

## TAŞITLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR

Hüseyin BAYRAKÇEKEN <sup>(1)</sup>, Recai KUŞ <sup>(2)</sup>

1. Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, AFYON  
2. Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Kampus-KONYA

### ÖZET

20. yüzyılın başlarında petrol ürünleri motor yakıtı olarak kullanılmaya başlanmış ve motor tasarımları da petrol ürünleri ile çalışabilecek şekilde geliştirilmiştir. Petrol ürünleri kolay elde edilebildiği için motor sanayii petrole bağımlı hale gelmiştir. Petrol rezervlerinin belirli bölgelerde bulunması ve bu rezervin belli bir süre sonra tükenmesi sebebiyle, mevcut motor teknolojisinde önemli değişiklikler yapmadan ve ekonomik krizlere de sebep olmadan, petrole alternatif olabilecek yeni motor yakıtlarının araştırılması zorunlu hale gelmiştir [1]. Üzerinde ağırlıklı olarak çalışılan yakıtlar; alkol (metanol, etanol), doğal gaz (CNG), sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), hidrojen ve bio-kütle olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada gaz yakıtların motorlu taşıtlarda alternatif yakıt olarak kullanılması araştırılmıştır. Yaygın olarak kullanılan LPG ve CNG ile birlikte taşıtlarda yakın gelecekte oldukça fazla miktarda kullanılacağı tahmin edilen hidrojen ve biogaz'da incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Alternatif Yakıt, Gaz Yakıtlar, Taşıt

### ALTERNATIVE FUELS USED IN VEHICLES

#### ABSTRACT

At the beginnings of 20. Century, petroleum derivatives have been consumed as fuel and motor designs have been developed as can be operated by petroleum derivatives. Because of petroleum derivatives can be produced easily motor industry has become dependent on petroleum. The investigating of new motor fuels which would be an alternative to petroleum, without making any important changes in motor technology and not to be cause economic crises have become urgent due to existing of petroleum resources in limited areas and being run off them in a defined time. The fuels focused on considerably can be ordered as

alcohol (methanol, ethanol), natural gas (CNG), liquid petroleum gas (LPG), hydrogen and biomass.

In this study, using the gas fuels as alternative fuel in motorized vehicles has been investigated. Along with widely used LPG and CNG, hydrogen and biogases which have been expected in use extensively in near future were also investigated.

**Key Words:** Alternative Fuels, Gas Fuels, Vehicle

## 1. GİRİŞ

Dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmı, petrol, kömür ve doğal gaz kaynaklarından karşılanmakta ayrıca nükleer ve hidrolik enerjiden de yararlanılmaktadır.

Dünya enerji kaynaklarını iki grupta toplamak mümkündür.

\*Yenilenemeyen enerji kaynakları; Kömür, petrol, doğal gaz kaynakları v.b.  
\*Yenilenebilir enerji kaynakları; Güneş, rüzgar, nükleer, dalga jeotermal, hidrolik, hidrojen ve biokütle kaynakları [2].

Dünya enerji kaynağının %50'den fazlasını petrolün oluşturması ve tahmini olarak 2030-2050 yılları arasında tükeneyecek olması, çok fazla kullanılmayan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını gündeme getirmektedir [3]. Ülkemiz enerji ihtiyacının büyük bir kısmını petrolden karşılamakta, petrolün önemli bir kısmı ise motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Dünya petrol rezervleri aşırı kullanım sonucu hızla tükenmekte, bunun yanı sıra sıvı ve katı yakıtların yanmasından kaynaklanan toplam kirletici emisyon kütleindeki artış, dünya ekolojik dengesinde geri dönülemeyecek bozukluklara neden olmaktadır[4]. Petrole bağımlılığın azaltılması ve ekolojik dengelerin korunmasına katkı sağlamak için mevcut enerji kaynaklarının etkin kullanılması gerekmektedir. Bu olumsuzlukların en aza indirilmesine yönelik olarak araştırmacılar alternatif yakıtlar üzerinde çalışmalarını sürdürmektedirler Araştırmacıların yaptıkları çalışmalarda motorlu taşıtlarda alternatif yakıt olarak alkol (metanol, etanol), hidrojen, bitkisel yağlar, doğalgaz ve sıvılaştırılmış petrol gazı belirtilmektedir [5]. Belirtilen alternatif yakıtların tercih edilebilmeleri için, birim fiyatlarının ucuz olması, taşıtlardaki mevcut yakıt donanımlarında en az değişikliklerle kullanılabilmesi ve motor performansında önemli bir azalma meydana

getirmeyecek nitelikte olmaları ve emisyonlarının düşük olması gerekmektedir.

## 2. GÜNÜMÜZDE KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR

### 2.1 Metanol- Etanol

Alternatif yakıtlar içerisinde değerlendirilen alkol ve karışımları birçok ülkede dikkate değer bir kullanım düzeyine ulaşmıştır. Ülkemizin tarım ülkesi olması, ve petrol ithal eden ülkelerin başında gelmesi, alkolün ülkemiz için önemli bir enerji kaynağı olabileceğini göstermektedir [6]. Ülkemizde alkol büyük oranda şeker pancarından üretilmekte, yakıt amaçlı alkol üretimi için herhangi bir çalışma yapılmamaktadır [7].

Alkol kullanımının yaygınlaşmasını engelleyen temel faktörler, Dünya petrol üretiminin günümüzde yeterli düzeyde olmasının yanı sıra alkol ve türevlerinin alt ısı değerinin düşük dolayısıyla birim kütle başına maliyetinin benzine göre yüksek olmasıdır. Alkolün motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılmasının avantaj ve dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür [7].

#### **Avantajları;**

- Alkol ve türevleri ham petrolden elde edilen yakıtların yerine geçebilirler.
- Ham petrol yataklarına sahip olmayan ülkeler enerji ihtiyaçlarını petrole bağımlı olmadan karşılayabilirler.
- Alkol üretimi (özellikle etil alkol), zirai imkanları geniş olan ülkelerin çiftçileri için iyi bir gelir kaynağı oluşturabilir.
- Alkol ve türevlerinin oktan sayısı 90-100 olan benzin ile karıştırıldığında, 110 gibi yüksek oktan sayısına sahiptir ki; bu durumda motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarına çıkılarak, motor performansı artırılabilir. Başka bir deyişle daha küçük hacme sahip motorlardan, daha büyük güçler alınabilir.
- Benzinle çalışan bir motorda değişiklik yapılarak saf metanolla çalıştırılması halinde performansta % 10'luk güç artışı elde edilebilmektedir.
- Alkol kullanan motorlar benzinle çalışanlara göre daha fakir karışımlarda çalışabilirler.
- Alkol benzinle karıştırıldığında karışımın oktan sayısını artırıcı etki gösterirler.

**Dezavantajları;**

- Alkolün özelliğinden dolayı, benzinden alkole dönüştürülmüş olan yakıt sisteminin filtrelerinde tıkanmaya sebebiyet verebilirler.
- Alkol - benzin karışımları içerisine az miktarda da olsa su karışmış ise, özellikle soğuk havalarda faz ayrışması oluşur. Faz ayrışması daha çok metanollü karışımlarda ortaya çıkmaktadır.
- Bazı benzinli motorların yakıt sistemi parçaları alkole uyumlu değildir. Özellikle kalay-kurşun alaşımı ile kaplı tanklarda bu durum öne çıkmaktadır.
- İlk hareket zorluğu olabilmekte, bunu önlemek için, alkoller uçucu maddeler ile karıştırılırlar.
- Alkollü araçların trafikteki seyri esnasında oluşabilecek güç düşmesini önlemek için emme manifoldu ısısının sürekli olarak yüksek olması gereklidir.
- Alkol atmosferden nem kapma özelliğine sahiptir. Bu nedenle alkol kullanılan yakıt tanklarında yakıt filtreleri sıkça yenilenmelidir.
- Alkolün benzinin yerini alması ile üretim ve dağıtım istasyonlarının kurulması ve yaygınlaşması gerekecektir.

Alkollerin motor yakıtlarına alternatif olarak kullanılmasının bir nedeni de, kirletici egzoz emisyon değerlerini düşürmeleridir. Özellikle metanol, hava kirliliği açısından alternatif yakıtlar arasında ilk sıralarda bulunmaktadır [9].

**Metanol:** Biyokütle, kömür ve doğal gazdan elde edilebilen metanol, benzinli motorlarda fazla bir değişiklik yapılmadan, saf olarak veya benzinle karıştırılarak kullanılabilir. Metanol'ün vurutuya dayanıklı olması nedeniyle, sıkıştırma oranı yüksek motorlarda kullanılması halinde motor gücünde daha fazla artış elde edilebilmektedir [9].

Metanolla karıştırılmış benzinlerde; alkol, su miktarı, ortam sıcaklığı ve benzinin bileşimine bağlı olarak faz ayrışması oluşmaktadır. Ayrışmış karışımla çalışan bir motorda düzensiz yanma, tekleme, sarsıntı ve ilk hareket güçlüğü görülmektedir. Faz ayrışmasını önlemek için alkollü benzinlere değişik katkı maddeleri katılmaktadır [2]. Tablo 1'de Metanol, Etanol ve Benzinin fiziksel ve kimyasal özellikleri görülmektedir.

Kimyasal formül	Metanol CH <sub>3</sub> OH	Etanol C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	Benzin C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> -C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
Mol ağırlığı	32.04	46.07	86-100
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	796	794	727
Kaynama noktası (K), 0,1 Mpa	338	331	305-490
Tutuşma noktası (K)	743	698	493-573
Donma noktası (K) 0,1 Mpa	175	155	243-263
Buharlaştırma ısısı (kJ/kg)	1167,7	921.1	490
Alt ısı değeri (kJ/kg)	20110	27000	39800-44345
Buhar basıncı (kPa), 311 K	34	21	41-103
Hava/yakıt oranı (kg/kg)	6.46/1	8,96/1	14.5/1
Araştırma oktan sayısı	112	108	91-100
Motor oktan sayısı	90	90	82-92

**Tablo 1.** Metanol, Etanol ve Benzinin Fiziksel Özellikleri [10,11]

**Etanol:** renksiz, saydam hafif kokulu bir sıvı olup, kimyasal formülü C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>-OH'dür. Buharlaştırma gizli ısısı metanoldan 1.3 kat daha azdır. Buharlaştırma esnasında emme manifoldundan daha az ısı çekmesi soğukta ilk hareket kolaylığı sağlamaktadır. Alt ısı değerinin metanole göre daha yüksek olması motorlu araçlarda daha küçük boyutlarda yakıt deposunun kullanılmasına imkan tanımaktadır Etanol, biokütle kaynaklardan (şeker kamışı, şeker pancarı, sorgun darısı, tahıl) metanol ise biokütle kaynakların yanı sıra kömürden de elde edilebilmektedir [12,13].

## 2.2. Bitkisel Yağların Dizel Yakıtı Olarak Kullanılması

Bitkisel yağların alternatif dizel yakıtı olarak kullanılabilmesi ile ilgili çalışmalar 1920'lerden bu yana devam etmektedir. Bitkisel yağların yenilenebilir olması, kolay esterleşmeleri, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtına yakın olması motor yakıtı olarak değerlendirilmesini sağlamıştır [14].

Avrupa Birliği komisyonunun kararları esas alındığında 2005 yılında biyoyakıt kullanımının toplam yakıt tüketiminin % 5 ine ulaşacağı ve bu esnada biodizelin (Kolza yağı asidi metil esteri) oldukça önemli olacağı düşünülmektedir. Biodizel molekülü yaklaşık % 11 oksijen içermektedir. Bu oksijen miktarı ve yüksek setan sayısı, yanmanın çok daha iyi olmasını ve is

miktarının azalmasını sağlamaktadır. Motor içinde yakıttan kaynaklanan kirleticilerde son derece de azalmaktadır [15].

Genellikle üzerinde çalışılan bitkisel yağlar ve esterleri değişik oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak kullanılmaktadır. Bitkisel yağların dizel motorlarda doğrudan kullanımıyla bu yağların yüksek viskozitesi ve yoğunluğundan dolayı çok iyi atomize olamamasından kaynaklanan bir takım yanma problemlerini tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda, termik verimin dizel yakıtına göre biraz düşük olmasına karşın, efektif güç değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu belirtilmiştir [16].

### **3. ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILAN GAZ YAKITLAR**

Sıvılaştırılmış petrol gazı ve doğal gaz gibi, normal atmosferik koşullarda gaz halinde bulunan yakıtlara gaz yakıtlar denilmektedir. Önceleri sabit tesis motorlarında kullanılan sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG-Liquefied Petroleum Gas) ve doğal gaz (CNG- Compressed Natural Gas) günümüzde motorlu taşıtlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Gaz yakıtlar karışımının oluşturulması, dağıtımı, ateşlenmesi, yanmanın kontrolünde çok az zorluk göstermeleri ve emisyon değerlerinin düşük olması nedeniyle ideal alternatif yakıt olarak bilinmektedir.

#### **3.1. Hidrojen**

Atomik sembolü H olan hidrojenin atom ağırlığı 1.00797, atom sayısı 1 olan en hafif elementtir. Hidrojen doğada en çok bulunan element olmasına rağmen, hafifliği sebebi ile atmosfere yükselip orada serbest kaldığından, yeryüzünde serbest halde çok az bulunur. 0 °C deki yoğunluğu 0.08987 g/l ve havaya göre özgül ağırlığı 0.06595'dir. Hidrojenin yanma ısısı oldukça yüksektir ve zehirli etkisi yoktur. Yanma sonucu sadece su buharı meydana gelir. Aynı ağırlıktaki benzine göre sıvı hidrojenin enerjisi 2.75 kat daha fazladır [17].

Hidrojen; doğada serbest durumda bulunması ve kolayca üretilebilmesi nedeniyle motorlu taşıtlarda yakıt olarak tercih edilebilen bir yakıttır. Hidrojenin motor yakıtı olarak kullanılmasında en büyük problem taşıma ve

depolama problemi olup uygun tasarlanmış yüksek basınçlı tüplerde sıkıştırılmış gaz olarak depolanabilmektedir [18].

Gerek sabit gerekse taşınabilir uygulamalar için hidrojenin etkin ve güvenilir tarzda depolanabilmesi gereklidir. Taşınabilir uygulamalarda ilave olarak depolamada hafiflik önem kazanmaktadır. Hidrojen gaz veya sıvı olarak saf halde tanklarda depolanabileceği gibi, fiziksel olarak nano tüplerde veya kimyasal olarak hidrür şeklinde depolanabilmektedir [19]. Hidrojenin depolanmasında üç ana yöntem vardır. Yüksek basınçlı gaz şeklinde, Kroyojenik (aşırı soğutulmuş) sıvı halde, bu durumda hidrojen genellikle alçak basınçlıdır ve metal- hibrit şeklinde depolanmasıdır [20]. 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 bir 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 yılların başlarında başlamıştır ve 1970'den sonra çalışmalar yoğunlaştırılmıştır [21].

**Hidrojen:** hem buji ile ateşlemeli motorlarda hem de enjeksiyonlu motorlarda sistemde büyük bir değişiklik yapmadan kullanılabilir[22]. Hidrojen, içten yanmalı motorlarda en az kirliliğe yol açan ve kolaylıkla temin edilebilmesi nedeniyle çok cazip bir yakıttır[23]. Hidrojenin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2'de görülmektedir.

Hidrojenin motorlarda yakıt olarak kullanılması halinde petrol kökenli motor yakıtlarına oranla birçok önemli avantajlar elde edilebilir. Yüksek alev hızı ve tutuşma yeteneği, düşük ateşleme enerjisi gerektirmesi, geniş tutuşma ve yanma sınırları, yüksek ısı değer ve termik verim, kirletici egzoz gazı emisyonlarının azlığı ve sahip olduğu yüksek oktan sayısı nedeni ile vurutuya karşı dirençli olması hidrojeni çekici kılmaktadır.

Kimyasal Denklemi	H <sub>2</sub>	Tutuşma Sınırı % hacim $\lambda$	4,1-74 0,15-4,35
C/H oranı	0	Laminer Alev Hızı	2,91 m/s
Mol ağırlığı	2,02	Adyabatik Alev Sıcaklığı	2110 °C
Özgül Kütle Sıvı Gaz	0,07 Kg/dm <sup>3</sup> 0,84.10 <sup>-4</sup> Kg/dm <sup>3</sup>	Difüzyon Katsayısı	0,61 m <sup>2</sup> /s
Alt Isıl Değeri	119,93 Mj/Kg	Kaynama Noktası	-252,35 °C
Üst Isıl Değeri	141,86 Mj/Kg	Donma Noktası	-259 °C
Stokiyometrik Oran Hava/Yakıt(KütleSEL) Hava/Yakıt(Hacimsel)	34,32 2,38	Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı	574-591 °C
Buharlaşma Isısı	0,447 Mj/Kg	Oktan Sayısı	130

**Tablo 2.** Hidrojenin fiziksel ve kimyasal özellikleri[24]

Benzin ve dizel yakıtı birlikte çeşitli karışım oranlarında çift yakıtlı motor olarak çalışabilme olanağına sahip olması, geçiş döneminde mevcut motorlarda önemli değişiklikler yapılmadan kullanımı hidrojeni önemli bir alternatif yakıt haline getirmiştir. Çok fakir karışımlardan, çok zengin karışımlara kadar uzanan geniş hava/yakıt karışım oranı aralığı içerisinde tutuşabilmektedir. Hava fazlalık katsayısının 0.15-4.35 değerleri arasında tutuşma sağlanabilmektedir. Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığının (1 atm. basınçta 574-591°C) ve oktan sayısının yüksek olması Otto motorlarında kullanımında avantaj oluşturmaktadır [21,25].

### 3.2. Doğal Gaz (Compressed Natural Gas -CNG)

İçerisinde büyük oranda bulunan metan (CH<sub>4</sub>) ve metana göre daha az oranda olmak üzere, etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), azot (N<sub>2</sub>), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), hidrojen sülfür ile helyum (He) gazlarından meydana gelen renksiz, kokusuz, bir gazdır. Tablo 3'de doğal gazın bileşimi verilmiştir.

Doğal gazın dünyadaki yaygın olarak kullanımı, 1973 petrol krizinden sonra gerçekleşmiştir. Enerjiyi daha verimli kullanma yönündeki çalışmalar sırasında petrolün yerini alabilecek en önemli enerji kaynağı olarak



görülmektedir. Bu sebeple hükümetler gaz kullanımını teşvik etmiş ve yoğun bir şekilde doğalgaz yatırımlarına yönelmişlerdir [26].

Doğalgaz taşıtta yüksek basınçlı tüpler içinde gaz veya sıvı olarak depolanır. Depolamanın gaz veya sıvı olarak yapılması motor açısından bir değişiklik göstermez. Günümüzde yaygın olarak sıkıştırılmış doğalgaz kullanılır. Daha yüksek basınçlı tüpler olmasına rağmen kullanılan tüplerin basıncı genelde 200 bar'dır [28].

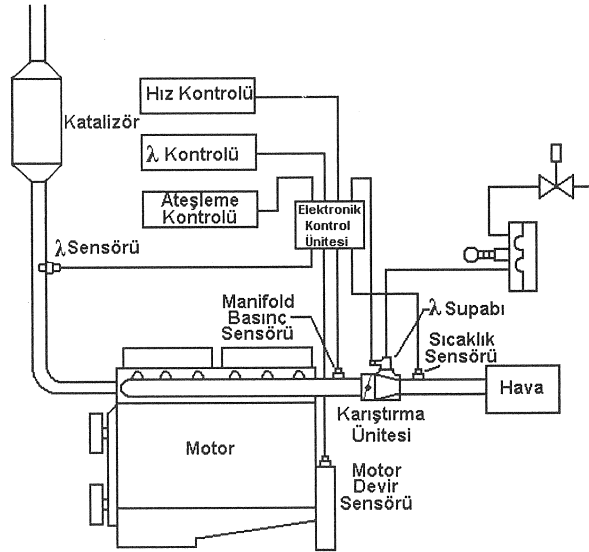
Gaz	İçerik %	Gaz	İçerik %
Metan	92.0408	Pentan	0.0999
Etan	3.2406	C <sub>6</sub> <sup>+</sup>	0.111
Propan	0.654	Nitrojen	3.0079
Bütan	0.0157	Karbon dioksit	0.587

**Tablo 3.** Doğal gazın bileşimi [27].

Gaz yakıtlarının tutuşma meyillerinin az oluşu, sıkıştırma zamanı sonunda silindire sokulmalarının güçlüğü ve yüksek sıkıştırma oranlarındaki (16-17) vuruntu (benzin motorlarındaki) dezavantaj oluşturmaktadır. Gaz yakıtın emme zamanı sırasında, emme havası ile birlikte silindire alınması kolayca sağlanabilmektedir. Bu durumda yakıtın tutuşmaya hazırlık süresi uzadığından vuruntu tehlikesi de artmaktadır. Ancak doğalgazın oktan sayısının yüksek oluşu, uygun bir tutuşma ortamı sağlandığından, dizel motorlarında çalışma esnasında vuruntudan kaçınılabilmek olanağını da sağlamaktadır. Şekil 1'de doğal gazla çalışan motora ait prensip şeması görülmektedir.

Buji ile ateşlemeli motorlarda doğalgaz kullanımının motorlarda ilk harekete geçişte büyük kolaylık sağladığı, doğal gazın fiyat yönünden benzine göre avantaj sağladığı belirtilmiştir. Gaz yakıtlar silindire alınırken gaz halinde olduklarından hacimsel verimleri düşüktür. Bu durum motorun gücünün düşmesine sebep olur. Bu tip motorlarda ateşleme avansı yeniden ayarlanması gereklidir aksi halde doğalgazın düşük yanma hızından dolayı yanma problemleri ortaya çıkmaktadır. Hacimsel verimin ve güç çıkışını artırması için soğutma sisteminin yeniden ayarlanması gerekir. Benzin ile çalışmada kullanılan termostatın açılma sıcaklığından 10 °C ya da 15 °C daha düşük sıcaklıkta açılan termostat kullanılmalıdır [16].

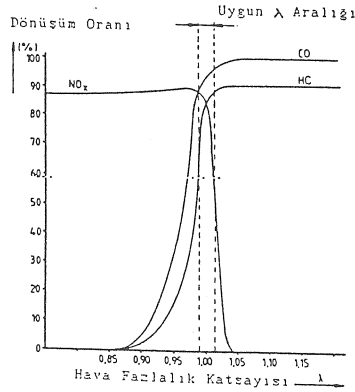
Partikül emisyonlarında ise alternatif yakıt kullanan motorların hepsinde de önemli azalmalar görülmüştür. Yakıt fiyatları göz önüne alındığında LPG ve Doğal gazın önemli avantaj sağladığı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Doğal gaz ile çalışan motorların genellikle HC, CO ve partikül emisyonları çok düşüktür fakat NOx emisyonları yüksek olabilir. NOx emisyonları üç yollu katalist kullanılarak ve hava yakıt oranı tam doğru ayarlanarak "fakir yanma ya da hızlı yanma" motorlarında alev sıcaklıkları düşürülerek azaltılabilir. Hava yakıt oranının doğru olarak ayarlanması, güç çıkışı ve verimin artırılması yanı sıra egzoz emisyonlarının düşürülmesinde de oldukça önemlidir. Fakir çalışmada, doğal gazın yanması için kıvılcım enerjisinin yüksek olması gerekmektedir. Ateşleme zamanı yakıt ekonomisi ve emisyonlarda önemli etkiye sahiptir [27].



Şekil 1. Stokiyometrik karışım ve lambda kontrollü doğal gaz motoru [29]

Normal emişli 4 değişik, doğal gazla çalışan fakir karışım yakan dizel motorunda yapılan araştırmada, motor performanslarını ve egzoz gaz emisyonları incelenmiş, kullanılan iki motorun emme manifoldundan türbülanslı, yüksek alev hızlı ve diğer iki motorun türbülanssız yanma odasına sahip olduğu, türbülanssız yanma odasında, yanma süresinin uzadığını ve bunun da motor performansını olumsuz yönde etkilediğini belirtilmiştir. HC emisyonlarının tam yüklerde hafif yüklerden daha fazla olduğu belirtilmektedir. Özellikle kısmi yüklerde HC emisyonlarının minimum seviyede tutulabilmesi için hava yakıt oranının doğru ayarlanması,

emme ve egzoz supaplarının kurslarının düşük tutulması gerektirdiği için ve bunun için de özel kam mili geliştirildiği belirtilmiştir. Tam yüklerde NOx miktarının en fazla olduğu, fakir karışımla çalışmada ise NOx miktarının yanan karışımın sıcaklığına bağlı olduğunu belirtmişlerdir [30]. Hava yakıt oranını Stokiyometrik çalışma noktası içerisinde bulunduğu iki nokta arasında tutulduğu ve bu sınırlar içerisinde, egzoz emisyon değerlerinin optimum olduğu belirtilmiştir. Hava fazlalık katsayısı 1, 05'in altına düştüğü zaman NOx emisyonları hızla artmaktadır.



**Şekil 2.** Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak egzoz emisyonundaki değişimler ve optimum çalışma bölgesi.

Hava fazlalık katsayısı 0, 85'in üzerine çıktığı zamanda HC ve CO emisyonları artmaktadır. Emisyon değerindeki değişimler ve optimum çalışma bölgesi Şekil 2'de gösterilmiştir [31].

### 3.3. LPG ve Özellikleri

Gaz yakıtlar, doğal veya üretilen gaz yakıtlar olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Gaz yakıtlar, depolama hacmini küçültmek amacıyla, orta ve yüksek basınçlarda (~20-200 bar) sıkıştırılarak sıvılaştırılmaktadırlar (LPG, CNG v.b). Sıvılaştırılmış petrol gazı, genellikle propan, bütan, izobütan ve az miktarlardaki propilen ve bütileden oluşan bir karışımdır. En yaygın ürünler, propan, bütan veya bunların belirli oranlardaki karışımdır. LPG, genellikle doğal gazdan veya ham petrolün kuyulardan çıkarılması ve rafinerilerde tasfiye edilmesi sırasında ayrıştırılarak elde edilen ve kolayca sıvılaştırılabilen propan ve bütan gazlarının, basınç altında sıvılaştırılmış halidir. Bu gazlar sıvılaştırıldıklarında, hacimce 230 ila 267 kat

küçülmektedirler. LPG'nin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin benzin ve dizel yakıtı ile kıyaslanması Tablo 4'de görülmektedir.

LPG alternatif yakıtlar arasında güvenlik bakımından oldukça güvenilirdir. 2010 yılına kadar Avrupa'da kullanılan taşıtların % 3-5 oto gaz kullanılacağı hedeflenmektedir. Aynı zamanda Avrupa'daki taşıtlarda kullanılan alternatif yakıtların pazar payı günümüzde % 2'den az olmasına rağmen, 2010 yılında % 8, 2020 yılında % 23 olması planlanmaktadır[32,33].

Yakıtın Özellikleri	Propan	Bütan	Benzin	Dizel
15 °C de yoğunluk	0,508	0,584	0,73-0,78	0,81-0,85
Buhar basıncı (bar, 37,8 °C de)	12,1	3,6	0,5-0,9	0,003
Kaynama noktası (°C)	- 43	-0,5	+30-225	+150-560
Alt ısı değeri (kJ/m <sup>3</sup> )	23 420	26 550	32 320	35 620
Üst ısı değeri (kJ/m <sup>3</sup> )	46 500	45 460	44 030	42 400
Stokiyometrik oran	15,60	15,40	14,7	14,30
Karışım alt ısı değeri (kJ/m <sup>3</sup> )	3 414	3 446	3 480	---

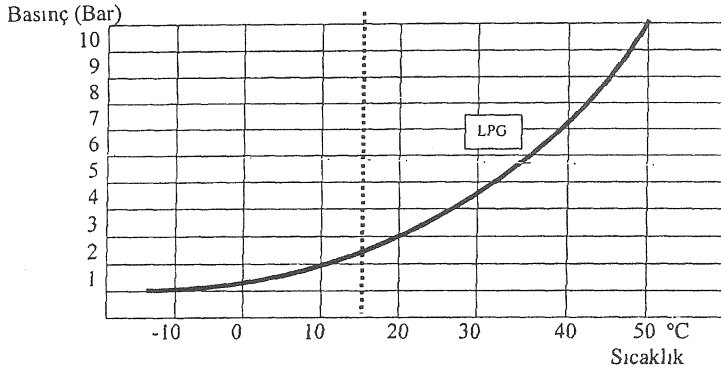
**Tablo 4.** LPG' nin fiziksel ve kimyasal özellikleri [34].

Yukarıda verilerden de görüleceği gibi benzin ve dizel yakıtlar oda sıcaklığı üzerinde kaynama noktası değerleri bulunmakta, LPG'de ise daha düşük ısılarda kaynama olmaktadır. Benzin ve dizel yakıtların atmosferik basınçta sıvı halde tanklarda saklanabilirken, LPG'nin belirli bir basınçta bulundurma zorunluluğu vardır. Teorik olarak benzinin kaynama noktası, oda sıcaklığı üzerinde olmasına rağmen buharlaşmaya aynı derecede duyarlıdır. LPG benzine kıyasla çok daha üstün antidetonasyon özelliğe sahiptir. Araç yakıt tüketimi dizel ve benzin için LPG'den daha azdır; fakat hacim olarak karşılaştırma yapıldığında özgül ağırlıklarından dolayı tam tersi geçerlidir. Yapılan çalışmalarda LPG motorları, benzinle kullanılan motorlara kıyasla %8 daha iyi performans vermektedir. LPG gaz olduğundan küçük damlacıklar halinde kalan benzine kıyasla havada daha iyi homojen bir karışım gösterirler. Bu gaz karışımı; dolayısıyla karbüratörden daha kolay geçer ve motorun performansını arttıracaktır [34].

Propan ve bütan karışımının oranlarının değişmesi basınç üzerinde belirgin farklılıklara neden olur. Isı arttıkça basınç artar ve LPG'nin sıvı halindeki hacminde büyük değişikliklere neden olur (Şekil 3). Böylece, sıvı halindeki LPG ile dolu olan bir ortamda ısı arttıkça basıncında artmasına neden olur ve

içinde bulunduğu tankın patlamasına neden olur. Bütan ve Propanın belirleyici temel özelliklerinden biri buhar basıncıdır yani sıvının kapalı hacimdeki, buhar ile dengede olduğu basınçtır. Bütan ve propan arasındaki diğer ayırıcı özellik ise onların kaynama noktasıdır yani sıvı fazdan gaz faza geçtikleri derecedir.

Özellikle soğuk havalarda daha yüksek oranlarda propan gerektiren karışımların gereksinimine ihtiyaç vardır. Türkiye’de hava sıcaklığı bölgeden bölgeye değiştiğinden motorlu araçlarda kullanılan LPG karışımının da tüm koşullar da uygun olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir [35].



Şekil 3. LPG Buhar basınç eğrisi

### 3.3.1. Taşıtlarda LPG kullanımı

Dünyanın birçok ülkesinde LPG bugün alternatif otomobil yakıtı olarak kullanılmaktadır ve LPG miktarının yaklaşık % 5-6'sı taşıtlarda kullanılmaktadır. Dünyada LPG ile çalışan araç sayısı 4 milyonu bulmakta ve bu sayı günden güne artmaktadır. Artan hava kirliliği nedeniyle birçok ülkede özellikle şehir içi ulaşımında LPG bugün için en çok tercih edilen alternatif yakıt durumundadır. Ülkemizde de özellikle büyük şehirlerde yaz aylarındaki hava kirliliğinin yaklaşık %55'i motorlu araçlardan kaynaklanmaktadır. LPG'nin güvenli dolun ve kullanma olanakları geliştirildiği takdirde hava kirliliği olan şehirlerimizde kullanımı, bu büyük problemi önemli ölçüde azaltacaktır [36].

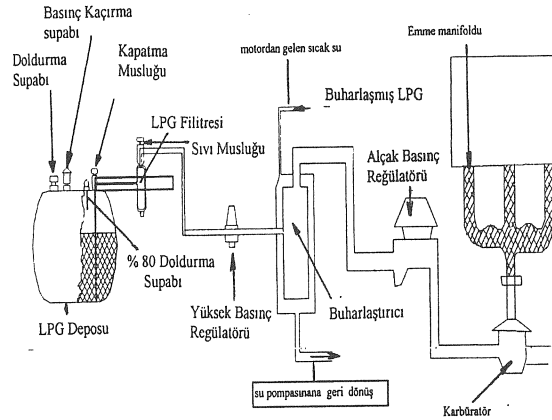
### 3.3.2. Taşıtlarda Kullanılan LPG Sistemleri

- **Birinci Kuşak Sistemler:** Uygulaması çok basit olup karbüratörlü motorlar üzerinde kullanılırlar. Montajı çok basit olup motorda herhangi bir değişiklik gerektirmemektedir.

- **İkinci Kuşak Sistemler:** Üç yollu katalitik konvertörlerin ve elektronik kontrol ünitelerinin taşıtlarda kullanılmaları ile birlikte ikinci kuşak sistemlerde araçlarda kullanılmaya başlanmıştır. Birinci kuşak sistemlerinden en önemli farkı, taşıtta bulunan lambda sensöründen aldığı bilgiye göre gaz miktarını sürekli olarak kontrol etmesidir.

- **Üçüncü Kuşak Sistemler:** Bu sistemde ilk hareket benzine yapılmaktadır, daha sonra sistem otomatik olarak LPG' ye geçmektedir. LPG sisteme çok noktadan emme supabının üstüne püskürtülmektedir [4].

Yakıt deposundaki basıncın etkisi ile sıvı yakıt depodan, yakıt borularıyla yüksek basınç regülatörüne gönderilir (Şekil 4). Yüksek basınç regülatörü yakıt basıncını 0. 5-1 atmosfere düşürür. LPG yakıtı yüksek basınç regülatörünü yarı gaz, yarı sıvı olarak terk eder ve böylece buharlaştırıcıya gider. Buharlaştırıcı iç içe iki boru olup, iç borudan LPG yakıtı geçerken, dış borudan da motordan gelen sıcak su geçmektedir.



Şekil. 4. LPG yakıt sistemi [4].

Sıcak su bir kısım ısısını yakıtı vererek onun tam buharlaşmasına yardım eder. LPG yakıtı buharlaştıktan sonra, alçak basınç regülatörüne geçer ve basıncı atmosferik basıncın biraz altına düşer. Böylece, yakıt karbüratöre

geçmeye hazır hale gelir. Yakıt basıncının atmosferik basıncın biraz altına düşürülmesi motor çalışıp silindirlere hava akışı başlamadan, yakıtın kendi kendine akışını önler. LPG yakıtı karbüratöre buhar halinde girdiği için bu sistemde, normal karbüratörlerde olduğu gibi, yakıtı atomize etmeye ve buharlaştırmaya gerek yoktur. Yakıt, hava boğazındaki bir gaz memesinden geçerek karbüratörden geçmekte olan havaya karışır.

### **3.3.3. Motor yakıtı olarak LPG'nin avantajları ve dezavantajları**

#### **Avantajları;**

- LPG' nin oktan sayısı yüksektir (105 RON)
- Gaz fazında hava ile daha uniform karışması sonucu iyi bir yanma gerçekleşir.
- Sıvı yakıtın iyi buharlaşması yüzünden kartere sızarak karterdeki yağı sulandırması bu sistemde yoktur. (LPG yakıtları emme manifoldlarına tamamen buharlaşmış olarak girer. Bu nedenle motor yağı seyreltisi olmadığından motor yağı daha uzun ömürlüdür.)
- Sıvı yakıtın buharlaşması yüzünden, yoğunlaşan yakıtın silindir cidarlarındaki yağı yıkayıp, silindir ve segmanları yağsız bırakması problemi yoktur.
- Benzin ve dizel yakıtına göre egzoz emisyonları daha iyidir.
- İşletme ve bakım masrafları azdır.

#### **Dezavantajları;**

- Basınç altında sıvılaştırılarak depo edildiğinden dağıtım ve depolanması zordur.
- Motorlarda LPG kullanıldığında, sıkıştırma oranı büyük seçilebiliyorsa tüm yakıtın buhar fazında motora girmesi hacimsel verimi düşürdüğünden motor verimi çok fazla olmamaktadır
- Kuru yanma, yanma odasının çabuk aşınmasına neden olur [37].

### **3.4. Biogaz**

Biogaz, Başlıca hayvan dışkısı olmak üzere özel olarak yetiştirilen bazı bitkiler ve tarımsal atıklardan, her türlü organik atıktan anaerobik fermentasyon sonunda elde edilen bileşiminde metan ve karbondioksit bulunan yanıcı bir gaz karışımıdır [38]. Biogaz renksiz, kokusuz, havadan daha hafif, havaya göre yoğunluğu 0.83, oktan sayısı yaklaşık 110, tutuşma

sıcaklığı  $700^{\circ}\text{C}$ , olan bir gazdır. Biogaz'ın ısı değeri ortalama  $23\,000\text{ kJ/m}^3$  dür Tablo 5'de biogaz'ın ortalama hacimsel bileşimi görülmektedir [39]. Biogaz kolayca bozulmayan sabit bir yapıya sahiptir ve ancak  $-164$  derecede sıvı hale gelebilir.  $1\text{ m}^3$  biogaz ile 2 BG motoru 1 saat süre ile çalıştırılabilir.

Bileşim Elemanı	Hacimsel Bileşimi (%)	Bileşim Elemanı	Hacimsel Bileşimi (%)
Metan ( $\text{CH}_4$ )	54- 80	Karbon monoksit ( $\text{CO}$ )	0.1
Karbondioksit ( $\text{CO}_2$ )	20-45	Oksijen ( $\text{O}_2$ )	0.1
Azot ( $\text{N}_2$ )	1-0	Hidrojen Sülfür ( $\text{H}_2\text{S}$ )	Az miktarda

**Tablo 5.** Biogaz'ın ortalama hacimsel bileşimi [39].

Gaz	Sembol	Bileşimi (%)	Isıl değeri $\text{kw-h/m}^3$	Yoğunluk $\delta=1.2\text{ kg/m}^3$	Yanma hızı $\text{m/s}$	Hava ihtiyacı
Metan	$\text{CH}_4$	100	9.94	0.554	43	9.5
Propan	$\text{C}_3\text{H}_8$	100	25.96	1.560	57	23.8
Bütan	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	100	34.02	2.077	45	30.9
Doğalgaz	$\text{CH}_4:\text{H}_2$	65:35	7.52	0.384	60	7.0
Biogaz	$\text{CH}_4:\text{CO}_2$	60:40	5.96	0.940	40	5.7

**Tablo 6.** Yanıcı gazların özellikleri [18,40]

Yanıcı gazların özellikleri Tablo 6'da, diğer bazı yakıtların özellikleri de Tablo 7'de verilmiştir. Yanıcı gazlardan hidrojen dışındakiler karbon ile birlikte bulunmaktadır. Isıl değer olarak bütanın değeri daha fazladır. Bütan aynı zamanda yoğunluğu en fazla olan gaz yakıttır. Sıvı yakıtlardan ısı değeri olarak dizel yakıtı fazla olmakla birlikte, buharlaşma ısısı olarak etanol, adyabatik alev sıcaklığı olarak benzin, tutuşma sınırı olarak da en yüksek metanol sahiptir.

	Hidrojen	Metanol	Etanol	Benzin	Dizel
C/H Oranı	0	0.25	0.333	0.556	0.520
Moleküler Ağırlığı	2.02	32.04	46.07	91.4	170
Özgül Ağırlığı	0.07	0.790	0.790	0.73	0.83
Sıvı ( $\text{kg/dm}^3$ )	$0.84 \cdot 10^{-4}$	-	-	-	-
Gaz ( $\text{kg/dm}^3$ )	-	-	-	-	-



Isıl Değer ( MJ/kg) (MJ/Li)	119.93 8.41	20.1 15.9	26.9 21.3	47,4 31.8	40,57 -
Stokiyometrik karışım Hava/yakıt(kütleli)Hava/yakıt(hacimsel) (kj/ Lt)	34.32 2.38 3.20	6.44 7.14 3.53	8.96 14.3 3.61	14.7 45.79 3.78	14.5 - -
Mol <sub>ürünler</sub> /mol <sub>reaktantlar</sub>	0.85	1.06	1.06	1.04	-
Buharlaştırma ısısı(Mj/kg)	0.447	1.102	0.856	0.272	0.3
Tutuşma sınırları % hacim $\lambda$	4.1 – 74 0.15-4.35	6-37 0.24–2.22	3.5-19 0.29–1.92	1.3-7.6 0.29–1.67	0.48-1.35 -
Laminer alev hızı (m/s)	2.91	0.52	-	0.37	-
Adyabatik alev sıcak. (°C)	2110	1878	1924	1993	-
Difüzyon katsayısı (m <sup>2</sup> /s)	0.61	-	-	0.08	-
Kaynama noktası (°C)	-252.35	65.1	78.7	32-221	170-350
Donma noktası (°C)	-259	-97.6	-114.1	-56	-
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C).	574-591	470	392	257	-
Oktan Sayısı ROS MOS	130 -	110 87	106 89	91-100 82-94	- -

**Tablo 7.** Alternatif yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin karşılaştırılması [29,41,42,43]

#### 4- SONUÇLAR

Günümüzde petrol kaynaklarının hızla azalması, alternatif yakıtlar üzerinde yapılan çalışmaları önemli ölçüde artırmıştır. Bu çalışmalar, hem yenilenebilir, hem de yenilenemeyen enerji kaynakları üzerinde olmaktadır. Yenilenebilir enerji en ucuz enerjidir. biogaz, hidrojen gibi kaynaklar yenilenebilir kaynaklara örnek teşkil etmekte iken, alkol, dizel yakıtı, benzin, LPG v.b. yenilenemeyen enerji kaynaklarına örnek oluşturmaktadır.

Günümüzde taşıtlarda kullanılan enerji bakımından farklılıklar görülmektedir. Tarım toplumu yapısı gösteren ülkelerde biogaz kullanımı artarken, bazı tarım toplumlarında alkol, bazılarında da bitkisel yağlardan yararlanarak taşıtların enerji ihtiyacı karşılanmaktadır.

Çevre bilincinin gelişmesi, yakıt sisteminde önemli bir değişiklik yapmadan kullanılabilirliği gibi nedenlerden dolayı, LPG ve Doğal gaz kullanımı, benzinli motorların yanı sıra dizel motorlarında da tüm dünyada artış göstermektedir.

Son yıllarda, Dünyada alternatif enerji kaynaklarının kullanımı konusunda, yenilenebilir olması, yaygın olarak bulunması gibi nedenlerden dolayı en çok çalışma yapılan madde hidrojenidir. Hidrojenin kimyasal ve fiziksel özelliğinden dolayı depolama sorunları tam olarak çözülmüş değildir. Depolamada hem deponun doldurulma süresi hem de gazın saklanması problemleri çözülmesi ile hidrojen günlük hayatımızda önemli bir yer teşkil edecektir.

## KAYNAKLAR

1. İlkılıç, C., Yücesu. H. S., “Ayçiçek Yağı Metil Esteri İle Dizel Yakıtı Karışımının Farklı Enjeksiyon Basınçlarında Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi”, 7. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Ankara. (2002)
2. Karaosmanoğlu, F., Alkollü Benzinlerin Alternatif Motor Yakıtı olarak Değerlendirilmesi”, Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Ens. İstanbul. (1990)
3. Aydın K., Karadurmuş, Z., “Metil Alkol Benzin Karışımlarının Benzinli Motorlarda Performans ve Emisyona Etkisi”, 1. Uluslar arası Katılımlı Otomotiv Teknolojisi, Çukurova Üniversitesi, Adana. (1997)
4. Batmaz, İ., İcingür, Y., “Motorlu Taşıtlarda LPG Kullanımı ve Birinci Kuşak LPG Sistemlerinin Performans ve Emisyonlarının Analizi”, Teknoloji Dergisi Z K.Ü. Karabük Tek. Eğt. Fak. Dergisi, Sayı 1, Karabük. (1998)
5. Anonymous. “Automotive Handbook” Bosch, Robert Bosch GmbH. (1993)
6. Çelik, M.B., Metanol-Benzin Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, G.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü. Yük. Lisans Tezi, Ankara. (1994)
7. Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Yayını, (1989)
8. Knowles, D., Alternative Fuels, Reston Publishing Company Inc. Virginia. (1984)
9. Çetinkaya, S., Çelik, M.B., Metanol-Benzin karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına etkisi”, Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt4, Sayı: 3, Vol: 4, No: 3, Ankara. (1995)

10. Buğdaycıoğlu, C., Adoption of a Dual Carburetor System to an Automotive SI Engine and its performance Analysis with Different Methanol-Gasoline Mixtures, Master Thesis, METU, Ankara. (1979)
11. Gülder, Ö.L., Etanol ve Etanol-Benzin Karışımlarının Otomobil Yakıtı olarak Teknik yönleri, TÜBİTAK-MAG Proje No:526, Ankara. (1981)
12. Yağcıoğlu E, “Biyokütle enerjisi”, EİE Bülteni. (1984)
13. Ingamells, J.C. and Lindquist, R.H., “Methanol as a Motor Fuel or a Gasoline Blending Component” SAE Transaction, 750123. (1975)
14. Altın, R., “Haşhaş Yağının Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması”, Teknoloji Dergisi, Sayı 3-4, Z.K.Ü. Karabük Tek. Eğt. Fak., Karabük. (1998)
15. Barlas, H., Bayat, C., “Çevre dostu bir dizel yakıtı: Biodizel”, 6. International Combustion Symposium. İstanbul. (1999)
16. Altın, R., Balcı, M., “Ayçiçek Metil Ester Yakıtının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılması Üzerine Bir Araştırma”, Teknoloji Dergisi Z. K. Ü. Karabük Tek. Eğt. Fak. Sayı 1, Karabük. (1998)
17. Veziroğlu, N., “Hidrojen enerjisi”, Modern fizik AÖF yayını No: 117 Eskişehir.
18. Karim, A., Ghazi., “Hydrogen as a Spark Ignition Engine Fuel”, International Journal of Hydrogen Energy, 28 , 569-577. (2003)
19. Güvendiren, M., Öztürk, T., “Enerji kaynağı olarak hidrojen ve hidrojen depolama”, mühendis ve makine, cilt 44 sayı 523, sayfa 45-56 (2003)
20. Ateş, A., “İçten Yanmalı Motorlarda Hidrojenin Yakıt Olarak Kullanılması Ve Depolama Problemleri”, S. Ü. Yüksek Lisans tezi, Konya. (1985)
21. Thiring, R. H., “ Alternative Fuels for Spark Ignition Engines” SAE 831685. (1983)
22. Das, L.M., “Hydrogen Engine: Research and Development (R&D) Programmers in Indian Institute of Technology (ITT), Delhi”, International Journal of Hydrogen Energy 27, 953-965. (2002)
23. Yüksel, F., Ceviz, M.A., “ Thermal Balance of a Four Stroke SI Engine Operating on Hydrogen as a Supplementary Fuel”, Energy, 28, 1069-1080. (2003)
24. [www.fortunecity.com](http://www.fortunecity.com), 2001.
25. Arslan, E., Soruşbay, C., “Hidrojenin Binek Otomobillerde Kullanımı ve Depolama Yöntemleri”, İkinci Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu 1. Özel Sayısı. (1989)
26. Yücesu, H. S., “Doğal Gazın Benzin Motorlarında Kullanımı Amaca Uygun Gaz Karıştırıcının Tasarımı ve İmalatı”, G.Ü. Fen Bil. Ens. Yüksek Lisans, Ankara. (1991)
27. Huang, J., Crookes, J., “Assessment of Simulated Biogas as a Fuel For the Spark Ignition Engine”, Fuel, Vol 77, No, 15, pp 1793-1801, England. (1998)
28. Pancar, F., “Dizel Motorların Doğalgaz Motoruna Dönüştürülmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. (1994)

29. Özaktaş, T., Arslan, E., Ergeneman.M., Göktan.A.G., Soruşbay.C., “Doğalgaz Motorları ve Otobüslerde Doğalgaz Kullanımı”, *Temodinamik dergisi*, S:54-57, 1994
30. Jouke, W., Van der., Seppen, J.J., Ling, J.A.N. Van., and Dekker, H.J., “Experiences with CNG and LPG Operated Heavy Duty Vehicles Emphasis on US HD Diesel Emission Standards” SAE Paper, 881657.
31. Jouke, W., Seppen, J.J., Ling, J.A.N. van., and Dekker, H.J., “Experiences with CNG and LPG Operated Heavy Duty Vehicles with Emphasis on US HD Diesel Emission Standards” SAE Paper 881657. (1988)
32. European Commission, “Green Paper-towards a European strategy for the security of energy supply “,(COM 2000) 769 final. (2000)
33. European Commission, Action Plan, Promotion of bio-fuels and other alternative fuels for road transportation. Directorate General for Energy and Transport. (2001)
34. Salman, B., Batmaz, İ., “ Sıvılaştırılmış Petrol Gazı Kullanan Taşıtlarda Performans ve Emisyonlar”, *G.Ü. Tek. Eğit. Fak. Politeknik Dergisi Cilt 1, Sayı 1-2, Ankara.* (1998)
35. İçingür, Y., Salman, M.S., Batmaz, İ., “Taşıtlarda LPG Kullanımı”, *S.Ü. Tek. Eğt. Fak. Taşıtlarda Yakıt Olarak LPG Kullanımı Paneli, Konya.* (1998)
36. Öğüt, H., Kuş, R., “Motorlu Taşıtlarda Alternatif Yakıt Kullanımı” Ulaşım ve Trafik kongresi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, s 149-161, Ankara, (1999)
37. Çetinkaya, S., “Taşıtlarda LPG Kullanımı”, *S.Ü. Tek. Eğt. Fak. Taşıtlarda Yakıt Olarak LPG Kullanımı Paneli, Konya.* (1998)
38. Binark, A.K., “Biogaz enerjisi uygulamaları”, GAP 1. Mühendislik kongresi bildiriler kitabı. (1996)
39. Kavak, E., Biçer, Y., Yıldız, C., “Gap Bölgesinde Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biogazın Önemi, Gap 1. mühendislik kongresi bildiriler kitabı. (1996)
40. Updated and Revised Edition, *Energy Primer Solar, Water, Wind and Bio fuels* Edited by Richard Merrill and Thomas Gage Published by Dell Publishing Co, Inc. (1978)
41. Güney, İ., Özel, S., Karatepe, Y.,”Yakıt Olarak Hidrojen Ve Türkiye’deki Yeri “ 3. İleri teknolojiler sempozyumu Bildiriler kitabı, 39-57, Ankara, (2003)
42. Özgülsün, A., Karaosmanoğlu, F., Özaktaş, M.T.,”Biyogazın İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı”, *Mühendis ve Makine dergisi, Cilt 38, sayı 449, 20-22,* (1997)
43. Yamık, H., İçingür, Y., “Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanımı”, *7. Uluslar arası yanma sempozyumu, 172- 181, Ankara,* (2002)