

T.C.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİR DİZEL MOTORUN DOĞALGAZ İLE ÇALIŞIR HALE  
GETİRİLMESİ VE ANALİZİ

BURAK SEZGİN

EKİM 2009



Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürünün onayı.

(Unvan - İsim)

.../.../.....

\_\_\_\_\_  
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak ..... Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

(Unvan - İsim)

\_\_\_\_\_  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans / Doktora tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

(Unvan - İsim)

(Unvan - İsim)

\_\_\_\_\_  
Ortak Danışman

\_\_\_\_\_  
Danışman

Jüri Üyeleri

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## ÖZET

### BİR DİZEL MOTORUN DOĞALGAZ İLE ÇALIŞIR HALE GETİRİLMESİ VE ANALİZİ

SEZGİN, Burak

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Prof. Dr. Veli ÇELİK

Ekim 2009, 96 sayfa

Bu tez çalışmasında içten yanmalı bir dizel motoru, çeşitli modifikasyonlarla doğalgazla çalışır hale getirilmiştir. Dizel motoru sıkıştırma ile ateşleme prensibine göre çalışır. Yanma odasındaki yakıtı yakmak için gerekli sıcaklık, piston içindeki havanın sıkıştırılmasıyla elde edilir. Yaklaşık 17:1'lik bir sıkıştırma oranı olan yanma odasındaki hava, dizel yakıtını ateşleyecek kadar ısınır. Bu sistemle çalışan bir motorda yakıt olarak doğalgaz kullanmak istenirse, doğalgazın yüksek oktan sayısı, bu kadar yüksek bir sıkıştırma oranında vuruntuya sebep olacaktır. Bunun önüne geçmek, motorun çalışma prensibini değiştirmekle mümkündür.

Doğalgaz yüksek oktan sayısı nedeniyle benzinle benzerlikler gösterir. Dolayısıyla doğalgaz motorlarının çevrimi de benzinli motorlarınkine benzemelidir. Benzinli motorlar, Otto çevrimiyle çalışırlar. Otto çevrimlerde sıkıştırma oranı 10-12 civarındadır. Dizel çevrimle çalışan bir motoru Otto ile çalışacak hale getirmek için sıkıştırma oranını dşrmek gerekmektedir. Bu da yanma odasında bazı modifikasyonlar yaparak mümkündür.

**Anahtar Kelimeler:** Dizel motor, CNG, Doğalgaz, Sıkıştırma oranı

## ABSTRACT

OPERATING AND ANALYSING OF CNG USAGE IN A DIESEL ENGINE

SEZGİN, Burak

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering, M. Sc. Thesis

Supervisor : Prof. Dr. Veli ÇELİK

October 2009, 96 pages

In this thesis, an internal combustion diesel engine made worked with CNG by applying several modifications. Diesel engine works with compression ignition principle. Necessary heat in the combustion chamber supplied by compressed air onto the piston. If CNG is wanted to use in such an engine, high octane number will cause self knocking in such high compression ratio. It is possible to prevent this fault by changing the principle of working the engine. CNG resembles with gasoline because of high octane number. So the cycle of the CNG engines must resemble the cycle of gasoline engines. Gasoline engines works with a compression ratio almost 10-12. To convert a diesel engine to an Otto engine, it is obligated to reduce

the compression ratio. It's possible with some modifications in combustion chamber.

**Key Words:** Diesel engine, CNG, Natural gas, Compression ratio

## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında bana her türlü yardımda bulunan, en zor anlarda maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen, gerek bir bilim adamı gerekse bir insan olarak büyük saygı duyduğum Sayın Prof. Dr. Veli ÇELİK'e, bilime destek veren bir müteşebbis olan Ufuk TAŐKESEN'e, Hocalarım Doç. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU, Yard. Doç. Dr. Sadettin ORHAN ile birlikte lisans ve yüksek lisans başta olmak üzere, mühendis olmamda emeği geçen bütün hocalarıma, aileme, ve tüm dostlarıma teşekkürü bir borç bilirim.



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### ŞEKİL

1.1. Benzinli motorlarda çevrim zamanları .....	6
1.2. Pistonun yapısı .....	19
1.3. Piston çeşitleri .....	20
1.4. Yanma odası çeşitleri .....	23
1.5. Tüp .....	40
1.6. Regülatör .....	41
1.7. Gaz Karıştırıcı .....	41
1.8. Emniyet valfi .....	42
1.9. Elektronik kontrol ünitesi (ECU) .....	43
2.1. Motorun sökülmesi .....	46
2.2. Enjektör yuvalarının genişletilmesi .....	47
2.3. Bujilerin yerleştirilmesi .....	47
2.4. Sübap yataklarının yenilenmesi .....	48
2.5. Pistonların sökülmesi .....	48
2.6. Pistonların genişletilmesi .....	49
2.7. Pistonların montajı .....	49
2.8. Gaz vanası montajı .....	50

2.9. Lambda sensörünün bağlanması için yapılan modifikasyon .....	51
2.10. Lambda sensörünün bağlanması .....	51
2.11. Regülatörün bağlanması .....	52
2.12. Sistemin genel yapısı .....	52
3.1. Dizel Çevrimi .....	54
3.2. Karma Çevrim .....	57
3.3. k1 adyabat üssü için nomograf.....	67
3.4. k2 adyabat üssü için nomograf.....	70
3.5. Otto çevrimi .....	74
3.6. Deneyde kullanılan motor (F4L912) .....	79
3.7. Şasi Dinamometresi .....	81
3.8. Emisyon Ölçüm Sistemi .....	82
3.9. Piston Modifikasyonları .....	83
3.10. Performans Değerlendirmeleri .....	85
3.11. CO emisyonları.....	87
3.12. CO2 emisyonları.....	87
3.13. HC Emisyonları .....	88
3.14. Pusluluk (PM) Emisyonları .....	89

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### ÇİZELGE

1.1. Dünyada doğalgaz rezervleri.....	33
1.2. Türkiye'nin doğalgaz kaynakları .....	35
1.3. Dünyada doğalgazla çalışan araçların sayısı .....	37
3.1. Atık gazların molar özgül ısısı .....	68

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	ix
SİMGELER DİZİNİ .....	xi
KISALTMALAR DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kaynak Özetleri.....	5
2. MATERYAL ve YÖNTEM .....	46
2.1. Motor Modifikasyonları .....	46
3. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	53
3.1. Teorik Analiz .....	53
3.2. Deneysel Çalışmalar .....	79
4. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	90
4.1. Aylık - Yıllık Emisyon Değerlendirmesi.....	90

4.2. Motor Gücü ve Ekonomik Değerlendirme .....	92
KAYNAKLAR.....	94

## SİMGELER DİZİNİ

be : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

CO : Karbonmonoksit

CO<sub>2</sub> : Karbondioksit

W: İş

n : Motor devri (1/min)

NO<sub>x</sub> : Azotoksit

Pe : Motor gücü (kW)

Q: Isı

$\epsilon$  : Sıkıştırma oranı

## KISALTMALAR DİZİNİ

AÖN : Alt ölü nokta

CNG : Sıkıştırılmış doğalgaz

HC : Hidrokarbon

HFK : Hava fazlalık katsayısı

H/Y : Hava/yakıt oranı

LNG : Sıvılaştırılmıs dogalgaz

LPG : Sıvılaştırılmıs petrol gazı

ECU : Elektronik kontrol ünitesi

ÜÖN : Üst ölü nokta

## 1 GİRİŞ

Enerji, insanların ve toplumların varlıklarını devam ettirebilmeleri için gerekli en önemli unsurdur. Bu sebeptendir ki ülkeler ekonomi politikalarını enerji üzerine kurmuşlardır. Dünyada savaşların çoğu enerji yüzünden çıkmıştır ve çıkmaktadır.

Tarih 1973'ü gösterdiğinde Petrol İhraç Eden Arap Ülkeleri Birliği OAPEC, Yom Kippur Savaşında ABD'nin İsrail Ordusuna destek vermesine karşılık olarak petrol ambargosu ilan eder, ABD ve savaşta İsrail'in yanında yer alan diğer ülkelere petrol ihraç etmeyeceğini bildirir. Aynı zamanda üretimi yavaşlatan OAPEC, petrol fiyatlarını yükseltir. Gelişmiş ülke sanayileri petrole bağımlı olduğundan petrol krizi patlak verir. Böylece 1973-1974 döneminde dünya borsası çöker. <sup>(1)</sup>

Keza I. ve II. Körfez Savaşları'nın da petrol yüzünden çıktığı artık tüm dünya tarafından kabul edilmektedir.

Amerika'da varlığını sürdüren Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency) raporlarına göre, dünyanın petrol rezervi 2.300 milyar varil civarındadır ve bu miktarın 1/3'ü tükenmiş durumdadır. Dünyanın yıllık 22 milyar varil petrol tükettiği düşünülürse teorik olarak 60-70 yıl sonra bu rezervin tükeneceği düşünülmektedir. Yapılan çalışmalara göre, enerji kaynakları kullanımında değişiklik yapılmazsa, küresel çapta enerji açığı ve kirliliğin 2030 yılına kadar 50% artacağı uyarısında bulunulmuştur. <sup>(2,3)</sup>



Otomobillerin, insanlara sağladığı ulaşım rahatlığı ve hareket özgürlüğü büyüktür. Ancak egzozundan çıkan gazlarla şehir havasını dolayısıyla tüm atmosferi kirleterek, sera etkisi dediğimiz ve gittikçe artan tehlikeyi de beraberinde getirmektedir. Motorlu taşıtların havayı kirletmelerinin temel sebebi, içten yanmalı motorların yeterince verimli çalışmamalarıdır. Bu durum yarı yanmış ya da hiç yanmamış yakıtın, karbonmonoksit, hidrokarbon, ya da kurum olarak motordan atılmasına yol açmaktadır<sup>(4,5)</sup>. Yakıt tam yandığında çıkması gereken atık, karbondioksit ve sudur. Ayrıca havadaki azot, yüksek basınç ve ısı altında azotoksit oluşturmaktadır. Öte yandan, yakıt içerisinde kükürt ve kurşun bileşikleri de tam bir yanmayı engellemekte ve egzoz gazının tehlikesini artırmaktadır. Taşıt egzozlarından, bilhassa benzin motorlu taşıtlarından çıkan karbonmonoksit, hidrokarbon ve azot bileşikleri ve parçacıkların meydana getirdiği çevre sorunları, birçok şehirde ciddi boyutlara ulaşmıştır. Milyonlarca taşıttan kükürtdioksit, kurşun gibi tehlikeli maddelerin de atmosfere yayıldığını düşünürsek çevreye verilen zararın boyutunu da kolaylıkla anlayabiliriz. Bu nedenle motorlu taşıt egzoz gazlarından kaynaklanan hava kirliliği, kalıcı önlemleri gerektiren acil çevre sorunu haline gelmiştir. <sup>(6-8)</sup>

Küresel ısınmanın kaynağı olan sera etkisini en çok tetikleyen gaz CO<sub>2</sub> gazıdır. CO<sub>2</sub> gazı her yanma reaksiyonunda çeşitli miktarlarda oluşur. Tam yanma olmaması halinde meydana CO gazı ise ozon tabakasına zarar verir. CO gazı kandaki hemoglobinle bileşik oluşturarak zehirli etki yaratır. Hidrokarbonlar ve CO soluma güçlüğü oluştururlar ayrıca çoğu hidrokarbonun da zehirli etkisi mevcuttur. Yanma sonucu ortaya çıkan azot oksitlerinin ise (NO<sub>x</sub>) kanserojen etkisi olduğu düşünülmektedir.<sup>(9,10)</sup>

Bu ve bunun gibi sebeplerden dolayı tüm dünya bazı önlemlerin alınması gerekliliğinin farkına varmıştır. 1992'de Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesi'ne ek olarak 1997 yılında Japonya'da Kyoto protokolü kabul edilmiştir. Kyoto Protokolü kriterleri, CO2 emisyon değerleri yüksek olan şirketlere CO2 kredisi kullanma zorunluluğu getirmiş ve bu durum CO2 emisyon ticareti ve borsasını ortaya çıkarmıştır.

Günümüzde hava kirliliğini önlemek için birçok ülkede egzoz emisyonları sıkı kurallarla denetim altına alınmış ve her aracın emisyon limiti mümkün olan en düşük seviyeye indirilmiştir.

Avrupa Birliği (AB), dizel yakıt kullanan araçların emisyon standartlarını 1990'larda belirlemiş (Euro 1 standartları), bu standartları yıllar içinde sıkılaştırmıştır: 1996'da Euro 2, 2000'de Euro 3, 2005'te Euro 4, 2008'de Euro 5. ABD'de Çevre Koruma Ajansı (EPA) da benzer standartlar belirlemiştir. Japonya, Avustralya ile Asya ve Latin Amerika'daki bazı ülkeler özel emisyon düzenlemeleri hazırlamış ve bunları geliştirmektedir. Son kısıtlamalar NOx salınımını şimdikininkin üçte birine indirmeyi hedeflemektedir.<sup>(11,12)</sup>

İngiltere'de Londra bölgesinde düşük emisyon bölgesi çalışmaları neticesinde, İngiltere dışında bir ülkeye kayıtlı, 12 tonun üzerinde, Londra'dan geçen ve şu anda Londra Düşük Emisyon Bölgesi'nin standartlarını karşılayamayan kamyonlar, Londra'da dolaştıkları her gün için £200 ödemektedirler.

Bu ve bunun gibi kısıtlamaların çevreye katkısı yanında ekonomik etkisi de göz önünde bulundurulması gereken diğer bir durumdur. Taşıtların egzoz gazlarına getirilen kısıtlamaları, birçok taşıtı trafiğe çıkamama tehlikesiyle karşı karşıya getirmektedir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin ekonomisi düşünülürse, AB emisyon standartlarını karşılayamayan taşıtların trafikten çekilmesi, yurt dışından emisyon değerlerini karşılayan araç ithalatı gibi durumların ülkelerin ekonomisine altından kalkılması güç olan bir darbe vurması kaçınılmazdır.

Teorik olarak dizel çevrimle çalışan bir aracı, motorda bazı değişiklikler yaparak alternatif yakıtlarla çalıştırmak mümkündür. Fosil yakıtlarına alternatif olan bu yakıtların, başta doğalgaz olmak üzere, petrolden elde edilen yakıtlara göre daha az emisyon ürettiği bilinmektedir. Dolayısıyla aracı trafikten çekmek yerine kullandığı yakıtı değiştirerek emisyon değerlerini azaltmak, hem doğalgazın düşük emisyon değerleri, hem Türkiye'de dahil olmak üzere tüm dünyada yoğun rezervi ve petrole göre çok daha ucuz olması dolayısıyla ülke ekonomisine katkıda bulunmak demektir.

Bu çalışmada dizel çevrimle çalışan bir motorun doğalgazla çalışır hale getirilmesi konusu incelenmiştir. Deutz marka bir dizel motorunda gerekli modifikasyonlar yapılmış, yakıt tüketimi, emisyon ve performans değerleri irdelenmiştir.

## 1.1 Kaynak Özetleri

### 1.1.1 İçten Yanmalı Motorlar

Genel manada motor; ısı, elektrik, rüzgar, atom gücü vb. enerjileri mekanik enerjiye çeviren sistemler bütününe denir. Yakıtların yanması ile oluşan ısıyı (termal enerjiyi) mekanik enerjiye çeviren makinelere motor denir. Isı enerjisini (termal enerjiyi) mekanik güce çeviren motorlara termal motorlar denir. Çok çeşitli motorlar vardır. Benzinli ve dizel motorlar termal enerjiyi içlerinde ürettikleri için bunlara içten yanmalı motorlar denir.

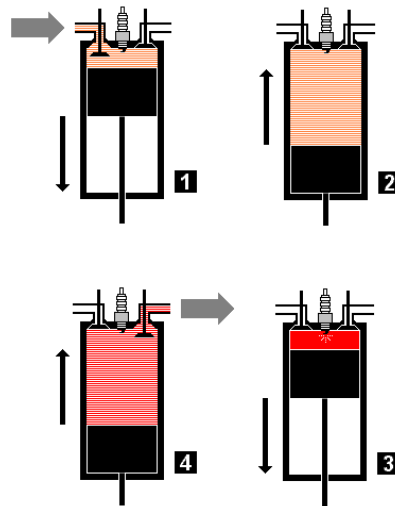
### 1.1.2 Benzinli (Otto) Motorlar

Benzinli motor, bir tür içten yanmalı motordur. Benzinli motorlarda kullanılan yakıt benzin, LPG ya da doğalgaz olup, yakıt dizel motordan farklı olarak karbüratör adı verilen bir düzenek sayesinde, sıvı olarak değil buharlaşıp hava ile karışarak silindire girer.

Yakıtın oksijen (hava) ile oluşturduğu karışım sonucunda yanma gerçekleşir. Yakıt hava karışımının silindirin içinde bir kıvılcım ile yanması sonucu bir patlama meydana gelir. Burada yine dizel motordan farklı yanmayı sağlamak için kıvılcım yani buji kullanılır. Patlamanın ortaya çıkardığı basınç, piston tarafından hareket enerjisine dönüştürülür.

Benzinli motorun çalışma prensibini oluşturan çevrim dört zamanlı çevrim ya da Otto Çevrimi olarak da anılır. Bu çevrim 1876 yılında Alman mühendis Nikolaus Otto tarafından bulunmuştur. Çevrim dört aşamadan oluşur.

1. Emme:Karbüratörden gelen benzin-hava karışımı, emme sübabının açılması ile silindir içine çekilir.
2. Sıkıştırma:Piston yukarı çıkarak benzin-hava karışımını sıkıştırır.
3. Yanma:Sıkışan ve ısınan karışım, bujiden çıkan kıvılcım ile tutuşur. Oluşan patlama ile piston aşağı doğru itilir.Hareket gücü bu aşamada üretilmiş olur.
4. Egzoz:Bu aşamada ise pistonun yukarı hareketi ile yanma sonucu oluşan gazlar egzoz sübabından dışarı atılır ve bir çevrim tamamlanarak, diğer çevrim yeniden başlar. Benzinli motorların çevrim zamanları Şekil 1.1.'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.1.** Benzinli motorlarda çevrim zamanları

### 1.1.3 Dizel Motorlar

Dizel motor, içten yanmalı bir motor tipidir. Daha özel bir tanımla, dizel motor oksijen içeren bir gazın (genellikle bu atmosferik havadır) sıkıştırılarak yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşması ve silindir içine püskürtülen yakıtın bu sayede alev alması ve patlaması prensibi ile çalışan bir motordur. Bu yüzden benzinli motorlardan farklı olarak ateşleme için bujiye ve yakıt oksijen karışımını oluşturmak için karbüratöre ihtiyaç yoktur.

1892'de Alman Mühendis Rudolf Diesel tarafından bulunmuş ve daha sonra 23 Şubat 1893'te patenti alınmış bu süreç dizel çevrimi olarak bilinir. Motorun mucidi, geniş kömür yataklarına sahip olan Almanya'nın petrole bağımlılığını azaltmak için kömürle çalışan bir motor yapmayı hedeflemiştir. Ancak kömür tozunun yanmasından dolayı ortaya çıkan kül büyük sorunlar doğurmuş, daha sonraları ise motorda farklı yakıtların kullanılması tasarlanmıştır. Nitekim Rudolf Diesel, motorun sunumunu 1900'deki Dünya Fuarı'nda, yakıt olarak yer fıstığı yağı (Biodizel) kullanarak yapmıştır.

#### 1.1.3.1 Dizel Motorun Çalışma Prensipleri

Gaz sıkıştırıldığında, sıcaklığı yükselir, dizel motoru bu özelliği kullanarak yakıtı ateşler. Hava, dizel motorunun silindiri içine çekilir ve bir piston tarafından, kıvılcım ateşlemeli (benzinli) motorlardakinden çok daha

yüksek (25 katı bulabilir) bir oranda sıkıştırılır. Hava sıcaklığı 500-700°C'a ulaşır. Piston hareketinin en tepe noktasında, dizel yakıt yüksek basınçla atomizer memeden geçerek yanma odasının içine püskürtülür, burada sıcak ve yüksek basınçlı hava ile karışır. Bu karışım hızla tutuşur ve yanar. Hızlı sıcaklık artışı ile yanma odası içindeki gaz genişler, artan basınç, pistonu aşağı doğru hareket ettirir. Biyel (piston) kolu, krank mili çıkışına dönme gücü olarak iletilir.

Motorun süpürmesinde, egzoz gazını silindirin dışına atma ve taze hava çekme işlemi, kapakçıklar (valf) veya giriş ve çıkış kanalları aracılığıyla yapılır. Dizel motorun kapasitesinin tam olarak kullanılabilmesi için içeriye alınan havayı sıkıştırabilecek turboşarjer kullanılması gerekir; turboşarjer ile havanın sıkıştırılmasından sonra bir artsoğutucu/arasoğutucu ile içeri alınan havanın soğutulması ayrıca verimi artırılır.

Çok soğuk havalarda, dizel yakıt koyulaşır, viskozitesi artar, balmumu kristalleri oluşur veya jel haline dönüşür. Yakıt enjektörü, yakıtı silindirin içine etkili bir şekilde itemez ve bu yüzden soğuk havalarda motorun çalıştırılmasını zorlaştırabilir. Dizel teknolojisinde bu zorluğu yenmek için çeşitli önlemler geliştirilmiştir. Sıkça kullanılan bir uygulama, yakıt hattı ve yakıt filtresini elektrikle ısıtmaktır. Bazı motorlarda silindir içinde bulunan kızdırma bujileri denen küçük elektrikli ısıtıcılar, çalıştırmak için silindirleri önceden ısıtırlar. Az sayıda motorda kullanılan başka bir teknoloji ise, manifold içindeki rezistans telli ısıtıcılar, motor çalışma sıcaklığına gelinceye

dek giriş havasını ısıtır. Soğuk havalarda, motor uzun süreli (1 saatten daha fazla) kapatıldığında kullanılan ve şehir cereyanı ile çalışan motor blok ısıtıcıları, aşınma ve çalıştırma zamanını azaltmak için sıklıkla kullanılır.

Eski dizel motor sisteminin en önemli parçası hız kontrol ünitesidir; bu ünite yakıtın gelme hızını kontrol ederek motorun hızını sınırlar. Benzin motorlarından farklı olarak dizel motorlarında hava emme sübabı yoktur, bu yüzden hız kontrol ünitesi olmazsa motor fazla hızlanır. Eski tip hız kontrol üniteleri motordan bir vites sistemi ile yönlendirilir ve böylece sadece motor hızıyla doğru ilişkili olarak yakıt sağlanırdı.

Modern elektronik kontrollü dizel motorları benzin motorlarındakine benzer bir kontrol mekanizmasını (ECM) Elektronik Kontrol Modülü veya Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU) yoluyla uygularlar. Motor "bilgisayarı" ECM/ECU içinde motorun çalışmasıyla ilgili algoritmalar ve kalibrasyon tabloları kaydedilmiştir. ECM/ECU bir sensörden motor hızına dair sinyal alınca gereken bilgi işlemlerini yapar, elektronik ve hidrolik valfler aracılığıyla yakıt miktarını ve yanma zamanlamasını kontrol ederek motor hızını sabit tutar.

Yakıtın pistonların içine enjeksiyonunun başlama zamanının kontrolü, emisyonların azaltılması ve motor veriminin (yakıt ekonomisi) artırılması için en önemli unsurdur. Silindir içine yakıt enjeksiyonu başlama zamanlaması, günümüz modern motorlarında elektronik olarak kontrol edilmektedir. Zamanlama, genellikle üst ölü noktanın (TDC/Top Dead Center) önündeki



pistonun krank ünitesi açısı ile ölçülür. Örneğin, piston üst ölü noktadan 10 derece önde olduğu zaman eğer ECM/ECU yakıt enjeksiyonuna başlarsa, enjeksiyon başlama veya zamanlama 10 derece öndedir denir. Optimal zamanlama, motorun hızı ve yükü kadar tasarımına da bağlıdır.<sup>(13-16)</sup>

### 1.1.3.2 Dizel Motorlarda Emisyon Oluşumu

Yakıt püskürtme Teorisi; Sprey yakıt hava dağılımına ve her bir bölgedeki yanma mekanizmalarına göre birkaç bölgeye ayrılabilir. Bu modelde sprej ekivalans oranına göre 3 bölgeye ayrılır. Birinci bölge sprej çekirdeğidir ve bir alev teşekkül ettirecek şekilde yeteri kadar atomize olmamış ve hava ile karışmamış büyük yakıt damlalarını oluşturur. Üçüncü bölgede yanmak için çok zayıf bir karışım ve küçük yakıt damlacıkları bulunur. İkinci bölge diğer 2 bölgenin arasında bulunur, yakıt damlacıkları ve buharlaşmış hava karışımı ihtiva eder. Yakıt birinci bölgede buharlaşır ve hava ile karışırken, ikinci bölgede yanma başlar. Spreyin ön kenarı ile çekirdeği arasındaki havadaki buhar konsantrasyonu homojen değildir ve bölgesel yakıt hava oranı sıfırdan sonsuza kadar değişir. Yanma çekirdeği, karışım içerisinde kendi kendine tutuşmanın çok daha uygun olduğu birkaç yerde birden oluşur. Bölge ikideki tutuşma ve yanmada alev sprej konisine doğru yayılır. İkinci bölge ile çekirdek arasındaki sınırdaki yakıt damlaları daha büyüktür. Bu damlalar yanan alevlerden radyasyon yoluyla ısı kazanırlar ve daha hızlı bir şekilde buharlaşırlar. Sıcaklığın artışı buharlaşma difüzyonunu

artırır. Bu damlalar tamamen veya kısmi olarak buharlaşırlar. Tamamen buharlaşmamış damlalar difüzyon alevi ile sarılırlar ve bu damlaların yanma hızı buharlaşma hızı, oksijenin aleve difüzyon hızı gibi bir çok faktör tarafından etkilenir.

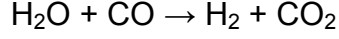
Birinci bölge en yüksek ekivalans oranına sahip olan bölgedir ve en uzun yanma burada olur. Bu bölge katı karbon parçalarının ve NO emisyonlarının kaynağıdır.

İkinci bölge ön karışimli bölgedir ve ilk tutuşma yanması burada oluşur ve bu bölgede önemli bir miktarda emisyon oluşmaz. Üçüncü bölgede ekivalans oranı düşüktür, yanma iyi olmaz. Bu bölgede bu nedenle HC emisyonları oluşabilmektedir.

### **1.1.3.3 Karbonmonoksit (CO) Oluşumu**

Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersiz olmasıdır. Yanma odasının tümü ele alındığında oksijen genel olarak yetersiz olabileceği gibi karışımın tam olarak homojen olmaması durumunda yanma odasının belirli bir konumda yerel olarak da yetersiz olabilir. Temel olarak CO oluşumu hava fazlalık katsayısının kuvvetli bir fonksiyonu olarak değişmektedir.

Yanma sırasında CO oluşumu su gazı dengesi olarak adlandırılan



Denklemleri ile belirlenmektedir. Yüksek alev sıcaklıklarında bu denge reaksiyonundan CO<sub>2</sub> miktarına bağımlı oranla daha fazla CO elde edilir. Ancak sıcaklık düştükçe CO'nun CO<sub>2</sub> şeklinde oksidasyonu söz konusudur. Bu bakımdan fakir karışımlarla egzoz gazları içerisindeki CO miktarı daha az olurken zengin karışımlarda soğuk egzoz gazları içerisinde bile O<sub>2</sub> yetersizliği nedeniyle yüksek miktarda CO bulunmaktadır. Yanma sırasında alev cephesinin iç tarafında ulaşılan yüksek sıcaklık bölgesinde çok miktarda CO oluşmaktadır. Ancak gazların daha sonra genişlemesi ve soğuması sırasında oksidasyon sonucu CO, CO<sub>2</sub> ye dönüşmektedir.

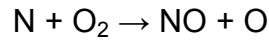
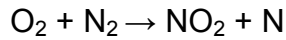
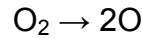


Dizel motorlarında genellikle fakir karışım oranları ile çalışıldığından CO emisyonu düşük olmaktadır. Özetle yanma biterken CO'nun CO<sub>2</sub>'ye dönüşümünü sağlayan yeniden birleşim reaksiyonları oluşur. Şayet bu yeniden birleşim reaksiyonları, oksitleyici eksikliği, alçak gaz sıcaklıkları, kısa kalış zamanı gibi etkenler nedeniyle tamamlanmadan egzoz subabı açılırsa egzoz gazları içinde CO emisyonu artacaktır. Sprey yanmasının ilk safhalarında CO'nun 2. bölge ve 3. bölge sınırları arasında oluştuğuna inanılır fakat bölgesel sıcaklıklar yeteri kadar yüksek olmadığından yetersiz ve az miktarda oksidasyon ve CO<sub>2</sub> oluşur. Daha sonra yanma prosesi esnasında bölgesel sıcaklıklar yükselir ve reaksiyonları artar. İkinci bölgede oluşmuş CO derhal oksitlenir çünkü oksijen konsantrasyonu ve gaz sıcaklığı uygundur. Sprey çekirdeğinde ve duvar kenarlarında yüksek oranlarda CO oluşur.

Oluşum hızı mahalli oksijen konsantrasyonuna, mahalli gaz sıcaklığına ve oksidasyon için yeterli zaman olup olmamasına bağlıdır.

#### 1.1.3.4 Azot Oksit (NO<sub>x</sub>) Oluşumu

Yanma sonucu ulaşılan yüksek sıcaklıklarda havanın içerisindeki azotun oksijen ile birleşmesi sonucu azot oksitler meydana gelmektedir. NO<sub>x</sub> içerisinde ana eleman olarak azot bulunmaktadır. Egzoz gazlarının daha sonra atmosfere atılması sonucu oksijenle temasında NO'nun bir kısmı NO<sub>2</sub> ve öteki NO<sub>x</sub>'lere dönüşmektedir. Bu bakımdan NO<sub>x</sub> oluşumunu etkileyen iki önemli parametre yanma odası sıcaklığı ve hava/yakıt oranıdır. Ayrıca kimyasal reaksiyon hızları da etkili olmaktadır. Ancak bu hızlar da sıcaklığa bağlıdır. Yanma sistemlerinde Azot oksit oluşumu konusunda birçok mekanizma göz önüne alınmıştır. NO oluşumu için kabul edilen en yaygın model zeldowich mekanizmasıdır.



Zincir reaksiyonları yüksek sıcaklıklarda oksijen moleküllerinin ayrılmasından oluşan atomik oksijen tarafından başlatılır. Bu mekanizmaya göre dizel yanmasından spreycideki bölgesel NO oluşumu bölgesel oksijen atomu konsantrasyonu ile ilişkilidir, bölgesel oksijen atomu konsantrasyonu ise oksijen moleküllerinin bölgesel konsantrasyonu ve alev sıcaklığı ile

bağıntılıdır. Yukarıdaki denge reaksiyonlarını göz önüne alarak son 2 reaksiyonun ters yönde ilerlemesi NO'dan O<sub>2</sub> elde etmek mümkündür. NO oluşum hızı N<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub>'nin oluşum hızından daha yüksektir. Bunun sebebi piston üst ölü noktadan aşağıya doğru giderken NO'ların tekrar N<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> ye ayrışması beklenirken reaksiyon hızının düşük sıcaklıklarda çok düşük olması nedeniyle bu reaksiyonlarda yavaşlar yani piston üst ölü noktadan aşağıya doğru giderken soğuyan gazlar reaksiyonu dondurur. Bu yüzden NO miktarındaki azalma önemsizdir.

#### 1.1.3.5 Partikül Madde Oluşumu

Partikül maddeler; katı parçacıklar, duman veya is olarak da tanınır. Dizel motorunda hem karışım, hem de yakıt cinsi partikül maddelerin oluşumuna sebep olmaktadır. Oksijence fakir ortamda bulunan yakıt moleküllerinin ısı parçalanması özellikle H'lerin kolayca oksitlenmesi, C'ların ise oksitlenmeden ortamda çoğalması durumunda partikül maddeler oluşur. İS, bu durumda oluşan katı karbon tanecikleridir. Motorun yük durumuna göre değişen HFK'nın bir fonksiyonu olarak is miktarı değiştiğinden motorun gücünü de sınırlayan bir etkidir. Genelde is oluşumu dizel yanmasının bir safhasıdır. Bu nedenle başlangıçta oluşan karbonun büyük bir kısmı tekrar yanar. Ancak gücü arttırmak amacı ile yanma odasına fazla miktarda yakıt gönderildiğinde, yeterli oksijen bulunmadığı için egzoz gazları içerisinde bir miktar is bulunacaktır. İS oluşumu silindirin aşınmasına segman yuvalarının karbonla dolarak zarar görmesine neden olmaktadır. Yanma odasında yeterli

sıcaklık, oksijen ve zaman bulunmaz ise partikül maddeler egzozdan dışarı atılmaktadır. Partiküller çapları bakımından tehlike sınıflandırmasına tabidirler. Yani partikül çapı küçüldükçe çevresel ve sağlık açısından tehdidi de büyür. Trafik kökenli partikül maddeler, dizel motorlarda düşük kükürtlü yakıt kullanılması ve yakıt pompasının doğru ayarlanması ile büyük ölçüde önlenir. Nefes alındığında akciğere kadar giderek yerleşebilen bu maddeler bronşları tahriş ettiği için insan sağlığına zararlıdır. Dizel motorların dışında PM, fren balataları ve lastiklerden sürtünme etkisi sonucunda da oluşmaktadır.

#### 1.1.3.6 Hidrokarbon (HC) Oluşumu

Karışımın zengin veya fakir olması HC emisyonunu etkilemektedir. HFK'nın 1,1 değeri civarında HC'lar minimumdan geçerek bu değer her iki yanında da artış göstermektedir. HFK'nın büyük olması durumunda yanma odası sıcaklığı düşeceği için tam yanma olmaz ve HC'lar artar. Karışımın zengin olması durumunda ise yeterli oksijen bulunmadığı için yakıtın tümü yanamaz ve tekrar HC'lar artış gösterir. Hidrokarbonların yanmasında alev cephesinin arkasında ölçülebilir HC konsantrasyonu görülmektedir. Motordaki HC emisyonu daha ziyade tam yanma olmayan bölgelerden oluşmaktadır. HC emisyonu motor yükü ve hızına doğrudan bağlı değildir. Daha çok enjeksiyon sistemine ve yanma odası geometrisine bağlıdır. Dizel motorlarının egzoz borusundaki, sıcaklık ve oksijen konsantrasyonun yeterli olduğu hallerde HC'lar oksidasyonlarını devam ettirmektedir. Hidrokarbonlar,

çok çeşitli organik kimyasal maddeler içerse de, normal atmosfer miktarlarında toksin etkiye sahip bulunmamaktadır. Ancak havadaki diğer kirleticilerin birbirleri arasındaki reaksiyonlarda rol oynamaları nedeniyle kirletici olarak önem kazanmaktadır. Motorlu araçların yoğun olduğu bölgelerde hidrokarbon miktarlarında önemli artışlar olmaktadır. Dizel motorlarda oluşan emisyonlar haricinde yakıtta kontrol edilmesi gereken emisyonlar ise  $SO_x$  gazlarıdır. Kükürt içeren fosil yakıtların yanması sonucunda oluşarak atmosfere verilen bu gaz, renksiz ve geniz yakıcı bir özelliğe sahiptir. Dizel yakıtlarda % 0,5 'in altında kükürt vardır. Basit olarak çıkan  $SO_x$  gazı  $SO_2$  olarak kabul edilir. Havada 1-7 gün arasında askıda kalabilmektedir. Yakıt içerisinde bulunan kükürt miktarına bağlı olarak özellikle dizel motorlarında yanma sonucu kükürdün hava ile birleşmesi ise  $SO_2$  oluşmaktadır. Daha sonra egzoz gazları içindeki su buharı ile  $SO_2$ 'nin birleşmesi sonucunda da silindir içerisinde ve atmosfere atıldıktan sonra  $H_2SO_4$  oluşmaktadır. Oluşan sülfürik asit motor elemanlarının korozyonuna neden olmaktadır. <sup>(17-21)</sup>

#### 1.1.4 İçten Yanmalı Motorların Pistonları

##### 1.1.4.1 Kullanılan Malzemeler

Genellikle gri dökme demirden, yumuşak dökme çelikten, alüminyum alaşımından veya bazı dizel motorlarında olduğu gibi, krom-nikel katkılı

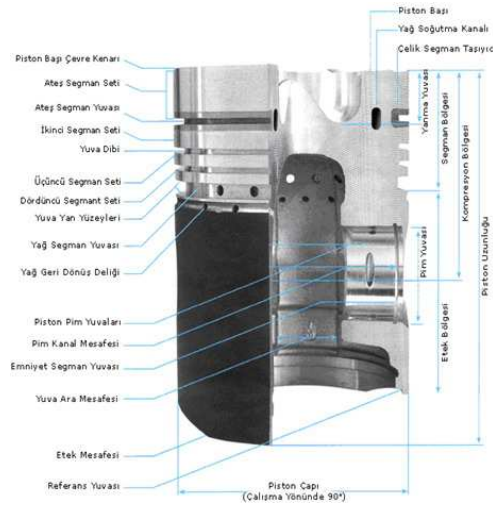
eliklerden ve hadde demirinden yapılır. Gri dökme demirden yapılan pistonlar aşınmaya dayanıklı olmakla beraber, gri dökme demire az miktarda elik katıldığı zaman, dökme yumuşak elik elde edilir ki, dayanıklılığı, aşınmaya karşı direnci ve nisbeten hafifliği nedeniyle, piston yapımında tercih edilmektedir. Dökme demir ve elik döküm pistonları daha çok traktör ve yol makinalarında kullanılan ağır hizmet tipi motorlarda tercih edilmektedir. Çünkü bu motorlarda ani devir değiştirmeler ve birdenbire yüksek devirlere geçiş olmadığı için, bu tip motorlarda pistonun ağır olması önemli bir sakınca teşkil etmemektedir. Bununla beraber alüminyum alaşımı pistonların ısı iletme yeteneği fazla olduğu için, ısıyı bünyelerinde tutmadan geçirirler ve bu nedenle daha düşük sıcaklıklarda çalışırlar. Alüminyum alaşımından yapılan pistonların genleşme katsayısı fazla olduğu için, bu tip pistonlarda silindirle piston arasında dökme demir pistonlara nazaran daha fazla boşluk verilir. Ancak alüminyum alaşım pistonlara bazı özel şekiller verilerek motor soğukken piston vuruntusu yapmadan, motor rejim sıcaklığında çalışırken piston sıkışması yapmadan çalışması sağlanmıştır. Alüminyum alaşımından yapılan pistonlar, bazı firmalarca termik işlemlere tabi tutulduktan sonra, elektrolitik(anodik) işlemler uygulanır. Bu işlemler sonucunda piston yüzeyinde 0.0005mm kalınlığında ince mesamatlı alüminyum oksit tabakası meydana gelir. Bu tabaka pistonun aşınmaya karşı direncini arttırdığı gibi, piston yüzeyinin daha iyi yağlanmasını sağlar. Diğer bazı firmalar ise, piston yüzeyini elektroliz usulü ile kalay veya benzeri yumuşak maddelerle kaplar, bu madenler piston yüzeyinde yağlayıcı bir madde gibi görev yaparak özellikle pistonun ilk alışma devresinin kılalmasını sağlar.



#### 1.1.4.2 Pistonun Yapısı

Piston başları genellikle düz, bombeli ve bazı dizel motorlarında çanak(iç bükey) biçiminde yapılmaktadır. Bazı V8 motorlarında piston başının subap başlarına çarpmasını önlemek için, piston başları oyuk şekilde yapılmıştır. Piston başını takviye ederek, yanmış gaz basıncına karşı direncini artırmak için pistonun iç kısmına takviye kolları yapılmıştır. Bu takviye kolları, piston başındaki ısının sekmanlar yoluyla, silindir cidarına ve soğutma suyuna iletilmesine de yardım eder. Bazı ağır hizmet tipi motorlarda piston başını ve sekman yuvalarını yüksek basınç ve ısıdan korumak için, buralara çelik takviye parçaları koyulur. Piston etek başlangıcının hemen altında bulunan piston pim yuvaları piston pimine yataklık eder. Çoğunlukla pistonlarda piston pim yuvası etrafındaki malzeme boşaltılarak, hem pistonun ağırlığı azaltılmış hem de pistonun pim yönünde genişmesi sağlanmıştır. Piston başında sekman yuvaları bulunur. Genellikle benzin motorları pistonlarında, iki kompresyon, iki yağ sekmanı bulunur. Bazı motorlarda ise, bu ikinci yağ sekmanı piston eteğinde bulunmaktadır. Pistondaki kompresyon sekmanları düz olduğu halde, yağ sekman yuvalarında, yağ akıtma delikleri vardır. Yine bazı pistonların, birinci piston setinde bir kanal bulunur ki, buna ısı barajı denir. Bu kanal piston başındaki fazla ısının sekman yuvalarına geçmesini önlediği gibi, karbon parçalarını toplayarak, onları zararsız hale getirir. Genellikle piston eteğinin deformasyonunu önlemek için, etek iç kısmına döküm sırasında bir takviye denge şeridi yapılmıştır. Alüminyum alaşımdan yapılan pistonlarda, pime dik eksende piston boşluğunu az bırakabilmek için, piston pim eksenini yönündeki

malzeme mümkün olduğu kadar boşaltılmış ve ölçü bu yönde düşürülerek, motorun çalışma sırasında pistonun pim yönünde genişip büzülmesi sağlanmıştır. Piston pim yuvaları genellikle piston simetri ekseninde olmasına rağmen, bazı motorlarda silindirde piston etek vuruntusunu önlemek için, pim yuva eksenini piston ekseninden 1.6mm sıkıştırma zamanı dayanma yüzeyi tarafına veya iş zamanı dayanma yüzeyi tarafına kaçık yapılmıştır. Pistonun yapısı Şekil 1.2.'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.2. Pistonun yapısı**

### 1.1.4.3 Piston Çeşitleri

Benzin motorlarında Şekil 1.3.'te gösterildiği gibi düz etekli, düz diyagonal yarıklı, T yarıklı, U yarıklı ve oto termik pistonlar kullanılmaktadır.



**Şekil 1.3. Piston çeşitleri**

Düz etekli pistonlar, dökme demirden krom-nikelli demir veya nadiren alüminyum alaşımından yapılırlar. Bu pistonların eteklerinde yatay veya dikey herhangi bir yarık yoktur. Alüminyum alaşımından yapılan pistonlarda, pistonun şekil değiştirmeden ve sıkışmadan rahatça genişerek göreve devam edebilmesi için piston üzerine yatay ve dikey yarıklar açılmıştır. Yatay yarıklar genellikle piston başındaki yağ sekmanı yuvasında olduğu gibi piston etek başlangıcında da olabilir. Bu yarık piston başındaki yüksek ısının piston eteğine geçmeden sekmanlar yolu ile silindir cidarına ve oradan da soğutma suyuna geçmesini sağlar. Dikey yarıklar ise, özellikle alüminyum alaşımdan yapılan pistonlarda bulunur. Yüksek ısıyla genişeyen piston eteği bu yarığı kapatır. Piston soğuyup büzülünce, bu yarık tekrar açılır. Böylece pistonla silindir arasına daha az boşluk vererek motorun daha verimli çalışması sağlanmış olur.

Benzin motorlarında genellikle T yarıklı veya U yarıklı pistonlar kullanılır. Yarıklı pistonlar genellikle oval olarak yapılır. Pistonun pim yönündeki çapı, pime dik yöndeki çaptan daha küçüktür. Yarıklar pime dik

tarafında ve piston sıkıştırma zamanındaki yaslanma yüzeyi tarafında bulunur. T yarıklı pistonlarda pime dik eksende etek başlangıcında bir yatay yarıklık ve bu yatay yarığa tam ortadan birleşen ve etek sonuna takriben 10-15mm kala sona eren dikey bir diyagonal yarıktan ibarettir. U yarıklı pistonlarda U yarığı, pistonun sıkıştırma zamanındaki yaslanma yüzeyi tarafında ters U biçiminde açılmış bir yarıktır. Diğer yarıklarda olduğu gibi, piston etek başlangıcında bir yatay yarıklık ve bu yatay yarığın iki ucundan uzanan iki ayrı diyagonal yarıklık vardır. Aynı şekilde yatay yarıklık piston başındaki ısının piston eteğine geçmesini önler. Dikey yarıklar ise piston eteğinin bu yarıklar üzerine genişmesini ve büzülmesini sağlar.

#### 1.1.4.4 Oto Termik Pistonları

Bu pistonlar dökülürken, piston pim yuvalarına piston pimine dik eksen yönünde genişleme katsayısı alüminyuma göre daha az olan, invar çeliğinden yapılmış levhalar yerleştirilmiştir. Oval olarak yapılan bu pistonlarda, pime dik eksende pistonla silindir arasına 0.03-0.05mm gibi az bir boşluk verilir. Pim yönünde ise, 0.25-0.30mm kadar boşluk verilmiştir. Bu pistonlarda büyük bir yatay yarıklık ve sıkıştırma zamanındaki yaslanma yüzeyi tarafında, eteği boydan boya kat eden diyagonal bir yarıklık vardır. Oto termik pistonlarda motor ısındığı zaman, piston pim yuvasında bulunan çelik parçalar, pistonun pime dik yönde genişmesini sınırlandırır, piston bu yönde ancak çeliğin genişleme katsayısına uygun biçimde genişler. Böylece motor soğukken piston

vuruntusu yapmayacak şekilde, pime dik yönde az boşluk verilir. Halbuki pim yönünde fazla boşluk olduğu için, motor ısındıkça piston pim yönünde genişir ve bu suretle yüksek hızlarda piston sıkışmadan görevine devam eder.

Alüminyum alaşımından yapılan pistonların yukarıda açıklanan birçok iyi özellikleri yanında, alüminyum genişleme katsayısı fazla olması nedeniyle, motor rejim halinde çalışırken, pistonun sıkışıp şekil değiştirmeden görevine devam edebilmesi için alüminyum pistonlara çeşitli yarıklar açılmış, piston başları daha düşük ölçüde silindirik olarak yapılmış, piston etekleri ise oval ve konik olarak yapılmıştır.

#### **1.1.4.5 Oval Pistonlar**

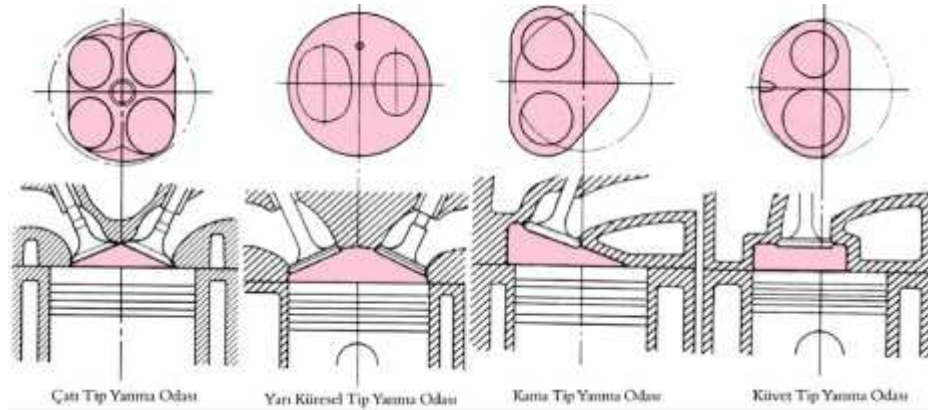
Alüminyum alaşımı pistonlar, normal dökme demir pistonlar gibi silindirik olarak yapılsaydı, alüminyum genişleme katsayısı fazla olduğu için pistonun yüksek motor sıcaklığında sıkışıp kalmadan çalışmasına devam edebilmesi için, dökme demir pistonlara göre çok daha fazla boşluk verilmesi gerekirdi. Bu durum ise, soğuk motor çalışmasında fazla boşluk nedeniyle motorda piston vuruntusuna neden olur. Oval pistonlar yapılarının özelliği nedeniyle, silindire en az dökme demir pistonlar kadar sıkı alıştırdıkları için motor soğukken piston vuruntusu yapmadıkları gibi, motorun rejim

sıcaklığında en az piston boşluğu ile piston, silindir ve sekmanlar çizilip sıkışmadan en yüksek verimle çalışmasına devam edebilir.

### 1.1.5 İçten Yanmalı Motorlarda Yanma Odası Çeşitleri

İdeal yanmanın gerçekleştirilebilmesi için motorlarda en çok kullanılan yanma odaları Şekil 1.4.'te gösterildiği gibi;

- Çatı tipi yanma odası
- Yarı küresel tip yanma odası
- Kama tip yanma odası
- Küvet tip yanma odası'dır.



Şekil 1.4. Yanma odası çeşitleri

#### 1.1.5.1 Çatı Tip Yanma Odası

Bu tip yanma odaları her silindirde dört supap bulunan motorlarda kullanılmaktadır. Bu yanma odalarında buji yanma odasının tam ortasında

yer almaktadır. Bu durum etkin ve hızlı bir yanmanın gerçekleşmesini sağlamaktadır. Ancak supap mekanizması nedeniyle silindir kapağı büyük boyutludur. Bu tip yanma odaları bir binanın çatı arasına benzemesi nedeniyle çatı tip yanma odaları denilmektedir. Çatı tip yanma odaları yarı-küresel tipine benzer olduğundan birbirlerine yakın özellikler gösterirler. Aşağıda Hemi(yarı-küresel) yanma odasının özellikleri verilmektedir.

### 1.1.5.2 Yarı-Küresel Tip Yanma Odası

Bu tip yanma odaları aynı hacimdeki diğer yanma odaları ile karşılaştırıldığında en küçük yüzey alanına, en az ısı kaybına ve en fazla ısı (termal) verimliliğe sahip yanma odalarıdır. Bu odalar verimlilik kazancı adına diğer unsurlardan en az miktarda ödün verilecek şekilde dizayn edilmiştir.

Subaplar, orjinal Chrysler Hemi'de yanma odası çevresinde 58.5 derecelik açıyla ve tam olarak krank milinin merkez hattına denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Bu pozisyon, subaplar açıldığında içeriye büyük miktarda hava akışı sağlar. Aynı zamanda karışımın daha efektif bir şekilde çapraz akış hareketi yapabilmesini ve taze karışımın egsoz subabındaki ısı transferinin limitlenebilmesini mümkün kılar. Bu tasarım en iyi yüzey/hacim oranını ve soğutma sisteminden ısı çekilimini sınırlamak için zorunlu olan en kısa egsoz subap açılma zamanlamasını sağlar. Bu yanma odasında bujinin ortada bulunması, harika bir oktan toleransını beraberinde getirir. Subaplardaki küçük sıkıştırma plakaları, artık gazın buji üzerinden atılmasını ve yanmanın daha hızlı gerçekleşmesini sağlar. Diğer bir avantajı da, emme

ve egsoz subapları arasındaki mesafeden dolayı ısı transferinin mümkün olan en az şekilde yapılabilmesidir.

#### **1.1.5.3 Kama Tip Yanma Odası**

Kama tip yanma odalarında silindir kapağında kama şeklinde bir hazne bulunmaktadır. Bu tip yanma odalarının yapısı da basit olduğu için silindir kapağı daha küçüktür. Yıllar boyunca en çok kullanılmış yanma odası türüdür. Küvet tip yanma odasına benzer. Emme subapları odanın eğimli şeklinde dizayn edilmiş çatı kısmına yerleştirilmiştir. Subapların genel olarak konumu yine eğimlidir. Buji odanın kalın kısmına subapların tam ortasına yerleştirilmiştir. Odanın sivri-dik kenarının görevi, yakıt+hava karışımının yönünü değiştirmek ve bu karışıma silindir ekseninde ve aşağıya doğru spiral bir yol izletmektir. Sıkıştırma kursu boyunca karışım ölü hacim içerisinde dar kısma doğru sıkışıp inceden kalına doğru genişleyen oda duvarlarında sert şekilde itilmeye maruz kalır. Bu da güç oluşumuna olumlu katkı sağlayarak hareketin daha kolay gerçekleşmesine olanak verir.

#### **1.1.5.4 Küvet Tip Yanma Odası**

Yanma odasının yapısı basit olduğu için silindir kapağı ve supap mekanizmasının yapısı, diğer yanma odalarının kullanıldığı silindir kapaklarına göre daha küçük ve basittir. Ancak bu tip yanma odaları büyük çaplı supaplara uygun değildir. Bu tasarım kama tip veya yarı-küresel tip



yanma odalarına pek benzememektedir. Üretici firmaların kullandığı değişik formlarda çeşitleri vardır. Bazı dizaynlarda yanma odası neredeyse oval şekildedir, yeni ve daha verimli olanı ise kalp-şekli olarak adlandırılan tasarımıdır. Burada silindir kafasının tepesi ile örtüşen piston kafası söz konusudur ve bu odanın iki sıkıştırma alanına ayrılmasına neden olur. Bu alanların boyutları birbirinden farklıdır. Büyük olan tarafta buji ve emme subabı bulunur. Asıl sıkıştırmanın olduğu bölgenin karşı tarafı konik bir şekildedir yani kama tipinde olduğu gibi dik bir duvar söz konusu değildir. Bujinin konumu egsoz subabına ve orta kısma doğru mümkün olduğunca yakındır. Subaplar arasındaki az mesafe ise, hacimsel verimi ve oktan toleransını sınırlamaktadır.<sup>(22)</sup>

### 1.1.6 CNG (Doğalgaz)

#### 1.1.6.1 Doğalgaz Nedir

Doğalgaz, organik maddelerin yeryüzünün alt katmanlarında milyonlarca yıl süren doğal dönüşümü sonucunda oluşur. Kaynağından çıkarıldığı haliyle, herhangi bir işlemde geçirilmeksizin kullanılabilir. Başta Metan ( $CH_4$ ) ve Etan ( $C_2H_6$ ) olmak üzere çeşitli hidrokarbonlardan oluşan yanıcı bir gaz karışımıdır. Doğalgaz renksiz, kokusuz havadan hafif bir gazdır.

Doğalgaz ilk olarak MS 221-263 yıllarında hüküm süren Shu Han hanedanlığı sırasında kullanılmıştı. Bu yıllarda sığ kuyulardaki sızıntılardan elde edilen doğalgaz, içi boş bambu çubuklarla dağıtılıyordu. Bundan sonra 17. yy'nin başlarına kadar doğalgaz kullanımına dair herhangi bir kayıt bulunmamaktadır. 17.yy başlarında Kuzey İtalya'da doğalgaz, ışıklandırma ve ısıtma kaynağı olarak kullanılmıştır. Zamanla doğalgazın kullanımı Kuzey Amerika, Canada, Yeni Zelanda ve Avrupa'da artmaya başlamıştır.

20.yy geldiğinde ise doğalgaz kullanımı Batı Avrupa ve ABD'ye kadar genişlemiştir. İlerleyen yıllarda doğalgaz kaynakları araştırmaları daha aktif hale gelmiş ve doğalgaz sıvılaştırılmış hale getirilerek ticari bir ürün olmuştur. Ana doğalgaz kaynakları Asya ve Ortadoğu ülkelerinde bulunmaktadır. Malezya, Brunei, Cezayir, Libya, Suudi Arabistan, Kuveyt ve İran'ın da içinde bulunduğu bu ülkeler, 1980'lere gelindiğinde en önemli doğalgaz ithalatçıları haline gelmişti.

Doğalgaz, ilk olarak 1920'lerde İtalya'da taşıt yakıtı olarak kullanılmıştır. Başlarda doğalgazın ağırlıklı olarak ısınma ve elektrik üretiminden kullanılıyor olmasından dolayı taşıt yakıtı olarak kullanılması popüler değildi. Bununla birlikte 2. Dünya savaşından sonra doğalgazın taşıt yakıtı olarak kullanılmasına ilgi artmaya başladı. Bu ilgi, İtalya'da savaşın sonra yaklaşık 1200 tane dolum istasyonu açılmasına önderlik etti.

1991 senesinde İtalya doğalgazla çalışan araç araştırmaları konusunda dünyaya önderlik eden ülke haline gelmişti. Bu yıllarda İtalya'da yaklaşık 235 000 benzinli araç varken 20 dizel araç doğal gazla çalışır hale

dönüştürülmüştür. Bu konuda İtalya'yı Arjantin takip etmektedir. 2003 yılında Arjantin'de 100 000 benzinli araç varken 10 adet de dizel-doğalgaz dönüşümü yapılmış araç vardı. <sup>(23)</sup>

#### 1.1.6.2 Doğalgazın Özellikleri

- Doğalgazı oluşturan gazlar havadan çok hafiftir.
- Sıvı halde sudan hafiftir.
- LPG' nin aksine doğalgaz zeminde değil üst boşluklarda birikir.
- Renksiz ve kokusuz olduğundan kolay fark edilmez. Bu amaçla kullanıma verilirken karakteristik bir koku ile kokulandırılır.
- Doğalgazın parlama aralığı (%5-14) içindeki etan gazı oranına göre başlama sınırı %3,2 ye kadar düşebilir.
- Doğalgaz karbonmonoksit içermediğinden zehirleyici değildir.
- Doğalgaz temiz bir gazdır.
- Hava ile yakıtın karışması gaz halinde daha kolay olduğundan tam yanma durumuna daha kolay ulaşılır. Eksozdan atılan enerji daha az olduğundan, doğalgaz daha verimli bir yakıttır.
- Doğalgazın korozyif özellikleri yoktur.
- Dünya doğalgaz rezervleri için öngörülen ömür 61,9 yıldır.
- Doğalgaz atmosferik şartlarda  $-164$  0C'nin altında soğutulduğu zaman sıvılaşmakta ve hacmi 600 kere daha küçülmektedir. Sıvılaştırılan doğalgaz özel tanklarda depolanabilir ve taşınabilir.
- 1992 yılında ülkemize ithalinin başlamasından beri en temiz ve konforlu yakıt olarak kullanılan doğalgaz; aynı zamanda, 'en ekonomik yakıt olma özelliğini de korumuştur.

### 1.1.6.3 Doğalgazın Avantaj ve Dezavantajları

#### 1.1.6.3.1 Doğalgazın Avantajları

Ekonomi:

- Pahalı değildir.
- Boru hatlarıyla daha kolay taşınabilir. Gerekli olan yerde küçük bir doğal gaz kompresörü eklenerek dolum yapılabilir.
- Kullanımdan önce çok az rafinasyon gerektirmektedir.
- Yakıt dolum işlemi kolay ve temizdir.
- Doğal gazlı taşıtlar, benzinin yakıt ekonomisini karşılar veya geçer.
- Yeni doğal gaz motorları, halen kullanılmakta olan yüksek kompresyonlu diesel motorları kadar verimlidir.
- CNG kullanımı, daha düşük bakım maliyeti demektir, zira;
  1. Bujiler daha geç değiştirilmektedir.
  2. Daha seyrek yağ ve yağ filtresi değişimi (yaklaşık iki katı).
  3. Silindir yüzeylerinde çamurlaşan artıklar oluşmaz
  4. Egzoz boru ve susturucuları daha uzun ömürlü olmaktadır.

## Güvenlik:

Doğal gaz doğal olarak güvenli bir motor yakıtıdır. Doğal gazlı taşıtlarda yakıt kökenli kaza ve yangın olasılığı, geleneksel taşıtlara oranla çok daha düşüktür. Doğal gazı böyle güvenli bir yakıt yapan iki özelliği vardır:

1. Yakıtın kendi özellikleri (Havadan hafif olması nedeniyle çabucak yayılarak dağılır. Benzinden farklı olarak, açık havada patlama yapmaz). Benzin veya diesel yakıtından farklı olarak, doğal gaz havada sadece sınırlı bir konsantrasyon aralığında yanabilir. Hava ile % 5 in altında veya % 15 in üzerindeki konsantrasyonlarda yanmaz. Benzin ve diesel yakıtı ise çok daha düşük konsantrasyonlarda ve düşük sıcaklıklarda yanabilmektedir. Doğal gaz, benzin, veya diesel yakıtının hava ile karışımlarını tutuşturmak için çok az bir enerji gerekli olduğu halde, doğal gaz biraz daha düşük sıcaklıkta yanmaktadır.
2. Yakıt sistemine çok sıkı standartlar uygulanmaktadır. Taşıtlar için doğal gaz yakıt tüpleri benzin depolarından çok daha kuvvetli yapılmaktadır. Böylece büyük kazalarda bile sağlam kalabilir, senelerce kullanılabilirler.

## Emisyonlar:

- Doğal gaz en az kirletici yayan yakıttır.

- Doğal gaz hafif ve orta hizmet taşıt filolarında, taksiler gibi ve dağıtım kamyonlarında kullanıldığında, ozon oluşturan kimyasallar emisyonunu önemli düzeyde düşürme potansiyeline sahiptir,
- Doğal gaz yakıt sistemleri tamamen yalıtılmıştır ve dolum sırasında hiçbir şey yaymazlar. Oysa ki benzinin doldurma sırasındaki buharlaşmasıyla önemli miktarda ozon oluşturan kimyasal çıkmaktadır.
- Egzoz emisyonları, henüz yasal zorunluluğu bulunmayan Ultra Low Emisyonlu Taşıt (ULEV) standardının çok altındadır.
- Doğal gazlı taşıtların çoğu Super Ultra Low Emisyonlu Taşıt (SULEV) standardını karşılamakta ve üretilen güç başına emisyonlar dikkate alındığında elektrikli taşıtlardan bile temiz bulunmaktadırlar.
- Doğal gaz taşıtlarda kullanıldığında, partikül emisyonlarında geleneksel diesel yakıtlı motorlara oranla % 65-90 azalma sağlamaktadır.
- Doğal gaz kullanan otobüs ve kamyonlar güncel emisyon standartlarını kolayca karşılarlar.
- Doğal gazın ağır-kamyonlarda ve otobüslerde kullanımı, diesel motorların iyi bilinen problemlerinden biri olan NOx' lerde 2/3 kadar azalma sağlamaktadır.
- Benzinli taşıta göre daha basit emisyon ekipmanı gereklidir.

### 1.1.6.3.2 Doğalgazın Dezavantajları

- Dolum istasyonları yaygın değil ve kurulması daha pahalıdır.
- Büyük hacimli yakıt tüpleri fazla yer kaplar, bagaj hacmini küçültmekte ve sınırlı sürüş mesafesi sağlamaktadır.
- Taşınması sıvı hidrokarbonlara göre daha az uygundur. Yüksek P ve düşük T, kompresörler/ soğutucular ve ağır kaplar gerekmektedir.
- Uzun atmosferik süreklilik nedeniyle CH<sub>4</sub> sera etkisi ile ısınma etkisi bakımından CO<sub>2</sub>'ye oranla 20 kez daha kötüdür.
- NO<sub>x</sub> emisyon problemleri olabilmektedir.
- Doğal gaz kullanan taşıtlar karşılaştırılabilir rakiplerine oranla daha pahalıdır. Diğer bir belirleyici faktör olan dönüşüm maliyetleri de diesellerde biraz daha fazla olmak üzere, pahalıdır.
- Karakteristiklerine de bağlı olarak taşıt performansını bir miktar düşürmektedir.
- Depolama sırasında dökülme ve sızıntı riski bulunmaktadır. Sızıntı olduğunda havalandırılmazsa, bir kıvılcım durumunda yanma ve patlama tehlikesi vardır.<sup>(24)</sup>

#### 1.1.6.4 Dünyada Doğalgaz Rezervleri

Dünya Doğalgaz potansiyelinin dağılımında toplam olarak, OPEC ülkeleri en büyük hisseye sahip görünmektedirler. Münferit olarak en zengin doğalgaz kaynaklarına sıra ile Sovyet Rusya, Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada, ve takiben Batı Avrupa sahip bulunmaktadır.

Çizelge 1.1.'de, dünya gaz potansiyelinin dağılımı ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bu değerlere göre halihazırda ispatlanmış gaz rezervleri toplamı 67.5 trilyon m<sup>3</sup> civarında tahmin edilmektedir.

**Çizelge 1.1. Dünyada doğalgaz rezervleri**

<b>Bölge</b>	<b>İspatlanmış rezerv, 10<sup>12</sup> m<sup>3</sup></b>	<b>Muhtemel rezerv, 10<sup>12</sup> m<sup>3</sup></b>
Sovyet Rusya	22.70	63.49
Kuzey Amerika	8.86	48.86
JANZ	1.17	6.63
Batı Avrupa	4.34	9.00
Çin ve diğer Asya ülkeleri	0.60	10.86
Güney Amerika	0.63	7.91



### Çizelge 1.1 (Devamı)

Orta Amerika	0.57	3.63
Kuzey Afrika	0.23	0.91
Afrika, Güney Sahara	0.09	0.34
Doğu Asya	0.60	3.43
Güney Asya	0.46	1.23
OPEC, 1.grup toplam	7.14	29.77
OPEC, 2.grup toplam	19.60	47.86
Diğer Ortadoğu Ülkeleri	0.43	0.86

#### 1.1.6.5 Türkiye'nin Doğalgaz Potansiyeli

Türkiye'mizde ispatlanmış toplam doğalgaz kaynakları 30 milyar m<sup>3</sup> civarındadır. Bu potansiyelin kabaca %70'i yani 20 milyar m<sup>3</sup>'ü üretilebilir görünmektedir. Halen, 2000 yılı sonu itibari ile 3 Milyar m<sup>3</sup> doğalgaz üretimi yapılmıştır. Ancak, ülkemizde jeolojik ve jeofizik araştırmalarının ve özellikle sondaj edilerek araştırılmış bölgelerinin tarihinin yeni olduğu düşünülürse henüz keşfedilememiş muhtemel rezervlerin önümüzdeki gelecekte yukarıda verilen potansiyel değere ilavesi pekala mümkündür. Çizelge 1.2.'de ülkemizin ispatlanmış ve muhtemel doğalgaz kaynakları ile ilgili bazı değerler

verilmiştir. Ülkemizin 300-400 milyar m<sup>3</sup> civarında bir doğalgaz potansiyeline sahip olabileceğini görmekteyiz. Bugün, gelişmiş bir Avrupa ülkesinin ortalama yıllık gaz tüketimi olan 15 milyar m<sup>3</sup>'lük bir tüketimi, en az 20 yıl süre ile besleyebilecek bu potansiyelin, Türkiye gelecek ekonomisi için ne derece önemli olduğu açıktır. (25)

**Çizelge 1.2. Türkiye'nin doğalgaz kaynakları**

<b>Bölge</b>	<b>İspatlanmış 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup></b>	<b>Muhtemel 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup></b>
Trakya; Hamitabat,	50.0	90.0
Tuz gölü Havzası	-	25.0-45.0
Adana- İskenderun	-	45.0-85.0
Güneydoğu Anadolu	15.0	115.0-140.0
Orta ve Batı Akdeniz Sahilleri	-	100.0-150.0
Kumrular, Umurca	5.0	15.0
Doğu Kara Deniz	-	30.0-60.0

### 1.1.6.6 Doğalgazın Araçlarda Kullanımı

Birçok batı ülkesinde doğalgazın araçlarda kullanımı ile ilgili çalışmalar ve araştırmalar büyük bir hızla devam etmektedir.

Bunlara bir örnek vermek istersek dünyada en fazla kara nakil aracı kullanılan ABD'yi incelemek gerekmektedir. Dünyada mevcut 520 milyon otomobil ve kamyonun 190 milyonu bu ülkededir. ABD'deki hava kirliliğinin ortalama % 50 sinin bu araçların egzozlarından ötürü ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Petrol bağımlı bu araçlarda egzoz emisyonlarını azaltmak için ABD'de çeşitli önlemler alınmış tüm benzinli araçlara katalitik filitreler takılmış, araçların motor tasarımları geliştirilmiş, benzin ve dizel yakıtın yapıları değiştirilmiştir. Bu önlemlerin yeterli olmaması üzerine 1990 yılındaki Temiz Hava Yasası ve 1992 yılında kabul edilen Enerji Kanunu ile de alternatif yakıtlar için çalışmalar başlatılmıştır. Bu iki kanun ile başlatılan çalışmalar bugün 30 eyalette devam etmektedir ve bu yüzyılın sonuna kadar 5 milyon aracın doğalgazla çalışması planlanmaktadır. Bugün ABD'de son bir yılda konuda sadece standartları yaratmak için yapılan harcamaların tutarı 5 milyon Doları geçmiştir.

1992 yılında ABD'de hazırlanarak ABD Temsilciler Meclisine sunulan GAO/RCED 92-119 numaralı raporda, Kanada hükümetinin doğalgazlı araçların yaygınlaştırılması için 45 milyon doları doğrudan teşvik olmak üzere 58 milyon dolarlık bir harcama yaptığı belirtilmiştir.

Ülkemizde de Ankara ve İstanbul 'da taşımacılıkta kullanılan belediye otobüslerinin egsoz gazlarının neden olduğu hava kirliliğini azaltmak için birtakım projeler geliştirilmekte ve doğalgaza dönüşümleri tamamlanan otobüslerin kullanılmasına başlanmıştır. Çizelge 1.3.'te Dünyada doğalgazla çalışan araçların sayısı gösterilmiştir. <sup>(26)</sup>

**Çizelge 1.3. Dünyada doğalgazla çalışan araçların sayısı**

ÜLKE	ARAÇ SAYISI			DOLUM İSTASYONU
	TOPLAM	AĞIR ARAÇ	HAFİF ARAÇ	
İTALYA	235000	20	235000	240
ARJANTİN	100000	10	100000	125
YENİ ZELANDA	60000	115	600000	350
ABD	30000	-	-	328
KANADA	26100	25	26075	173+500*
BREZİLYA	700	300	400	7
AVUSTRALYA	626	112	514	30+60*
HOLLANDA	303	18	285	14+70*
BANGLADEŞ	65	13	52	1
TAYLAND	31	11	20	2
BELÇİKA	24	0	24	1
JAPONYA	22	1	21	4
İNGİLTERE	112	7	105	24

\*ev istasyonları

### 1.1.6.7 Doğalgazın Fiziksel ve Kimyasal özellikleri

Kimyasal denklemi		CH <sub>4</sub>
C/H oranı		0.25
Moleküler kütle		16.04
Özgül kütle		
Sıvı :	(kg / dm <sup>3</sup> )	0.424
Gaz :	(kg/dm <sup>3</sup> )	0.78*10 <sup>-3</sup>
Isıl değeri		
(Mj/kg)		50.8
(Mj/litre)		20.8
Stokiyometrik karışım için		
hava/yakıt (kütlesel)		17.2
hava/yakıt (hacimsel)		9.53
(kj/litre)		3.4
molürünler / molreaktantlar		1.00
Buharlaştırma ısı	(Mj/kg)	0.509
Tutuşma sınırları		
%hacim		5-15.4
λ		0.59-2.0
Laminar alev hızı	(m/s)	0.37
Adyabatik alev sıcaklığı	(°C)	1954
Difüzyon katsayısı	(m <sup>2</sup> /s)	0.16
Kaynama noktası	(°C)	-161.3
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı	(°C)	632

Oktan sayısı

ROS 130

MOS 105

Doğalgazın büyük bölümünü %90-96  $\text{CH}_4$  (metan) gazı oluşturmaktadır. Geri kalan bölümünü ise %2.411  $\text{C}_2\text{H}_6$  (etan), %0.736  $\text{C}_3\text{H}_8$  (propan), %0.371  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  (bütan), %0.776  $\text{N}_2$  (azot), %0.164  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  (pentan) ve % 0.085  $\text{CO}_2$  (karbondioksit) oluşturmaktadır.

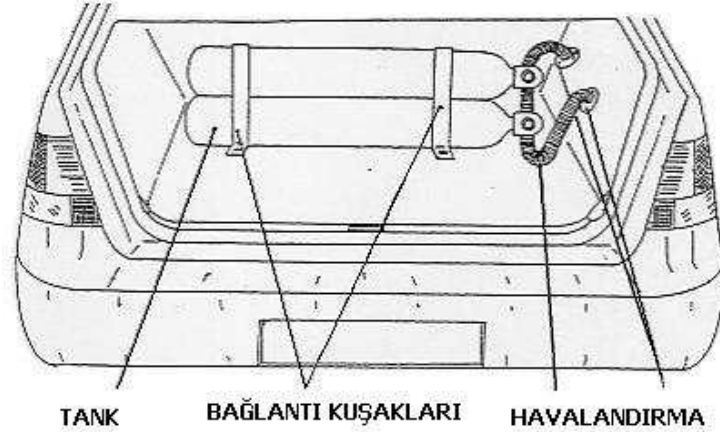
Doğalgazın, Otto motorlarında yakıt olarak kullanılmasında yarar sağlayacak en önemli özelliği oktan sayısının yüksek oluşudur. Ayrıca ısı değerinin benzin ve alkole göre yüksek olması da bir avantaj sağlamaktadır. Doğalgaz benzine oranla daha yüksek hava fazlalık katsayısı değerlerinde tutuşma olanağına sahiptir. Böylece motorun fakir karışımla çalıştırılıp, yakıt ekonomisi ve egzoz gazları emisyonu açısından yarar sağlanması da mümkün olmaktadır.

Yüksek performansa ve düşük emisyonlara sahip bir doğalgaz motorunun yapımı doğru sıkıştırma oranının tespiti ile sağlanmaktadır. Bu oran her motor için değişebilir. Sıkıştırma oranının artırılmasını motor vurunusu sınırlamaktadır. Doğalgazın yüksek oktan sayısına sahip olması sıkıştırma oranının artırılabilmesini sağlamaktadır. Genel olarak benzin motorlu taşıtlarda sıkıştırma oranı 10:1 ve benzin oktan sayısı 90'dır. Fakat ortalama olarak doğalgaz motorunda sıkıştırma oranı 12:1 ve yakıtın oktan sayısı ROS 130, MOS 105'dir. Oktan sayısı yakıtın kalitesine göre daha da az olabilmektedir. Yüksek oktan sayısı demek; vurununun ortadan kalkması,

daha uzun buji ömrü, yağlama yağının daha fazla kullanımı ve soğuk havalarda iyi çalışma demektir. Doğalgaz motorlarında sıkıştırma oranının yüksek tutulması önemlidir. Sıkıştırma oranının arttırılması daha fazla termik verim sağlar. Termik verimin artması yakıt tüketiminde azalma demektir.

#### 1.1.6.8 Araçların Doğalgaz Dönüşümünde Kullanılan Parçalar

1. Tüp: Doğalgazı depolamaya yarayan elemandır. Şekil 1.5.'te gösterildiği gibi genellikle bagaja konulur. Bazı durumlarda tavana ya da araç altına da monte edilebilirler. Sistemin en emniyetli parçasıdır. Çeşitli büyüklüklerde kullanılabilirler.



Şekil 1.5. Tüp

2. Regülatör: Biçim olarak Şekil 1.6.'da gösterildiği gibidir. CNG gaz fazında yüksek basınçla valften geçip regülatöre ulaşır. Regülatörde basınç düşürülür ve atmosferik değerde tutulur. Regülatörde basınç 3 kademedede düşürülür; 1. kademedede 200 bardan 5 bara, 2. kademedede 5-6 bardan 1.5-2 bara, 3. kademedede de 650-800mbar'a getirilir. Donmayı önlemek için motorun soğutma suyuna bağlanır.



**Şekil 1.6.** Regülatör

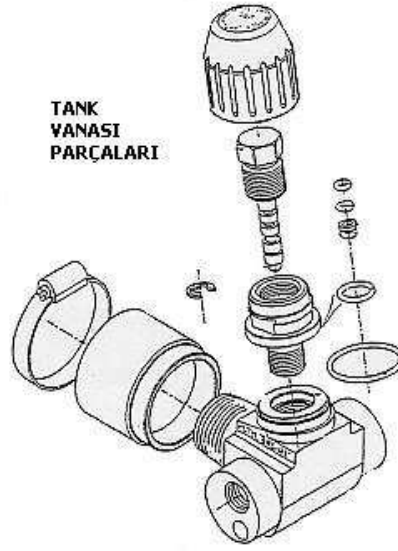
3. Gaz Karıştırıcı: Hava ile yakıtın karıştırıldığı merkezdir. Biçimi Şekil 1.7.'de gösterildiği gibidir.



**Şekil 1.7.** Gaz Karıştırıcı



4. Emniyet Valfleri: Şekil 1.8.'de gösterildiği gibi mekanik ya da elektronik olabilirler. Manuel olarak ya da tehlike anında otomatik olarak kapatılabilirler.



**Şekil 1.8.** Emniyet valfi

5. Elektronik Kontrol Ünitesi: Şekil 1.9.'da resmedilen ECU, belirli noktalardan aldığı bilgileri analiz ederek motorun yakıt yönetimini sağlayan birimdir. <sup>(27)</sup>



**Şekil 1.9.** Elektronik kontrol ünitesi (ECU)

#### **1.1.6.9 Dizel Motorlarda Doğalgazın Tek Yakıt Olarak Kullanılması**

Tek yakıtlı sistemlerde motorun çalışma prensibi dizel çevrimden otto çevrime dönüştürülür. Enjektörler bujilerle değiştirilir, motorun silindir kafasında değişiklikler yapılır. Yakıt sarfiyatları düşük olmasına rağmen dönüşüm maliyetleri yüksektir.

#### **1.1.6.10 Dizel – CNG Çift Yakıt Sistemleri**

Çift yakıtlı motorlarda silindir içindeki doğalgaz-hava karışımının tutuşmasını sağlamak amacıyla, motorun kendi püskürtme sistemi ve püskürtme pompası kullanılarak pilot dizel yakıtı püskürtülür. Bu amaçla, silindire sokulan toplan enerjinin %5-10 kadarına karşı gelen miktarda dizel yakıtı, sıkıştırma zamanı sonunda silindire püskürtülür. Püskürtme anında tutuşan pilot yakıt yardımı ile karışım tutuşur. Motor yükünün değişmesi halinde dizel yakıtı miktarının sabit kalmasına karşılık doğalgaz miktarı

değişmektedir. Böylece kısmi yüklerde doğalgaz oranı düşmekte, rölantide çalışmada ise hiç doğalgaz kullanılmamaktadır.

Pilot püskürtme demetinin enerjisi, bujide sağlanan enerjinin 102-104 katı kadardır. Böylece hava fazlalık katsayısının 1.4-2'lik değerlerinde de ilk tutuşma garanti edilmektedir. Bundan daha önemlisi, pilot püskürtme ile oda şekline uygun püskürtme demeti oluşturularak, ayrıca silindir içinde yaratılan hava hareketinin de yardımıyla, yanmanın odanın her noktasında aşağı yukarı aynı anda başlaması sağlanmaktadır. Bu şekilde 16-17'lik sıkıştırma oranlarında vuruntusuz yanma elde edilebilmektedir. Pilot püskürtme dizel motorunun orjinal enjektörü ile yapılırsa, bu enjektörün deliği pilot püskürtme debileri için göreceli olarak büyük kaldığından, demetin kalitesi kötü olacaktır (demet derinliği az, damlacık çapları büyük). Yanma odası içine oldukça homojen dağılmış olan gaz-hava karışımı, bazı noktalarda tam olarak yanamaz. Bu durumda zararlı egsoz gazı emisyonlarında ve yakıt tüketiminde artış görülmektedir. Ancak orjinal püskürtme enjektörü kullanmanın en büyük avantajı motorun çalışması sırasında doğalgaza veya dizel yakıtına geçişe olanak vermesidir.

Delik çapı pilot püskürtmenin yakıt debisine uydurulmuş, daha küçük delikli enjektör kullanılırsa, yanma verimi ve emisyon açısından bir sorun olmayacaktır. Bu durumda yakıt tüketimi ve emisyon değerleri yaklaşık normal dizel yakıtı ile elde edilen seviyeye, bazen de daha aşağıya inmektedir.

Doğalgazın silindir içerisine enjekte edilmesi istendiğinde motor konstrüksiyonunda değişiklik yapılması gerekmektedir. Motor silindir kafasında değişiklik yapılarak ve yakıt olarak gelen doğalgazın basıncı yükseltilerek işlem yapmamız gerekecektir. Sıkıştırma prosesi sonuna doğru gaz yakıt, ayrı bir enjektör vasıtasıyla silindir içerisine enjekte edilir. Burada sıkıştırma sonunda silindir içerisine enjekte edilen pilot yakıtın püskürtme avansı önemlidir. Bu avansın azaltılması gerekir, azaltılmadığı takdirde bu sebeple güç düşmesi olur. Pilot yakıt yardımıyla sıkıştırma sonunda silindir içerisinde tutuşma temin edilir. Bu sistemde, silindir kafası içinde, bir gaz diğeri pilot yakıt olmak üzere iki enjeksiyon valfine ihtiyaç duyulmaktadır. Motorun normalde olduğu gibi aynı güçte çalışabilmesi için ya yüksek basınçlı gaz enjeksiyonu ya da gaz yakıtla beraber dizel yakıtının birlikte kullanılması gerekmektedir.

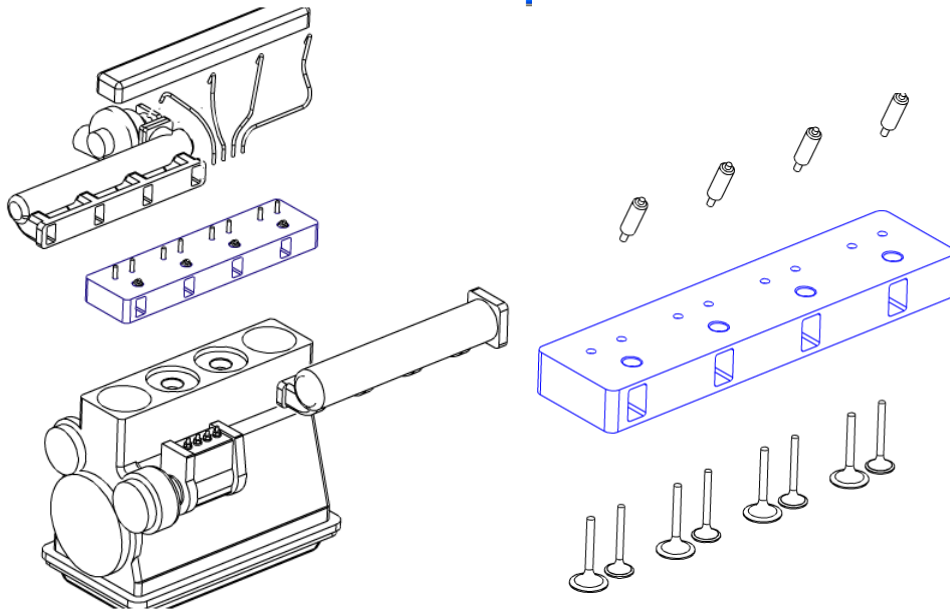
## 2 MATERYAL ve YÖNTEM

### 2.1 Motor Modifikasyonları

Daha önce de bahsedildiği gibi bir dizel motoru doğalgazla çalıştırmanın bir yöntemi, yanma odasını modifiye ederek, motoru buji ile ateşlemeli bir hale dönüştürmektir. Bu değişikliğin temel amacı sıkıştırma oranını azaltarak vuruntuya engel olmaktır. Bu değişikliklerden adım adım bahsetmek gerekirse;

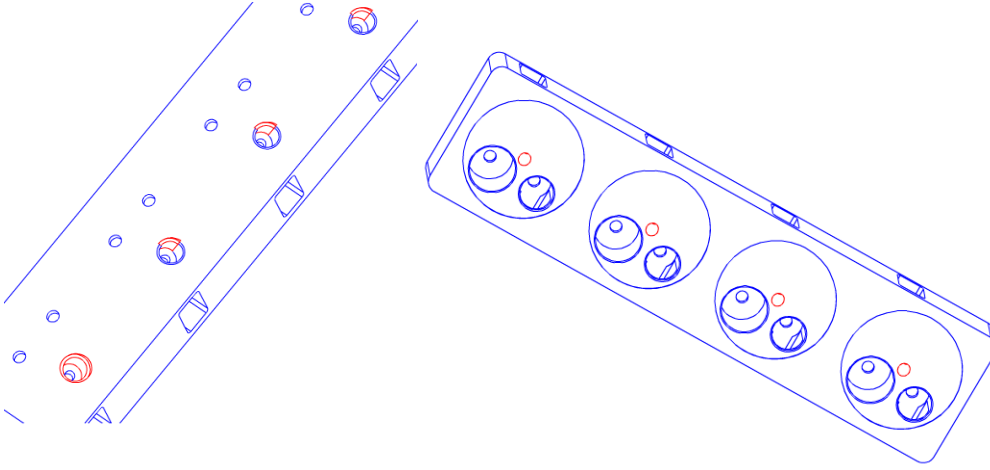
- Silindir kafası değişiklikleri aşağıda belirtildiği gibi yapılır;

1. Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi motor demonte edilir, sübaplar ve enjektörler çıkartılır.



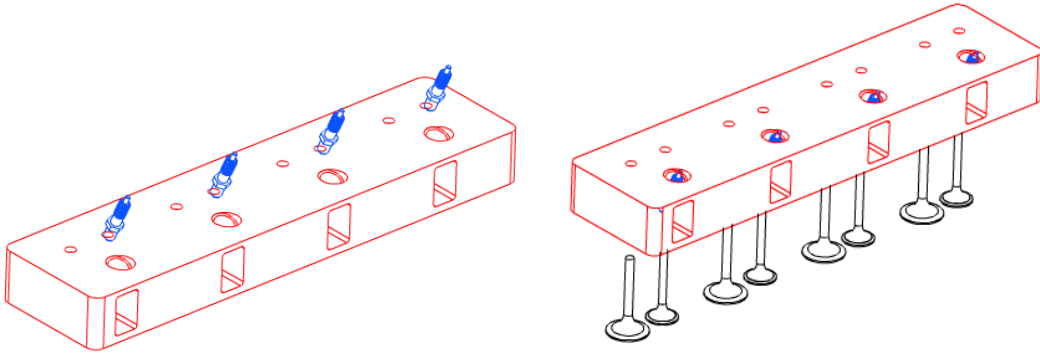
Şekil 2.1. Motorun sökülmesi

2. Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi enjektör yuvaları aşağıdaki gibi genişletilir.



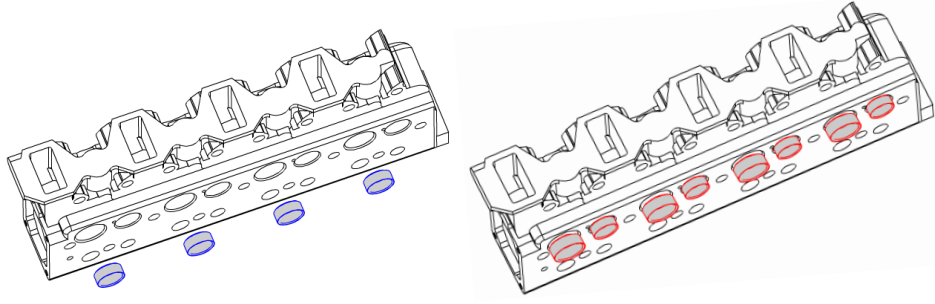
**Şekil 2.2.** Enjektör yuvalarının genişletilmesi

3. Şekil 2.3.'te gösterildiği gibi enjektör yuvalarına bujiler yerleştirilir ve sübaplar tekrar monte edilir.



**Şekil 2.3.** Bujilerin yerleştirilmesi

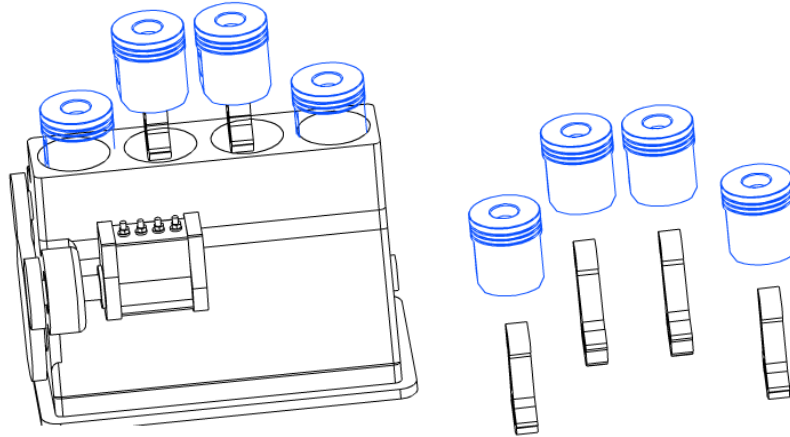
- Şekil 2.4.'te gösterildiği gibi sübap yatakları yenilenir;



**Şekil 2.4.** Sübap yataklarının yenilenmesi

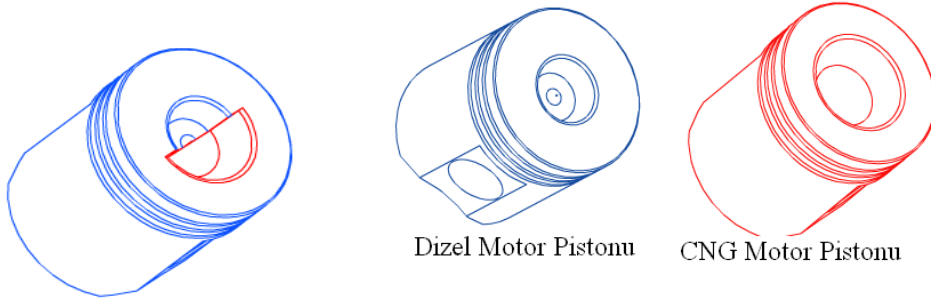
- Dizel motoru doğalgaz motoruna dönüştürürken eğer tek yakıt kullanılacaksa hal-i hazırda var olan pistonlarda bazı modifikasyonlar yapmak gerekmektedir. Eğer var olan piston hiçbir değişikliğe uğramadan kullanılmaya kalkılırsa yaklaşık 17:1'lik bir sıkıştırma oranı vurutuya sebep olacaktır. Bu sebeple yanma odası hacmi genişletilmelidir. Bu modifikasyon aşağıda gösterilen şekilde yapılır.

1. Şekil 2.5.'te gösterildiği gibi öncelikle pistonlar sökülür.



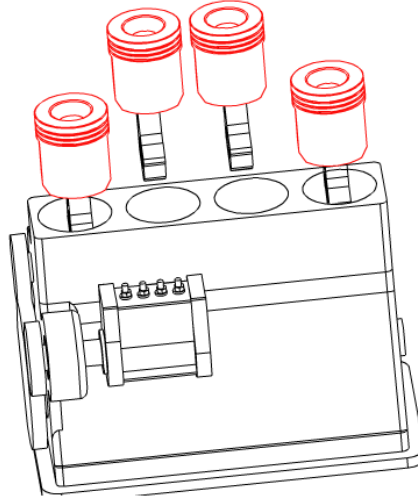
**Şekil 2.5.** Pistonların sökülmesi

2. Sonra Şekil 2.6'da gösterildiği gibi motorun sıkıştırma oranını hesaplanan seviyeye getirmek için piston genişletilir.



**Şekil 2.6.** Pistonların genişletilmesi

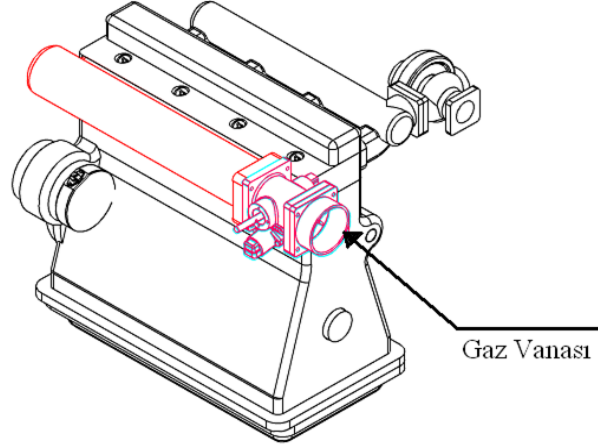
3. Daha sonra Şekil 2.7.'de gösterildiği gibi modifikasyonu yapılmış piston tekrar motora monte edilir.



**Şekil 2.7.** Pistonların montajı

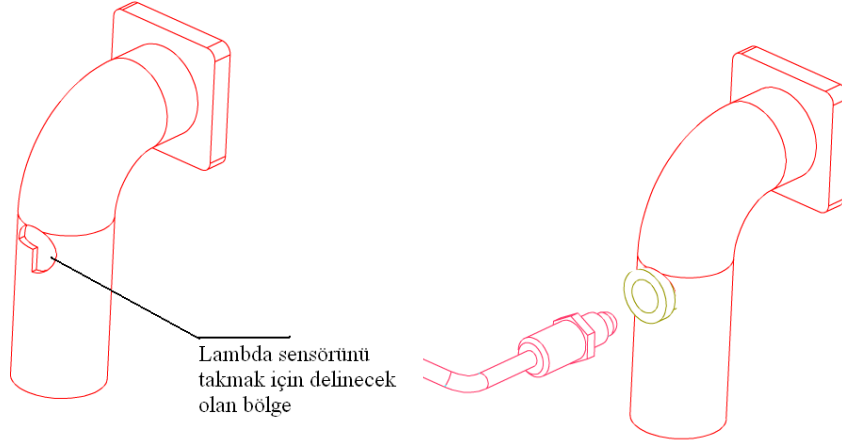
- Şekil 2.8.'de gösterildiği gibi gaz vanası montajı yapılır;



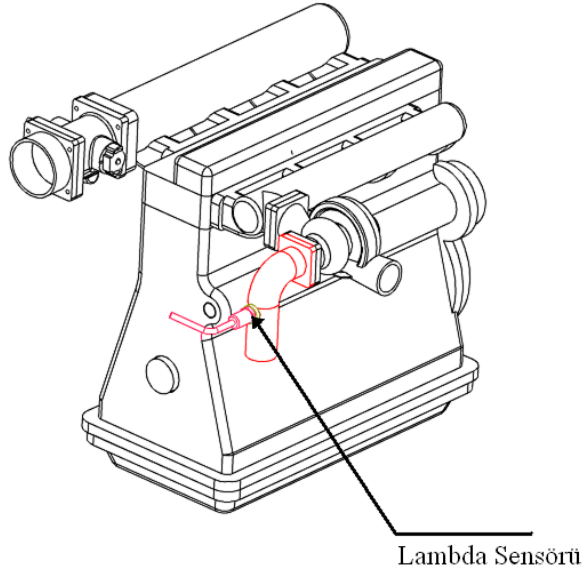


**Şekil 2.8.** Gaz vanası montajı

- Elektronik kontrol ünitesinin görevi, yakılacak yakıt-hava karışımı oranını ayarlamayı sağlamaktır. Bu oranı ayarlamak için egzoz gazındaki oksijen oranı ölçülmeli ve ECU'ya sinyal gönderilmelidir. Motorun egzoz çıkışına takılan "lambda sensörü" adı verilen bir cihaz, egzoz gazından aldığı bilgileri ECU'ya gönderir ve ECU da yakıt hava oranı ayarlar. Örnek olarak eğer egzoz gazında fazla miktarda oksijen varsa bu yakıt-hava karışımındaki yakıtın yetersiz olduğunu gösterir ve ECU bu bilgi doğrultusunda yakıt-hava karışımındaki yakıt oranını artırır. Lambda sensörü Şekil 2.9. ve Şekil 2.10.'da gösterildiği gibi bağlanır.

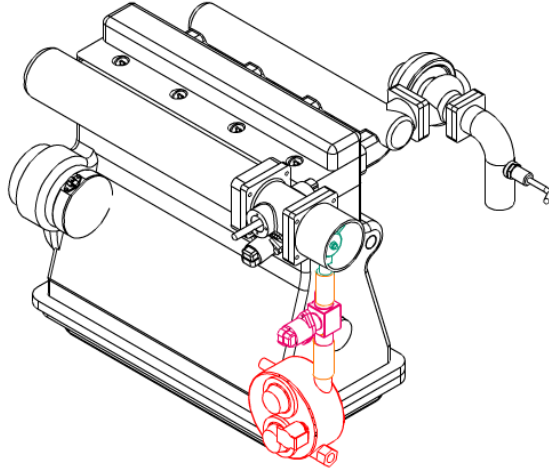


**Şekil 2.9.** Lambda sensörünün bağlanması için yapılan modifikasyon

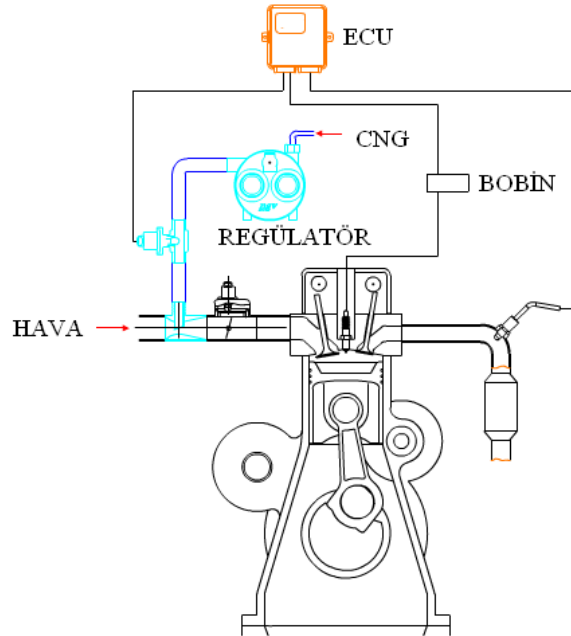


**Şekil 2.10.** Lambda sensörünün bağlanması

- Şekil 2.11.'de görüldüğü gibi regülatör ve ECU kurulumu yapılır ve sistem Şekil 2.12.'deki hali olarak tamamlanır.<sup>(28)</sup>



Şekil 2.11. Regülatörün bağlanması



Şekil 2.12. Sistemin genel yapısı

## 2.2

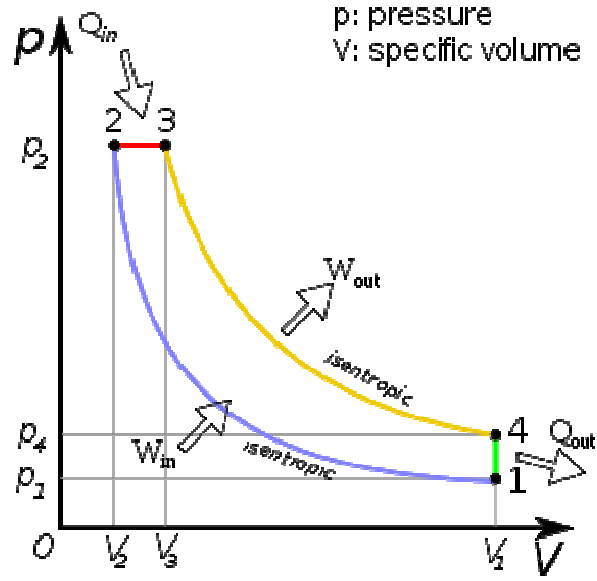
### 3 ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 3.1 Teorik Analiz

##### 3.1.1 Dizel evrimi

Dizel evrimi, Rudolph Diesel tarafından bulunan dizel motorununun yanma odasının basınç ve hacmini yakınsayarak teorik analizini yapan bir termodinamik çevrimdir. Yanmanın ilk basamağında basıncın sabit olduğu varsayılır. Bu evre sabit basınçlı sıkıştırma evresidir. Gerçek dizel motorlarda ise bu evrede, basınçta bir miktar artış olmaktadır.

Şekil 3.1.'de dizel çevrim evreleri görünmektedir. Burada  $p$  ile bahsedilen kısımlar basınç,  $v$  ile bahsedilen kısımlar ise spesifik hacmi ifade etmektedir.



**Şekil 3.1.** Dizel Çevrimi

- Proses 1-2, izentropik sıkıştırma evresidir ve çevrime iş girer ( $W_{in}$ ).
- Proses 2-3, tersinir, sabit basınçta ısıtma evresidir. Bu evrede sisteme ısı girişi olur ( $Q_{in}$ ).
- Proses 3-4, izentropik genişleme evresidir, bu esnada işarıya iş çıkışı olur.
- Proses 4-1, tersinir, sabit hacimli soğuma evresidir.

Dizel çevrimde ısı enerjisi, işe dönüştürülür.

- Giren iş, ( $W_{in}$ ), akışkanı sıkıştıran piston tarafından oluşturulur.
- Giren ısı, ( $Q_{in}$ ), yakıtın yanmasıyla oluşur.
- Çıkan iş, ( $W_{out}$ ), piston üzerinde genişleyen yakıt tarafından oluşturulur.  
Bu iş, kullanılabilir toku oluşturur.
- Çıkan ısı, ( $Q_{out}$ ), hava tahliyesiyle oluşur.

Dizel çevrimde maksimum termal verim, sıkıştırma oranı ve cut-off oranına bağlıdır. Formülü aşağıdaki gibidir.

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \left( \frac{\alpha^\gamma - 1}{\gamma(\alpha - 1)} \right)$$

Burada;

$\eta_{th}$  : Termal verim

$\alpha$  : cut-off oranı ( $V_3 / V_2$ ) (Yanma fazının bitişi ve başlaması arasındaki hacimler oranı)

$r$ : Sıkıştırma oranı ( $V_1 / V_2$ )

$\gamma$  : Spesifik sıcaklıklar oranı ( $C_p/C_v$ )

Cut-off oranı sıcaklıklar cinsinden de ifade edilebilir:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = r^{\gamma-1}$$

$$T_2 = T_1 r^{\gamma-1}$$

$$\frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2}$$

$$\alpha = \left( \frac{T_3}{T_1} \right) \left( \frac{1}{r^{\gamma-1}} \right)$$

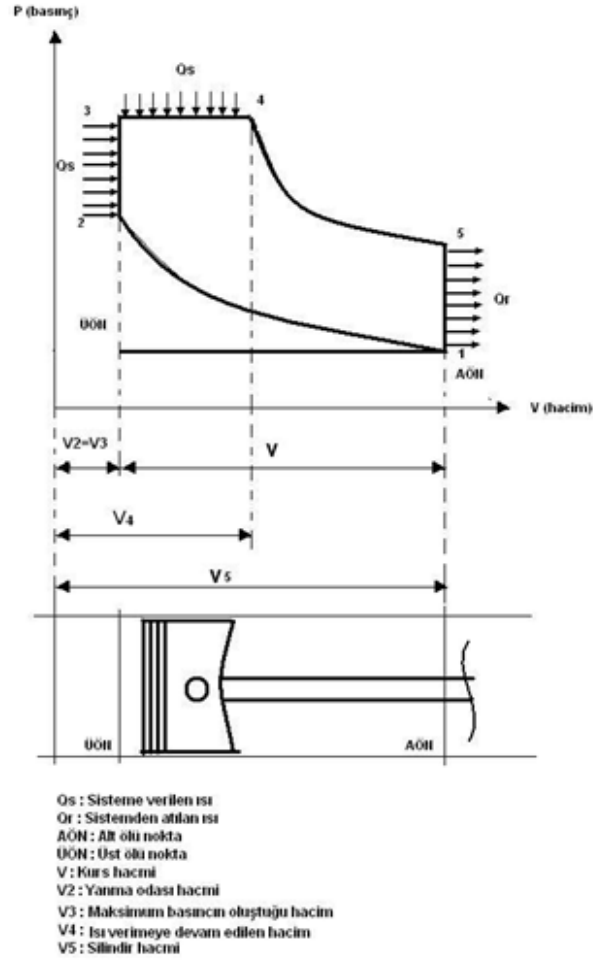
Burada  $T_3$  kullanılan yakıtın alev sıcaklığı olarak alınabilir. Alev sıcaklığı da kullanılan yakıt-hava oranı ve  $P_3$  sıkıştırma basıncına karşılık gelen adyabatik alev sıcaklığı olarak varsayılabilir.  $T_1$  ise havanın giriş sıcaklığıdır.

Dizel çevrim bir içten yanmalı motorun yanma işlemini ifade eder. Yanmada kullanılan yakıt, yanma odasındaki sıkıştırma işleminde oluşan ısı ile gerçekleşir. <sup>(29)</sup>

### 3.1.2 Karma Çevrim

Dizel çevrimi her ne kadar dizel motorların çalışma prensibini açıklayabiliyor gibi görünse de bu pratikte mümkün olamamaktadır. Çünkü günümüz modern dizel motorlarında , yanmanın ilk aşaması sabit hacime yakın, son aşaması ise sabit basınca yakın gerçekleşmektedir. Bu yüzden ısının bir miktarının sabit hacimde, geri kalan kısmının da sabit basınçta sisteme verildiği bir termodinamik çevrime ihtiyaç duyulmuş ve bu çevrime karma çevrim adı verilmiştir.

Şekil 3.2.'de piston konumuna göre karma çevrim safhaları P-v diyagramında gösterilmiştir.



**Şekil 3.2. Karma Çevrim**

### 3.1.2.1 Karma Çevrim Safhaları

#### *Sıkıştırma (1-2)*

Bu safhada, piston alt ölü noktadan üst ölü noktaya doğru hareket eder. Bu sırada emme ve egzoz valfleri kapalıdır, dolayısıyla içerdeki hava sıkışır ve basıncı grafikte görüldüğü gibi artar.



### *Sabit Hacimde Yanma (2-3)*

Piston üst ölü noktaya ulaştığı sırada silindire enjektör tarafından yakıt püskürtülmeye başlar. Sıkışarak ısınmış havayla karşılaşan yakıt yanmaya başlar, bunun sonucunda basınç P2'den P3 değerine sıçrama yapar. Sisteme ısı girişinin olduğu ilk safha bu safhadır.

### *Sabit Basınçta Yanma (3-4)*

Bu safhada piston aşağı doğru hareketine başlar fakat yanma devam ettiğinden basınç düşmez. Bu durum 4 nolu noktaya kadar böyle devam eder. Böylece bu safhada da sisteme ısı girişi devam etmiş olur.

### *Genleşme (4-5)*

Artık silindire yakıt püskürtülmemektedir ve yanma durmuştur. Piston aşağı doğru hareketine devam ettiğinden silindirdeki basınç da düşmeye başlar.

### *Egzoz (5-1)*

Sistem 5 nolu noktaya (AÖN) geldiğinde egzoz valfi açılır. Silindir egzoz sistemi ile dışarıya açıldığından silindirdeki basınç atmosferik basınca düşer. Sistemden ısının atılması bu safhada gösterilmiştir. Gerçekte, dışarıya ısının atılması pistonun egzoz stroğunu yapmasıyla olur (grafikte yatay çizgiyle gösterilen strok), ancak ideal bir çevrimde egzoz stroğunda negatif veya pozitif bir iş yapılmadığından çevrimde incelenmez, ısının atılması da egzoz valfi açıldığında bir anda olmuş gibi gösterilir.<sup>(30)</sup>

### Sabit Basınçta Hacim Artış Oranı ( $\varphi$ )

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\varphi = \frac{v_4}{v_3} = \frac{T_4}{T_3}$$

- $\varepsilon$  : Sıkıştırma oranı
- $v_1$  : Kurs hacmi
- $v_2$  : Yanma odası hacmi
- $v_3$  : Maksimum basıncın olduğu hacim
- $v_4$  : Isı verilmeye devam edilen hacim
- $T_3$  : Maksimum basıncın olduğu noktadaki sıcaklık
- $T_4$  : Sabit basıncın sona erdiği noktadaki sıcaklık

### Sabit hacimde basınç artış oranı ( $\lambda$ )

$$\lambda = \frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2}$$

### Çevrimin işi ( W [kJ] )

Sıkıştırma işi;

$$W_{1-2} = P_2 \cdot V_2 - \frac{P_1 \cdot V_1}{1 - k}$$

Genleşme işi;

$$W_{3-5} = W_{3-4} + W_{4-5}$$

$$W_{2-3} = P_3(V_4 - V_3)$$

$$W_{4-5} = P_4 \cdot V_4 - \frac{P_5 \cdot V_5}{1 - k}$$

Net iş;

$$W_{net} = W_{3-5} - W_{1-2}$$

Sisteme sürülen ısı ( $Q_s$ );

$$Q_S = Q_{2-3} + Q_{3-4}$$

$$Q_{2-3} = m \cdot c_v(T_3 - T_2)$$

$$q_{2-3} = c_v(T_3 - T_2)$$

$$Q_{3-4} = m \cdot c_p(T_4 - T_3)$$

$$q_{3-4} = c_p(T_4 - T_3)$$

- $c_v$  : sabit hacimdeki özgül ısı
- $c_p$  : sabit basınçtaki özgül ısı

- $q_S$  : sisteme sürülen özgül ısı
- $m$  : kütle
- $T$  : sıcaklık

Sistemden atılan ısı ( $Q_R$ );

$$Q_R = Q_{5-1} = m \cdot c_v (T_5 - T_1)$$

$$q_R = c_v (T_5 - T_1)$$

Net ısı ( $Q_{net}$ );

$$Q_{net} = Q_S - Q_R = (Q_{2-3} + Q_{3-4}) - (Q_{5-1})$$

Çevrimin verimi ( $\eta$ );

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_S} = \frac{Q_{net}}{Q_S} = \frac{Q_S - Q_R}{Q_S} = 1 - \frac{Q_R}{Q_S}$$

$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_5 - T_1}{T_3 - T_2 + k(T_4 - T_2)}$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{(\varepsilon k - 1) \cdot \lambda \cdot \varphi k} - \frac{1}{(\lambda - 1) + k(\lambda - 1)}$$

### 3.1.2.2 Hesaplanan Parametreler

Yakıt:

Dizel motorlarda termodinamik değerler bulunurken, hesap kolaylığından dolayı kullanılan yakıt miktarı 1kg olarak kabul edilir. Dizel motorlarda kullanılan yakıtlar hidrokarbon karışımlarından oluşan yakıtlardır. Sıvı yakıtlar için dizel yakıtının kütleli içeriği %87 C, %12.6 H ve %0.04 O şeklindedir. Yakıtın ısı değeri hesaplanacak olunursa; (kükürt ve su buharı miktarı 0 olarak alınmıştır.)

$$H_u = [33.91C + 12.5H - 10.89(O - S) - 2.51 (9H+W)] \cdot 10^3 \text{ [kJ/kg]}$$

$$H_u = \{(33.91)(0.870) + (125.6)0.126\} - (10.89)(0.04-0) - 2.51[9 \cdot (0.126) + 0] \cdot 10^3$$

$$H_u = 42045 \text{ kJ/kg} = 42.045 \text{ MJ/kg} \text{ olarak bulunur.}$$

İş Gazı

Hava Miktarı

Teorik olarak 1kg yakıtın yanabilmesi için gereken hava miktarı;

$$L_0 = \frac{1}{0.208} \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right)$$

$$L_0 = \frac{1}{0.208} \left( \frac{0.870}{12} + \frac{0.126}{4} - \frac{0.004}{32} \right)$$

$$L_0 = 0.494 \text{ kmol hava / yakıt}$$

$$l_0 = \frac{1}{0.23} \left( 8 \frac{C}{3} + 8H - O \right)$$

$$l_0 = \frac{1}{0.23} \left( 8 \frac{0.870}{3} + 8 \cdot (0.126) - (0.04) \right)$$

$$l_0 = 14.295 \text{ kg hava / kg yakıt}$$

Buradan yakıtın molar kütlesi;

$$\mu_0 = \frac{l_0}{L_0}$$

$$\mu_0 = \frac{14.295}{0.494} = 28.94 \text{ kg/kmol olarak bulunur.}$$

Hava fazlalık katsayısı  $\lambda = 1.51$  olarak seçilmiştir. Buna göre silindire alınan taze hava miktarı;

$$L = L_0 \cdot \lambda$$

$$L = (0.494) \cdot (1.51) = 0.746 \text{ kmol hava / kg yakıt}$$

$$l = l_0 \cdot \lambda$$

$$l = (14.295) \cdot (1.51) = 21.586 \text{ kg hava / kg yakıt}$$

Yanma Sonu Ürünlerinin Bileşim Miktarı

Sitokiyometrik yakıt-hava karışımının ( $\lambda = 1$ ) tam yanma ürünleri:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  ve azot  $\text{N}_2$  bileşimidir. Fakir yakıt-hava karışımı kullanıldığında yukarıda sıralananların yanı sıra ürünler içerisinde  $\text{O}_2$  de vardır. Buna göre sıvı yakıtın yanma ürün miktarı;

$$M_2 = M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{O}_2} + M_{\text{N}_2}$$

$$M_2 = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0.208(\lambda - 1)L_0 + 0.792\lambda L_0$$

$$M_2 = \frac{0.870}{12} + \frac{0.216}{2} + 0.208(1.51 - 1)(0.494) + (0.792)(1.51)(0.494)$$

$$M_2 = 0.799 \text{ kmol ürün / yakıt}$$

Taze Dolgu Miktarı

Silindir içersine alınan taze dolgu 1 kg yakıt ve bu yakıtı yakmak için gereken havadan oluşmaktadır.

$$m_1 = 1 + l$$

$$m_1 = 1 + 21.585 = 22.586 \text{ kg dolgu / kg yakıt}$$

$$M_1 = \frac{1}{m_y} + L$$

(Burada  $m_y$  yakıtın molar kütesidir. Dizel yakıtı için  $m_y = 180 \text{ kg/kmol}$ 'dür.)

$$M_1 = \frac{1}{180} + 0.476 = 0.751 \text{ kmol dolgu / kg yakıt}$$

Moleküler Değişim Katsayısı

Yanma sırasında bağıl hacim değişimi; yanma ürünleri mol miktarının, yakıt-hava karışımı mol miktarı oranına eşit olan, yakıt-hava karışımının kimyasal moleküler değişim katsayısı  $\mu_0$  büyüklüğü ile tanımlanır.

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} \text{ veya } \lambda > 1 \text{ için } \mu_0 = 1 + \frac{\frac{H}{4} + \frac{O}{32} - \frac{1}{m_y}}{\lambda L_0 + \frac{1}{m_y}} \text{ 'dir.}$$

$$\mu_0 = 1 + \frac{\frac{0.126}{4} + \frac{0.04}{32} - \frac{1}{180}}{(1.51)(0.494) + \frac{1}{180}} = 1.036 \text{ olarak bulunur.}$$

## Çevre Parametreleri

Aşırı doldurma olmadığında normal atmosfer basınç ve sıcaklığı çevre parametreleri olarak kabul edilirler.

$T_0=293^0K$  ve  $P_0= 0.1MPa$ 'dır.

Taze dolgu yoğunluğu ( $\rho_0$ ) ;

$$\rho_0 = \frac{P_0 * 10^6}{287 * T_0}$$

$$\rho_0 = \frac{0.1 * 10^6}{287 * 293} = 1.19 \text{ kg/m}^3$$

## Artık Gaz Parametreleri

Dizel motorlarda artık gaz basıncı  $P_r = (1.05-1.25) P_0$ , artık gaz sıcaklığı

$T_r = 600...900^0K$  sınırları arasında olmaktadır.

$P_r = 0.115 MPa$ ,  $T_r = 820^0K$  olarak kullanılacaktır.

## Artık Gazlar Katsayısı

$$\gamma_r = \frac{P_r(T_0 + \Delta T)}{T_r(\epsilon P_a - P_r)}$$

$$\gamma_r = \frac{(0.115)(293 + 20)}{830 * [(17)(0.086) - (0.115)]} = 0.032$$

## Gerçek Moleküler Değişim Katsayısı



$$\mu = \frac{M_2 + M_r}{M_1 + M_r} \text{ ve } M_r = \gamma \cdot M_1$$

Burada  $M_r$  egzoz sürecinde atılmayan gaz miktarıdır.

$$\mu = \frac{M_2 + M_r}{M_1 + M_r} = \frac{M_1(\mu_0 + \gamma_r)}{M_1(1 + \gamma_r)} = \frac{1.036 + 0.031}{1 + 0.031} = 1.035 \text{ bulunur.}$$

Mevcut Motor İçin Termodinamik Çevrim

Volumetrik verim  $\eta_v = 0.85$  kabul edilerek emme sonu basıncı;

(sıkıştırma oranı  $\varepsilon = 17$ )

$$P_a = \frac{(T_0 + \Delta T)(\varepsilon - 1)P_0\eta_v + P_r T_0}{\varepsilon T_0}$$

Burada  $\Delta T$  taze dolgunun emme süresince motorun sıcak çeperlerinden aldığı ek ısıdan kaynaklanan sıcaklık artışıdır. Dizel motorlar için bu değer aşırı doldurma olmadığında  $\Delta T = 10 \dots 40^{\circ}\text{K}$  aralığındadır. Burada  $\Delta T = 20^{\circ}\text{K}$  olarak kabul edilmiştir.

$$P_a = \frac{(293 + 20)(17 - 1) * 0.1 * 0.85 + (0.115) * 293}{17 * 293} = 0.092 \text{ MPa}$$

Emme sonu iş gazı sıcaklığı ise;

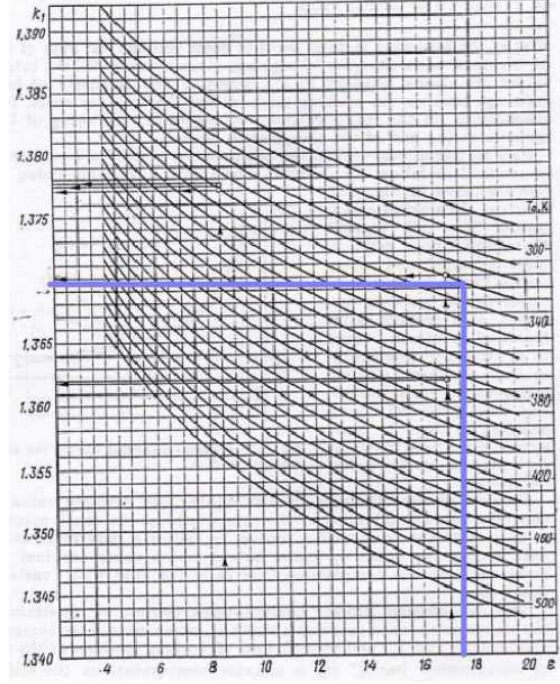
$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r}$$

$$T_a = \frac{293 + 20 + (0.029 * 830)}{1 + 0.029} \approx 329^{\circ}\text{K} \text{ olarak bulunur.}$$

Sıkıştırma Süreci

Şekil 3.3.'ten faydalanılarak bulunan sıkıştırma adyabat üssü ( $k_1$ ), sıkıştırma oranı ( $\varepsilon = 17$ ) ve emme sonu iş gazı sıcaklığı ( $T_a = 329^{\circ}\text{K}$ ) için

nomograftan okunur ( $k_1 = 1.37$ ). Sıkıştırma politrop üssü ( $n_1$ ) adyabat üssüne eşit alınır. ( $n_1 = k_1$ )



**Şekil 3.3.**  $k_1$  adyabat üssü için nomograf

Sıkıştırma sonu basıncı ve sıcaklığı;

$$P_c = P_a \cdot \epsilon^{n_1}$$

$$P_c = (0.092) \cdot 17^{1.37}$$

$$P_c = 4.46 \text{ MPa}$$

$$T_c = T_a \cdot \epsilon^{n_1-1}$$

$$T_c = (329) \cdot 17^{(0.37)}$$

$$T_c = 948 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Yakıt-hava karışımının ortalama molar özgül ısı;

$$(mc_v)_{t_0}^{t_c} = 20.6 + 2.638 \cdot 10^{-3} t_c$$

$$t_c = T_c - 273 = 948 - 273 = 675^{\circ}\text{C}$$

$$(mc_v)_{t_0}^{t_c} = 20.6 + 2.638 \cdot 10^{-3}(675) = 22.38 \text{ kJ / kmol deg}$$

Burada atık gazların molar özgül ısısı Çizelge 3.2.'den faydalanılarak bulunur.

**Çizelge 3.1. Atık gazların molar özgül ısısı**

Temperature t, °C	Mean molar heat capacity of combustion products, kJ/(kmole deg), of diesel fuel at $\alpha$											
	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
0	22.184	22.061	21.958	21.870	21.794	21.728	21.670	21.572	21.493	21.428	21.374	21.328
100	22.545	22.398	22.275	22.169	22.078	21.999	21.929	21.812	21.717	21.640	21.574	21.519
200	22.908	22.742	22.602	22.482	22.379	22.289	22.210	22.077	21.970	21.882	21.808	21.745
300	23.324	23.142	22.989	22.858	22.745	22.647	22.560	22.415	22.300	22.202	22.121	22.052
400	23.750	23.554	23.390	23.249	23.128	23.022	22.930	22.774	22.648	22.544	22.457	22.384
500	24.192	23.985	23.811	23.662	23.533	23.424	23.322	23.157	23.023	22.914	22.822	22.743
600	24.631	24.413	24.229	24.072	23.937	23.819	23.716	23.541	23.401	23.285	23.188	23.106
700	25.069	24.840	24.648	24.484	24.342	24.218	24.109	23.927	23.780	23.659	23.557	23.471
800	25.490	25.251	25.050	24.879	24.731	24.602	24.488	24.298	24.144	24.018	23.912	23.822
900	25.896	25.648	25.439	25.261	25.107	24.973	24.855	24.657	24.487	24.366	24.256	24.162
1000	26.278	26.021	25.804	25.620	25.460	25.321	25.199	24.993	24.828	24.692	24.578	24.481
1100	26.641	26.375	26.151	25.960	25.795	25.652	25.525	25.313	25.142	25.001	24.883	24.783
1200	26.987	26.713	26.482	26.286	26.116	25.967	25.837	25.618	25.442	25.296	25.175	25.071
1300	27.314	27.029	26.792	26.589	26.415	26.262	26.128	25.903	25.722	25.572	25.447	25.341
1400	27.618	27.328	27.085	26.877	26.698	26.541	26.404	26.173	25.986	25.833	25.705	25.596
1500	27.907	27.610	27.361	27.148	26.965	26.805	26.664	26.427	26.237	26.080	25.948	25.836
1600	28.175	27.873	27.618	27.400	27.212	27.049	26.905	26.663	26.468	26.308	26.173	26.059
1700	28.432	28.123	27.863	27.641	27.449	27.282	27.135	26.888	26.690	26.526	26.389	26.272
1800	28.669	28.354	28.089	27.863	27.668	27.497	27.348	27.096	26.894	26.727	26.587	26.469
1900	28.895	28.575	28.305	28.076	27.877	27.704	27.552	27.296	27.090	26.921	26.781	26.658
2000	29.107	28.782	28.508	28.275	28.073	27.898	27.743	27.483	27.274	27.102	26.958	26.835
2100	29.310	28.980	28.703	28.466	28.262	28.083	27.926	27.663	27.451	27.276	27.130	27.005
2200	29.503	29.169	28.888	28.648	28.441	28.260	28.101	27.834	27.619	27.442	27.294	27.168
2300	29.680	29.342	29.057	28.815	28.605	28.422	28.261	27.991	27.774	27.595	27.444	27.317
2400	29.851	29.510	29.222	28.976	28.764	28.580	28.417	28.144	27.924	27.743	27.591	27.462
2500	30.011	29.666	29.375	29.127	28.913	28.726	28.562	28.286	28.064	27.881	27.728	27.598
2600	30.164	29.816	29.523	29.272	29.056	28.868	28.702	28.424	28.199	28.015	27.860	27.729
2700	30.311	29.960	29.664	29.412	29.194	29.004	28.837	28.557	28.331	28.144	27.988	27.856
2800	30.451	30.097	29.799	29.546	29.326	29.135	28.966	28.684	28.456	28.269	28.111	27.978

Artık gazların ortalama molar özgül ısısı; Hava fazlalık katsayısı  $\lambda=1.51$  ve sıkıştırma sonu sıcaklığı  $t_c = 675^{\circ}\text{C}$  için yanma sonu ürünlerinin ortalama molar kapasitelerini gösteren tablodan yapılan interpolasyon ile;

$$(mc_v)_{t_0}^{t_c} = 24.12 \text{ kJ/kmol deg olarak hesaplanır.}$$

İş gazının (yakıt+hava+atık gaz karışımı) ortalama molar özgül ısısı;

$$(mc_v)_{t_0}^{t_c} = \frac{1}{1 + \gamma_r} [(mc_v)_{t_0}^{t_c} + \gamma_r (mc_v)_{t_0}^{t_c}]$$

$$(mc_v)'_{10}{}^{tc} = \frac{1}{1+0.032} [22.38 + (0.032) * (24.11)] = 22.43 \text{ kJ / kmol deg}$$

Yanma Süreci

İş gazının ısı değeri;

$$H_{wm} = \frac{H_u}{M_1(1 + \gamma_r)}$$

$$H_{wm} = \frac{42045}{0.751 * (1 + 0.032)} = 54250 \text{ kJ / kmol}$$

Maksimum yanma basıncı ise;

$$P_z = \alpha P_c$$

Burada  $\alpha$  dizel motorlar için 1.8...2.2 arası bir değerdir.  $\alpha = 1.8$  olarak kabul edilirse maksimum yanma basıncı;

$$P_z = 1.8 * 4.46 = 8.028 \text{ MPa'dır}$$

Genişleme Süreci

$$\delta = \frac{\epsilon}{\rho}$$

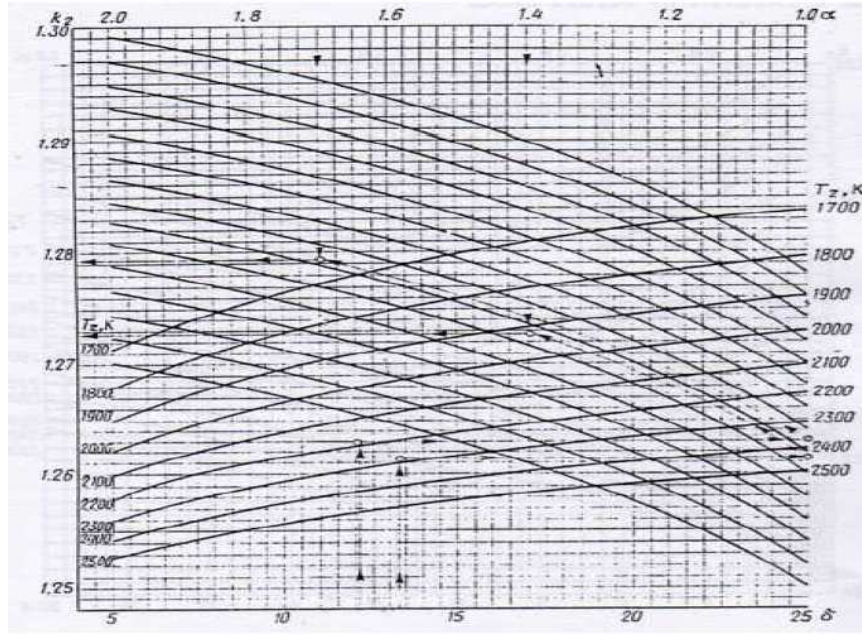
Burada  $\rho = \frac{\mu T_z}{\alpha T_c}$  formülünden yararlanılarak bulunur. İfadede  $T_z$  Maksimum yanma sıcaklığıdır. Bizim verilerimizden faydalanarak yapılan işlemler sonucunda  $T_z$  değeri 2241<sup>0</sup>K bulunur.

Değerler yerine koyulup  $\rho = 1.36$  bulunacağı düşünülürse;

$$\delta = \frac{17}{1.36} = 12.5$$

$\delta = 12.5$ ,  $T_z = 2241^0\text{K}$  ve  $\lambda = 1.51$  için Genişleme adyabat üssü Şekil 3.4.'te gösterilen  $k_2$  nomografından  $k_2$  değeri okunduğunda

$k_2 = 1.28$  bulunur.



**Şekil 3.4.** k2 adyabat üssü için nomograf

Politropik üs  $n_2$ 'nin değeri  $k_2$  cinsinden aşağıdaki şekilde kabul edilir.

$$n_2 = k_1 - (0.01 \dots 0.02)$$

Buna göre  $n_2 = 1.27$  alınır.

Genişleme sonu basıncı;

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}}$$

$$P_b = \frac{8.028}{(12.5)^{1.27}} = 0.32 \text{ MPa}$$

Genişleme sonu sıcaklığı ise;

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n2-1}}$$

$$T_b = \frac{2241}{(12.5)^{0.27}} = 1133^0 K \text{ bulunur.}$$

Artık Gaz Sıcaklığı Kontrolü

Bu süreçte artık gazların sabit basınçta dışarı atıldığı kabul edilir. Hesapların başlangıcında  $T_r = 600...900^0K$  aralığından  $T_r = 820^0K$  seçilmişti. Bu değer hesaplar sonucunda elde edilen  $T_r$  değeri ile karşılaştırılacaktır.

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{P_b}{P_r}}}$$

$$T_r = \frac{1133}{\sqrt[3]{\frac{0.32}{0.115}}} = 805^0 K$$

Bu sonuç seçilen  $T_r = 820^0K$  ile kıyaslanırsa hata;

$$\Delta = \frac{820 - 805}{805} * 100 = 1.8 \text{ Görüldüğü gibi hata \%5'ten küçüktür ve sonuç kabul}$$

edilebilir düzeydedir.

İndike Parametreleri

Ortalama İndike Basınç

Ortalama indike basıncın teorik değeri;

$$P_i' = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left[ \alpha(\rho - 1) + \frac{\alpha\rho}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right]$$

$$P_i' = \frac{4.46}{17 - 1} \left[ 1.8(1.36 - 1) + \frac{1.8 * 1.36}{1.27 - 1} \left( 1 - \frac{1}{12.5^{1.27 - 1}} \right) - \frac{1}{1.37 - 1} \left( 1 - \frac{1}{17^{1.37 - 1}} \right) \right] = 0.890 MPa$$

Emme ve egzoz süresince pompalama kayıplarının ortalama basıncı;

$$\Delta P_i = P_r - P_a$$

$$\Delta P_i = 0.115 - 0.086 = 0.029 MPa$$

Gerçek indike basınç;

$$P_i = \nu P_i' - \Delta P_i$$

Burada  $\nu$ , teorik çevrimin geçiş noktalarından yuvarlatılarak gerçek çevrime yaklaştırmak için kullanılan yuvarlatma katsayısıdır. (Dizel motorlarda  $\nu = 0.92 \dots 0.95$ )

Buna göre;  $P_i = 0.95 * 0.890 - 0.029 = 0.816 MPa$  olarak bulunur.

İndike Güç

Strok hacmi;

$$V_h = 3.77 l$$

$$N_i = \frac{P_i \cdot V_h \cdot i \cdot n}{30 \tau}$$

Burada  $i$  silindir sayısını,  $n$  devir sayısını,  $\tau$  ise çevrim sayısını göstermektedir. (4 zamanlı motorlar için  $\tau = 4$ 'tür.)

$$N_i = \frac{0.816 * 3.77 * 1 * 1800}{30 * 4} = 46.144 kW \text{ olarak bulunur.}$$

## Efektif Parametreler

### Ortalama Efektif Basınç

$$P_e = P_i - P_m$$

Burada  $P_m$  mekanik kayıpları ve pompalama kayıplarını içeren ortalama mekanik basınçtır.

$P_m = 0.089 + 0.0118.W_p$  ( $W_p$  ortalama piston hızıdır, hesaplamalarımızda 9m/s alınmıştır.)

$$P_m = 0.089 + (0.0118)(9) = 0.195MPa$$

$$P_e = 0.816 - 0.195 = 0.621MPa$$

### Efektif Güç

$$N_e = \frac{P_e.V_h.i.n}{30\tau}$$

$$N_e = \frac{0.621 * 3.77 * 1 * 1800}{30 * 4} = 36.11kW$$

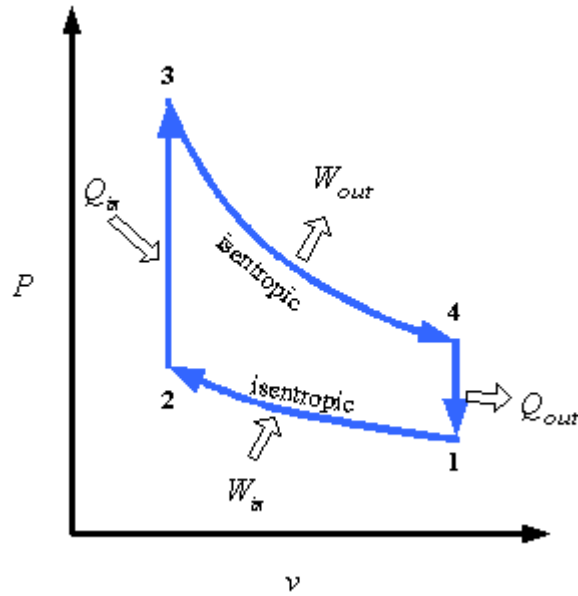
Motor değerlerine göz atıldığında 1800d/d devir sayısı için üretilen güç 38kW olarak görülmektedir. Bulunan teorik değer deneysel değerlere oldukça yakındır. <sup>(21,31)</sup>

### 3.1.3 Otto (Sabit Hacim) Çevrimi



Sabit hacim çevrimleri (otto çevrimi) , buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılan , ateşlemenin piston üst ölü noktaya geldiği ve sıkıştırma sonu basıncının en üst seviyeye çıktığı anda bujilerden kıvılcım çaktırılarak yapılan bunun sonucunda da pistonu aşağıya iten maksimum basıncın elde edildiği çevrimlerdir. Sabit basınç ya da dizel çevrimlerinden farkı ateşleme sabit bir hacimde yapılması ve buji kullanılmasıdır. Dizel çevrimlerinde olduğu gibi piston aşağıya doğru inerken sisteme ısı girişi yapılmamaktadır.

Şekil 3.5.'te otto çevrim evreleri görünmektedir. Burada  $p$  ile bahsedilen kısımlar basınç,  $v$  ile bahsedilen kısımlar ise spesifik hacmi ifade etmektedir.



Şekil 3.5. Otto çevrimi

- Proses 1-2 (sıkıştırma): Bu safhada, piston alt ölü noktadan üst ölü noktaya doğru hareket eder. Bu sırada emme ve egzoz valfleri kapalıdır, dolayısıyla içerdeki hava sıkışır ve basıncı grafikte görüldüğü gibi artar.

- Proses 2-3 (sabit hacimde yanma) : Piston üst ölü noktaya ulaştığı sırada bujiden kıvılcım çaktırılarak sıkışarak ısınmış hava – yakıt karışımı yanmaya başlar, bunun sonucunda basınç P2'den P3 değerine sıçrama yapar.
- Proses 3-4 (genleşme): Bu safhada piston aşağı doğru hareketine başlar . Bu durum 4 nolu noktaya kadar böyle devam eder. Piston aşağı doğru hareketine devam ettiğinden silindirdeki basınç da düşmeye başlar.
- Proses 4-1 (egzoz): Sistem 4 nolu noktaya (AÖN) geldiğinde egzoz valfi açılır. Silindir egzoz sistemi ile dışarıya açıldığından silindirdeki basınç atmosferik basınca düşer. Sistemden ısının atılması bu safhada gösterilmiştir. Gerçekte, dışarıya ısının atılması pistonun egzoz stroğunu yapmasıyla olur (grafikte yatay çizgiyle gösterilen strok), ancak ideal bir çevrimde egzoz stroğunda negatif veya pozitif bir iş yapılmadığından çevrimde incelenmez, ısının atılması da egzoz valfi açıldığında bir anda olmuş gibi gösterilir.

Sistemdeki hal değişimleri ise aşağıdaki eşitliklerle ifade edilebilir:

*1-2 noktaları arasında;*

1 ve 2 noktaları arasındaki hal değişimi adyabatiktir. ( $P_1 \cdot V_1^k = P_2 \cdot V_2^k = \text{sabit}$ )

$$\frac{T_2}{T_1} \cdot \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{k-1/k}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \epsilon^k$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \epsilon^{k-1}$$

k : adyabatik üs

*2-3 noktaları arasında;*

2 ve 3 noktaları arasındaki sabit hacimli hal değişimi (  $V_2=V_3=\text{Sabit}$  )

$$\frac{P_3}{P_2} \cdot \left( \frac{T_3}{T_2} \right) = \lambda$$

$\lambda =$  Sabit hacimde basınç artış oranı

*3-4 noktaları arasında;*

3 ve 4 noktaları arasındaki hal değişimi adyabatiktir. (  $P_3 \cdot V_3^k = P_4 \cdot V_4^k = \text{sabit}$  )

$$\frac{T_3}{T_4} \cdot \left( \frac{v_4}{v_3} \right)^{k-1} = \left( \frac{P_3}{P_4} \right)^{k-1/k}$$

$$\frac{P_3}{P_4} = \epsilon^k$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \epsilon^{k-1}$$

*4-1 noktaları arasında*

4 ve 1 noktaları arasındaki sabit hacimli hal değişimi (  $V_4=V_1=\text{Sabit}$  )

$$\frac{P_4}{P_1} \cdot \left( \frac{T_4}{T_1} \right) = \lambda$$

$\lambda$  = Sabit hacimde basınç artış oranı

Çevrime verilen ısı ( $q_S$ ): Yanma sonunda açığa çıkan ısıdır

$$q_S = q_{2-3} = u_3 - u_2 = c_v(T_3 - T_2)$$

$$q_S = c_v(T_3 - T_2)$$

$$Q_S = m \cdot c_v(T_3 - T_2)$$

- $c_v$  : sabit hacimdeki özgül ısı
- $q_S$  : birim kütle için ısı alışverişi
- $Q_S$  : toplam kütle için ısı alışverişi
- $T$  : sıcaklık

Çevrimden atılan ısı ( $q_R$ ):

$$q_R = q_{4-1} = u_4 - u_1 = c_v(T_4 - T_1) \text{ (Kj / kg) Birim kütle için}$$

$$Q_R = c_v(T_4 - T_1) \text{ (Kj) toplam kütle için}$$

Çevrimde kullanılan net ısı ( $q_{net}$ ):

$$q_{net} = q_S - q_R \text{ Birim kütle için}$$

$$Q_{net} = Q_S - Q_R \text{ toplam kütle için}$$

Çevrimin verimi ( $\eta$ ):

$$\eta_{TSH} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

$$\eta_{TSH} = 1 - \varepsilon^{1-k}$$

- $\eta$  = amacımız olan enerji / kullanılan enerji
- TSH : Teorik sabit hacim <sup>(28)</sup>



## 3.2 Deneysel Çalışmalar

### 3.2.1 Deneyde Kullanılan Araçlar

#### 3.2.1.1 Dizel Motor

Deneylerde kullanılan motor, Şekil 3.6.'da gösterilen, Deutz Magirus marka F4L912 model 4 silindirli hava soğutmalı ticari amaçlı bir dizel motordur.



Şekil 3.6. Deneyde kullanılan motor (F4L912)

Deney Motorunun Özellikleri:

Bore/Strok (mm) : 100/120

Hacim (litre)	:3.77
Kw/Devir Sayısı	:32/1500
	38/1800
	46/2300
Sıkıştırma Oranı	:17:1
Ölçüler(LxBxH)	:860x673x820
Yanma Havası Debisi	:2.83 m <sup>3</sup> /min
Egzoz Gazı Debisi	:2.91 m <sup>3</sup> /min
Egzoz Gazı Sıcaklığı	:500°C
Yakıt Tüketimi(g/kWh/rpm):	232/1800

### 3.2.1.2 Şasi Dinamometresi

Şasi dinamometresi, araç motorlarında yapılan tüm ayarların atölye içinde ölçülmesi için gerçek yol şartlarını sağlayan cihazlardır. Bu cihazların hidrolik ve elektronik tipte olanlar vardır. Şasi dinamometresinde ölçülen gücün özelliği, tekerlek gücü olmasıdır. Yani motordan tekerlere kadar olan tüm sürtünmeler bu gücün dışındadır. Burada ölçülen güç, araca hareket veren tekerleklerden alınan tamamı faydalı güçtür. Ölçüm, motor araç üzerinde iken yapılır. Araca hareket veren tekerler cihazın silindirleri (tamburları) üzerine bindirilir. Motor çalıştırılır ve vitese takılır. Tekerlekler tamburlar üzerinde döner. Cihazın fren tertibatı yardımıyla tamburların döndürülmesi istenildiği kadar zorlaştırılır. Bu şekilde motorun, istenilen

devirde geğişik y¼klerle y¼klenmesi sağlanır. Motorun, dinamometre tamburlarını döndürmek için harcadığı güç, cihazın göstergesinden okunur. Şekil 3.7.'de bir şasi dinamometresi gör¼lmektedir.



**Şekil 3.7. Şasi Dinamometresi**

### **3.2.1.3 Emisyon Ölçerler**

Emisyon analizleri için Şekil 3.8.'de gösterilen KT 2030 tipi bir emisyon cihazı kullanılmıştır. Cihaz CO, CO<sub>2</sub>, HC ve PM emisyonlarını kızıl ötesi ölçümlerle; O<sub>2</sub> emisyonlarını ise elektrokimyasal ölçümlerle hassas olarak belirleyebilmektedir. Cihaz ölçümleri volumetrik olarak yapmaktadır.



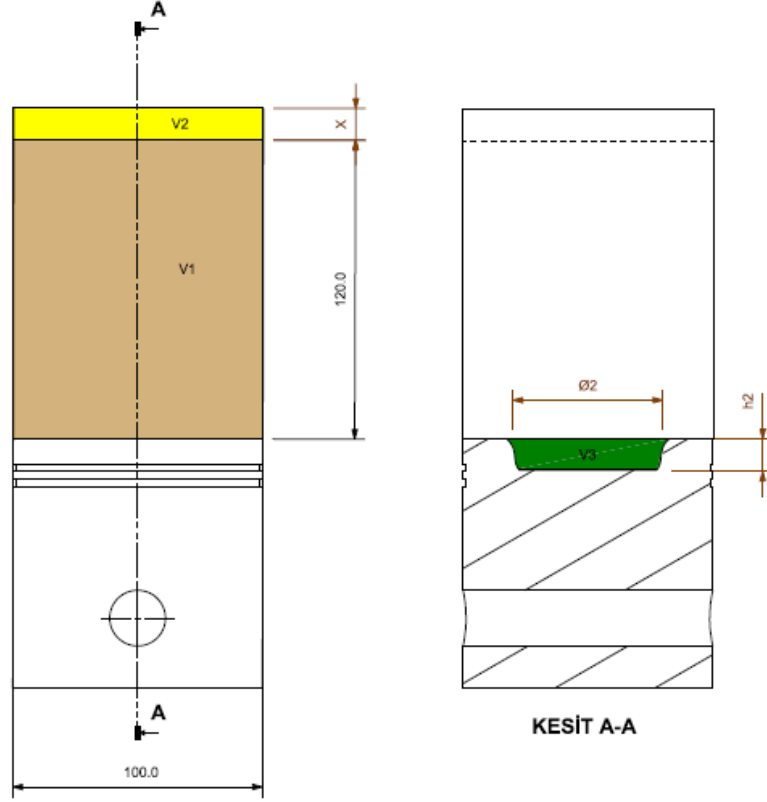


**Şekil 3.8. Emisyon Ölçüm Sistemi**

#### **3.2.1.4 Yapılan Modifikasyonlar**

Daha önce de bahsedildiği gibi bir dizel motorunda doğalgazı tek yakıt olarak kullanmanın tek yolu yanma odasının sıkıştırma oranını değiştirmektir. Bu işlem pistondan belli oran ve hesaplamalarla talaş kaldırarak yapılmıştır. Sıkıştırma oranı değişen yanma odasında enjektörlerin yerini bujilerin almasıyla yanma odası modifikasyonları tamamlanmış olur. Yanma odasına girecek yakıt hava karışımının oran sisteme sonradan ilave edilen ECU (elektronik kontrol ünitesi) ile sağlanır.

Şekil 3.9.'da gösterilen, pistonlardan kaldırılacak talaş miktarı aşağıdaki gibi hesaplanır;



**Şekil 3.9.** Piston Modifikasyonları

Sıkıştırma oranı  $\epsilon$ , AÖN ve ÜÖN hacimler oranıdır;

$\epsilon = \frac{v_1 + v_2}{v_2}$  hesaplanarak bulunur. Burada;

$$v_1 = (\pi r^2) * h = (\pi * 50^2) * 120 = 942478 \text{ mm}^3$$

$$v_2 = (\pi r^2) * x = (\pi * 50^2) * x = 7854x \text{ mm}^3$$

Sıkıştırma oranı  $\epsilon=17$  durumu için yukardaki hacim değerleri yerine koyulduğunda;

$$17 = \frac{(942478 + 7854x)}{7854x}$$

$$\Rightarrow x = 7.5 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow v_2 = 58905 \text{ mm}^3 \text{ bulunur.}$$

Bu durumda sıkıştırma oranını 17'den 11 değerine getirmek için Resim 21'de Kesit A-A ile gösterildiği gibi bir  $v_3$  hacmi oluşturulması gerekir. Bu hacim aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$s_2 = \frac{v_1 + v_2 + v_3}{v_2 + v_3}$$
$$11 = \frac{942478 + 58905 + v_3}{58905 + v_3}$$

$\Rightarrow$

$$\Rightarrow v_3 = 35342.8 \text{ mm}^3 \text{ olacaktır.}$$

$$v_3 = \left[ \pi * \left( \frac{\phi_2}{2} \right)^2 \right] * h_2$$

Eğer  $\phi_2 = 50 \text{ mm}$  alınıp yukardaki denklemde yerine koyulursa;

$h_2 = 18 \text{ mm}$  bulunur.

### 3.2.1.5 Metot

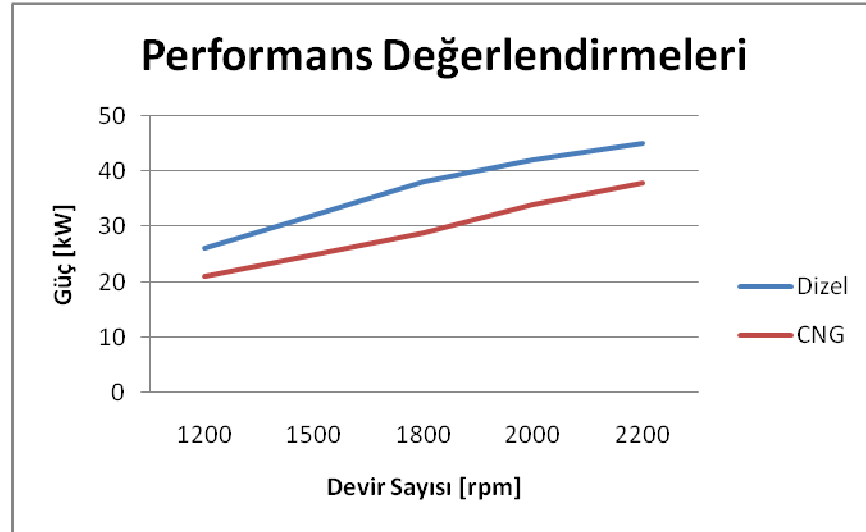
Bu çalışmada her bir ölçüm için dinamometre ile motorun sabit devirlerinde gaz pedalı pozisyonlarının değiştirilmesi ile yük artırılarak referans devirlerde ölçümler yapılması planlanmıştır. Bu tarz bir çalışmada her ölçüm motor rejim sıcaklığına ( $\sim 65^\circ \text{C}$ ) ulaştıktan sonra ölçümler kaydedilir. Sabit devirlerde gaz pedalıyla tam yükleme yapılarak sırasıyla güçler alınır. Önce 1200 devire, sonra da 1500, 1800, 2000 ve 2200 devirlere sabitlenen test düzeneginden güç değerleri elde edilir. Deneysel çalışmalar esnasında meydana gelen bazı teknik aksaklıklar sağlıklı ölçüm yapmayı ve

kayıt almayı engellediğinden performans değerlendirmesi literatür araştırmaları referans alınarak yapılmıştır.

İtalya'da NGV motoru tarafından yapılan araştırmalarda, CNG'nin alev hızı ve volümetrik veriminin düşük olmasından dolayı, CNG kullanımının motor performansında bir miktar düşüşe neden olduğu saptanmıştır. Bu düşüş, EFI motorlarda bu düşüş %13 civarındayken karbüratörlü motorlarda ise %20 civarındadır. Karbüratörlü deney motorumuz için de bu %20 oranının muhafaza edileceği düşünölmektedir. (32,33)

### 3.2.1.5.1 Performans Değerlendirmeleri

Deutz F4L912 marka deney motoru ve bu motorun modifiye edilmiş halinin çeşitli devir sayılarındaki güç değerleri Şekil 3.10.'da görölmektedir.



Şekil 3.10. Performans Değerlendirmeleri

Bu grafikten de göröleceği gibi deney motoru modifikasyondan önce 1200-2200 rpm devir sayısı aralığında 26-45kW aralığında güç üretirken,

modifikasyondan sonra aynı devir aralığında 21-36kW aralığında güç üretmeye başlamış olacağı düşünülmektedir. Sonuçlar irdelendiğinde yapılan modifikasyonun yaklaşık %20 gibi bir güç kaybına neden olması muhtemeldir. Bu tip araştırmalarda böyle bir kayıp kabul edilebilir olarak nitelendirilmektedir.

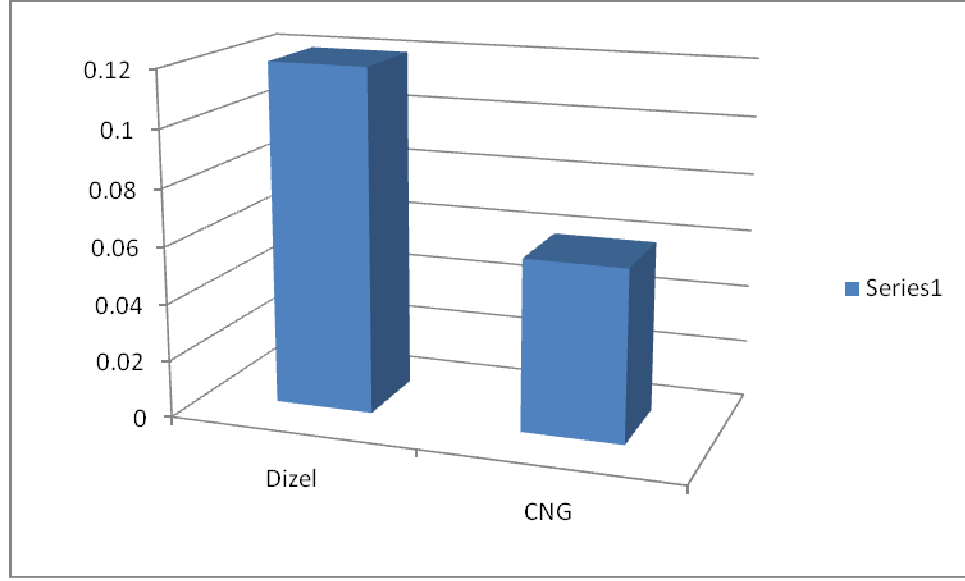
Güç testi yapıldıktan sonra Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından onaylı, TSE standartların göre ölçüm yapan bir emisyon ölçüm istasyonunda motor emisyon testine sokulmuştur. Bu testlerde motor yüksek devirde çalıştırılmış ve salınım yaptığı emisyon gözlemlenmiş, kaydedilmiştir.

Modifikasyonu yapılmış motorun emisyon ve permormans deneylerinden sonra sonuçları kıyaslayabilmek adına modifiaksyon yapılmamış aynı tip bir dizel motor testlere sokulmuştur. Bilgisayar ekranından okunan değerler yine bilgisayar yardımıyla irdelenmiştir.

### 3.2.1.5.2 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

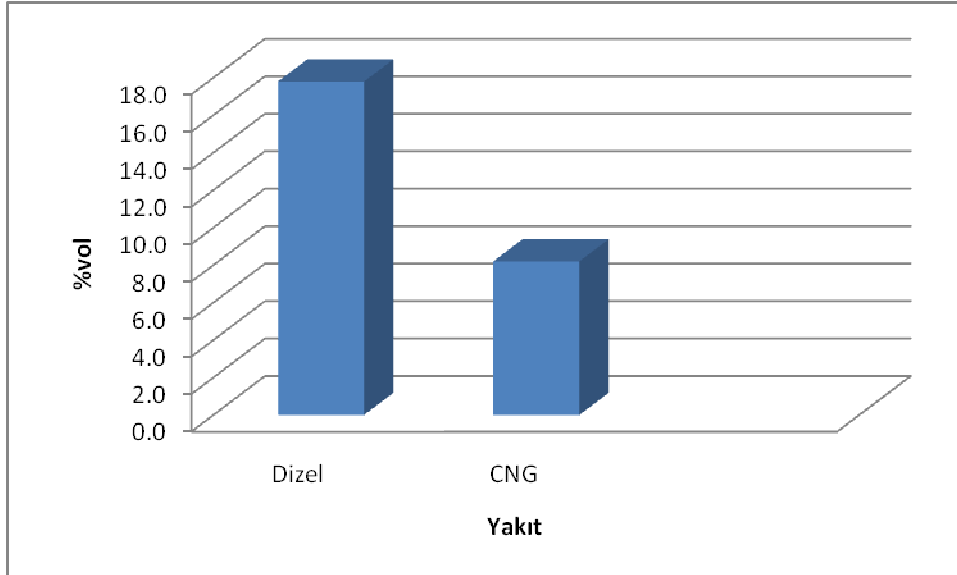
#### 3.2.1.5.2.1 Emisyon Ölçümleri

CO, CO<sub>2</sub>, HC ve NO<sub>x</sub> ve pusluluk (PM) ölçümlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda açıklandığı gibidir.



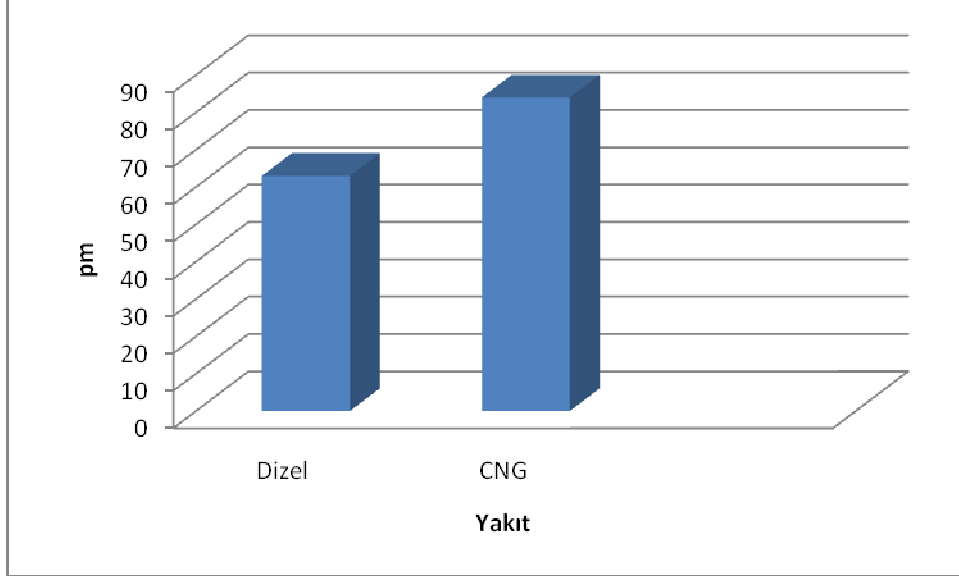
**Şekil 3.11. CO emisyonları**

Şekil 3.11.'de de görüleceği üzere CNG kullanımı CO üzerinde olumlu etki göstermiştir, emisyon yarıya düşmüştür.



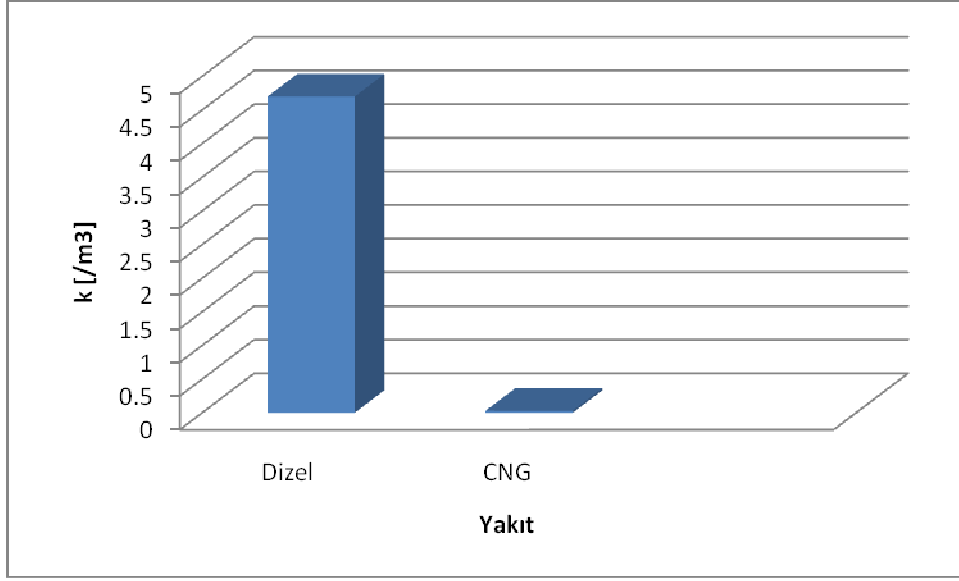
**Şekil 3.12. CO2 emisyonları**

Şekil 3.12.'de belirtildiği gibi CO<sub>2</sub> değeri dizel motorda bakanlıkça belirlenen limitlere yakınken CNG kullanımıyla emisyonda muazzam bir azalma gözlemlenmiştir.



**Şekil 3.13. HC Emisyonları**

Şekil. 3.13.'te HC değeri CNG kullanımına geçildiğinde artış göstermiş gibi görünse de limit değeri olarak 1200ppm gözönüne alındığında bu artışın önemli olmadığı görülmektedir.



**Şekil 3.14.** Pusluluk (PM) Emisyonları

CNG kullanımına geçişte emisyon açısından en önemli gelişme pusluluk açısından olmuştur. Kullandığımız 1986 model motorun k emisyon değeri limitlerin yaklaşık 2 katı çıkarken, CNG dönüşümü yapıldığında bu değer Şekil 3.14.'te görüldüğü, gibi yaklaşık 0 olmuştur.

Deney sonuçlarına baktığımızda  $O_2$  emisyonunda bir artış görülmektedir. %6'lık gibi bir  $O_2$  emisyon değeri bakanlık limitlerinden (< %5) üstündedir. Fakat bu değer bizi yanıltmamalıdır çünkü ideal yanma için gerekli olan 1.1 değerinin kullanılan deney motorunda 1.52 olmasından kaynaklanmaktadır. Hava fazlalık katsayısı düşürülürse  $O_2$  emisyon değeri de düşecektir.



## 4 TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada bir içten yanmalı dizel motoru, doğalgazla çalışır hale dönüştürülmüş ve sonuçlar irdelenmiştir. İlk olarak dizel motorların yüksek sıkıştırma oranları doğalgazın yüksek oktan sayısına uyum göstermemesinden dolayı sıkıştırma oranı düşürülmüştür. Sıkıştırma oranı piston modifikasyonu ile sağlanmıştır. Bu modifikasyon sonucu sıkıştırma oranı yaklaşık 17 değerinden 11 değerine getirilmiştir.

Sonra modifikasyonu yapılmış motor deney düzeneğine bağlanmıştır ve değerleri ölçülmüştür.

Ölçülen değerlere göre CNG motorunda partikül madde yoktur. CO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarında ise muazzam bir azalma görünmektedir. HC emisyonundaki artış işe önemsenecek düzeydedir. Emisyon ölçüm sonuçlarına göre O<sub>2</sub> emisyonu olması gerekenden fazla çıkmıştır. Bunun sebebi ise hava fazlalık katsayısının olması gerekenden (1.1 civarı) büyük olmasıdır(1.52). Motorun gaz ayarları ile oynanarak bu durum düzeltilebilir.

### 4.1 Aylık - Yıllık Emisyon Değerlendirmesi

CO emisyonu ele alındığında modifikasyondan sonra volumetrik olarak %0.09'luk bir azalma olduğu görülmektedir. Bu değer kilometre başına yaklaşık 0.35 gram emisyonla tekabül etmektedir. Şehir içinde taşımacılık yapan bir ticari aracın günde en az 100km yol katettiği düşünülerek, CNG dönüşümüyle araç başına günde 35 gram civarında bir CO emisyon azalması sağlanabileceği düşünülmektedir. Bu değer aylık olarak düşünüldüğünde araç başına 1kg, yıllık olarak da 12kg emisyon azalması anlamına gelecektir. Bu dönüşümün herhangi bir büyükşehirde 1000 araç tarafından uygulanması, CO emisyonunda yıllık olarak 12 tonluk bir azalmaya tekabül edecektir.

CO<sub>2</sub> emisyonuna göz atıldığında bu kazancın CO'ya göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir. CNG dönüşümüyle kazanılan %9'luk emisyon azalması, kilometre başına 150 gramdan daha fazla emisyon kontrolü demektir. Yukarıda yapılan değerlendirmeler CO<sub>2</sub> emisyonu için de uygulanırsa, günlük olarak 15kg, aylık olarak ise 450kg kazanılması mümkün olacaktır. Bu da araç başına senelik 5.4 ton emisyon kazancı anlamına gelmektedir. 1000 araçlık bir CNG dönüşümü sonunda ise bu kazanç 5400 ton olacaktır.

Benzer şekilde NO<sub>x</sub> emisyonlarındaki azalma da hiç şaşırtıcı olmayacaktır. Dizel bir aracın CNG'ye dönüşümünden kilometre başına yaklaşık 0.5 gram emisyon azalması olduğu tahmin edilmektedir. Bu da günlük 50gram, aylık 1.5kg, yıllık ise 18kg emisyon kazancı demektir. 1000 araç için bu emisyon kazancı 18 tonu bulacaktır.

Bu dönüşümün en önemli etkisi PM emisyonunda görülmektedir. Elimizdeki deney motoru, dönüşümden önce bakanlık tarafından konulan limitlerin 2 kat üstünde bir emisyon üretmekteyken dönüşümden sonra PM emisyonu 0 seviyesine inmiştir. PM (pusluluk ya da is) insan sağlığına açısından en tehlikeli emisyon ürünüdür. PM, oksidize olmamış karbon moleküllerinin bir araya toplanmasıyla oluşur ve ciğerlere yapışarak kanerojen etki gösterir. PM emisyonunun yok olması bile bu dönüşümün başlı başına ne denli önemli olduğunun bir belirtisidir.

#### 4.2 Motor Gücü ve Ekonomik Değerlendirme

Dizelden CNG'ye dönmüş bir motorda, motor gücünde bir miktar kayıp oluşmaktadır. Fakat bu tip dönüşümlerde, emisyon kazancı ve ekonomik kazançlar düşünüldüğünde %20'ye kadar kayıp kabul edilebilir sayılmaktadır.

Deney motoru, yakıtı CNG'ye dönüştürülmeden önce 1500 devirde 32 kW güç üretmekteydi. Dönüşüm yapıldıktan sonra aynı devir için bu değer 26kW'ye indi. Bu devir için bu %18'lik bir kayıp demektir ve kabul edilebilir sınırlar içersindedir. Aynı şekilde dönüşümden önce 2000 devirde 42kW olan güç, 34kw'ye inmiştir ki bu da %19'luk bir kayıp anlamına gelmektedir.

2009 Ekim ayı itibarı ile 1litre motorin fiyatı 2.3TL, doğalgazın kilogram fiyatı ise 1.3TL civarındadır. <sup>(25)</sup> 100 kilometrede 10 litre motorin tüketen bir araç, doğalgaza çevrildiğinde ortalama 7kg doğalgaz tüketmektedir. Bu da 100 km için günlük;

$(2.3*10)-(1.3*7)=13.9$ TL kazanç anlamına gelmektedir. Yani bir aracın doğalgaz dönüşümü araç başına aylık 417, yıllık da 5004 lira kazanç sağlayacaktır.

Bu çalışma bize göstermiştir ki gerekli yatırımlar yapıldığında emisyon açısından çevreye büyük zararları olan özellikle eski tip dizel taşıtların doğalgaza dönüşümü, uzun vadede hem çevresel hem de ekonomik açıdan büyük fayda sağlamaktadır. Gerekli desteğin sağlanması ve dolmuş istasyonlarının artırılmasıyla araçlarda doğalgaz kullanımının önümüzdeki yıllarda yaygınlaşacağı düşünülmektedir. Bu durum hem bir doğalgaz üreticisi olan ülkemizin dışa olan bağımlılığını azaltacak hem de yarınlara daha temiz bir çevre bırakmamızı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- 1 . Anonim, [http://tr.wikipedia.org/wiki/1973\\_Petrol\\_Krizi](http://tr.wikipedia.org/wiki/1973_Petrol_Krizi) (Erişim tarihi: 10.01.2009)
2. E. Alptekin, M. amakı, Mühendis ve Makine Dergisi,Cilt **561**, 57-64, 2006
3. D. Palmer, Hydrogen in the Universe, NASA, 1997.
4. M.R. Swain, R.R. Adt, J.M. Pappas, Experimental Hydrogen Fuelled Automotive Eng Design Data-Base Project, Report prepared for U.S. Dept. Of Energy, 1983.
5. J.G. Finegold , F.E. Lynch, N.R. Baker, R. Takahashi, SAE Paper No.**73 0507**,1973.
6. G. Öztürk, Egzoz Gazlarından Kurtuluşa Doğru, Bilim ve Teknik, Cilt **22**, Sayfa 30-33, 1989
7. Anonim, <http://www.youthforhab.org.tr/> (Erişim tarihi: 16.04.2009)
8. C. Soruşbay, E. Arslan, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt:**29**, Sayı:339, 1992.
9. T. Kondo, S. Lio , M. Hiruma, SAE Paper No: **971704**, 1997.
10. T.N. Veziroğlu, F. Barbir, Hydrogen Energy Technologies Vienna, 1998.
11. W. Vorst, J.G. Finegold, Automotive Hydrogen Engines And Onboard Storage Methods, Hydrogen Energy Fundamentals, Miami Beach, Florida U.S.A., 1975.
12. N. Apostolescu, R. Chiriac, SAE Paper No: **9606603**.
13. Anonim, [http://tr.wikipedia.org/wiki/Dizel\\_motor](http://tr.wikipedia.org/wiki/Dizel_motor) (Erişim tarihi: 13.03.2009)

14. S. Çetinkaya, Tesisat Mühendisliği Dergisi, **81**, 14(2009)
15. Anonim, [www.epgltd.com/gaz.html](http://www.epgltd.com/gaz.html) (Erişim tarihi: 10.03. 2009)
16. Anonim, [www.erpakademi.com/2009/11/14/motorlarda-dogalgaz-kullanimi/](http://www.erpakademi.com/2009/11/14/motorlarda-dogalgaz-kullanimi/) (Erişim tarihi: 09.03.2009)
17. D. Dönmez, H. Semercioğlu, Ö. M. Cömert, G. Üzülmöz, Dizel Motor ile çalışan Belediye otobüslerinin İncelenmesi ve Emisyon Envanterlemesi, Bitirme Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2009.
18. N. Glasson, G. Lumsden, R. Dingli, H. Watson, Development Of The Haji System For A Multi-Cylinder Spark Ignition Engine SAE Paper No: **961104**.
19. T. Veziroğlu, M. Momirlan, Recent Directions of World Hydrogen Production, Renewable and Sustainable Energy Reviews 3, 1999.
20. Anonim, [www.swagelok.com](http://www.swagelok.com) (Erişim tarihi: 20.03.2009)
21. R. Mehdiyev, H. Arslan, İçten Yanmalı Motorların Hesabı ve Geliştirilmesi, Ders Notları, İTÜ, 2003
22. Anonim, [www.bilgiustam.com/motorlarda-yanma-odalari-ve-ozellikleri/](http://www.bilgiustam.com/motorlarda-yanma-odalari-ve-ozellikleri/) (Erişim tarihi: 22.05. 2009)
23. E. N. Tiratsoo, Natural Gas, Gold Publishing, 1979
24. M. A. Boles, Thermodynamics An Engineering Approach, 5th edition, McGraw – Hill, 2006
25. R. S. Benson, Internal Combustion Engines, Pergamon Press, 1979.
26. İ. H. Öz, O. Borat, A. Sürmen, İçten Yanmalı Motorlar, Birsen Yayınevi, 2003
27. O. A. Kutlar, M. Ergeneman, H. Arslan, M. Mutlu, Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler, Birsen Yayınevi, 1998
28. Anonim, [http://tr.wikipedia.org/wiki/Sabit\\_hacim\\_%C3%A7evrimli\\_motor](http://tr.wikipedia.org/wiki/Sabit_hacim_%C3%A7evrimli_motor) (Erişim tarihi: 21.03.2009)

29. T. D. Eastop, A. McConkey, Applied Thermodynamics for Engineering Technologists, Pearson Education Limited, 1993
30. Anonim, [http://tr.wikipedia.org/wiki/Karma\\_%C3%A7evrimli\\_motor](http://tr.wikipedia.org/wiki/Karma_%C3%A7evrimli_motor) (Erişim tarihi: 08.03.2009)
31. R. Gökbel, Antor 3LD510 Dizel Motorun Tek Döngülü MR-1 Tipli Yeni Yanma Odası ve Emme Portu Geometrisi Uygulayarak Modernizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2008
32. M.A. Sera, R.A. Bakar, S.K. Leong, Effect of Fuel Density on The Performance of a CNG Fuelled Engine, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal Universiti Teknologi Malaysia, 2008.
33. Ş. Özsakarya, Otomotiv Sektöründe CNG-LNG Uygulamaları, Makina Mühendisleri Odası, 2009.