+++	+	-	++	-	-	+	-	+++	++
H2 (Motor)	+++	+++	++	+++	-	++	-	-	--	-	+++	++
Biodizel	+++	+++	-	++	+	+	++	++	+	-	++	++
Alkoller	+++	+++	+	++	+	+	++	++	+	-	+++	+
H2 (Y. Pili)	+++	+++	+++	+++	?	+++	--	--	--	-	+++	+++

Uluslararası Enerji Ajansının yayınlamış olduğu raporlara göre, petrol baz alınarak yağ, doğal gaz, Ağır yağlar, dizel yakıt, benzin, metanol, etanol ve sentetik yakıtlar Amerikan doları bazında varil başına fiyatları karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirmede ölçümler petrol’ün değeri 100 alınarak (Raporlarda ham oil fiyatı 18 dolar / varil ve her zamanki gibi üretilen konvansiyonel petrolün fiyatı 27 dolar / varil olarak tespit edilmiştir) diğer yakıtlar bu mertebeye göre derecelendirilmiştir.

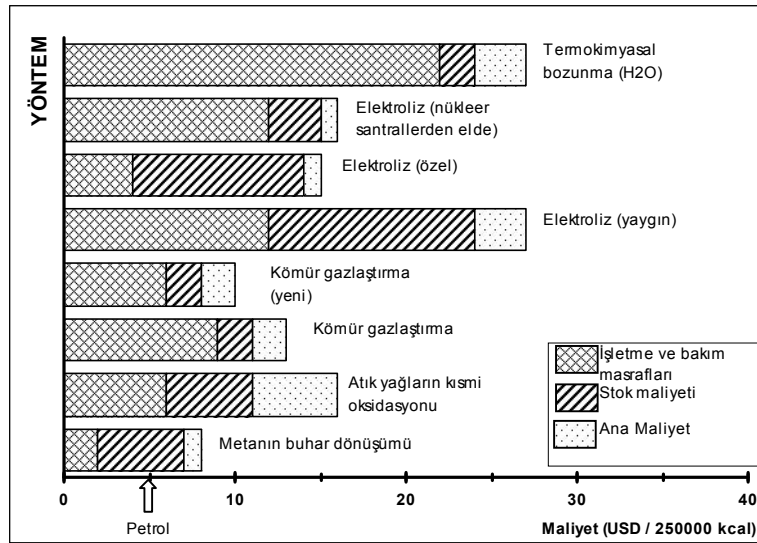
Çizelge 2.6’da alternatif yakıtların maliyetlerinin aralıklarla kapsamlı olarak gösterimi sağlanmıştır. Şekilden anlaşılacağı üzere alternatif yakıtların, doğalgaz ve fuel-oil’den ayrı olarak fiyatları yüksek gelmiştir.

Çizelge 2.6. Alternatif yakıtların maliyetler bazında karşılaştırılması



Not: 1 varil petrolün mertebesi 100 alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Aşağıda çizelge 2.7’de hidrojenin elde edilme yöntemleri ve bu yöntemlerin maliyetlerinin karşılaştırılması verilmektedir.



3. MATERYAL VE METOT

Şimdiye kadar yapılan araştırmalara göre hidrojen için yapılmış çalışmaların çoğunlukla tek yakıt ve yakıt pilleri üzerine yapılmış olduğu anlaşılmaktadır. Deneylerimizde özellikle üzerinde durduğumuz yöntem olan “hidrojenin benzine ilave olarak kullanılması” ve bunun motor performansına olan etkilerinin araştırılmasıdır. Ayrıca Ek-1’de taşıtlar üzerinde uygulanan dinamometre ölçümleri verilmiştir..

3.1. DENEYLERDE KULLANILAN MATERYAL

Araştırma materyali, motor, yakıt ve elektroliz cihazından oluşmaktadır.

3.1.1. Motor

Deney motoru; 4 zamanlı benzinli, tek silindirli, valf sistemli, hava soğutmalı, çok amaçlı bir Otto motorudur. Deneyde kullanılan motor şematik olarak şekil 3.1’de ve bu motorun teknik zellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.



şekil 3.2. Deney motoru

Çizelge 3.1. GX120 deney motorunun özellikleri

En x Boy x Uzunluk	297 x 341 x 318 mm
Boş Ağırlığı	13,0 Kg
Motor Tipi	4 Zamanlı, kısma valfli, tek silindir
Silindir Hacmi (piston x strok)	119 cm ³ (60 x 42 mm)
Maksimum Güç	3,6kW (4,5 HP – 3900 min ⁻¹)
Maksimum Tork	8,4 Nm (0,83 Kgf m – 3000 min ⁻¹)
Motor yağ kapasitesi	0,60 L
Yakıt Kapasitesi	2,5 L
Soğutma Sistemi	Hava Soğutmalı
Ateşleme Sistemi	Transistörlü Manyeto
Krank mil yönü	Saat ters yönü

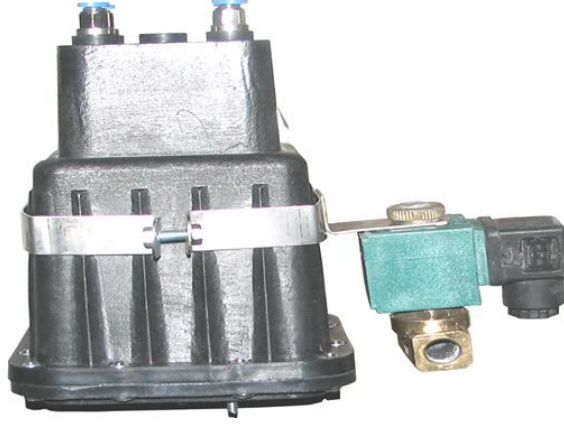
3.1.2. Hidrojen Jeneratörü

Deneyleerde kullanılan hidrojen jeneratörünün görünümü şekil 3.3 te verilmiştir. Taşıtlarda araç kiti olarak kullanılan bu jeneratör enerjisini şarj dinamosuyla desteklenen akümülatörden almaktadır.. Bu sayede ilave bir güce gerek kalmadan hidrojen elde etme masrafının önüne geçilmiş olmaktadır.



Şekil 3.3. Hidrojen jeneratörü komple görünüşü

Testlerde kullanılan elektroliz cihazı “Ekomax” firmasından temin edilmiştir. Şekil 3.4’de elektroliz cihazı selenoid valfi ile birlikte görülmektedir. Bu cihaz aracın aküsünden aldığı 12 ya da 24 Volt gerilim ve 1 ila 3 amperlik akım ile çalışmaktadır.



Şekil 3.4. Testlerde kullanılan hidrojen jeneratörü ve selenoid valf

Deneylerde elektrolit olarak kullanılan sulu solüsyon firma verilerine göre 1 litrelik çözelti elektroliz edilip benzine ilave edildiğinde yaklaşık 6000 km yaklaşık 6000 km. yol almaya yetecek kadar hidrojen üretmektedir ve ayrıca elektroliz sisteminin çalışmasını ve düzenlemesini yapan elektronik kontrol kartı mevcuttur. Bu ise şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Deneylerde kullanılan elektroliz amaçlı solüsyon



Şekil 3.6. Elektronik kontrol kart

3.1.3. Yakıt

Çalışmamızda, başlangıçta da belirtildiği gibi ana yakıt olarak benzin ve benzine ilave olarakta hidrojen jeneratöründen üretilen (dual yakıt besleme) hidrojen kullanılmıştır.

3.1.3.1. Benzin:

Benzin buji ateşlemeli motorlarda kullanılan yakıttır. Karbon atomu sayısı 4 ile 10 arasında değişen sıvı HC bileşiklerinden ibaret bir karışımdır. Ham petrolün bileşimine ve rafineride uygulanan metoda bağlı olarak çok değişik kimyasal yapılarda olabilir. Az miktarda hafif ve ağır HC'lar, çok az miktarda ham petrolden gelen kükürt ve azot gibi istenmeyen elementler ve bazı özellikleri iyileştirmek için eser miktarda ilave edilen katkı maddeleri banzinin içinde bulunan bileşenlerdir. Benzinde aranan performans özellikleri şunlardır:

- Vuruntu mukavemeti
- Uygun buharlaşma
- Zank ve vernik oluşturmamak,
- Yakıt ve yanma ürünlerinin korozyif olmaması,

- Düşük alevlenme tehlikesi ve
- Ucuz elde edilmesidir.

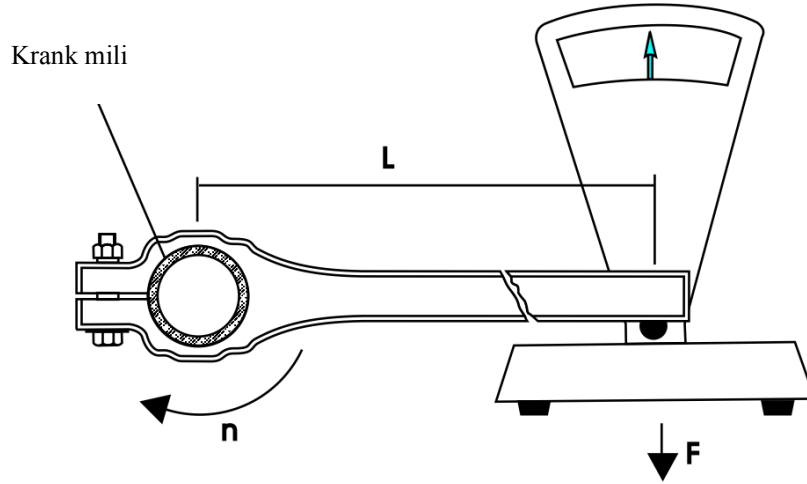
Çizelge 3.2. Deneyleerde kullanılan kurşunsuz benzinin özellikleri (TS EN 228
–Nisan 2005)

.Araştırma Oktan sayısı	95
Motor oktan sayısı	85
Kurşun (mg/l)	5
Yoğunluk (15 °C'de) (kg/m ³)	720
Kükürt (mg/kg)	50
Görünüş	Berrak ve parlak
Olefinler	18,0
Aromatikler (HC'lar)	42,0
Benzen	1,0
Oksidasyon kararlılığı (dak)	360

3.2. YÖNTEM

Benzin tüketimi ölçmelerinde 90 ml'lik ölçüm kabı ve zaman ölçümünde kronometre kullanılmıştır. Cihazın hidrojen üretim miktarı sabit olup, 0,819 gr/min dır.

Motor krank mili döndürme momenti (tork) prony freni yöntemi ile devir sayısı ve mekanik turmetre ile ölçülmüştür. Motor krank miline bağlanan fren sistemi şekil 3.7'de verilmiştir.

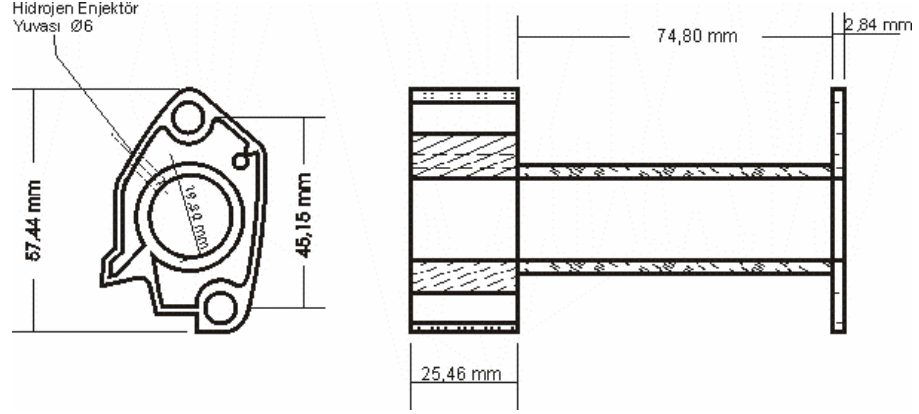


Şekil 3.7. Prony freni çalışma prensibi, şematik görünümü



Şekil 3.8. Frenleme sisteminde kullanılan moment kolu

Hidrojenin benzinle karışımı manifoldla olmaktadır. Bu amaçla motora uygun bir manifold imal edilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Deney motoru için imal edilen manifold örneği



Şekil 3.10. Manifold sisteminin montajlı hali

Buji olarak BPR6ES (NGK) tipi soğuk yüzeyli buji tipi kullanılmıştır. Bu sayede karışımın kendi kendine tutuşmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır ve motor hava soğutmalıdır.

3.2.1. Testlerde Kullanılan Bağıntılar

Bir motorun iş yapabilme kapasitesi motor milinden alınan moment değeri ile ölçülür. Kuvvet; Prony Freni sistemi ile ölçülüp aşağıdaki eşitlikte yerine konulmuştur.

$$M = F \cdot l \quad (3.1)$$

M : Moment (Nm)

F : Kuvvet (N)

l : Kuvvet Kolu (m)

Efektif moment; bulunan moment değeri düzeltme katsayısı ile çarpılarak aşağıdaki eşitlikte yerine konulmuştur.

$$M_e = M \cdot K_d \quad (3.2)$$

M_e : Effectif Moment (Nm)

M : Moment (Nm)

K_d : Deneme Ortamı Düzeltme Katsayısı

Hesaplanan düzeltme faktörü (k_d):

$$K_d = \left(\frac{99}{P} \right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T}{298} \right)^{0,6} \quad (3.3)$$

P : Deneme ortamı basıncı (kPa)

(Mersin için yerl basınç = 102,8 kPa)

T : Deneme ortamı sıcaklığı (K)

(Deney sırasında ortalama sıcaklık = 300,1 K)

Motor gücü; aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

Motor Gücü (kW):

$$N_e = \left(\frac{M_e \cdot n}{9549} \right) \quad (3.4)$$

Me : Moment (Nm)

n : Devir (min^{-1})

Deneylemlerde harcanan benzin miktarını ölçmek için kullanılan ölçüm kabı 90 ml'dir. Harcanan benzin miktarı kronometre yardımı ile ölçülmüş, hidrojen ilaveli durumlarda da aynı yöntem uygulanmıştır.

90 ml Benzin = 0,09 lt

Benzinin yoğunluğu = 0,735 Kg / l

Benzinin kütlesi:

$0,09 \cdot 0,735 = 0,06615 \text{Kg}$ dır.

Özgül yakıt tüketiminde, ölçümde kullanılan ölçme kabının hacmi 90 mL'dir Benzinin özgül ağırlığı 0,735 Kg/L alınır, kabın taşıdığı benzinin kütlesi 0,090L x

$0,735 \text{ Kg/L} = 0,06615 \text{ Kg}$ 'dir

Bu kadar benzinin tüketilmesi sırasında ölçülen zaman Δt 'dir. Bu durumda benzinin özgül yakıt tüketimi

$$b_b = \frac{0,06615}{\Delta t / 3600} = 238,14 / \Delta t \quad (\text{Kg/h})$$

Hidrojen için özgül yakıt tüketimi hidrojen jeneratörünün hidrojen üretim kapasitesi $0,819 \text{ g/min}^{-1}$ olarak tespit edilmiş olup

$$b_h = \frac{0,819 \times 60}{1000} \text{ (Kg/h)}$$

Benzin + hidrojen ikili yakıt bir arada özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitlikte görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

$$b_y = \frac{(b_b + b_h) \cdot 10^3}{N_e} = \text{(g/KWh)}$$

N_e : Efektif motor gücü (KW)

b_b : Benzin için yakıt tüketimi (Kg/h)

b_e : Hidrojen tüketimi (Kg/h)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bölüm 3'te belirtilen yöntemler ışığında örnek benzin motoru üzerinde önce benzinle testler yapıp sonuçlar kaydedilmiştir. Moment ve tork bulunup her bir devir aralığı için beygir gücü tespit edilmiştir. Benzin tüketimi tespit edilmesiyle özgül yakıt tüketimi hesaplanabilmiştir. Motorun üretmesi gereken verim önceden hesaplanıp test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneyler 3'er adet 3 tekrar ile ölçülmüş olup ve bu üç ölçümün aritmetik ortalaması yapıp daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesi sağlanmıştır. Benzinle ölçülen değerlendirmelerin sonuçları Çizelge 4.1'deki gibidir.

Çizelge 4.1. Benzinle çalıştırmada elde edilen sonuçlar

Devir	Kuvvet (N)	Me (Nm)	Güç (kW)	t (s)	be (gr/kWh)
1000	18,7	9,17	0,96	1470	160,5
1500	19,6	9,46	0,95	1194	126,7
2000	20,5	9,85	1,47	840	140,1
2500	21,5	10,33	2,70	576	164,9
3000	21,9	10,57	3,32	381	206,2
3500	19,1	9,17	3,35	266	254,0

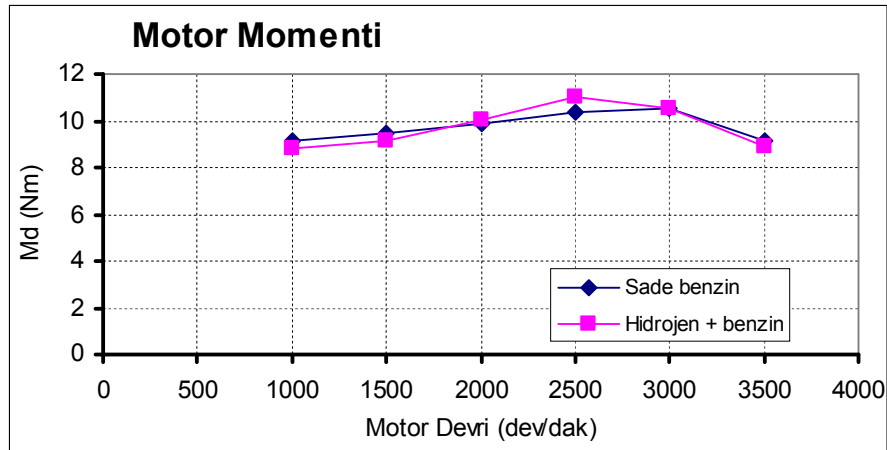
Daha sonra motor bir süre ısıtılıp hidrojen ilavesi ile deneylere devam edilmiştir. Burada çok önemli bir husus olan hidrojen, motor çalıştırıldıktan sonra gönderilmiştir. Çok yüksek alevlenme hızı ve yayılma hızı sebebiyle geri tutuşma yapan hidrojen çok çabuk alevlenip geri tutuşmaya sebebiyet vermektedir. Bölüm 3'te belirtilen ölçüm değerlerine hidrojenide ilave ederek test sonuçları alınmıştır. Çizelge 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Hidrojen ilaveli çalıştırmada elde edilen sonuçlar

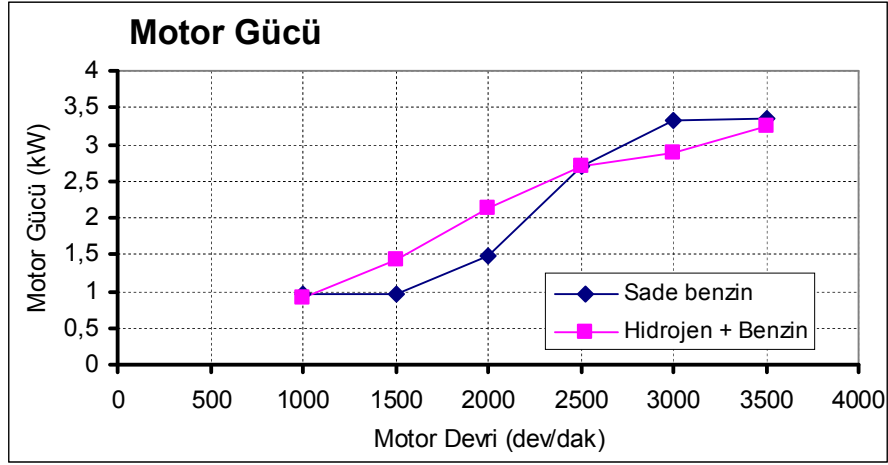
Devir	Kuvvet (N)	Me (Nm)	Güç (kW)	Yakıt (s)	be (gr/kWh)
1000	17,3	8,80	0,91	1533	187,0
1500	19,1	9,16	1,42	1204	158,3
2000	20,9	10,02	2,13	826	163,5
2500	22,9	10,99	2,70	557	182,8
3000	21,9	10,51	2,89	380	222,3
3500	18,8	8,91	3,25	251	279,1

Elde edilen bulgular ışığında motor parametreleri ile ilgili 3 tane grafik elde edilmiş olup bunlar; Şekil 4.1’de motor momentini ve buna bağlı olarak motor gücü’de Şekil 4.2’de sade benzinle kullanım ve hidrojen ilaveli benzin (ikili yakıt) olarak, grafik ile gösterimi verilmiştir.

Yakıt tüketimi tespiti ayrıca grafiksel olarak Şekil 4.3’te açıklanmış olup, özgül yakıt tüketimi hidrojen ilaveli ve sade benzin çalıştırma durumlarında gösterilmiştir.



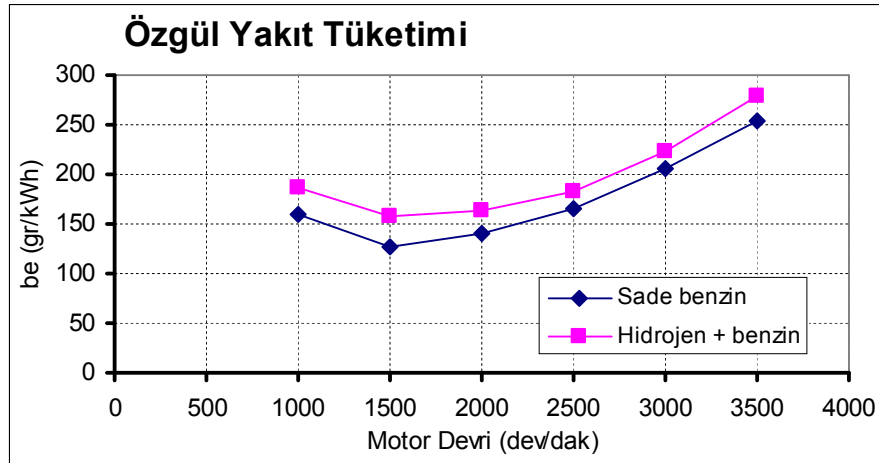
Şekil 4.1. Motor momentini grafiksel gösterimi



Şekil 4.2. Motor gücü grafiksel gösterimi

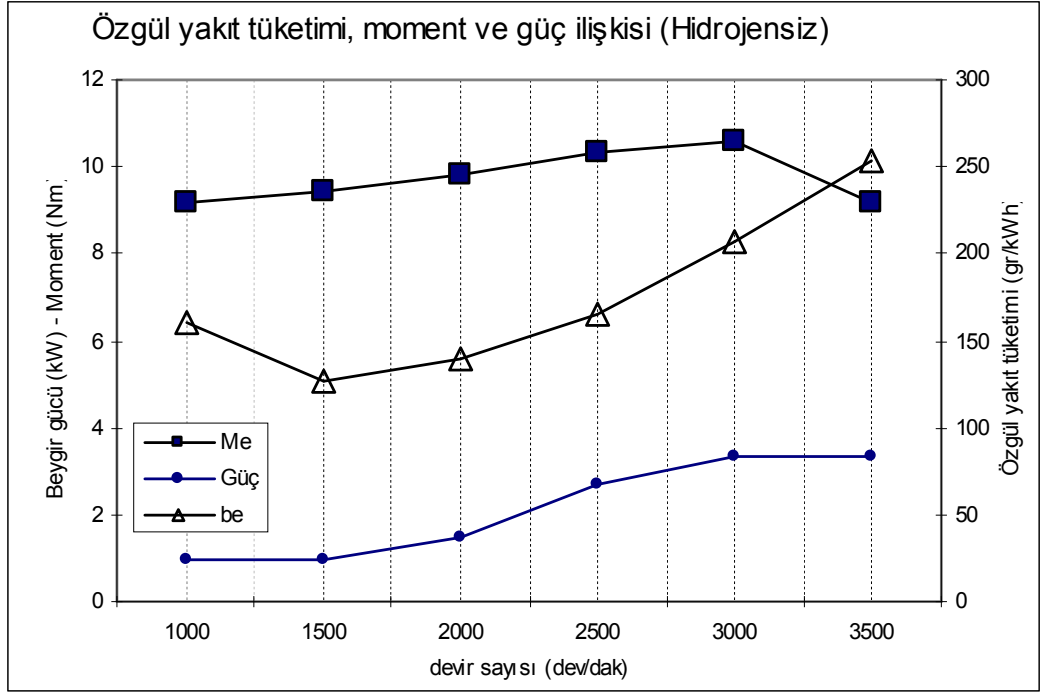
Motor moment diyagramından görüldüğü üzere benzinle çalışma durumunda maksimum tork 3000 devirde 10,57 Nm olarak tespit edilmiştir. Buna karşın hidrojen ilaveli çalıştırma durumunda 3000 devirde moment değerinde bir değişiklik görülmezken 2500 devirde tork değerinin 10,99 Nm değerine ulaştığı görülmüştür.

Yine maksimum moment değeri olan 3000 devirde motor gücü benzinle kullanımda maksimum değerine ulaşırken (3,35 kW) hidrojen ilaveli çalıştırmada 2,89 kW güç elde edilmiştir. Yine hidrojen ile benzin karışımlarının kullanımında 1000 – 2000 devirler arası sade benzin kullanımına nazaran güç artışı gözlenirken 2500 devir ve sonrası performans kaybı gözlenmiştir. genel olarak güç kaybının olduğu görülmüştür, maksimum güç 3500 devirde 3,25 olarak tespit edilmiştir.

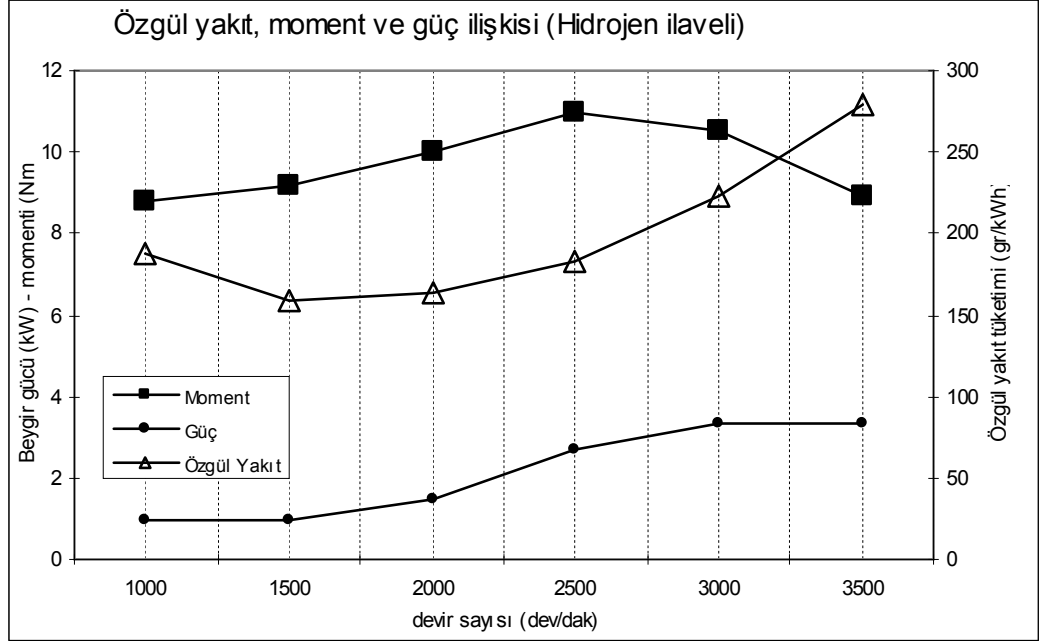


Şekil 4.3. Özgül yakıt tüketimi grafiksel gösterimi

Genel olarak yakıt tüketiminde hidrojen ilaveli ve sade benzin kullanımlarında genel olarak bir değişiklik gözlenmemiştir. Hidrojen ilaveli durumda artan yakıt miktarına bağlı olarak bir miktar artış gözlenmiştir. Maksimum tork değeri elde edilen 3000 devirde özgül yakıt tüketimi değeri benzinde 206,2 gr/kWh ile hidrojen ilaveli benzin karışımlarının yakıt olarak kullanılmasıyla 222,3 gr/kWh değerinde olduğu ve iki değer birbirine en yakın olduğu noktadadır. Bu hususta Özgül yakıt tüketiminin daha iyi değerlendirilebilmesi için, Tork, Güç ve yakıt tüketimi dataları Şekil 4.4 ve 4.5 te komple (üç'lü olarak) grafiklendirilmiştir.



Şekil 4.4. Benzinle çalıştırmada özgül yakıt tüketimi, moment ve değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.5. Hidrojen ilaveli olarak çalıştırmada özgül yakıt tüketimi, güç ve moment değerlerinin karşılaştırılması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada hidrojen ilavesiz ve hidrojen ilaveli ölçümlerle motor momenti, motor gücü ve özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ($\text{dev}/\text{min}^{-1}$) arasındaki bağıntılardan benzer olduğu (Şekil 4-5 ve 4-6) görülmektedir. Bunun sonucu şundan kaynaklanmaktadır. Elimizde yeni bir motorun olmaması deney aparatlarının ve ölçümlerdeki sapmalardan kaynaklandığı kanaatindeyiz.

Hidrojenin taşıtlarda kullanımında depolama açısından dezavantajları vardır. Gaz hidrojenin birim kütle başına düşen ısıl enerjisinin yüksek olmasına karşın birim hacim başına düşen ısıl enerjisi oldukça düşüktür. Basınçlı gaz halinde depolanması durumunda yeterli taşıt menzili için gereken yakıtın kapladığı hacim, taşıtın faydalı kullanım alanını oldukça küçültecektir. Hidrojenin aşırı soğutulmuş kriyojenik olarak depolanması 20 K sıcaklık ve uzun süre ısı kaybını ısı kaybını düşük düzeyde tutacak yalıtımla depo izolasyonunun getirdiği zorluklar vardır. Diğer bir yaklaşımda metal hidritlerin kullanımındadır. Bu tür uygulamalarda da depo ağırlığı artmaktadır.

Halen kullanılmakta olan benzin ve dizel yakıtı gibi konvansiyonel motor yakıtlarının dünya üzerinde sahip olduğu geniş bir dağıtım ağı bulunmaktadır. Hidrojenin taşıtlarda yaygın olarak kullanımında ortaya çıkacak güçlüklerin biri de yakıt dağıtım sisteminin henüz mevcut olmayışıdır.

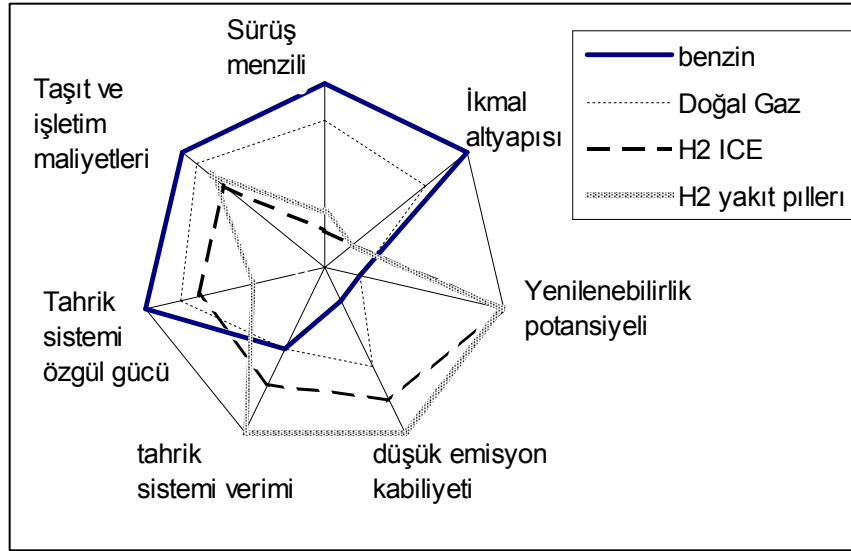
Maliyet açısından ele alındığında mevcut teknolojik olanaklar ve tüketim miktarlarına bağlı olarak hidrojen benzine oranla enerji bazında tek başına daha pahalı bir yakıttır. Diğer taraftan hidrojen üretim yöntemlerinin ekonomik açıdan gelişmemesi, depolanmasının pahalı olması, dağıtım sistemlerinin masraflı olması sebebiyle hidrojen enerjisine soğuk bakılmaktadır.

Ancak hidrojenin motorlarda sağladığı en önemli fayda kuşkusuz hava kirliliği açısından en temiz motor yakıtı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, giderek sınır değerleri daha aşağıya indirilen emisyon standartları ve Kyoto

Protokolü ile 2010 yılı için kabul gören 120 h CO₂/km CO₂ emisyon sınır değerleri ile yakın dönemde hidrojen katkılı fakir karışimli motorlar ve hidrojen yakıtlı motorlar ile tahrik edilen taşıtlarla sağlanabilmektedir.

İçten yanmalı motorlarda hidrojenin ilave olarak kullanılmasının motor performansı ve egzoz emisyonları açısından çok çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Özellikle geniş bir tutuşma aralığına sahip olması nedeniyle, hidrojen ile motorlarda istenilen güce bağlı olarak yüksek ısı verim özelliğinden yararlanılabilmektedir.

Bu anlamda hidrojenin motorlarda ilave yakıt olarak kullanılması önemli bir bütün olumsuzluklara bu sisteme rağmen geçiş sürecini temsil etmektedir. Araştırmalarımız göstermektedir ki hidrojen, emniyet önlemleri ve hidrojene yakıt özelliğine uygun tesisat donanımı ile taşıtlarda verimli bir şekilde kullanılmasını bu geçiş sürecinde başarılı bir şekilde sağlayacaktır. Şekil 5.1 de benzin ve hidrojen (H₂ ICE; içten yanmalı motorlarda ve H₂ yakıt pilleri) bunlara ilave olarak doğal gazında kullanılabilirliğinin karşılaştırması grafiksel olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 5.1. Benzin, doğalgaz ve hidrojenin yakıt olarak kullanımının karşılaştırılması

Araştırmalarımızın sonucu her ne kadar hidrojene olan olumlu yaklaşımları ortaya çıkarmaya alışsada, işletim zorluklarından dolayı bir takım onerilerimizde dikkate edilmesinde fayda vardır.

- Test motorlarının birden fazla silindirli, su soğutmalı ve standart olması gerekir. Hava soğutmalı, tek silindirli bir motor ile performans sağlamak kolay olmayabilir.
- Motorun yeni veya az yıpranmış olması onulerilir. Kompresyon oranı ve hidrojenin yüksek difüze hızını kontrol altına alabilmek için gereklidir.
- Avans ayarının kolay ayarlanabilir olması, zira hidrojenli çalıştırmada avans uygun değilse vuruntu söz konusu olmaktadır.
- Kelebek açısının uygun gaz basınçlarıyla koordineli çalışabilmesi ve start (Marş) edilebilir olması avantajdır.
- Daha hassas aralıklı dinamometre ve takometre ile birlikte akışlerler daha hassas olmalı, tartımda kullanılan baskllerin dijital olması, hassas ölçüm üniteleri kullanılması ölçümler için önemlidir.

Araştımalara yönelik olarak onerilerimiz;

- Hidrojenin motorun gücüne göre gönderilme miktarının ayarlanabilmesinin araştırılması
- Hidrojen – hava karışım sistemlerinin yeniden araştırılması (dahili ve harici karışım metodlarının kullanımındaki zorluklar ve verim kayıplarından dolayı))
- Mümkün olduğu kadar adyabatik motor düzeneği kullanılması ve tasarlanması
- Hidrojenin depolanabilirliğinin daha iyi araştırılması, kriyojenik ve hidrit yöntemlerinin iyileştirilmesi
- evre kirliliğine varsa zararlarının bulunması.

araştırmalarımızın sonunda vermiş olduğumuz onerilerimizdir.

KAYNAKLAR

- [1] Soruşbay, C., II. Ulusal Hidrojen Kongresi, “Hidrojeni Doğrudan Yakıt Olarak Kullanan Taşıt Uygulamaları”, s.169, (2003)
- [2] Oral, E., Çelik, V., “Hidrojen Yakıtlı Motor Teknolojisi”, Mühendis ve Makine, Cilt 46, Sayı 540, s. 30-40, (2005)
- [3] Kruger, P., “Hydrogen as a Transportation Fuel”, s.200-202, (2005)
- [4] Batmaz, İ., Yıldırım, M. H., Salman, S. M., “Buji ile ateşlemeli motorlarda Benzin-Hidrojen yakıtı Kullanılmasının Motor Performansına ve Egzos Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi”, II. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, s.538-541, (2004)
- [5] Kahraman, N., Albayrak, B., “Motorlu Taşıtlarda Alternatif ve Yenilenebilir Yakıt Kullanımının İrdelenmesi”, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Ekim, s80-85, (2003)
- [6] Kruger, P. “Alternative Energy Resources”, Stanford University, s.169-242, (2005)
- [7] Bechtold, R., L., Bechtold, P. E., “Alternative Fuels Guidebook”, SAE, p. 70-77, (1997)
- [8] Sevim, İ., Atmaca, H., “Bor’un Otomobil Yakıtı Olarak Kullanılması”, Mühendis ve Makina, Cilt 48, Sayı 564, s 27-31, (2007)
- [9] Bayrakçeken, H., “Taşıtlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar ve Özellikleri”, II. Ulusal Ege Sempozyumu, s 484-490, (2004)

- [10] Poulton, M., L., “Alternative Fuels for Road Vehicles, s.157-210, (1994)
- [11] Veziroğlu, N., “Hidrojen Enerji Sistemi – Türkiye ve Dünya” Clean Energy Research Institute, s. 3-23, (2000)
- [12] Ersöz, A., Yolcular, S., “Geleceğin Yakıtı Hidrojen”, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, s 239-244, (2001)
- [13] Kahraman, N., Akansu S. O., “İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Hidrojen Kullanılması”, Mühendis ve Makine – Enerji Özel Sayısı, Cilt48, sayı 549, s. 9-15, (2007)
- [14] Jankowski, A., Bayhan, M., “Hidrojenin Motorlarda Kullanımı ve Motor Gürültüsüne Etkisi”, Mühendis ve Makine, sayı 582, s. 17-21 (2005)
- [15] Jamal, Y. ve Wyszynski, M. L., “On-Board Hydrogen Generation of Hydrogen Rich Gaseous Fuels”, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 19, issue: 7, s. 557-572, (1994)
- [16] Das, L., M., 1990, Hydrogen Engines: A view of the past and a look into the future. Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 15, issue; 6, s. 425-443, (1990)
- [17] Liu, Z. ve Karim, G., A., “Knock characteristic of dual-fuel engines fuelled with hydrogen fuel”. Int. J. Hydrogen Energy, 20, (11), s. 919-924, (1995)
- [18] May, H. ve Gwinner, D., “Possibilities of improving emissions and energy consumption in mixed hydrogen-gasoline operation”. Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 8, issue 2, s. 121-129, (1983)

- [19] Ermiş, K., Karabektaş, M., “Otomobiller için Alternatif Enerji Kaynaklarının İncelenmesi”, II. Ulusal Enerji Sempozyumu, s. 491-50, (2004)

ERKAYA BİLGISAYARLI OTO TEST MERKEZİ

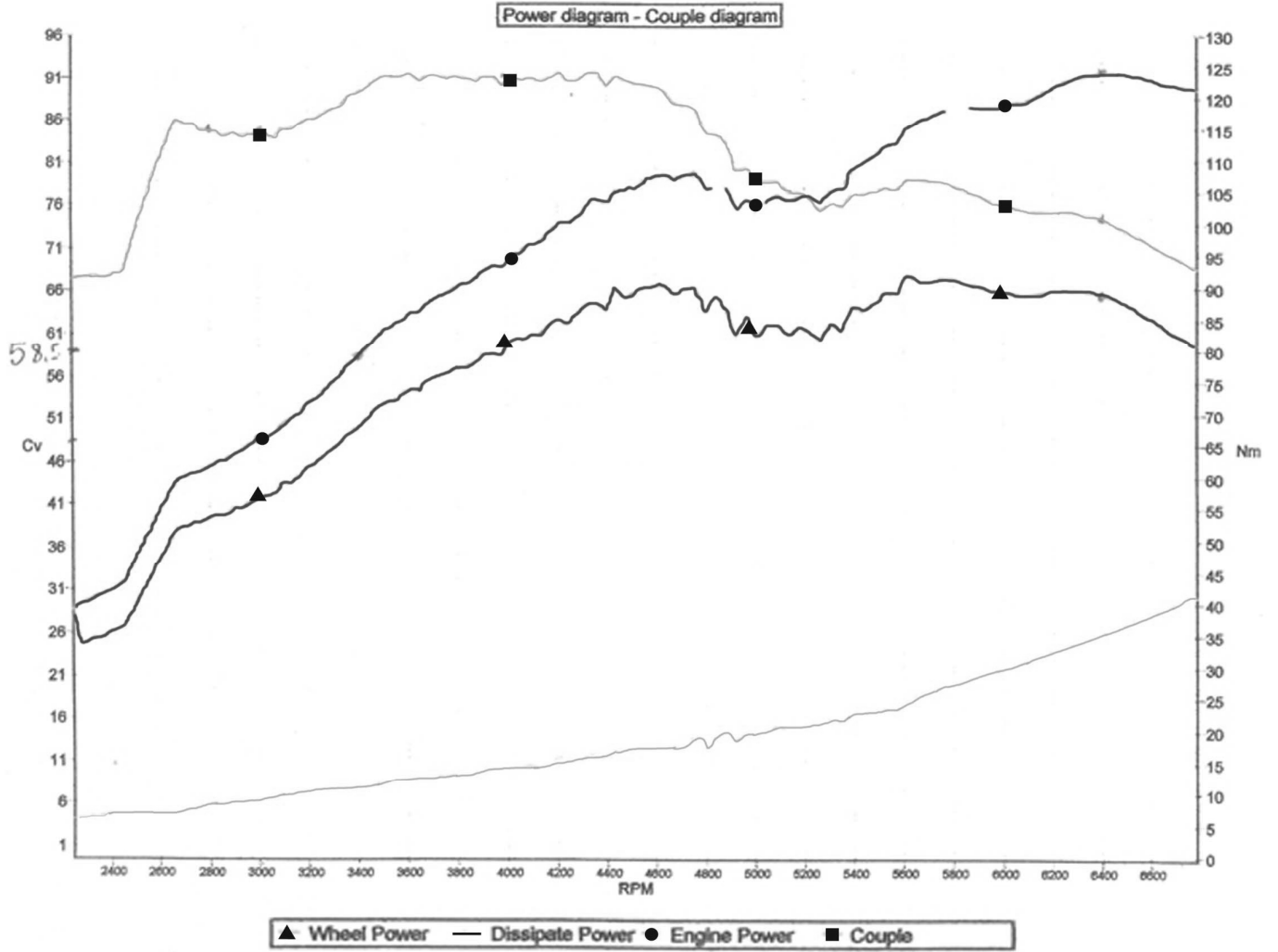
Erciyes İşyerleri Sitesi 9.Cad No:16 - ANKARA
Tel: 0312-397-14-15 - Fax: 0312 397-26-58 - E-mail:

VAMAG TESTING TECHNIQUE

Client: CEYHUN
Address:
City: OHAZSIZ
Tel:

Plate #: 34 AZ 3708
Builder: FORD
Type: FUSION 5K1,6DURATEC
Preparation: 2004

Dyno Power Tester



Report Power Test

Engine Power: 67.6 kW (91.9 Cv) a 6389 RPM (173.4 Km/h)
Wheel Power: 48.3 kW (65.6 Cv)
Dissipate Power: 19.4 kW (26.3 Cv)
Rule Power: 80.1 kW (108.8 Cv) [DIN 70020 Rule]

Max Couple: 124.1 Nm a 4361 g/m (118.4 Km/h)
Max Speed: 6783 RPM (184.1 Km/h)

Atmosphere Pressure: 863 mbar
Wheel Diameter: 615.0 mm
Final reduction: 4.3
Air Temperature: 25 °C
Transmission ratio: 1.0 : 1
Tire size: 195/60-15

ERKAYA BİLGİSAYARLI OTO TEST MERKEZİ

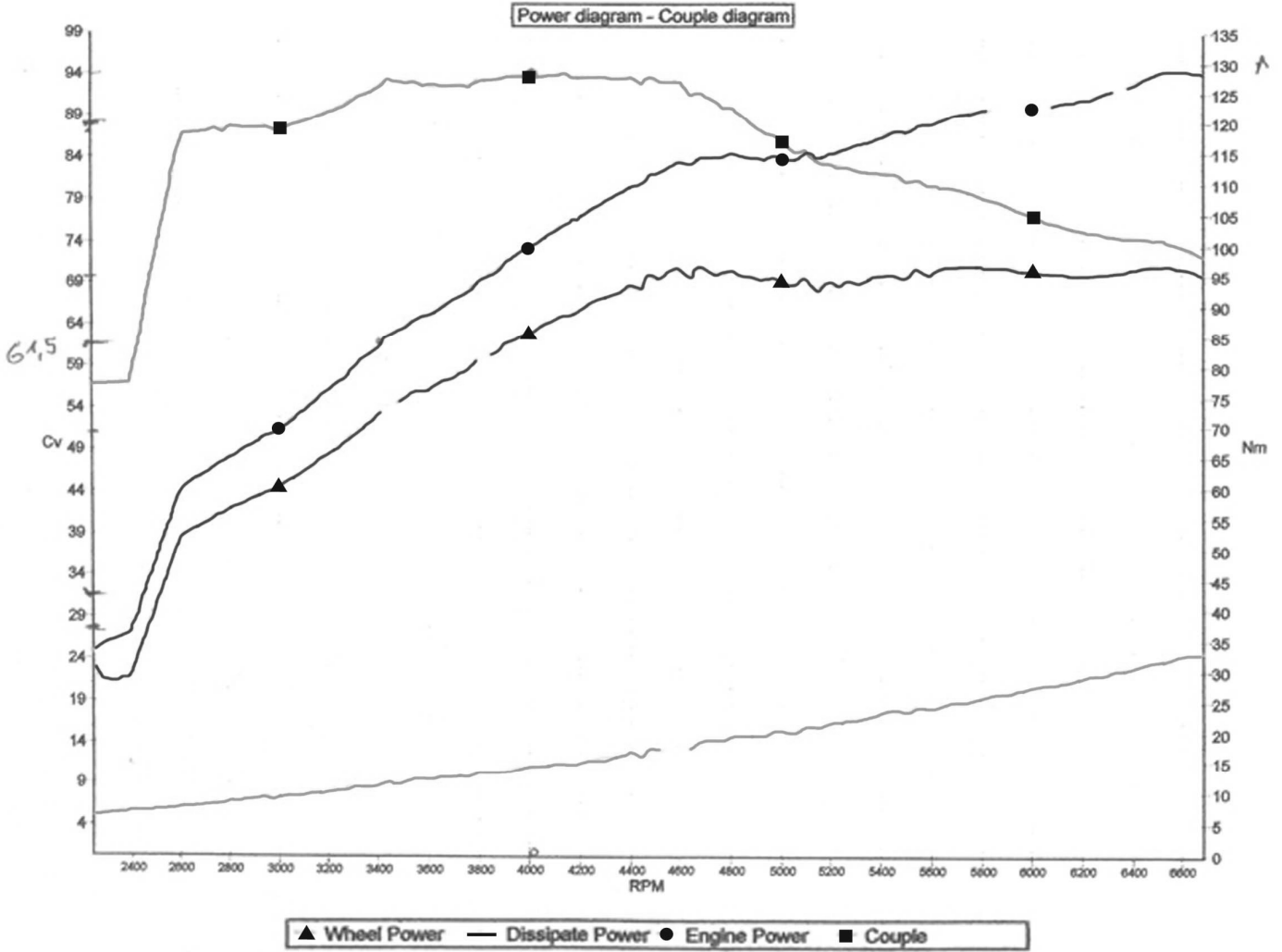
Erciyes İşyerleri Sitesi 9.Cad No:16 - ANKARA
Tel: 0312-397-14-15 - Fax: 0312 397-26-58 - E-mail:

VAMAG TESTING TECHNIQUE

Client: CEYHUN
Address:
City:
Tel: CIHAZLI

Plate #: 34 AZ 3708
Builder: FORD
Type: FUSION 5K1,6DURATEC
Preparation: 2004

Dyno Power Tester



Report Power Test

Engine Power: 69.1 kW (93.9 Cv) a 6524 RPM (177.1 Km/h)
Wheel Power: 52.0 kW (70.6 Cv)
Dissipate Power: 17.2 kW (23.3 Cv)
Rule Power: 81.9 kW (111.2 Cv) [DIN 70020 Rule]

Max Couple: 128.8 Nm a 4130 g/m (112.1 Km/h)
Max Speed: 6685 RPM (181.5 Km/h)

Atmosphere Pressure: 864 mbar
Wheel Diameter: 615.0 mm
Final reduction: 4.3

Air Temperature: 26 °C
Transmission ratio: 1.0 : 1
Tire size: 195/60-15

ERKAYA BİLGİSAYARLI OTO TEST MERKEZİ

Erciyes İşyerleri Sitesi 9.Cad No:16 - ANKARA
Tel: 0312-397-14-15 - Fax: 0312 397-26-58 - E-mail:

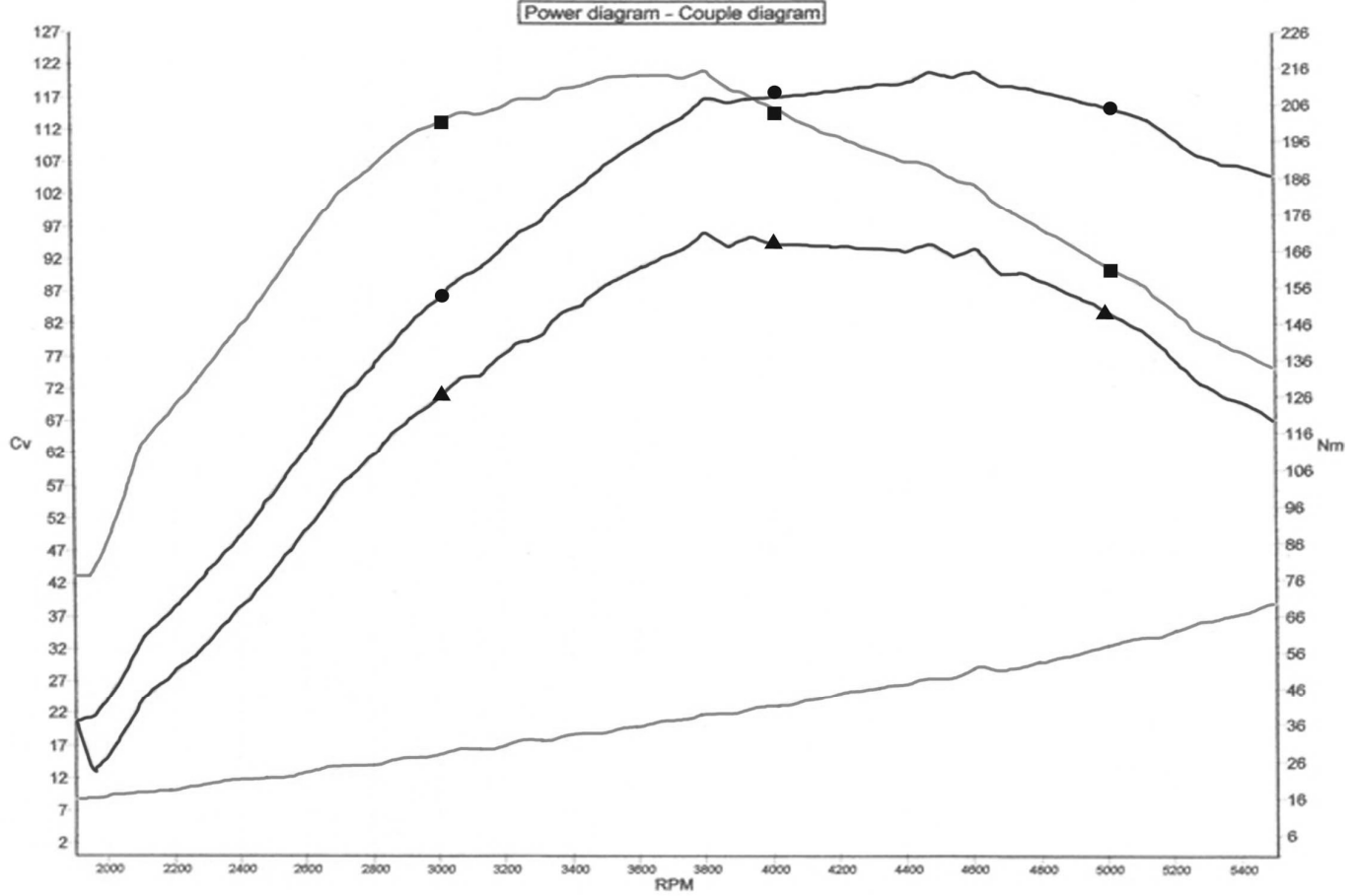
ÇOKVAZSIZ

VAMAG TESTING TECHNIQUE

Client: MUSTAFA UZUN
Address:
City:
Tel: 385 81 50

Plate #: 06 EV 668
Builder: VW
Type: TRANSPORTER TDİ
Preparation: 2004

Dyno Power Tester



▲ Wheel Power — Dissipate Power ● Engine Power ■ Couple

Report Power Test

Engine Power: 88.9 kW (120.8 Cv) a 4610 RPM (147.7 Km/h)
Wheel Power: 67.5 kW (91.7 Cv)
Dissipate Power: 21.5 kW (29.1 Cv)
Rule Power: 105.3 kW (143.0 Cv) [DIN 70020 Rule]

Max Couple: 215.0 Nm a 3806 g/m (121.9 Km/h)
Max Speed: 5506 RPM (176.4 Km/h)

Atmosphere Pressure: 860 mbar Air Temperature: 23 °C
Wheel Diameter: 685.0 mm Transmission ratio: 1.0 : 1
Final reduction: 4.0 Tire size: 215/65-16

ERKAYA BİLGİSAYARLI OTO TEST MERKEZİ

Erciyes İşyerleri Sitesi 9.Cad No:16 - ANKARA
Tel: 0312-397-14-15 - Fax: 0312 397-26-58 - E-mail:

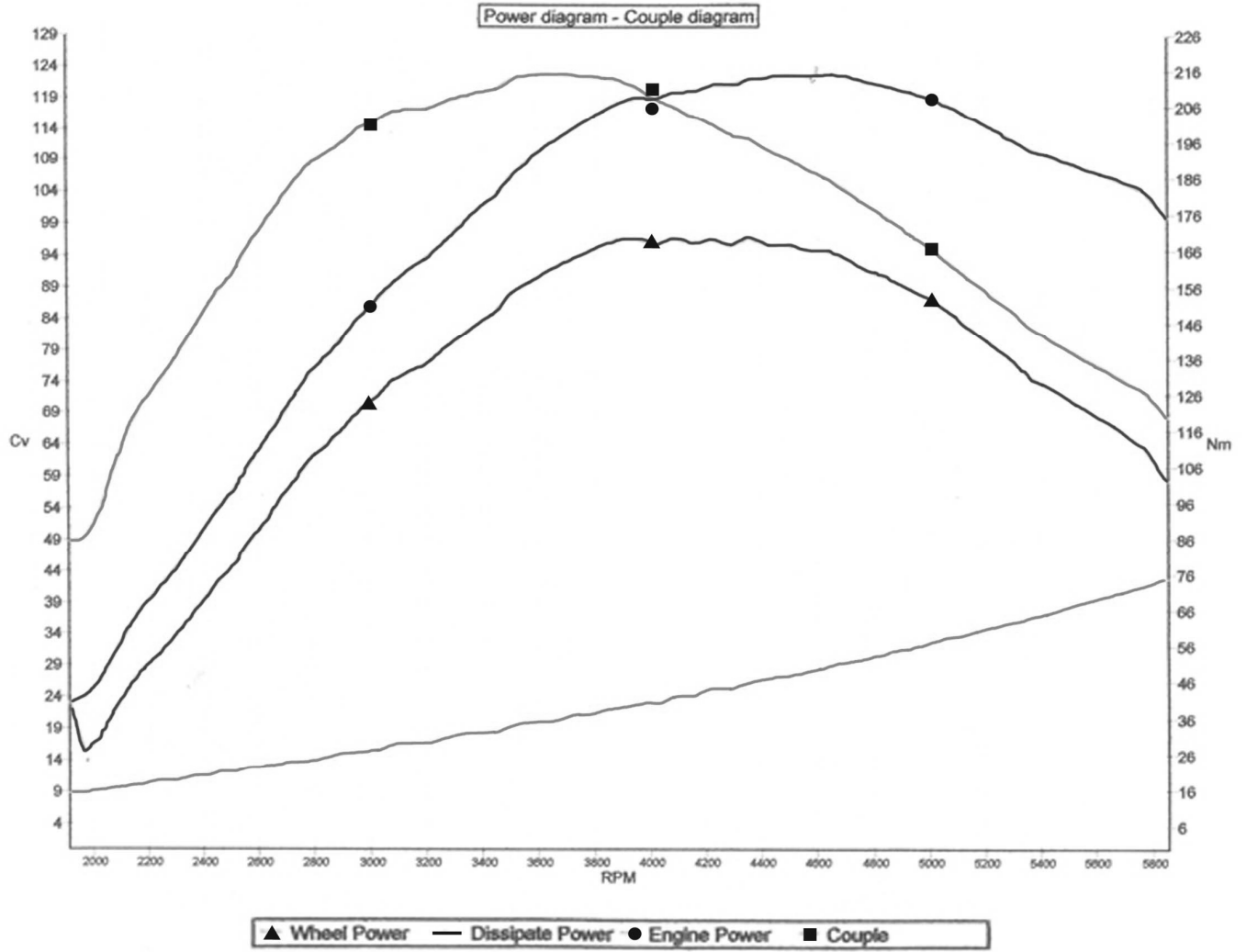
VAMAG

TESTING TECHNIQUE

Client: MUSTAFA UZUN
Address: Cihazlı
City:
Tel: 385 81 50

Plate #: 06 EV 668
Builder: VW
Type: TRANSPORTER TDİ 130HP
Preparation: 2004

Dyno Power Tester



Report Power Test

Engine Power: 90.4 kW (122.9 Cv) a 4634 RPM (148.5 Km/h)
Wheel Power: 69.2 kW (94.1 Cv)
Dissipate Power: 21.2 kW (28.8 Cv)
Rule Power: 106.9 kW (145.2 Cv) [DIN 70020 Rule]

Max Couple: 215.4 Nm a 3636 g/m (116.5 Km/h)
Max Speed: 5857 RPM (187.7 Km/h)

Atmosphere Pressure: 860 mbar
Wheel Diameter: 685.0 mm
Final reduction: 4.0

Air Temperature: 22 °C
Transmission ratio: 1.0 : 1
Tire size: 215/65-16