

39629

**DİZEL MOTORLARININ DOĞAL GAZ
MOTORLARINA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Fuat PANCAR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 24 Ocak 1994

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Şubat 1994

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ertuğrul ARSLAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Behçet SAFGÖNÜL

Doç. Dr. Metin ERGENEMAN

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ TEZLER**

ŞUBAT 1994

ÖNSÖZ

Enerji kaynaklarının tükenmekte olması ve mevcut enerji kaynaklarının da kullanımı sonunda meydana çıkan kirletici durumların had safhalara ulaşması nedeni ile, bilhassa temiz yanma ürünlü alternatif enerji kaynaklarının aranması veya bilinenlerin daha yaygın olarak her alanda kullanılmaları çok önem kazanmıştır. Bu tür enerji kaynakları ile çalışan taşıtlar için de bu konulardaki çalışmalar önem kazanmış ve artırılmıştır. Nitekim bu enerji kaynaklarının büyük miktarını sayıları gün geçtikçe artan ve egzoz gazlarının emisyonu ile kirlilikte en büyük pay sahibi olan taşıt motorları sarfetmektedir.

İşte bu önemli problemlere, taşıt motorlarının doğal gazın alternatif yakıt olarak çalıştırılması ile çareler aranmasına başlanmış bulunmaktadır. Bilhassa egzoz emisyonu değerleri yüksek olan dizel motorlarının doğal gaz motorlarına dönüştürülmesi yeni çalışmalardandır. Henüz sistemlerin yurdumuzda yerleşmediği, yaygınlaşmadığı ve yeterli olarak tanınmadığı bu günlerde bu konu üzerinde yaptığım çalışma bana bu konuyu çekici hale getirmiş ve sevdirmiştir.

Bana bu konuda çalışma olanağı sağlayan ve gerektiği zaman yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Ertuğrul Arslan 'a teşekkür ederim.

İstanbul , 1992

Fuat PANCAR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Neden Doğal Gaz	1
BÖLÜM 2. DOĞAL GAZIN ÖZELLİKLERİ	5
BÖLÜM 3. DOĞAL GAZIN TAŞITLARDA KULLANILMASI	9
3.1. Taşıt Üzerinde Depolama ve Dolum	9
3.2. Yarıkriyojenik Tanklar	11
3.2.1. Doğal Gaza Ön Isıtma Uygulanmasının Motorun Termal Verimine Etkisi	15
3.2.2. Yarıkriyojenik Tankın Özellikleri	16
3.2.3. Yarıkriyojenik Tankın İzolasyonu	18
3.3. Emisyonlar	18
3.3.1. Egzos Emisyonları	18
3.3.2. Gürültü Emisyonları	23
3.4. Güvenlik	23
3.5. Sürüş Rahatlığı	24
BÖLÜM 4. DİZEL MOTORLAININ DOĞAL GAZ MOTORLARINA DÖNÜŞÜMÜ	25
4.1. Doğal Gazın Dizel Motorlarında Kullanılması	25
4.2. Motor Elemanları Değişiklikleri	25
4.2.1. Dolgunun Silindire Yollarına Sistemi	27
4.2.2. Ateşleme Sistemi	28
4.2.3. Yanma Sistemi	29
4.2.3.1. Homojen Dolgulu Sistem	29
4.2.3.2. Ön Yanma Odalı Sistem	29
4.2.4. Kapalı Çevrim Lambda Kumanda Sistemi	30
4.2.5. Egzos Sistemi	32
4.2.5.1. Elektronik Kumandalı Lambda Ayar Birimi	32
4.2.5.2. Lambda Sondası	32

4.2.5.3. Gaz Miktarı Ayar Ventili	33
4.3. Doğal Gaz Motor Tipleri	33
4.3.1. Fakir Karışımli Doğal Gaz Motorları	34
4.3.2. Stokiyometrik Doğal Gaz Motorları	37
4.4. Doğal Gaz Motorlarının Yakıt Sisteminin Geliştirilmesi	38
4.4.1. Binek Taşıtları	39
4.4.1.1. Çok Noktadan Püskürtme Sistemi	40
4.4.2. Ağır Taşıtlar	41
4.4.2.1. Ağır Taşıtlar İçin Tek Noktadan Püskürtme Sistemi.....	42
4.5. Ateşleme Avansının Bilgisayarla Ayarı.....	44
4.6. Belediye Otobüsleri Örneği	48
BÖLÜM 5.DÖNÜŞÜME ETKİLER	49
5.1. Dönüşüm Masrafları	49
5.2. Sistemin Yaygınlaşması	51
5.3. Teknolojik Faktörler	51
5.4. Çevre Faktörleri	52
BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	60

KISALTMALAR

DG	: Doğal Gaz
SDG	: Sıkıştırılmış Doğal Gaz
KMA	: Krank Mili Açısı
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
DM	: Dizel Motoru
P	: Güç
λ	: Hava Fazlalık Katsayısı
λ_{st}	: Stokiyometrik Hava Fazlalık Katsayısı
η	: Efektif Verim
H_o	: Yakıtın Alt Isıl Değeri

ÖZET

Günümüzün önemli sorunu haline gelen egzoz ve gürültü emisyonları ve enerji kaynaklarının tükenmesi sonucu olarak bunlara çareler aramak amacı ile birçok çalışmalar, araştırmalar yapılmıştır. Motorların alternatif yakıtlarla çalıştırılmaları araştırılarak bu sorunlara optimum çözümler getirmek istenmiştir. İşte bu çalışmalardan biri de doğal gaz motorları olmuştur.

Doğal gaz motorları baştan konstrükte edilebilecekleri gibi mevcut dizel motorlarına çeşitli modifikasyonlar uygulanarak da yapılabilmektedirler. Bu çalışmada dizel motorlarının doğal gaz motorlarına dönüştürülmesi ele alınmıştır. Bu dönüştürme de sadece tek yakıtlı olarak ele alınmıştır çünkü çift yakıtlılar ile yukarıda sıralanan amaçların hepsine ulaşamamaktadır. Çalışma altı ana bölüm altında toplanmıştır.

Birinci bölümde doğal gazın dünyada rezervleri ve kullanıma oranlarından bahsedilmiştir. Dizel motoru ve doğal gaz motorunun aynı enerji miktarını verebilmesi için gerekli yakıt miktarları hesaplanıp karşılaştırılmıştır.

İkinci bölümde ise yakıt olarak kullanılan doğal gazın genel özelliklerinden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde doğal gazın taşıt motorlarında kullanılması için depolanması yöntemleri, kullanılan depolama tankları, yeni tip yarıkriyojenik tanklar ve avantajları, doğal gazın egzoz ve gürültü emisyonlarından ve doğal gaz motorlu taşıtların sürüş rahatlığından bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde dizel motorlarının doğal gaza dönüştürülmelerinde devreye giren etkenler : masraflar, sistemin yaygınlaşması, teknolojik ve çevre faktörleri ele alınmıştır.

Beşinci bölümde dönüşüm yöntemlerinden, bu yöntemlerde kullanılan sistemlerden ve elemanlardan bahsedilmiştir. Motor üzerinde yapılan değişiklikler olarak da yakıt sistemi, ateşleme sistemi, yanma sistemi, egzoz sisteminden bahsedilmiştir. Kullanılan yakıtın hava fazlalık katsayısına göre tayin edilen fakir karışım ve stokiyometrik motor tipleri de ele alınmıştır. Optimum ateşleme avansının bilgisayar destekli bir otomatik kontrol sistemiyle tayini anlatılmıştır.

Altıncı ve son bölümde ise yapılan çalışmadan ortaya çıkan sonuçlar ele alınmıştır. Doğal gaz motorlarının performansları, yakıt sarfiyatları ve doğal gaz motorlarının çeşitli konularda diğer tip motorlarla karşılaştırılmaları yapılmıştır.

CONVERSION OF DIESEL ENGINES TO NATURAL GAS ENGINES

SUMMARY

In the world of XXI Th. century the great problems are limited energy resources and the pollution getting more important day by day. Forecasts say that energy resource will run out in approximately 50 years. Obviously humanity has to find other alternative energy resources. Those new resources have to provide energy without any pollution. One of the most important causes of these problems is the vehicles due to their internal combustion engines and to the fuel they use. So use of alternative clean and more economical fuel is frequently considered as an emission control strategy. Natural gas is one of this kind of low emissionned fuels. Natural gas does not need to vaporize before it will burn, therefore cold engine starting is easier and cold start enrichment is not required. This conditions reduce CO emissions.

Natural gas is constituted of several hydrocarbon elements. Methane is the most important constituent element of the natural gas. It can reach 95 % of the total natural gas. The other constituents are ethane, propane, butane, CO_2 , N_2 . But these and their proportions can change according to the place where the natural gas is obtained.

Natural gas is transported being compressed or liquefied. And it is stored in the tanks under a pressure of 207 bar on the vehicles. For the security they are filled partially. At the first time until 70 bar, at the second time until 140 bar and at the third time until 207 bar. There is two ways of filling system. The first one is the quick filling which is used generally for the light duty vehicles. The filling time is about 3 - 6 minutes. The second is the slow filling system which is used generally for the heavy duty vehicles and for vehicle groups. The filling time is about 4 - 8 hours. This filling system is cheaper than the quick filling. The weight and size of the cylinders limit the operational range of the vehicle.

A new concept of semicryogenic tank for storage and supply of natural gas into the cylinders of an internal combustion engine is made. It allows the gas to be pressurized before injection and uses the heat entering the tank as the means to evaporate the natural gas introduced in the liquid phase in the tank.

To limit the heat transfer to the tank and the gas pressure increase, the semicryogenic tank has to be well insulated. There is two adequate insulating materials on the market. The first one is called Trymer 9501. It is a polyisocyanurate material. The second is called foam glass cellular glass. It is high fire resistant and its high compressive strengths allow the tank to put it in horizontal position in the vehicle

which is more convenient for vehicles because of the problem of sufficient place.

Direct injection of natural gas into the cylinder of the engine represents several advantages :

- Improvement in the combustion due to a faster and more complete mixing of the vaporized fuel with air in the combustion chamber where the time for the preparation of the mixture is very short.
- The gaseous fuel does not absorb heat from the compressed air for vaporization and this contributes to higher efficiency of the engine.
- Preheating the natural gas in the tank it is no need to preheat before injection.

The semicryogenic tank has to be also preheated to accelerate the gas pressure increase as required. To maintain the right pressure and temperature of the natural gas, an electronic control is needed. The gas preheating system uses the exhaust gases of the engine so the thermal efficiency is increasing.

It is concluded that this new concept of semicryogenic tanks brings facilities for the storage of the natural gas and increases efficiency of the engine with the direct injection of natural gas into the cylinder. For the insulation of the semicryogenic tanks it would be better to use foam glass which has more resistance to fire and to compression.

Making engines running with natural gas, to obtain the power already given by existing kinds of engines or better conditions are the target of the work. The best power conditions have been provided by diesel engines. But their emission levels are not as good as their power. In order to reduce the emission levels of existing diesel engines, their conversion to natural gas engines has been done.

For the conversion of diesel engines to natural gas engines there are two ways :

- Conversion to mixed fuel (dual fueled) engines
- Spark ignited engines (mono fueled)

In the past a lot of work has been done on mixed fuel systems in diesel engines, in which the gaseous fuel is mixed with combustion air and the amount of diesel fuel (pilot fuel) is accordingly restricted. But their emission levels are not as good as obtained from spark ignited engines.

In the conversion operations it is desired to use maximum number of common engine components. In the spark ignited engines all diesel injection equipment is removed from the engine, the combustion chamber modified, a spark ignition system and a gas carburetor are fitted in the engine. In diesel engines burning of the fuel is provided by compressing it with high ratios. This can not be used for natural gas engines because the ignition temperature of the natural gas is higher than the diesel fuel so more higher ratios is required and these ratios may provide detonation. So the ignition system of natural gas engines has to be changed and spark plugs may be used. With regard to spark ignited engines there are two kinds :

- Lean burn engines : uses a mixture with air excess ratio (λ) greater

than 1.

- Stoichiometric engines : uses a mixture with air excess ratio (λ) close to 1 .

In order to meet the power demanded, the natural gas input is fixed. The mixture mass flow determines the heat capacity of the mass in the engine cylinder. With stoichiometric engines the calorific energy of the mixture is high and the mixture flow is small. Therefore high temperatures are risen during the combustion so the exhaust gas temperatures are rising. Engine components (cylinder head, pistons, exhaust gas manifold...) have to be tested carefully and if necessary they have to be changed for the new engine type.

The low emission levels can be reached using a three - way catalyst and a closed loop oxygen sensor in the exhaust gas. The oxygen sensor meters continuously the air excess ratio and sends signals to the main electronic controlled system which adjusts the gas supply such that the air excess ratio is always varying between desired values around 1.

For the lean burn engines conditions are strictly opposite according to stoichiometric engines. Calorific energy of the mixture is low but the mixture flow is high. Engine cylinder pressures are high and their temperatures are low. A lean burn engine is pumping a lot of air without being used for combustion so the lean burn engines equipped with a turbo charged system is recommended to have an efficient breathing and a power output competing with diesel engines. In this case a wastegate is needed for a good torque curve.

NO_x emission levels have to be low because it is very difficult to reduce them after the conversion of the engine. NO_x emissions for the lean burn engines may be reduced to very low levels compared with stoichiometric gas engines. The operation of a prechamber can influence the level of exhaust emissions. An oxidation catalyst CO and HC emissions can be reduced. The flame speed of natural gas is low so misfiring can occur thus detonations too. To prevent this, it is recommended to use more than one spark plug. A combustion prechamber construction is useful for the lean burn engines because with help of this prechamber turbulating the mixture, fine firing is obtained.

Volumetric efficiency of the spark ignited engines can be increased by use of a tuned intake system. This system utilizes the combined action of the inertia forces and pressure pulsations to increase the breathing capacity of the engine.

By supercharging the spark ignited natural gas engines the intake manifold pressure can be strongly increased which results in a higher power output of the natural gas engine.

In this study it has been demonstrated advantages and disadvantages of spark ignited engines. Their advantages are :

- Full substitution of diesel fuel
- Very low exhaust emission levels
- Low noise emission level

- Less vibrations

Disadvantages of the ignited engines :

- Costs of more elaborate changes
- Natural gas stations are not yet sufficient
- Storage of natural gas due to their high weights. So a natural gas vehicle is heavier than the diesel vehicle due to its extra load of the fuel cylinders.
- Low speed. The park ignited natural gas engines are converted from diesel engines so the maximum engine speed is restricted. This problem can be solved by rising air excess ratio such that NO_x emission levels are not important or modifying the transmission elements of the vehicle. Maximum power is restricted by the NO_x emissions.

The fueling systems of the natural gas engines are electronically controlled. The electronic system consists of a micro - processor controlled unit integrated into the conventional system. Many sensors like oxygen sensor, lambda sensor are placed in the several parts of the system which is desired to be controlled. These sensors meter, analyze continuously emissions and send the results to the micro - processor. The micro - processor compares signals that it received from several parts of the vehicle with the instructions already stored in its memory. It calculates then error between these figures and sends signals to correct the values of the several parts. The convenient systems are operating in a closed loop control.

With this electronically controlled closed loop it is easy to control and optimize many characteristics of the engine components. In this study optimization of the spark advance. It is an adaptive control system which is automatically adjusts ignition timing to the needs of the engine. It sets the timing with respect to an internal map which is defined by the engine at a particular set of operating parameters (engine speed, load, fuel ambient conditions...). Many of these parameters cannot be measured so they are measured in function of the engine speed for example.

The responses of the engine to the small systematic changes in a control parameter to determine appropriate values for that parameter is monitored. The primary response variable monitored is the brake torque. The control system changes a control parameter to produce an increase in torque and corrects the value of the parameter.

During the experience when the spark timing is advanced the engine begins to speed up and when the spark timing is retarded slows down again. The micro - processor control system monitors these changes in speed and applies a correction to the spark timing. The system continues to apply the corrections until there is not any change of engine speed during the experience. Finally obtained value of the spark timing which does not change the engine speed is the optimized spark timing. At a fixed fuel rate the resulting spark timing gives to the engine the maximum efficiency.

The response of the closed of the control system would be too slow to follow the fast transients. In this case, an open loop system based on easily measured parameters such as speed and load, could be added to make changes quickly during the transients. The closed loop control would then fine tune the spark timing set by the

open loop. The open loop spark timing can be updated by the micro - processor if the required spark timing is deviated from the open loop value.

Using the same techniques, other parameters can be optimized too. The most important requirement is to give small changes to the parameter without changing the fueling rate of the engine.

Conversion of the diesel engines to natural gas engines will be applied to a great number of vehicles if the running costs are lower than the alternatives. The break-even mileage is based on equipment costs and fuel price.

Equipment costs are strongly related to the rate of sophistication needed. For example, electronically controlled carburetor systems were introduced to enable the lowest emission levels. The addition of electronics and actuator initiated a price increase over conventional system. This price increase causes a decrease in the market volume.

The price of the natural gas is very low beside the prices of the other fuels. This make the natural gas engines very economic. But the conversion and equipment costs at the beginning are high. With the time after the conversion of the diesel engine, the costs will be amortized.

Even the automotive use of natural gas is beneficial for the vehicle owner there is still the demand for equal performances compared to diesel engines. Important performance uses for successful future use of natural gas in vehicles are :

- Exhaust emission levels
- Maintenance requirements
- Applicability

Exhaust emission levels of the natural gas engines as said above are the lowest in types of vehicle engines. This is very important for the environment pollution level. The studies and researches to reduce the emissions to the minimum values is continuing.

To be able to keep up with natural gas systems regular maintenance and adjustments have to be avoided. The need for maintenance can be reduced by using components that hardly fail. This can be obtained by a system which uses maximum number of standard components possible. The need for regular adjustments can be avoided by using adaptive electronics in a system that uses the sensors as well as the actuators to fulfill the adaptive needs.

To be successful, natural gas systems have to comply the automotive progresses and the future automotive technology. The calibration time of natural gas engine systems have to be short. And the most important thing is the number of the natural gas pumping stations have to be sufficient so that this type of engines can get easily their fuel.

When the consumption costs of a natural gas engines and diesel engines are compared, it is seen that natural gas engines are very lower beside diesel engines.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde bütün dünyada mevcut enerji kaynaklarının tükenmesi ve üstelik bu kaynaklarla çalışmakta olan taşıt motorlarının egzoz ve gürültü emisyonları nedeni ile çevre kirliliğinin had safhalara ulaşması insanları bu konularda yeni ve bu problemlere en iyi çözümler getirebilecek çareleri aramaya dolayısı ile alternatif enerji kaynaklarına doğru itmiştir. Özellikle egzoz gazları emisyonunun zararlarının azaltılması için yapılan çalışmalar bunların başını çekmektedir. Bu sorunları çözerken alternatif yakıtın ayrıca ekonomik olması ve bu yakıt için konstrüksiyonu plânlanan taşıt motorunun da mümkün olduğunca kolay ve ekonomik konstrüksiyonlu ve emisyonlarının da standartlara uygun olması istenir. İşte bu hususlar doğrultusunda yapılan çalışmalardan biri de doğal gaz motorları olmuştur.

Bazı alternatif yakıtların (LPG ve doğal gaz gibi) egzoz emisyonları çevre için daha iyi ve diğer yakıtlara göre daha ekonomik olduğu için bu tür yakıtların taşıt motorlarında kullanılma çareleri araştırılmış ve oldukça da önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Bu çalışmalar ve bu tür yakıtların kullanılması bazı devletlerce çok önemsenmiş olup bunların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için bu konularda ilgililere oldukça önemli toleranslar, özendirici durumlar sunmuşlardır. Bunlara örnek olarak vergilerin daha düşük olması gösterilebilir.

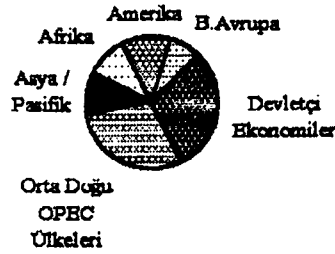
1.1. Neden doğal gaz

Son beş yıl içinde yapılan pazar araştırmalarında yapılan çalışmalardan dünyada genel olarak iki grup ülkede doğal gazla çalışan taşıtlara karşı büyük bir ilgi olduğu ortaya çıkmıştır [1] :

- Büyük miktarda doğal gaz rezervlerine ve dolayısı ile düşük fiyatlara sahip ülkeler (Avustralya, Tayland, Malezya, Kanada, Arjantin ve Venezuella).
- Çevre dostu olması dolayısı ile doğal gaz motorlarına ilgi duyulmaktadır.

Doğal gaz rezervlerine sahip ülkeler doğal gazı diğer ülkelere ihraç ederken

kendileri de doğal motorlarını kullanarak hem çevrelerinin korunması için önlemler almış olur hem de ucuz yakıt sağlamış olurlar. Çevre dostu olan ülkeler için ise diğerlerine oranla bu tip motorların kullanımı daha masraflı olmaktadır. Fakat bu motorların emisyon düzeylerinin çok iyi oluşu ve masraflarını zamanla amortise etmeleri nedeniyle bu ülkeler de bu işten kazançlı çıkmaktadırlar.



Şekil 1 - 1 : Dünyada kullanılabilir doğal gaz rezervleri [2]

1992 yılında doğal gaz üretimi geçen yıllara göre %0,5 artış göstermiştir. 334 milyar m³ 'lük bir doğal gaz ticareti olmuştur. 1992 ' de doğal gaz fiyatlarının oldukça düşmesi ile doğal gazın kullanımının daha uygun ve daha yaygın olmasına olanak sağlamıştır. 1992 yılında üretici olarak eski SSCB başta gelmiştir.

Tablo 1 - 1 : 1992 ' de dünyada doğal gaz üretimi [2]

Ülkeler	Üretim (milyar m ³)
eski S.C.C.B.	780,5
A.B.D.	505
Batı Avrupa	221,1
Kanada	130,6
Cezayir	55,5
Endonezya	53
Romanya	22,1
Suudi Arabistan	33
Meksika	26,2
İran	26,3
Arjantin	17
Venezuela	23,7
Diğerleri	229
Toplam	2123

Doğal gaz kullanılan motorlardan çıkan egzoz gazı koku ve siyah is, zararlı zerrecikler içermez ve ayarlanmış üç yollu Lambda katalizörleri sayesinde egzoz gazları CO, HC, NO_x, SO_x içermez [1]. Bu özelliklerinden dolayı doğal gaz, günümüzde çok önem kazanan çevre sağlığı taleplerini yerine getirmektedir. Doğal gaz motorlarının ayrıca gürültüsüz olarak çalışmaları bir başka avantaj olmaktadır.

Doğal gazın özellikleri dizel yakıtı ve benzinden farklı olduğu için hem taşıt teknolojisinde hem de yakıtın müşteriye ulaştırılmasında değişiklikler gerektirebilir. Benzin ve dizel yakıtı ile depolama hacimleri karşılaştırılırsa doğal gazın depolanması için oldukça büyük hacimlere ihtiyaç olduğu görülür. Taşıtların ise yakıt depolamak için kullanabilecekleri yerlerin büyüklüğü sınırlı olduğu için doğal gazın sıkıştırılarak veya sıvılaştırılarak depolanması yollarına gidilmesi gerekmektedir. Aynı enerji miktarının sağlanması için gerekli dizel yakıtı ve doğal gaz miktarlarını hesaplayalım :

1) Dizel yakıtı miktarı :

Dizel yakıtının ısı değeri 42 MJ / kg , özgül ağırlığı 0,83 kg / lt ' dir. Buna göre 50 litre ' lik bir dizel motoru deposunun vereceği enerji değeri :

$$50 \cdot 0,83 \cdot 42 = 1743 \text{ MJ}$$

2) Doğal gaz miktarı :

Doğal gazın ısı değeri 47,7 MJ / kg ve özgül ağırlığı 0,17 kg / lt olduğuna göre aynı enerji değerini verecek doğal gaz miktarı :

$$\frac{1743}{47,7 \cdot 0,17} = 214,95 \text{ lt}$$

Yukarıda yapılan hesaplamalardan sonuç olarak doğal gaz deposunun dizel deposunun yaklaşık olarak 4 katı olduğu görülmektedir. İşte bu yer probleminden dolayı gazların sıkıştırılabilme özelliğinden faydalanarak bu hacim yarısına kadar indirilir. Fakat durumda da hacim dizel yakıtının iki katı olmaktadır. Hacmi daha da azaltmak için (1.1) denklemine göre çok düşük sıcaklıklara kadar inilip basınçlarının da artırılarak gazın sıvılaştırılıp küçük hacimlerde depolanması gerçekleştirilir.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (1.1)$$

Doğal gaz motorlu taşıtların sayısı diğer taşıtlara oranla henüz az olduğundan bu taşıtlar için dolun istasyonları ancak belirli yerlerde vardır. Bu yüzden de bu taşıtların kullanım alanları daralmaktadır ancak belli bölgelerde çalışabilmektedirler. Yurdumuzda da bu nedenle ilk uygulamalar belediye otobüslerinde sınırlı kalmaktadır.

Doğal gaz motorlarının tasarımları en baştan yapılmak yerine mevcut motorların gerekli düzenlemelerin yapılması ile bunlardan dönüştürülmeleri, pazarın sınırlı olduğu ilk safhalarda ticari açıdan daha iyi olur. Bu dönüşüm için de dizel motorları ele alınacaktır. Dönüşüm sonunda elde edilen motorun performanslarının artırılması en azından çok düşmemsi amaç edinilmektedir.



BÖLÜM 2. DOĞAL GAZIN ÖZELLİKLERİ

Gaz halinde doymuş hidrokarbonların karışımıdır ve toplam hacminin %70 ile %95' ini genellikle metan oluşturur, etan, propan, bütan, CO₂, N₂ de bulunmaktadır. Ayrıntılı olarak incelendiğinde kimyasal bileşimi çok değişken olabilir. Etandan daha ağır hidrokarbon karkısı yoksa gaz kurudur; önemli ölçüde propan, bütan, pentan, vb... içeriyorsa yaştır. Doğal gazın bu sayılan bileşenlerinin miktarı elde edildiği bölgeye göre değişmektedir [3].

Tablo 2 - 1 : A. B. D. ' de çeşitli bölgelerden elde edilen doğal gaz bileşimi [4]

Bileşenler % hacim	1	2	3	4	5
H ₂			1,82		
CH ₄	83,4	84	93,33	90	84,1
C ₂ H ₆			0,25		
C ₃ H ₈	15,8	14,8		5	6,7
CO			0,45		
CO ₂		0,7	0,22		0,8
N ₂	0,8	0,5	3,4	5	8,4
O ₂			0,35		
H ₂ S			0,18		

Doğal gaz genellikle yakıt olarak kullanılır,ama petrokimya sanayiinin önemli bir hammaddesini de oluşturur. Kullanıma sunulmadan önce ağır hidrokarbonlar elenir, hidrojen sülfür, karbondioksit, azot, helyum ya da su buharı gibi bileşenler giderilir. Böylece elde edilen gaz hemen hemen arı metandan oluşur. Isıl değeri yaklaşık 47 MJ/ kg düzeyindedir (1000 m³ doğal gaz ≈ 1 ton petrol) [3].

Doğal gaz sıkıştırılabilir ve yeraltı boru hatları ya da gaz boru hatları ile yoğunlaşma sakıncası olmadan taşınabilir. Boru hattının geçtiği yol üzerine yerleştirilen

yeniden sıkıştırma istasyonları, boru hattının içindeki basıncı sabit tutarak gaz akışını sağlar.

Doğal gazı sıvılaştırarak deniz yolu ile taşıma başarısına ancak 1964 ' te ulaşıldı. -160°C ' ta metan sıvılaşır ve hacmi 600 kez azalır. Sıvılaştırılmış doğal gaz 270-300 m uzunluktaki tankerlerde yatay silindirik, 25000 m³ , membranlı tankerin bordrasına dayanan 70000 m³ veya küresel 125000 m³ ' lük kaplarda taşınır.

Tablo 2 - 2 : Sıkıştırılmış doğal gaz ve dizel yakıtının karşılaştırılması [5]

	Dizel	Sıkıştırılmış Doğal Gaz
Depodaki yakıtın durumu	Sıvı	Gaz
Depodaki azami basınç	Atmosfer basıncı	200 bar
Kalori değeri (MJ / lt)	34,7	7,2
Kalori değeri (MJ / kg)	42	47,7
Yakıtın yoğunluğu (kg /lt)	0.83	0,17

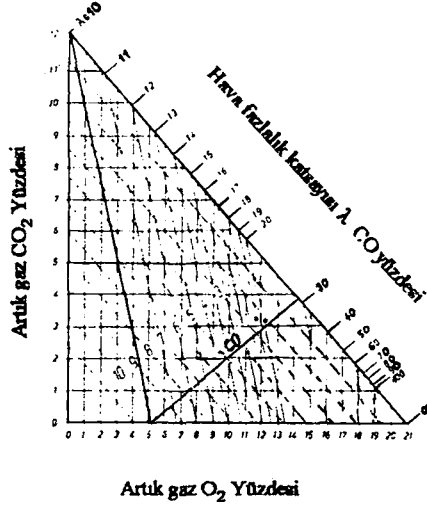
Doğal gazın yanma olayında ateşleme sıcaklığı, sınırı ve alev hızı önemlidir :

Ateşleme sıcaklığı : yanmanın başladığı en düşük sıcaklıktır (704°C). Ateşleme süresi gaz hava karışımına ve sıcaklığa bağlı olup 10 milisaniye civarındadır.

Ateşleme aralığı : gazın oksijen ile reaksiyonundan meydana gelen ısı minimum sıcaklık takriben 1200°C olacak şekilde yeterli olmalıdır. Eğer hava az, gaz miktarı çoksa açığa çıkan enerji az olur ve bu hal üst ateşleme sınırı olarak adlandırılır. Hava miktarı gaz miktarından fazla olması durumunda da gerekli minimum sıcaklık elde edilemez ve bu hal alt ateşleme sınırı olarak adlandırılır.

Alev hızı : alev hızı yerine yanma hızı deyimi de kullanılmaktadır. Hava gaz karışımındaki yanma reaksiyonunun gelişme hızını verir ve karışım oranına, basınca, sıcaklığa bağlı olarak değişir. Türbülanslı akışlardaki alev hızı laminar akışlara nazaran daha fazladır.

Yanmada kayıpların az olması için hava fazlalık katsayısının büyük olmaması gerekir. Yanma ürünleri yardımı ile CO_2 , O_2 ve CO arasındaki bağlar ve hava fazlalık katsayısının belirlenmesi mümkündür [6].



Şekil 2 -1 : Doğal gaz yanma üçgeni [6]

Doğal gaz otto motorları için mükemmel bir yakıttır. Tutuşma sıcaklığı yüksek olduğundan vuruntuya dayanıklıdır. Doğal gaz içinde propan ve bütan büyük oranda bulunduğu vuruntuya eğilim artarken, azot ve CO₂ gibi asal gazlar vuruntuya eğilimi azaltırlar. Normal koşullarda gaz halinde bulunduğu hava ile her oranda kolayca karışabilir. Sıvı yakıtların aksine doğal gazın yanmadan önce buharlaşması gerekmediğinden motorun soğuk ilk hareketi zenginleştirmeye gerek kalmadan kolay olarak sağlanır. Yüksek aktivasyon enerjisi nedeniyle doğal gaz karışımlarının laminar alev hızı diğer hidrokarbonlarınkinden daha azdır. Bu etki özellikle fakir karışımlarda önemli olmaktadır. Alev hızının düşük olması nedeniyle yanma daha uzun sürdüğü için ateşleme avansının artırılması gerekir. Bu durum verimi düşürür ayrıca NO_x emisyonunu artırır. Türbülanslı yanma odası kullanıp alev yolu kısaltılarak alev hızı artar.

Doğal gaz kompozisyonunda olan değişiklikler yoğunluğunu ve hacimsel enerji içeriğini etkiler. Yüksek hidrokarbonlular enerji yoğunluğunu artırır, asal gazlar da enerji yoğunluğunu azaltır. Bu durumlara göre gazların kompozisyonunun enerji içeriğine etkilerini göz önüne almak için Wobbe numarası adlı bir parametre tanımlanmıştır.

$$W = \frac{H}{\sqrt{d}} \quad (2.1)$$

Bu ifadede H gazın üst ısı değeri, d ise gazın yoğunluğu olmak üzere Wobbe sayısının birimi kWsaat / m^{3/2} şeklindedir. Doğal gazın Wobbe sayısı 11,46 - 16,1 kWsaat / m^{3/2} civarındadır [6].

Belli bir basınç düşüşüne karşılık bir lüleden geçen gazların enerji debileri aynı olur. Motorun ayarının yapıldığı optimum noktalarda çalışabilmesi için Wobbe numarası aynı olan yakıt kullanılmalıdır. Bu durum, dizel motorlarının doğal gaz motorlarına dönüştürölmesi işlemlerinde göz önüne alınmalıdır.



BÖLÜM 3. DOĞAL GAZIN TAŞITLARDA KULLANILMASI

3.1. Taşıt Üzerinde Depolama ve Dolum

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

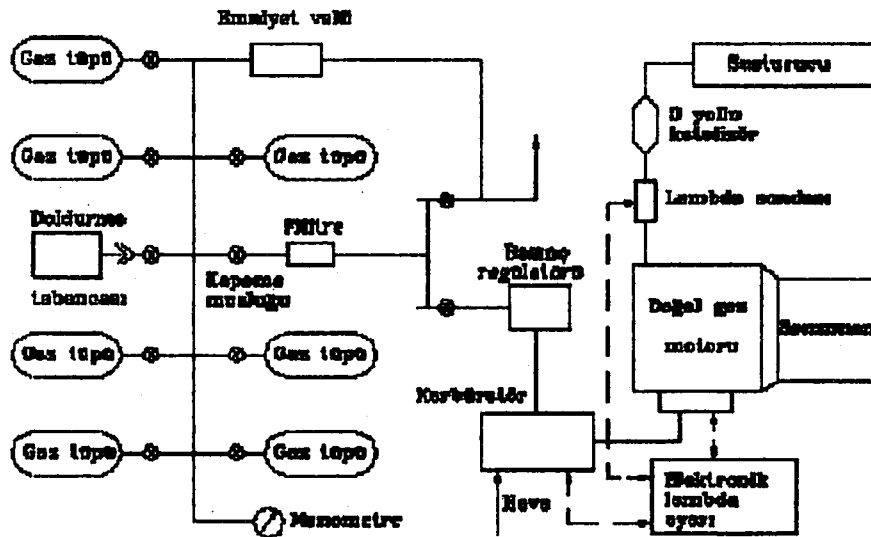
200 bar ' da depolanmış doğal gaz aynı enerjiye sahip dizel yakıtının 5, benzinin ise 4 katı hacim işgal etmektedir. Gaz yüksek basınçta kullanıldığından ve doğal gazın taşıtta depolandığı tüpler çelikten imal edildiklerinden ağırlıkları 400 - 800 kg arasında değişmektedir. Bu fazla ağırlık nedeni ile de bir dizel motoruna göre %20 - 25 kadar daha fazla enerji sarf etmektedir. Bu durum özellikle binek taşıtları için önemli bir sorun teşkil etmektedir. Otobüs ve kamyonların genelde depo hacmine ayıracak yerleri olmakla beraber artan yakıt ve depo ağırlığı onlar için de bir dezavantaj olmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak amacı ile çok ağır olan çelik tüpler yerine üzerine reçine emdirilmiş cam elyaf sarılan hafif malzemeden (alüminyum) dikişsiz olarak imal edilmiş tüpler kullanılabilir. Ayrıca tüpe sarılan malzemeler olarak aramid veya karbon kömürü elyafı kullanıldığı takdirde daha hafif bir yapı elde edilir fakat bunun dezavantajı ise oldukça pahalıya malolmasıdır. Depolama tüpleri çok yüksek basınç nedeni ile silindirik olarak imâl edilirler çünkü silindirik kapların basınca daha mukavim olmasıdır.

Tablo 3 - 1 : Alternatif motor yakıtlarının depolama durumları [7]

	Yakıt		Yakıt + Depo	
	Kütle (kg)	Hacim (lt)	Kütle (kg)	Hacim (lt)
Benzin	54	75	61	79
Hidrojen (gaz)	20	1150	1020	1870
Hidrojen (sıvı)	20	289	160	289
Doğal gaz	48	351	227	782
SDG	48	115	109	456

Biten tüplerin doldurulması taşıt üzerinde hızlı ve yavaş olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Hızlı dolun 3 - 6 dakika kadar sürmektedir ve özellikle karayolu üzerinde hızlı hizmet vermek zorunda olan servis istasyonlarında kullanılır. Hızlı dolunda doğal gaz kompresör aracılığı ile dolun istasyonunun depolama tüplerine doldurulur ve doluma gelecek taşıt için hazır tutulur.

Tüm depolama tüpleri 250 bar basınçtır ve birbirileri ile bağlantısı olmayan üç ayrı gruba ayrılmışlardır. Tüplerin üç ayrı basınç grubuna ayrılmasının nedeni ise emniyet amacı ile olmaktadır. Tüpler birden istenen yüksek basınçla doldurulamaz zira bu durumlarda tehlikeli patlamalar olabileceği göz önüne alınır ve tüplerin istenen yüksek basınca kademeli olarak doldurulması yapılır. Böylece de meydana gelebilecek istenmeyen tehlikeli durumlar ortadan kaldırılmış olur. Taşıt dolun için bağlandığında önce düşük basınç grubu devreye girer. Taşıttaki tüpün basıncı 70 bar ' a ulaştığında otomatik bir ayırıcı sistemi orta basınç grubunu devreye sokar. Orta basınç grubu tüpü 140 bar ' a kadar çıkarır ve son olarak da yüksek basınç grubu devreye girer. Bu grup tüpü 207 bar ' a çıkarır. Yüksek basınç grubunun basıncının 250 bar ' dan 207 bar ' a düşmesi ile kompresör otomatik olarak devreye girip bir sonraki dolun için tüpleri hazırlar. Gaz devresinde basıncın yüksek değerlere çıkması durumunda bir emniyet ventili ile düşürülür. Manyetik bir ventil ile gaz akımının merkezi olarak kesilmesi mümkün olur. Bir filtre vasıtası ile mekanik olarak temizlenmiş gazın basınç regülatörüne verilmesi sağlanır. Motor tarafından emilecek karışımın miktarı şoför tarafından gaz pedalına basılarak ayarlanır.

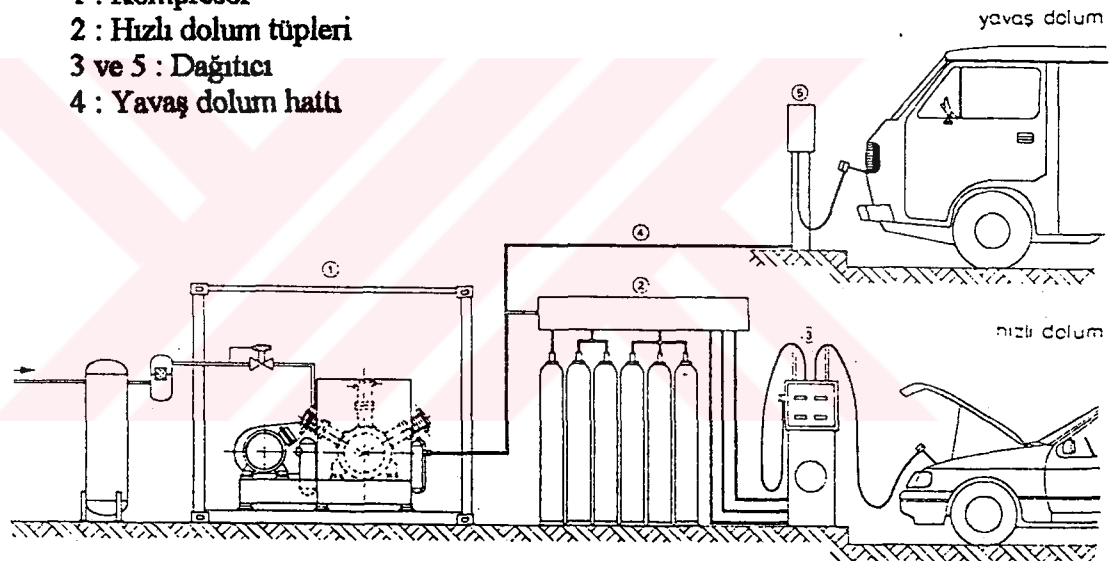


Şekil 3 - 1 : Sıkıştırılmış doğal gaz ile çalışan 7 adet tüplü sistem şeması

Yavaş dolum 4 - 8 saat kadar sürmektedir ve genelde otobüs, kamyon ve hafif hizmet taşıt filolarının doldurulmasında tercih edilmektedir. Bu yöntemde bir merkeze bağlı olan birçok dolum birimi vardır ve aynı anda birçok taşıt bu birimlere bağlanarak kompresöre göre değişen sürede düzenli ve yavaş bir şekilde doldurulurlar. Bu yöntem diğerine göre daha ekonomik olduğundan ve dolum süresi de önemli bir dezavantaj olmadığı zaman taşıt filolarının dolumlarında tercih edilmektedir.

Hızlı ve yavaş dolum taşıta bağlı olmayıp dolum tesisinin bir özelliğidir. Aynı taşıt her iki sistemden de yararlanabilir. Burada dolum hortumunun taşıt üzerinde bulunan dolum vanasına bağlanması yeterli olmaktadır. Araca doğal gaz bu iş için özel olarak geliştirilmiş olan ve çabuk kapanan bir emniyetli kilit tertibatı ile donatılmış olan bir tabanca ile doldurulur.

- 1 : Kompresör
2 : Hızlı dolun tüpleri
3 ve 5 : Dağıtıcı
4 : Yavaş dolun hattı

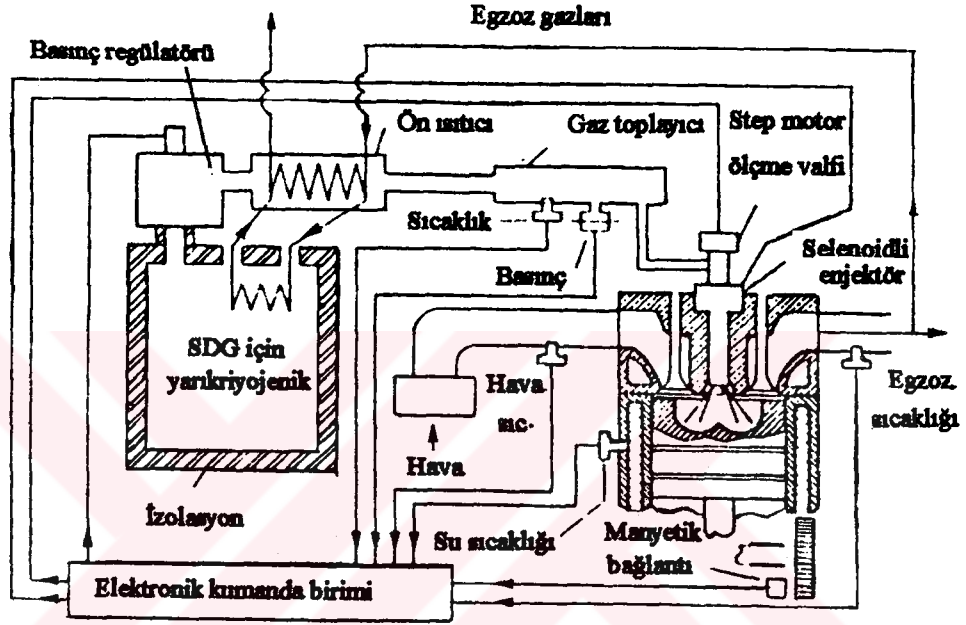


Şekil 3 - 2 : Bir gaz dolum tesisi örneği

3.2. Yarıkriyojenik Tanklar

Doğal gazın taşıtlarda depolanmasının iyileştirilmesi için yapılan çalışmalar sonucu yeni bir tüp olan ve birçok avantajlar sağlayan yarıkriyojenik tanklar geliştirilmiştir. Yarıkriyojenik tank gazın püskürtülmesinden önce basıncının artırılmasına olanak tanır ve tanka giren ısıyı tankta sıvı halde bulunan doğal gazın buharlaşmasında kullanır. Tankta olan ısı transferini ve gaz basıncı artışını sınırlandırmak için tankın çok iyi bir şekilde yalıtılması gereklidir. Bununla beraber

gaz basıncını arttırmak için gerektiği kadar ön ısıtmaya tabi tutulmalıdır. Doğal gazın doğru basınç ve sıcaklıkta tutulması için yarıkriyojenik tankın elektronik olarak kumanda edilmesi gerekir. Ön ısıtma sisteminde motorun egzoz gazlarının ısısından yararlanılmaktadır. Bu şekilde sıcak doğal gazın püskürtülmesi ile de motorun termal veriminin artmasına katkısı olmaktadır [8].



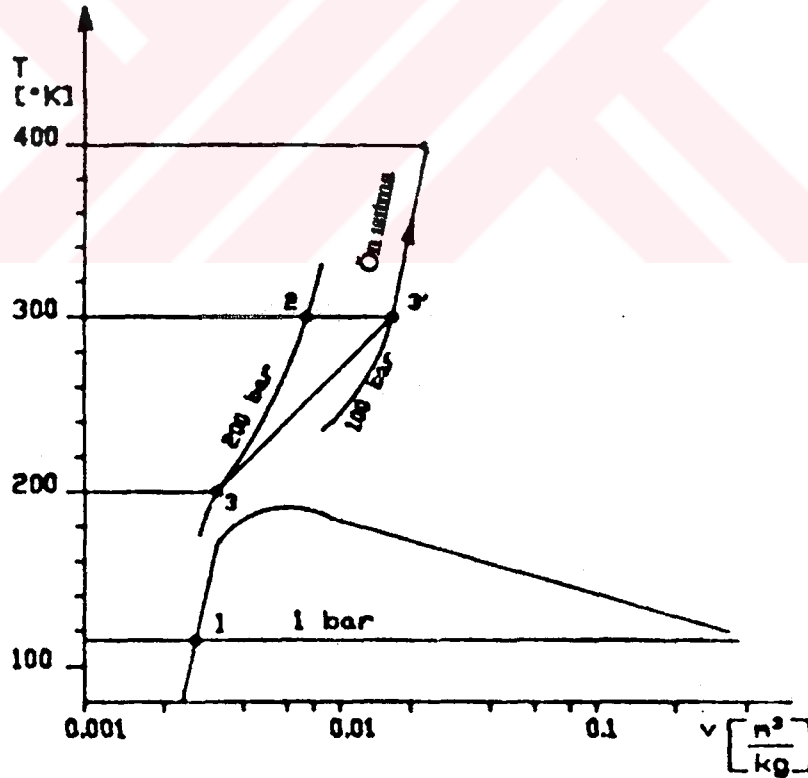
Şekil 3 - 3 : Doğal gaz motorlarında yarıkriyojenik tanklı besleme sistemi

Sıkıştırılmış doğal gazda olduğu gibi burada da doğal gaz yüksek basınçlı silindirlerde depolanmalıdır fakat burada silindir kendisini çevreleyen bir boru ile yalıtılır. Bu borunun içinden akan motorun sıcak gazları doğal gaza ön ısıtma uygulamış olur.

Bu tank ayrıca elektronik kumandalı bir basınç regülatörü ile techiz edilmelidir. Tankta bulunan doğal gaz basınç akümülatörüne yollanmadan önce belli bir basınç altında ön ısıtma odasına yollanır ve orada yaklaşık olarak 400 °K ' e kadar ısıtılır. Basınç akümülatöründe gazın basıncı ve sıcaklığı ölçülür ve egzoz gazlarından doğal gaza ısı geçişi hızını veya basınç regülatörü değerlerini değiştirmek için özel sinyaller elektronik kumanda birimine yollanır. Motorun silindirlerine gerekli olan gaz boşaltma hızının elde edilmesi için, ön ısıtma uygulanan gaz daha sonra bir ölçme valfi

ile beraber yerleştirilmiş selenoidin çalıştığı enjektör aracılığı ile püskürtülür. Böylece de motorun bir çevrimi için doğru doğal gaz dozajı sağlanır.

Bu püskürtme sisteminin kullanılır olabilmesi için iki önemli durumun sağlanması gereklidir : doğal gaz yüksek sıcaklıklı ve basınçlı olmalıdır. Doğal gazın sıvı olarak ve atmosfer basıncına yakın bir basınçta depolandığı kriyojenik tank durumunda sıvılaştırılmış doğal gazın özel bir yüksek basınç pompası kullanarak basılması ve sonra da sıvı doğal gazın buhar haline dönüşmesi için ısıtılması ve gerekli basınca ulaştırılması gerekir. Tank içinde bulunan sıvılaştırılmış doğal gazı çok düşük sıcaklığı nedeni ile gerekli olan yüksek basınç pompasının konstrüksiyonu ve eğer tankın içine yerleştirilmesi istenirse de izolasyonu çok zor olur. Yarıkriyojenik tanklar ise bu pompaya ihtiyaç duymazlar. Bu durumda gerekli gaz basıncının nasıl sağlandığı ise doğal gazın en önemli bileşeni olan metanın T - v diyagramı kullanılarak kolayca izah edilebilir.



Şekil 3 - 4 : Metan gazının T - v diyagramı. 1, 2, 3 noktaları depolanan gazın durumlarını göstermektedir.

Şekil 3 - 4 ' te 1 noktası doğal gazın atmosfer basıncı altında ve 110 °K sıcaklıkta bir kriyojenik tanktaki durumunu göstermektedir. 2 noktası doğal gazın 200 bar ' lık basınçta ve atmosfer sıcaklığında depolandığı standart silindirlerdeki durumunu göstermektedir. Buradan, aynı tank hacminde kriyojenik tankta basınçlı silindirlerdekinden 3 kat daha fazla doğal gaz depolanacağı görülmektedir. 3 noktası doğal gazın yarıkriyojenik tankta 200 bar basınç ve 200 °K sıcaklıktaki durumunu göstermektedir. Diyagramdan anlaşıldığı gibi yarıkriyojenik tanklarda depolanan doğal gaz miktarı sıkıştırılmış doğal gaz silindirlerinkinden sadece 2 kat fazla olmaktadır. Bununla birlikte gaz yüksek basınç altında depolanacak ve özel bir yüksek basınç pompasına ihtiyaç duyulmadan püskürtme sistemine yollanacaktır.

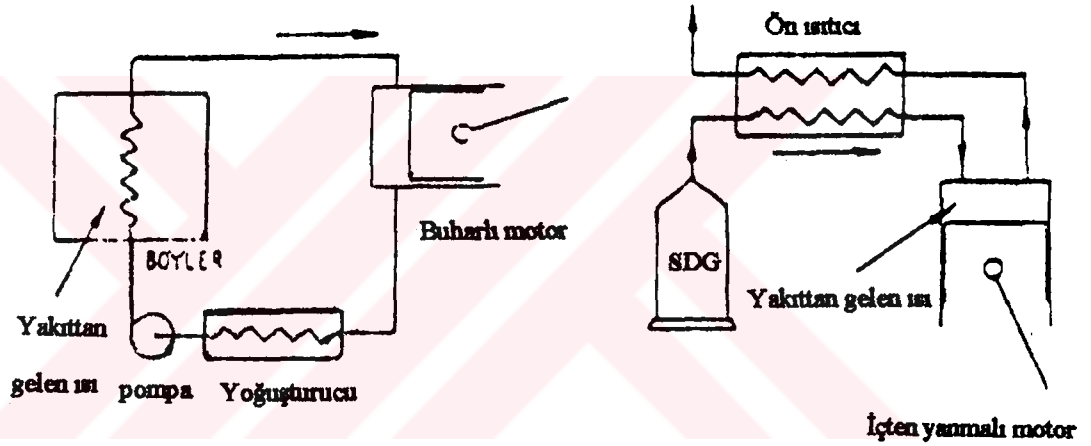
Yarıkriyojenik tankın çalışma prensibi doğal gazın alınması, depolanması ve motora ulaştırılmasının anlatılması ile izah edilebilir. İlk olarak doğal gazın motora doğrudan püskürtülme basıncının 100 bar ve sıcaklığının da 400 °K olduğu kabul edilir. Ayrıca doğal gaz dolum istasyonunun da hem sıkıştırılmış hem de sıvılaştırılmış doğal gaz verebileceği ve sıkıştırılmış durumda 100 °K, sıvılaştırılmış durumda ise atmosfer sıcaklığında olduğu kabul edilir.

Yakıt almada sıvılaştırılmış doğal gazın sıkıştırılmış doğal gaza oranı motorun gaz sarfiyatının ayarlanmasına bağlı olmaktadır. Yine de tanktaki gaz basıncının 100 bar ' ın üstünde olmalı ki taşıt hemen kolayca çalışsın. Eğer yakıt sarfiyatı düşük olursa izolasyon vasıtası ile olan ısı transferine bağlı olarak tanktaki basınç artar; yine de basınç 200 bar ' ı geçmedikçe kriyojenik tankta olduğu gibi yakıt kayıpları olmaz. Eğer yakıt sarfiyatı yüksek olursa, meselâ izolasyon vasıtası ile olan ısı transferinin neden olduğu yakıt buharlaşma hızından fazla olursa gaz buharlaşmasını hızlandırmak için motorun egzoz gazları kullanılarak tankın ısıtılması gerekir.

Diyagramda 3' noktası ile gösterildiği gibi bu sonuç olarak gerekli 100 bar basınç ve 400 °K sıcaklıkta maksimum gaz miktarının silindirden çekilmesi için tanka ön ısıtma uygulanması gerekli olduğu duruma neden olur. Bu durumda doğal gaza tank içinde yeterince ön ısıtma uygulanacağı için daha sonra ayrıca bir ön ısıtıcıda ön ısıtmaya tabi tutulmasına gerek kalmaz. Araç, bu ön ısıtma yapılmış olan tank ile doğal gaz dolum istasyonuna geldiği zaman tankın duvarlarının iç enerjisi sıvılaştırılmış doğal gazın daha çabuk buharlaşmasını sağlar. Bu durumda gerekli olan 100 bar basınca ulaşmak için daha az sıkıştırılmış doğal gaz eklenmektedir. Bu sunulan tasarı özellikle yüksek püskürtme sistemlerinde amaçlanır, çünkü tanktaki basınç gerekli basınç düzeyinin altına indiği zaman ön ısıtma uygulayarak daha fazla doğal çekilebilir.

Yukarıda izah edilmiş olan sistemin düzgün olarak çalışabilmesi için bir elektronik kumanda gerekli olmaktadır. Bununla beraber sistemin kötü çalışması durumunda da bir felâket olmaz fakat sadece yakıt kaybı meydana gelir. Gerekli basıncın sağlanması için ayarlanmış basit bir güvenli valf tankın patlamasını önler.

Yarıkriyojenik tankın çalışması ile bir buhar motoruna yüksek sıcaklıklı buhar sağlayan buhar boiler arasında bir benzerlik vardır. Böyle bir sistemin prosedürünün sıvı hidrokarbon yakıtları için gerekli olandan daha az uygun olduğu açıktır. Yine de sıvı yakıtların yüksek fiyatları nedeni ile böyle bir doğal gaz besleme sistemi uygun duruma gelebilir.



Şekil 3 - 5 : Yarıkriyojenik tankın doğal gazının ön ısıtmasının buhar motoru boilerinin çalışması ile karşılaştırılması

3.2.1. Doğal Gaza Ön Isıtma Uygulanmasının Motorun Termal Verimine Etkisi

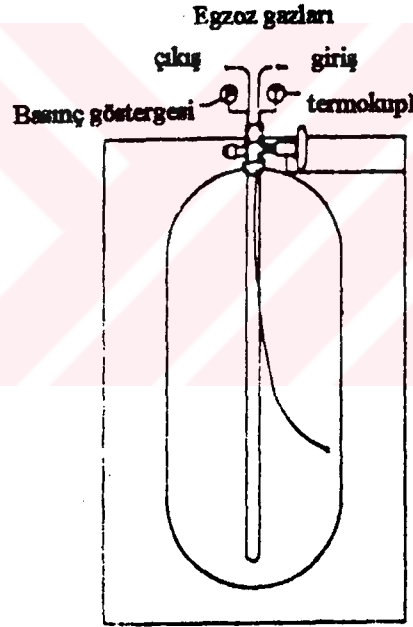
Bir sıvı yakıtın püskürtülmesi ile karşılaştırıldığı zaman, doğal gazın içten yanmalı motorun silindirine doğrudan püskürtülmesi bazı avantajlar sunar. Birinci avantaj, yakıt karışımı hazırlanması için geçen zamanın çok kısa olduğu, yanma odasındaki daha önceden buharlaşmış yakıt ve havanın daha hızlı ve daha iyi bir karışımının neden olduğu yanma olayında bazı gelişmeler umulabilir. Doğal gaz hava karışımı içindeki alev ilerlemesinin bilinen düşük hızı ile gaz püskürtülmesinin bu avantajının ne kadar mesafede nötrale olacağının önceden söylenmesi zordur, yine de çift yakıtlı doğal gaz motoru uygulamasından daha iyi olacağı bilinir.

İkinci avantaj, gaz yakıt sıvı yakıtın yaptığı gibi buharlaşma için sıkıştırılmış havadan ısı absorbe etmez, bu da motorun daha yüksek verime çıkmasına olanak sağlar.

Üçüncü avantaj, gaz yakıtı püskürtülmeden önce ön ısıtma uygulanabilir ve ön ısıtma için gerekli olan enerji ise motorun egzoz gazlarının kullanılması ile elde edilir. Bunun sonucu olarak da motorun vereceği net güç artar. Yapılan hesaplara göre %2,5 kadar verim artışı olmaktadır [8].

3.2.2. Yarıkriyojenik Tankın Özellikleri

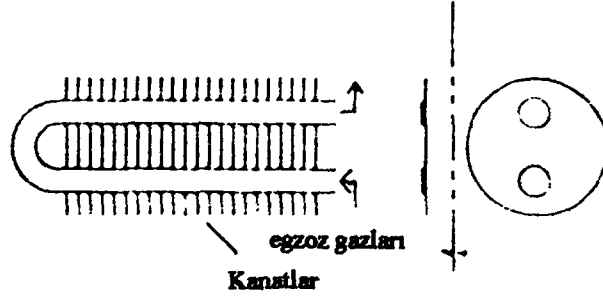
Yarıkriyojenik tanklar 305 mm çapında imâl edilmektedirler ve boyları ise kullanılacakları aracın büyüklüğü ve depolanmak istenen doğal gaz miktarına bağlıdır. 207 bar 'lık basınç için tasarlanmışlardır. Bir ucunda vida açılmış 2,5 cm ' lik bir delik vardır. Bu deliğe bir valf yerleştirilmiştir.



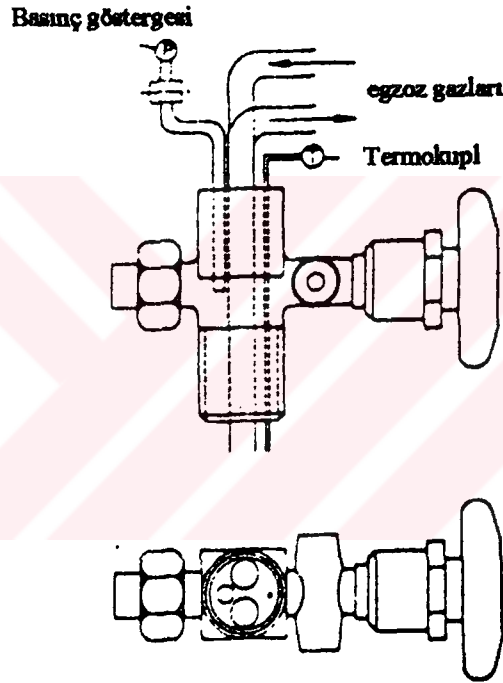
Şekil 3 - 6 : Yarıkriyojenik tank

Bir silindirin yarıkriyojenik bir tanka dönüştürülmesinde şu hususlar bulunur :

- Egzoz gazlarının tanka girmesi ile ve depolanmış gazlar boyunca sirkülasyon yapmaları ile ısı ilâvesi olur. Kullanılan borunun 200 bar basınca dayanıklı olması gereklidir. Isı transferinin iyileştirilmesi için ısıtma ısıtma borusu kanatlı olmalıdır. Kanatlar yüksek ısı iletim katsayılı malzemedan yapılmalı ve ısıtıcı borusu boyunca yerleştirilmelidir.



Şekil 3 - 7 : Yarıkriyojenik tank ön ısıtma borusu



Şekil 3 - 8 : Yarıkriyojenik tank valfleri

- Yarıkriyojenik tank içindeki doğal gazın sıcaklığı termokupl ile okunur. Termokupl ısıtıcıdan etkilenmeyecek şekilde silindirin duvarına yerleştirilmelidir.
- Tank içindeki basınç okunmalı ve kontrol altında tutulmalıdır.
- Isıtıcı, termokupl ve basınç ölçücüyü uyuşturmak için valfler sistemi kullanılır. Valflerin mukavemetlerinin de iyi olması için pirinçten değil de çelikten yapılması daha uygun olmaktadır. Ayrıca kullanılan boruların bağlantılarının da gaz kaçağı olmayacak şekilde konstrükte edilmeleri gerekir.
- Yarıkriyojenik tank içindeki doğal gazın düşük sıcaklığı düşünülerek silindir izolasyonu dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Yüksek gaz sıcaklığına ve ısı transferi

yakıt kayıplarından çok, gaz basıncı artışı ile sonuçlandıran etkiye bağlı olarak yarıkriyojenik tankın izolasyonu daha az etkili ve bu yüzden de daha ucuz olur.

3.2.3. Yarıkriyojenik Tank İzolasyonu

Günümüzde yarıkriyojenik tanklarda kullanılmakta olan iki tip izolasyon malzemesi vardır. Her iki tip malzeme de kapalı hücre izolasyonu kategorisine girmektedir.

Birinci izolasyon malzemesi piyasada Trymer 9501 olarak bilinir. 32 kg / m yoğunluklu ve 193,1 kPa 'lık basma mukavemetli poliizokriyanurat bir malzemedir. Malzemenin ısı iletim katsayısı ise 0,011 W / m²K 'dir. Bu malzeme izolasyonda kullanıldığı takdirde tüpü 15 cm 'lik kalınlıkla sarması gereklidir ki piyasadaki kriyojenik tanklarla mukayese edilebilir bir ısı transferi elde edilsin. Bununla birlikte bu malzemenin sakıncası ateşe karşı fazla dayanıklı olmamasıdır.

İkinci izolasyon malzemesi piyasada hücresel cam, cam köpük olarak bilinmektedir. Malzemenin yoğunluğu 136,2 kg / m , basma mukavemeti 689,5 kPa , ısı iletim katsayısı ise 0,027 W / m²K 'dir. Bu malzeme ateşe dayanıklı olup doğal gaz tankı için daha iyi bir izolasyon malzemesidir. Ayrıca malzemenin yüksek basma mukavemeti dolayısı ile tankın yatay pozisyonda araca yerleştirilmesi uygun olur. Bu yerleştirme durumu yerden kazanmak amacı ile taşıtlar için daha uygundur.

Yukarıda bahsedilen her iki izolasyon malzemesinin de fiyatları birbirine yakındır ve yarıkriyojenik tank imalatı için yeteri kadar düşüktür. Kullanılacak malzemenin iç kısmı tankın silindirik gövdesine göre oyulur ve bu şekilde hazırlanan iki parça çelik bantlar yardımı ile tankı çevreleyecek şekilde yerleştirilir. Tankın açık olarak kalan tek kısmı tanka doğal gaz girişinin yapıldığı vananın bulunduğu baş kısmıdır. Bu kısmın izolasyonunun ise özel bir şekilde yapılması gerekir.

3.3. Emisyonlar

3.3.1. Egzoz Emisyonları

HC emisyonları motorun egzoz zamanına girdiğinde henüz yanmaya fırsat bulamamış dolgunun da dışarı atılması ile meydana gelmektedir. CH₄ molekülü karbonun çok iyi okside olmasını sağlayarak yanmamış karbonun dışarı atılmasını

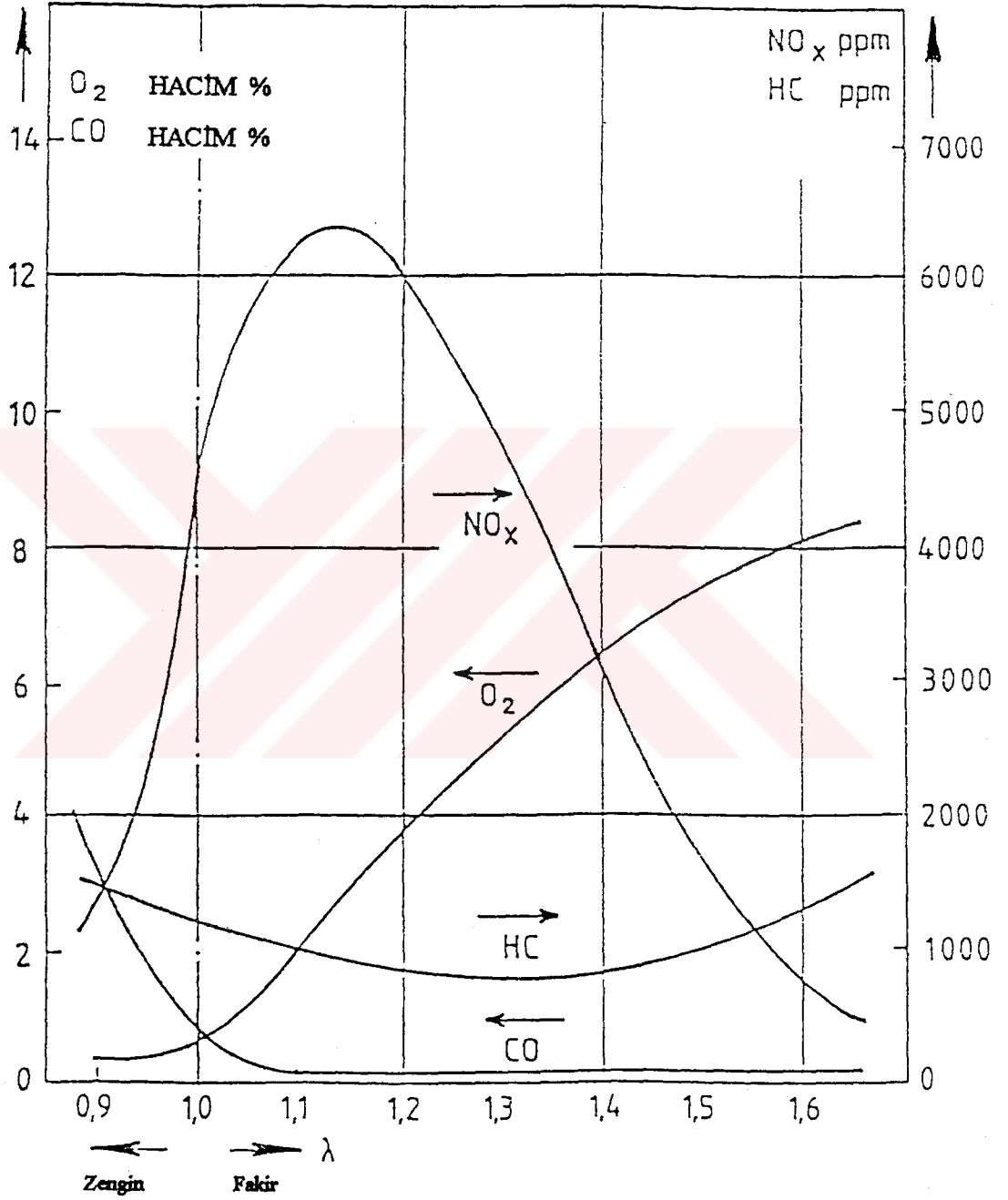
önlemesi, doğal gazda kükürtün az olması ve hidrokarbonların da üç yollu katalizör içinde yanmaları doğal gaz motorlarının egzoz emisyonu bakımından önem kazanmasını sağlar. Bu durum genel olarak motor henüz soğukken yeterli sıcaklıkların elde edilemediği durumlarda daha yoğun olarak görülür. Kükürt ve aldehitlerin olmaması nedeni ile egzoz gazı kokusuz olmaktadır. Fakat güvenlik amacı ile, doğal gaz kaçakları durumunda kaçak tespiti için doğal gaza eklenen koku maddelerinden kaynaklanan kokular duyulabilir.

NO_x emisyonları taşıtların maksimum gücünü sınırlamaktadır. Normal emmeli motorlarda taşıdın çıkış gücü hava / yakıt oranına bağlı olduğu için hava / yakıt oranı NO_x emisyonunu en çok etkileyen parametre olmaktadır. Hava / yakıt oranı artırıldıkça NO_x düzeyi artar. Fakir karışım motorlarında ise hava / yakıt oranının yüksek değerleri NO_x emisyonunu azaltır.

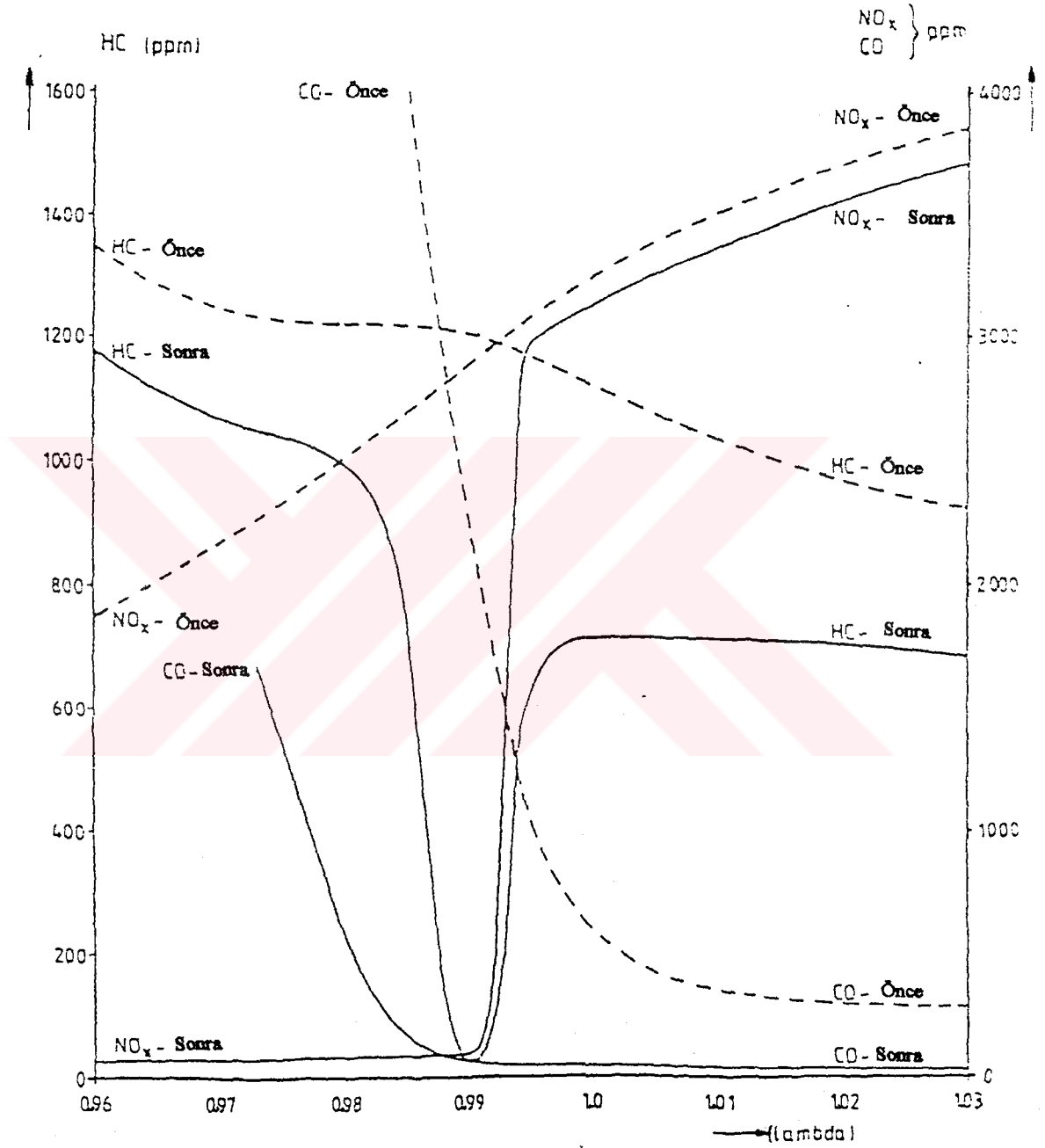
Katı karbon tanecikeri zengin karışımların yanması sonucu ortaya çıkar. Doğal gaz motorlarında zengin karışımlar kullanılmadığı için doğal gaz motorlarının partikül emisyonları çok düşüktür. Meydana gelen düşük partikül emisyonları ise daha çok silindir çeperlerindeki yağların yanması ve egzoz gazına karışıp dışarı atılmaları ile meydana gelir.

Kullanılan katalizörün dönüştürme oranı emisyon düzeyi için önemli bir etken olmaktadır. Gerekli olan daha düşük çalışma sıcaklıkları nedeni ile hidrokarbonların dönüşüm hızı özellikle fakir karışimli motorlar ile duyarlı olmaktadır. Doğal gaz ile olan dönüşüm oranı LPG ile olandan daha düşüktür. Metan stabil bir molekül olduğu için bir katalizör ile oksidasyonu zor olur. Yeni geliştirilmekte olan katalizörlerin yüksek HC dönüşüm oranları vardır, fakat katalizör eskidikçe bu oran önemli ölçüde düşer. Örnek olarak doğal gaz motorunda %90 'dan %30 'a düştüğü görülmüştür. CO emisyonu dönüşüm oranı ise katalizörün kullanım süresine daha az bağlıdır, dönüşüm oranı %95 civarındadır.

Doğal gaz motorları ile SI standartlarına ulaşılabilmesi konusunda yapılan çalışmalar genel olarak fakir karışimli ve stokiyometrik motorlar üzerinde yoğunlaşmıştır. En düşük emisyon değerleri stokiyometrik motorlardan elde edilmiştir. İki yakıtlı motorlarda ise emisyon düzeyleri, motor elemanlarının optimum oranı ve katalizör dönüşüm oranını arttıran yüksek sıcaklık seviyesi optimum oranı dolayısı ile en yüksek düzeylerde olmaktadır. Bu tür motorlarda katalizör kullanılsa bile egzoz emisyonu düzeyi tek yakıtlı motorlara göre yine daha fazla olmaktadır [9].



Şekil 3 - 9 : Lambdanın fonksiyonu olarak egzoz gazları



Şekil 3 - 10 : Lambdaya bağlı üç yollu katalizörün kullanılımasından önce ve sonra egzoz emisyonları

Tablo 3 - 2 : Doğal gaz yakıtlı motor emisyon standartları 1994 - 1997 (EPA)

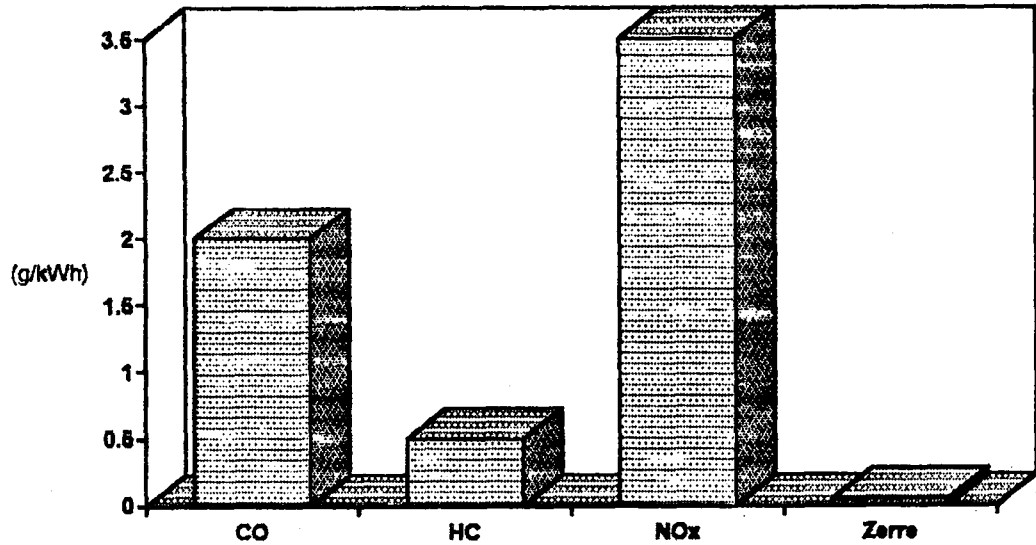
Taşıt	g/bhp.h		
	HC	CO	NO _x
≤ 4,5 ton	0,92	14,4	5
> 4,5 ton	1,6	37,1	5

Tablo 3 - 3 : California emisyon standartları 1994 ve sonrası değerleri

Taşıt	g/bhp.h		
	HC	CO	NO _x
≤ 4,5 ton	0,9	14,4	5
> 4,5 ton	1,7	37,1	5

EPA ve California standartları görüldüğü gibi oldukça benzer olup HC emisyonlarında yüzde mertebesinde bir emisyon farkı görülmektedir.

Doğal gaz emisyonu



Şekil 3 - 11 : Üç yollu katalizörlü MAN doğal gaz motoru emisyonları

3.3.2. Gürültü Emisyonları

Günümüzde şehirlerin çok hızlı bir şekilde büyümesi, bunun sonucu olarak da artan insan sayısına hizmet verebilmek için gerekli olan makinaların sayısının artması ve bir çoğunun aynı anda çalışmaları, yaptıkları iş esnasında belli bir miktarda ses çıkarmaktadırlar. Bu sesler bir araya gelir ve şiddeti böylece artar, bu değer decibel denen bir birim ile ifade edilmektedir, işte bu toplam seslerin değeri belli bir decibel değerini aşınca (110 dB civarı) insanı rahatsız edici olan gürültü meydana gelir. Gürültünün insan sağlığı üzerinde sağırılık, sinirsel bozukluklar gibi çok olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir.

Doğal gaz motorlarının gürültüsüz çalışmaları da çok önemli bir özellikleridir. Yanma sonucu meydana gelen basınç artışı dizeldekine nazaran daha az olduğu için üst ölü noktadan geçerken biyel kolundan krank miline geçen darbe sonucu olan gürültü de daha az olmaktadır. Bunun sonucu olarak da motorun sessiz olarak çalışması sağlanır o kadar ki trafikte motorun çalışma sesi hissedilmeyebilir. Doğal gaz motorlarının bu olumlu özelliği bu tür motorların kullanılmasını teşvik edici olmaktadır.

3.4. Güvenlik

Yapılan araştırmaların sonucu olarak taşıtlarda doğal gazın yakıt olarak kullanılması güvenlik açısından fazladan bir problem yaratmamaktadır. Kullanılan tüpler yasalara göre bir dizi testlerden geçtikten sonra kullanılabilir. Ayrıca bu tüplerin kullanımları sürecinde de belli zaman periyotlarında belli testlerden geçmesi ön görülmektedir. Basıncılı doğal gaz tüpleri çok tehlikelidir fakat şu hususlar dikkate alınmalıdır :

- Tüplerin çatlama emniyet katsayısı 2,5 ' tur yani tüpler üzerlerine 500 bar ' lık bir basınç uygulanması sonucu patlarlar.
- Bu basınç durumunda da çeliğin sert olması nedeni ile tüp yarılır fakat infilak etmez.
- Mevcut emniyet tesisatları yüksek basıncın daha önceden düşürülmesini temin ederler.
- Meydana gelebilecek bir kaçak durumunda doğal gaz havadan daha hafif olduğu için bir yerde birikmez ve atmosferde yükselir, kapalı olmayan bir hacimde patlamaz.

Sistemde emniyetin sağlanması için şu elemanlar eklenmiştir :

- Gaz valfi üzerine monte edilen geri dönüşü önleyen klape ve emniyet supapı
- Kartere yerleştirilen ve metan miktarı %1 - 2 ' yi geçince gaz gelişini otomatik olarak kesen metan detektörü
- Motor soğutma suyu belli bir sıcaklık aralığı dışına çıkınca doğal gazın gelişini otomatik olarak kesen motor soğutma suyu termostadı

3.5. Sürüş Rahatlığı

Doğal gaz motorlu taşıtlarda yakıt silindirlerinin aşırı yükü nedeni ile bu taşıtlar dönüştükleri dizel motorlu taşıtlara göre daha ağır hale gelmektedir. Hemen hemen aynı çıkış gücü için bu yüzden dizel taşıta göre daha yavaş olmaktadır. Bu durumda doğal gaz motorlarının ivmelenmesi dizel motorlarına göre daha yavaş olacağı için bu taşıtların ani hareketlerinden meydana gelebilecek olumsuz durumlar da daha az olur ve bu da taşıtta sürüş rahatlığını, konforu artırıcı etken olur. Hız problemi hava / yakıt oranının artırılması ile çözülebilir fakat bu durumda NO_x emisyonları da artar. Bu durumun düzeltilmesi bu hususta daha önceden bahsedilen önlemlerin alınması ile gerçekleştirilebilir ve optimum değerlere ulaşılabilir [9].

Yukarıda bahsedilen durumlara karşı doğal gaz motorlu taşıtların dizel motorlulara göre daha az gürültü ve titreşimli olmaları bir avantajdır. Bunun nedeni de titreşimlerin özgül frekansının artan kütle ile azalması olarak izah edilebilir. Doğal gaz motorlu taşıtların bu yüzden daha rahat sürüş, yolculuk sağladığı açıktır o kadar ki yoğun trafikte diğer taşıtların arasında doğal gaz motorlu taşıtların çalışmasının gürültüsü hissedilmeyecek kadar azdır. Bu durum da günümüzde sürekli olarak artarak şehirlerin önemli bir problemi olan ve insanların da sağlığına önemli derecede olumsuz tesir eden gürültü seviyesinin azaltılması bakımından önemlidir. Taşıtın hız problemi egzoz emisyonları değiştirilmeden taşıtta yüksek oranlı aktarma elemanlarının kullanılması ile de çözülür.

BÖLÜM 4. DİZEL MOTORLARININ DOĞAL GAZ MOTORLARINA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

4.1. Doğal Gazın Dizel Motorlarında Kullanılması

Doğal gazın dizel motorlarında kullanılması iki türlü gerçekleştirilmektedir :

1. Dizel motor otto motoruna dönüştürülür ve yakıt olarak motorda sadece doğal gaz kullanılır.
2. Motor dizel ilkesi ile çalışmaya devam eder fakat yakıt olarak hem doğal gaz hem de dizel yakıtı aynı anda kullanılır.

Birinci yöntemde dizel motorunun tüm yakıt sistemi çıkartılır, yanma odasında değişiklikler yapılır, ateşleme sistemi ve gaz karbüratörlü yeni bir yakıt sistemi takılır. Bu yöntemin avantajları şu şekilde sıralanabilir :

- Is emisyonu ortadan kalkar.
- Emisyon sorununa kesin çözüm olma şansı vardır.
- Dizel motorundan daha iyi güç ve moment elde edilebilir.
- Yakıt sistemi basittir.
- Gürültü emisyonu çok azalır.

Bu yöntemin dezavantajları ise şunlardır :

- Dönüşüm için birçok değişiklikler yapılır.
- Dizel motoruna geri dönüş çok zordur.
- Çift yakıtlı sisteme göre daha pahalıdır.
- Verimi ancak tam yükte bir dizel motoru verimine yaklaşabilir.

4.2. Motor Elemanları Değişiklikleri

İlk doğal gaz motorları patlamalı olarak yapılmışlardır : ilk olarak dolgunun oluşturulması ve buji ile tutuşturulması. Bu durumda benzin motorları gibi düşük

sıkıştırma oranları vardı. Bu da düşük verim ve sınırlı güç anlamına gelmektedir. Dizel motorlarının sıkıştırılmalı yanma sistemini şu iki nedenden dolayı uygun olmamıştır :

- İstenen anda çevrim başına püskürtülmesi gereken gaz miktarının çok yüksek olmaktadır. 1 cm³ dizel yakıtının eş değer ısı değerinin sağlanması için 800 - 900 cm³ doğal gaza ihtiyaç duyulmaktadır.

- doğal gazın kendi kendine tutuşma sıcaklığı dizel yakıtınunkinden daha yüksektir. Bu değer örnek olarak metan için 580 °C , dizel yakıtı için ise 450 °C ' dir. Bu özellik daha yüksek sıkıştırma oranlarını gerektirmektedir. Bu durumda ise vuruşu ile karşılaşılabilir.

Bu nedenlerle doğal gaz motorları ön karbürasyonlu ve elektrik kumandalı tutuşmalı olarak konstrükte edilmektedirler. Küçük motorlarda silindir hacimleri küçük ve piston hızları da yüksek olur. Bu durumda vuruşu sebebiyet verecek reaksiyonlar gerçekleşmek için zaman bulamazlar. Buna karşın büyük motorlarda durum tamamen tersi olur ve vuruşu meydana gelebilir. Bu duruma çare olarak tutuşma noktalarının artırılması ile yanmanın düzgünleştirilmesinin sağlanması yoluna gidilir.

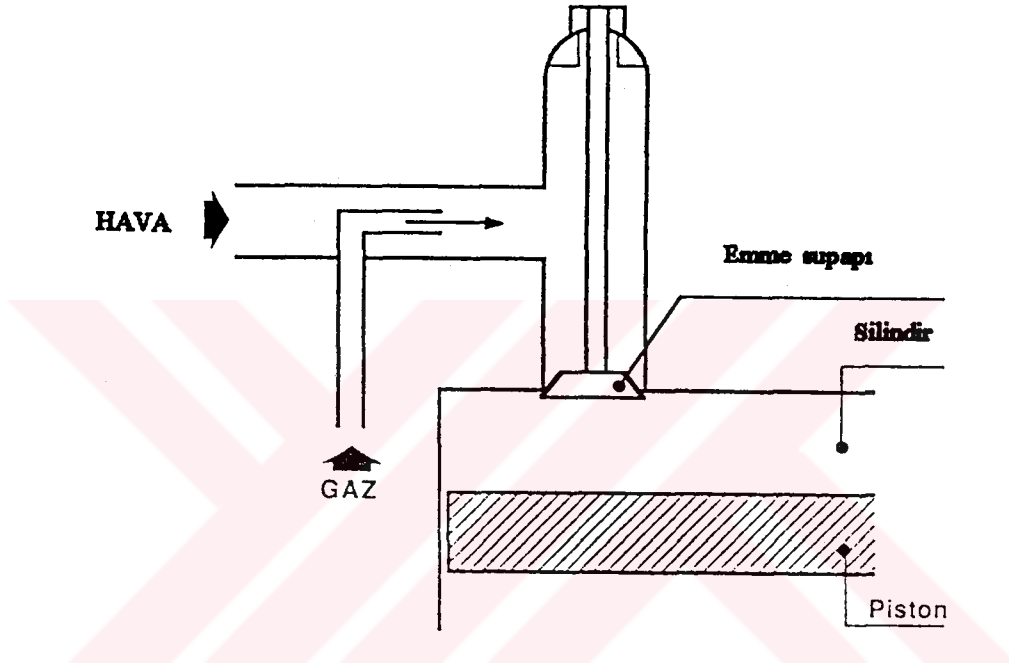
Dizel motorlarının doğal gaz motorlarına dönüşümü çeşitli ülkelerde kolay ve güvenli bir şekilde yapılmaktadır. Motorda genel olarak bütün elemanların gözden geçirilip, gerektiği takdirde doğal gaz motoruna uygun şekilde ayarlanması gerekmektedir. Yakıt olarak doğal gaz kullanılacağı için dizel yakıt sistemi (ateşleme sistemi, yakıt kontrol sistemi) olduğu gibi değiştirilmelidir. Genel olarak motorda yapılacak değişiklikler şu şekilde sıralanabilir :

- Yakıt besleme sisteminin yerleştirilmesi
- Doğal gaz için yanma odasının şeklinin düzenlenmesi
- Egzoz supapının ve oturma yüzeylerinin malzemesi daha yüksek sıcaklıklara dayanır olmalıdır. Malzeme olarak ostenitik çelik kullanılabilir.
- Ateşleme için bujilerin yerleştirilmesi ve manyeto ve bobinlerle bağlantısı
- Aşağıda bahsedilecek sistemler için kullanılacak kumanda elemanlarının yerleştirilmesi

Bu sayılanların dışında, doğal gaz ile dizel motorlarında olduğu gibi yüksek sıkıştırma oranlarında çalışamaz. Vuruşu olayı nedeni ile belli bir azaltma yapmak gereklidir. Bunun için de dizel motoru silindirleri ve pistonları değiştirilir veya uygun düzeltmeler yapılır.

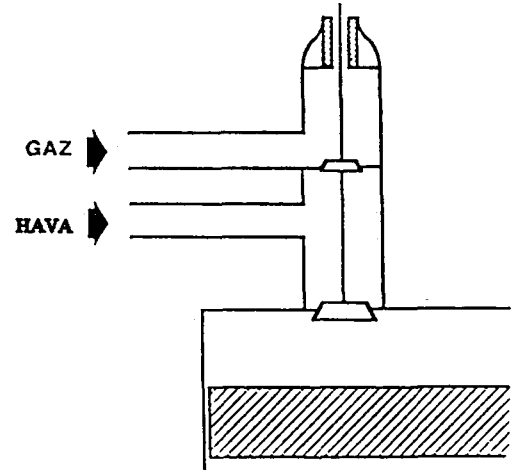
4.2.1. Dolgunun Silindire Yollanma Sistemi

Normal emmeli bir doğal gaz motoru için, gaz doğrudan emme supapının üst kısmında bulunan hava geliş borusu içine doğru açılan enjektör aracılığı ile yollanabilir. Çevrimde supapın kapalı olduğu süre boyunca gazın supapın üst kısmında birikmesine rağmen sonuç olarak silindirdeki gaz hava karışımı yeterli olur.



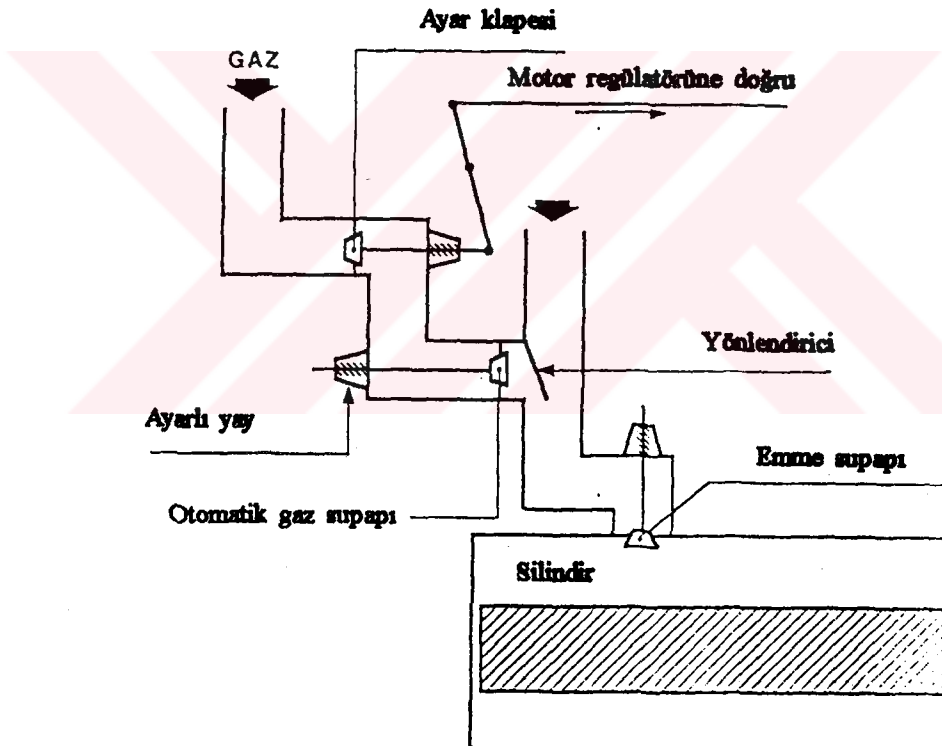
Şekil 4 - 1 : Doğal gaz motoru besleme sistemi

Hava ve gazın karışımının sadece emme anında olması istenirse aynı bir aksın taşıdığı iki supap gerekir.



Şekil 4 - 2 : Doğal gaz motorunun aynı eksenli iki supap ile beslenmesi

Daha karışık bir sistem ise pistonun inişine bağlı basınç düşmesi tesiri ile sadece silindirin emme supapı açık olduğu zaman açılan bağımsız ve otomatik bir supap hava girişine, gazın gelişi kısmına yerleştirilir. Bu otomatik supapta genelde ayarlanabilir bir yay vardır. Bu yay açılma süresini yani yoolanacak gaz miktarını ayarlamayı sağlar. Otomatik supapın üst kısmında motorun regülatörüne bağlı olan ve silindirlerin tamamı için ortak olabilen bir gaz ayar klapesi bulunur. Otomatik supap muhtemel patlamaların gaz geliş borusuna ulaşmasını önler. Ayrıca yanmamış gazların emme ve egzoz supaplarının aynı anda açık olduğu zaman egzosa atılmasını önler. Bu durum özellikle aşırı doldurmalı motorlarda arzu edilir çünkü gaz basınçları çok yüksek olur (1 - 18 bar arası) ve orada emme supapı açılması ile egzoz supapının kapanması 150 KMA ' na ulaşabilir. Bu durumda da gazların yanmadan dışarı atılmaları söz konusu olabilir [10].



Şekil 4 - 3 : Otomatik supaplı sistem

4.2.2. Ateşleme Sistemi

Dizel yakıt boruları ve enjektörler sökülüp yerlerine emme manifolduna gaz karbüratörü ve gaz keleşği eklenir. Enjektör yerine bujiler kullanacağı için enjektörler sökülüp buji bağlantısı için gerekli değişiklikler yapılır.

Dizel motorlarının sıkıştırma oranları 18 / 1 gibi oldukça büyük değerlerdedir, doğal gaz motorlarında bu değerin daha düşürülmesi gerekmektedir bunun için de ya daha küçük pistonlar kullanılır ya da pistonlar talaş kaldırma işlemi ile istenilen 12 / 1 mertebesinde sıkıştırma oranlarına ulaşılabilir.

Doğal gazı oluşturan elemanlardan metan diğer hidrokarbonlara göre daha az reaktif olduğu için tutuşturulması için de daha daha yüksek enerjiye ihtiyaç vardır. Bunun için de daha yüksek enerji veren buji kullanılması gerekir. Fakir karışımlar söz konusu ise bujinin çakma süresinin daha uzun olması gerekir. Aksi halde karışımın tutuşması zor olur. Uygun olarak hesaplanmış ve yerleştirilmiş birden fazla bujinin kullanılması ise yanmayı daha kolaylaştırır ve daha düzgün olmasını sağlar.

Dönüşüm gerçekleştirildikten sonra yapılan gözlemlere göre yeni tip motorda en çabuk olarak aşınan parçalar ateşleme sistemi ve bujiler olmaktadır. Bir buji ömrünün yaklaşık olarak 30 000 km olduğu görülmüştür.

4.2.3. Yanma Sistemi

Doğal gaz motorlarında genel olarak, homojen dolgulu motor sistemi ve ön yanma odalı motor sistemi olmak üzere iki tür yanma sistemi kullanılmaktadır [5].

4.2.3.1. Homojen Dalgulu Sistem

Bu sistemde motorda yanma direkt olarak piston ile silindir kafası arasındaki boşlukta gerçekleşir. Bu boşluğa dolan karışım bujinin çakması sonucu oluşan alev belli bir büyüklüğe ulaşması ile tutuşur. Bu arada geçen süre tutuşma gecikmesi olmaktadır. Alev cephesi yanma odası içinde ilerler ve karışımın tutuşarak yanmasını sağlar. Böylece de klasik olarak dört zamanın gerçekleşmesi ile motor çalışır.

Doğal gazın alev hızı benzinin alev hızına göre daha yavaştır bu yüzden yanmanın daha iyi sağlanabilmesi için bu motorların ateşleme avansları benzin motorlarındakine göre daha fazla olmalıdır. Ayrıca kullanılan dolgu fakirleştikçe ateşleme avansının artırılması olumlu sonuçlar verecektir.

4.2.3.2. Ön Yanma Odalı Sistem

Doğal gaz motorunda kullanılan karışımın çok fakir olması durumunda kullanılan sistemdir. Yanma odası ön ve ana olmak üzere iki kısımdan oluşur. Yanma ilk

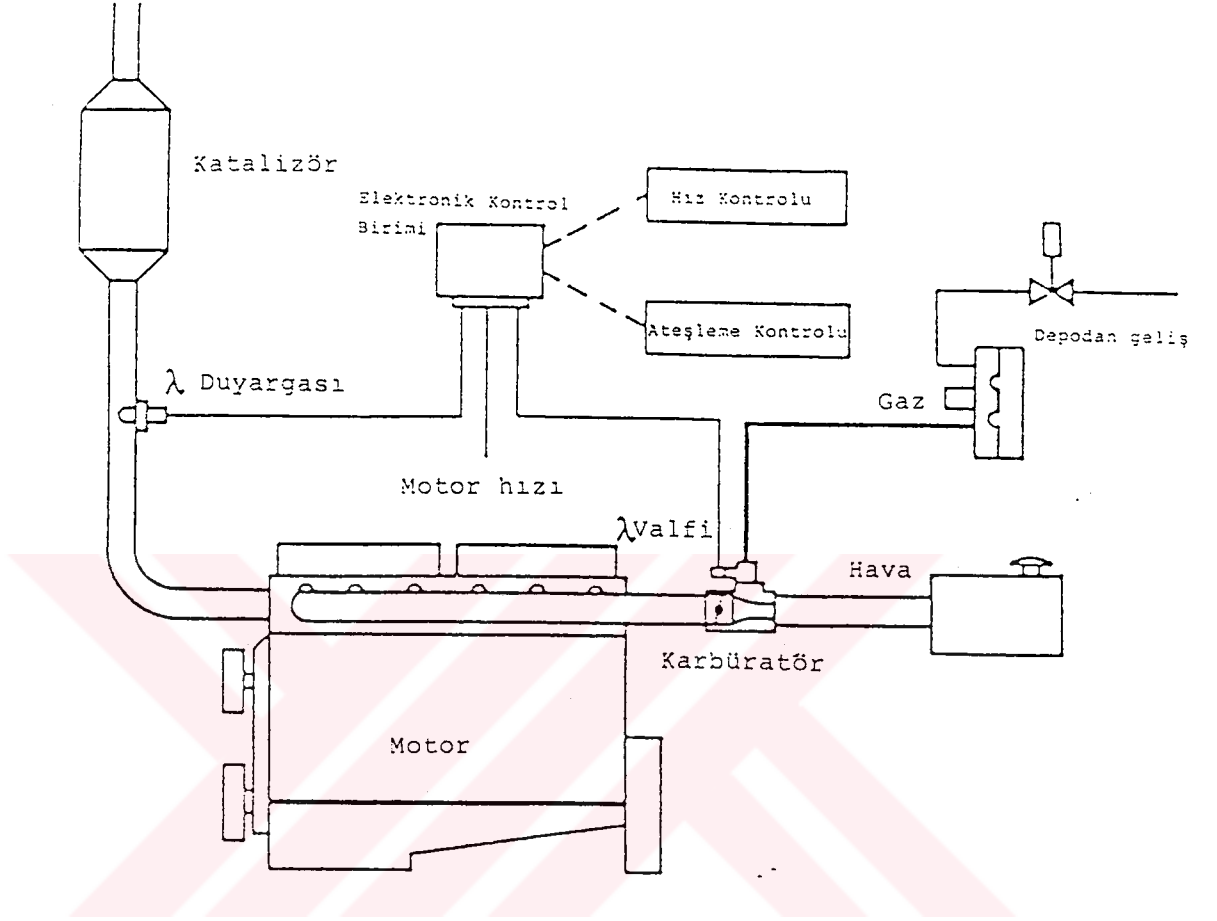
olarak ön karışım odasında başlar. Burada dolgunun hava fazlalık katsayısı 1 ' e yakın tutularak iyi bir yanma başlaması ve bunun sonucunda artan basınçla ve oluşan türbülansla gazların ana yanma odasına itilip orada daha iyi bir karışım oluşması sağlanır. Ana yanma odasında bulunan fakir karışımın böylece kolayca yakılması sağlanırken fakir karışımların az kayıpları, yüksek verim vermeleri gibi avantajlardan da yararlanılmış olunur.

Yukarıda bahsedilen iki yanma sisteminden birincisi olan homojen dolgu yanma sistemi genel olarak daha çok kullanılır. Ön yanma odalı sistemin az kullanılmasının en önemli nedeni ilk sistemin imalatının daha kolay olması ve maliyetinin de daha ucuz olmasıdır. Ön yanmalı sistem için gerekli ön yanma odası sistemin maliyetini artırırken imalatı da zor olur ve ön yanma odasından kaynaklanan, motorda bir hacim artmasına neden olur. Ayrıca ön yanma odalı sistemde yanma diğerine göre daha az kararlı olduğu için bu sistem ancak büyük gaz motorlarında ve zoraki durumlarda kullanılmaktadır.

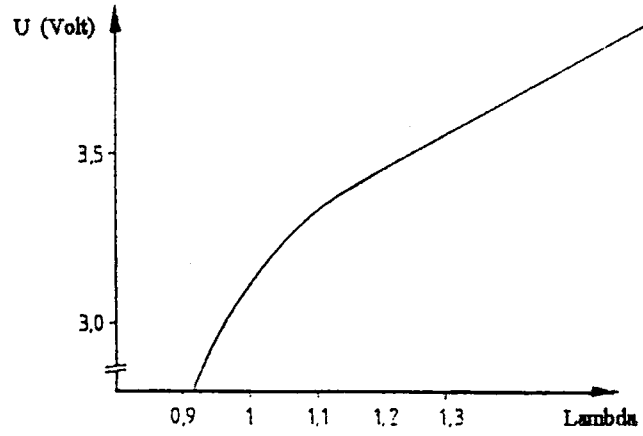
4.2.4. Kapalı Çevrim Lambda Kumanda Sistemi

Sistemin en düşük emisyon düzeylerinin bir kapalı çevrim yakıt kumanda sistemi ile garanti edildiği yapılan deneyler ve çalışmalar sonucu ortaya çıkmıştır. Burada sisteme yerleştirilmiş λ ve oksijen sondaları sürekli olarak emisyonu ölçüp sonuçları mikroişlemciye sinyaller şeklinde gönderirler ve mikroişlemci de λ ' yı daha önceden hafızasına yerleştirilen sınır değerler içinde tutmak için gerekli elemanlara sinyaller göndererek kumanda eder. Bu olay bir kapalı çevrim şeklinde sürekli olarak devam eder ve bu şekilde arzu edilen emisyon düzeyleri otomatik ve sürekli olarak sağlanmış olur. Bu bilhassa λ değişikliklerine oldukça duyarlı olan HC emisyonlarının azalmasında büyük rol oynamaktadır. Diğer emisyonların azaltılması için ileride bahsedileceği gibi, sisteme diğer bazı elemanların eklenmesi gerekir. Bu duyarlılık, soğuk motorda sıcak motora göre daha fazla olur çünkü kullanılan katalizör henüz aktivasyon sıcaklığına ulaşmamıştır.

Bu sistem ile katalizör penceresi içinde λ ' yı kontrol etmek mümkün olur. Bu şekilde de minimum emisyon düzeyi elde edilir. Katalizör penceresi içinde daha az zengin karışım ile daha düşük NO_x emisyon düzeyine ulaşılır fakat bu durumda HC ve CO emisyonlarında bir artış görülür. Kapalı çevrim yakıt kumanda sisteminde önemli bir eleman da oksijen sondasıdır [11].



Şekil 4 - 4 : Mikroişlemci kumandalı kapalı çevrim λ kumanda sistemi



Şekil 4 - 5 : λ 'nın fonksiyonu olarak oksijen sondası çıkış sinyali

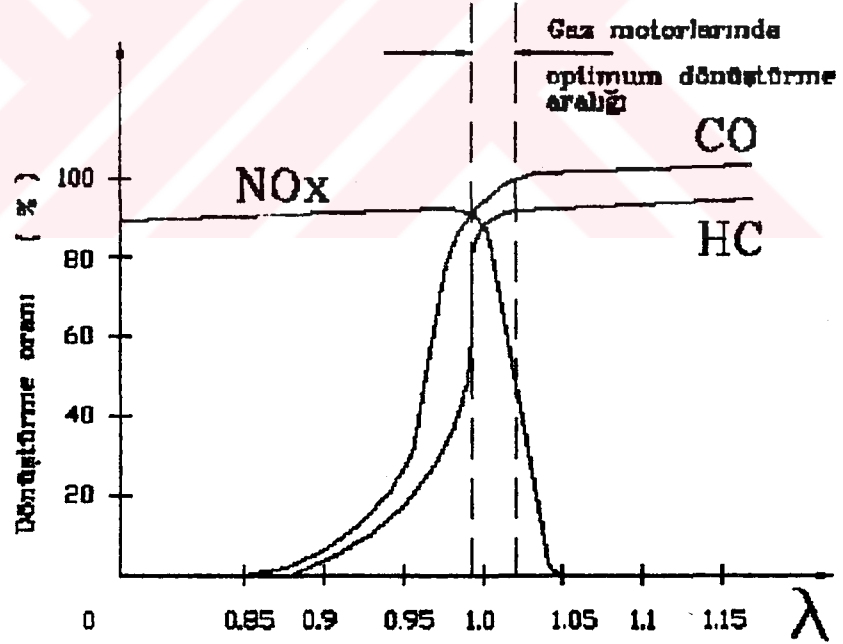
4.2.5. Egzos Sistemi

Egzos gazlarının zararlı emisyonlarının düzeyinin azaltılabilmesi için üç yollu katalizör kullanılması durumunda sistemde şu ana birimler bulunur :

- Elektronik kumandalı lambda ayar birimi,
- Lambda sondası,
- Kademeli motorlu bir gaz miktarı ayar ventili.

4.2.5.1. Elektronik Kumandalı Lambda Ayar Birimi

Yakıtı tam olarak yakabilmek için emilen hava miktarının teorik olarak lazımlı olan hava miktarına oranını yani λ 'yı lambda sondasının geriliminin, motor devir sayısının ve motor emiş kanalındaki alçak basınç sinyallerini sürekli olarak alıp gaz miktarı ayar ventiline kumanda ederek istenen değerler arasında tutmak üzere ayarlar. Burada bir kapalı çevrimden yararlanılmaktadır.



Şekil 4 - 6 : Dönüştürme oranının λ ile değişimi

4.2.5.2. Lambda Sondası

Bir taraftan egzos gazının diğer taraftan da atmosfer havasının etkisine açık olan kıymetli maden ve seramik gövdeli bir ana parçadan meydana gelir. Aletin iki

tarafındaki farklı oksijen miktarları nedeni ile iletken üzerinde milivolt mertebesinde gerilim meydana gelir. Elektronik kumandalı lambda ayar birimi, Bu gerilim değerini daha önceden belirlenmiş gerilim değerleri arasında tutmak üzere gaz miktarı ayar ventiline kumanda eder böylece de bu gerilim değerlerine kalibre edilmiş istenen lambda değerleri arasında kalınmış olur.

4.2.5.3. Gaz Miktarı Ayar Ventili

Kademeli bir motorla techiz edilmiş olup karışım giriş borusu üzerinde bulunmaktadır. Elektronik olarak kumanda edilip kesidi değiştirilerek motora gaz girişi sağlanır.

4.3. Doğal Gaz Motor Tipleri

Bütün ayarlanmış elemanlar için en düşük egzoz emisyonu düzeyini sağlamak için iki durum söz konusu olmaktadır [12] :

- Fakir karışım, $\lambda > 1,4$
- Stokiyometrik karışım, $\lambda = 1$

Bu iki yaklaşımın farklarının tartışılmasında şu basit formül ele alınabilir :

$$P = m \frac{H_0}{1 + \lambda \lambda_{st}} \eta = m H_m \eta \quad [\text{kW}] \quad (4.1)$$

Bu formülde :

- P : çıkış gücü [kW]
- m : karışım debisi [kg / s]
- H_0 : yakıtın kalorifik enerjisi [kJ / kg]
- H_m : karışımın kalorifik enerjisi [kJ / kg]
- η : efektif verim
- λ : hava / yakıt oranı
- λ_{st} : stokiyometrik hava / yakıt oranı

Arzu edilen çıkış gücünün elde edilmesi için belli bir hava / yakıt oranında verimin sabit olduğu varsayılarak enerji girişi dolayısı ile gaz girişi miktarı bellidir. Bu

durumda (4.1) formülünden stokiyometrik bir motor için H_m ' in yüksek ve karışım debisinin düşük olduğu görülür. Fakir karışumlu motorda ise bunlar tam ters bir biçimde gerçekleşir.

Karışımın debisi motorun silindirindeki miktarın ısı kapasitesini belirler. Isı girişi sabit olarak, yanma ısı kapasitesine bağlı olduğu sürece sıcaklık artar. Motor, stokiyometrik karışım ile çalıştırıldığı zaman silindir içindeki miktar az olur bu da yanma boyunca sıcaklığın yüksek değerlere ulaşmasına neden olur. Fakir karışım ile debi yüksek olur bunun sonucu da silindirlerin basınçları yüksek ve sıcaklıkları ise düşük olur.

Bir motor için motor içinden akış şu şekilde belirlenmiştir :

- Motor hızı. Genellikle dizel motorlarından dönüştürülen doğal gaz motorlarının hızı düşer.
- Volümetrik verim. Volümetrik verim ayarlı emme sistemi ile artırılabilir. Bu sistem motorun emme kapasitesini arttırmak için atalet kuvvetinin ve basınçların toplam etkisini kullanır.
- Emme manifoldu basıncı. Aşırı doldurma ile emme manifoldu basıncı artırılabilir ve bu da daha yüksek çıkış gücüne olanak sağlar.

Doğal gaz motorları kullanılan dolgunun hava fazlalık katsayısının özelliğine göre genel olarak fakir karışumlu ve stokiyometrik karışumlu motorlar olmak üzere iki tipte incelenir.

4.3.1. Fakir Karışumlu Doğal Gaz Motorları

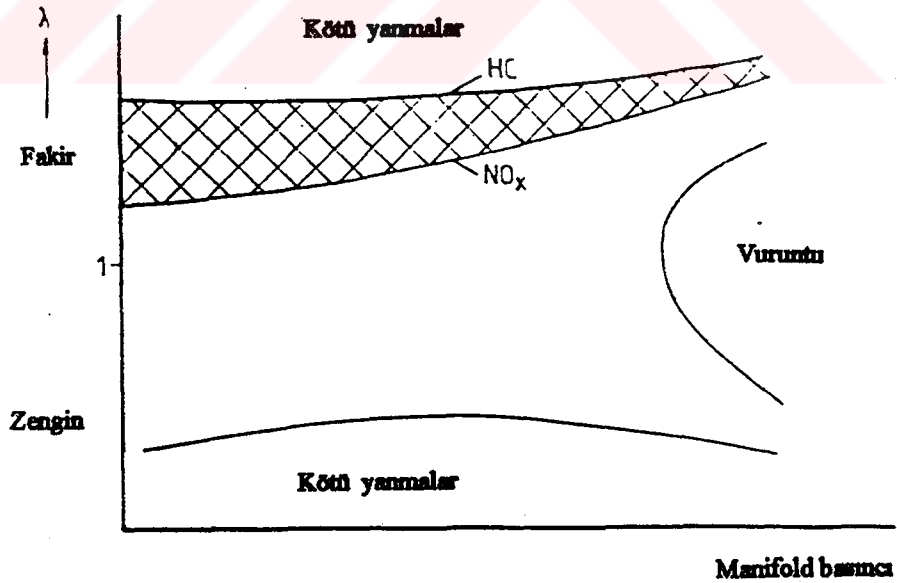
Hava / yakıt oranını hava fazlalık katsayısı λ ile belirlenir. Bu değerinin özellikle NO_x emisyonlarında büyük etkisi olur. Kimyasal olarak doğru oran 1 ' dir. Bu tip motorlar, hava fazlalık katsayısı 1 ' den büyük olan dolgular ile çalışacak şekilde tasarlanıp yapılmışlardır. Fakir karışumlu motorların hava fazlalık katsayıları genel olarak 1,45 - 1,60 arasında değişmektedir. Bu tip motorlarda emişin iyi bir şekilde gerçekleşmesi sağlanmalıdır. Bunun için de egzoz enerjisini kullanan bir türbo doldurucu kullanılması uygun olur. Ayrıca bu tip motorlarda tamamı kullanılan daha fazla hava emilir bu durum ise çıkış gücünün düşmesine neden olur. Türbo doldurucu kullanılması bu olumsuz durumu da ortadan kaldıracaktır. Sıkıştırılmış doğal gaz motoruna aşırı doldurma yönteminin uygulanması dizel motorundan farklı olur. Dizel motorunda yakıt ve hava akışı birbirinden bağımsız olurken sıkıştırılmış

doğal gaz motorunda ise bu ikisi birbiri ile ilişkilendirilmiştir. İyi bir moment eğrisinin elde edilebilmesi için bir wastegate kullanılması gerekmektedir.

Tablo 4 - 1 : Oksijen katalizörü kullanılması ve kullanılmaması durumlarında doğal gaz motoru için emisyon düzeyleri

g / kWsaat	HC	CO	NO _x	Zerre
Katalizörlü	2,5	2,0	4,0	0,08
Katalizörsüz	1,0	0,2	4,0	0,02

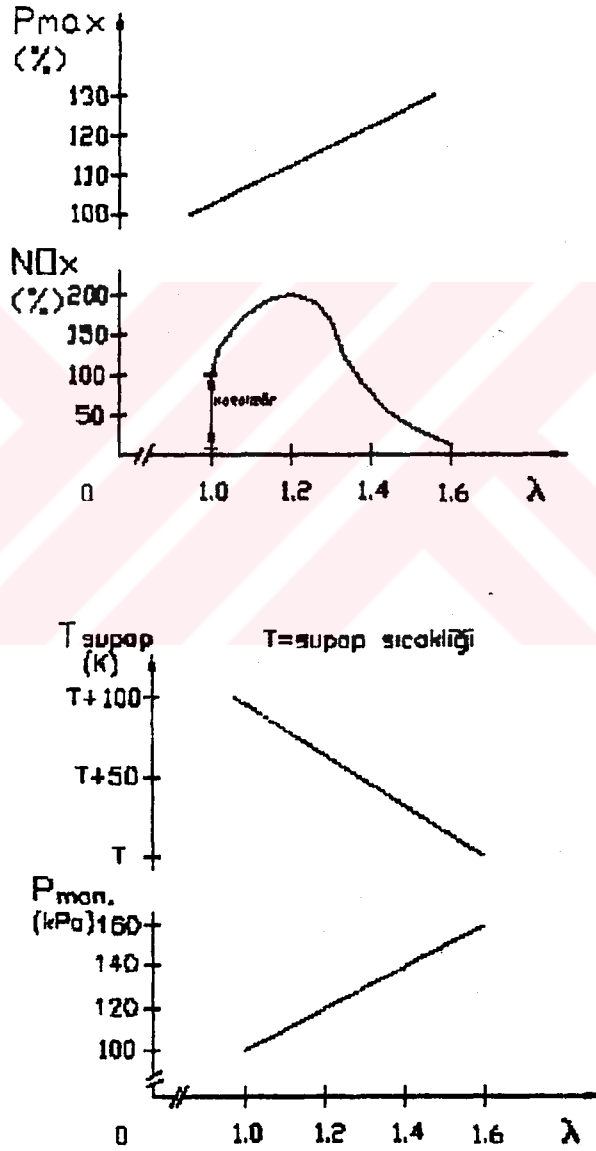
Tablo 4 - 1 incelenirse burada kullanılan oksidasyon katalizörünün etkisi ile HC, CO ve zerre emisyonlarında oldukça önemli bir azalma olurken NO_x emisyonlarında ise bir azalma olmadığı görülmektedir. Motor dönüşümü tamamlandıktan sonra, yapılmış olan fakir karışimli doğal gaz motorlarında NO_x emisyonunu azaltacak yolların uygulanması çok zordur bu yüzden NO_x emisyonlarını azaltma çareleri ve önlemleri dönüşümden önce tasarlanmalıdır. $\lambda = 1,6$ değeri doğal gaz için kötü yanma sınırına yakındır. Bu durumda HC emisyonları kritik değerlere ulaşır. Kullanılacak bir oksidasyon katalizörü ile yukarıda da görüldüğü gibi sadece HC ve aynı anda CO emisyonları düşürülebilir.



Şekil 4 - 7 : Yanma bölgeleri

Şekil 4 - 8 ' de görüldüğü gibi motor oldukça düşük devirlerde çalışmaktadır, bu durumda kötü yanma meydana gelir. Burada gerekli sınır aşılsa bile karışımın

tutuşması daha az kararlı olur ve bu da tutuşma gecikmesinde değışikliklere ve HC emisyonları düzeyini arttırır. Fakir karışımı motorların tutuşma durumlarının biraz gecikmeli olarak ayarlanması (NO_x emisyonlarını azaltmak için) nedeniyle motor tutuşma gecikmesi değışikliklerine kararsız bir çalışmaya neden olacak şekilde duyarlıdır. NO_x sınırları en düşük λ değęlerini, HC emisyon sınırları ise en yüksek λ değęlerini gerektirir. Motor tasarımı, yakıt, NO_x ve HC emisyon sınırları çalışma marjlarını belirlerler [11].



Şekil 4 - 8 : Sabit bir çıkış gücü için λ 'nın fonksiyonu olarak maksimum basınç, egzos supapı sıcaklığı, NO_x emisyonu düzeyi ve emme manifoldu basıncı

Motorlarda çok zengin karışım vuruntuya ve çok fakir karışım ise eksik yanmaya neden olmaktadır. Eksik yanma ayrıca çok zengin karışımlarla da olmaktadır. Fakir karışımların daha iyi termodinamik özellikleri ve daha düşük alev sıcaklıkları nedeni ile olan daha az ısı kayıplarından dolayı fakir karışimli motorların verimleri genellikle yüksek olur.

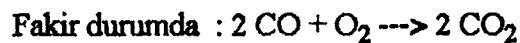
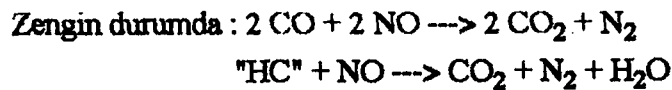
Bir türbo doldurucunun pozitif etkisi olurken eğer bir wastegate gerekirse bu durum bu pozitif etkinin düşmesine neden olur. Dizel motorları fakir karışımlarla çalıştıktıklarından bu motorların fakir karışimli doğal gaz motorlarına dönüştürülmesi daha uygun olacaktır.

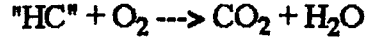
4.3.2. Stokiyometrik Doğal Gaz Motorları

Bu tip doğal gaz motorları, hava fazlalık katsayısı 1 ' e eşit olan dolgular (stokiyometrik karışım) ile çalışacak şekilde tasarlanıp yapılmışlardır. Motorlarda stokiyometrik bir karışımın kullanılması silindir içi sıcaklıklarının çok yüksek olması motor bileşenlerinin çok ısınmalarına neden olmaktadır. Motorun tasarlanması sırasında bu çok önemli hususun dikkate alınması gereklidir.

Bir dizel motoru stokiyometrik gaz motoruna dönüştürüldüğünde motor bileşenlerinin (silindir kafası, pistonlar, egzoz gazı manifoldu) bu sıcaklıklara dayanabilmeleri için dikkatli olarak test edilmeleri ve gerekli konstrüktif tedbirlerin alınması gereklidir. Stokiyometrik bir karışımın yüksek özgül ısısı nedeni ile normal emişli stokiyometrik motorun çıkış gücü çok zamanlar yeterli olur. Bu durumda moment eğrisi oldukça uygun olur. Bir türbo doldurucu kullanıldığı durumda motorun yüksek sıcaklıklı egzoz gazlarına dikkat edilmelidir.

Düşük emisyon düzeylerine ulaşmak için bir katalizör ve kapalı çevrim oksijen sensörü kullanılmalıdır. Oksijen sensörü λ ' nın değerinin 1 ' den küçük ve 1 ' den büyük olma durumlarında λ ' nın değerini 1 ' e eşitlemek için müdahale eder. Üç yollu bir katalizörün kullanılması en düşük emisyon düzeylerine ulaşılmasını sağlar. Üç yollu katalizör HC, CO, NO_x emisyonlarını aynı anda şu kimyasal denklemlere göre küçük bir lambda penceresi içinde dönüştürür [12] :





$\lambda > 1$ durumunda NO_x ve HC emisyonları hızla artar ; $\lambda < 1$ durumunda ise HC ve CO emisyonları artar, NO_x emisyonları ise düşük olarak kalır.

Tablo 4 - 2 : Üç yollu katalizör kullanılması sonrası bir stokiyometrik doğal gaz motorunun emisyon değerleri

	HC	CO	NO_x	Zerre
g / kWsaat	0,4	0,4	0,9	< 0,02

Tablo 4 - 2 ' deki emisyon değerleri 1995 ve sonrası için Avrupa standartlarını sağlamaktadır.

Yukarıda incelediğimiz doğal gaz motorlarının avantajları şu şekilde sıralanabilir :

- Dizel yakıtının tamamen alterne edilmesi
- Oldukça düşük gaz emisyonları düzeyi
- Düşük gürültü düzeyi
- Daha az titreşim

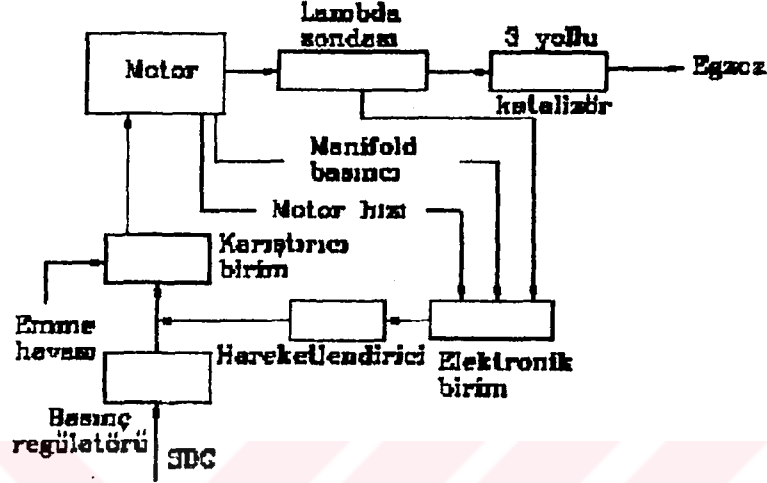
Bu motorların bazı olumsuz yönleri ise şunlardır :

- Motora yapılacak değişikliklerin zorluğu
- Stokiyometrik motorların en yüksek termal yüklerle göre optimize edilerek tasarlanması

4.4. Doğal Gaz Motorlarının Yakıt Sistemlerinin Geliştirilmesi

Günümüzde, dizel motorlarından dönüşümleri sağlanan motorların yakıt sistemlerinin geliştirilmesi, daha uygun hale getirilmesi çalışmaları önem kazanmaktadır. Bu çalışmalar eskiden daha çok araştırma kurumları, enstitüler, üniversitelerde yapılırken artık bu konularda piyasada önemli yer edinmiş bu motorların imal edildiği kuruluşlarda kurulan araştırma geliştirme bölümlerinin bünyesinde gerçekleştirilmektedir.

ayarlayan dijital lineer hareketlendiriciye kumanda etmektedir. Sistem öyle bir şekilde ayarlanmıştır ki her durumda zengin karışım oluşması sağlanır. Aynı karışıma daha sonra hava eklenerek zengin karışım daha fakir hale getirilir. Ekstra hava girişi ayarı dijital lineer bir hareketlendirici ile açık ve kapalı çevrimde gerçekleştirilmektedir. Sistemin blok diyagramı şekil 4 - 10 ' da görülmektedir.

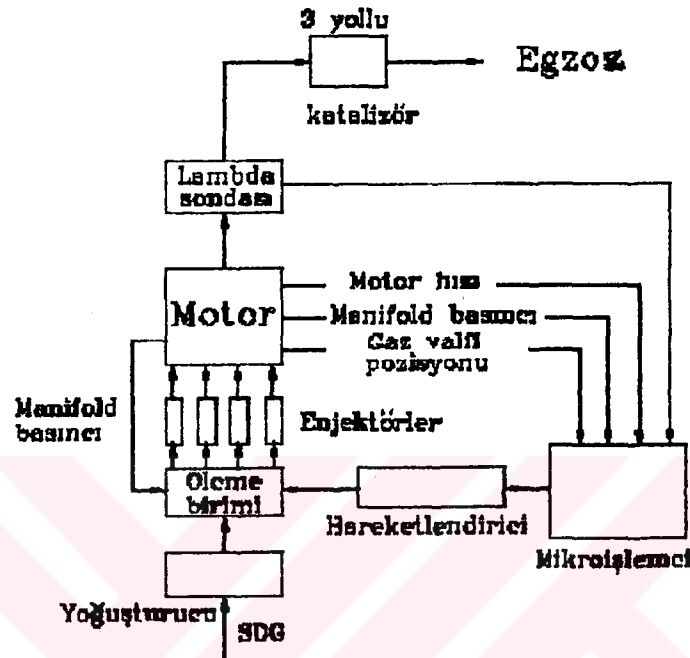


Şekil 4 - 10 : Mikroişlemci kontrollu sıkıştırılmış doğal gaz sistemi

4.4.1.1. Çok Noktadan Püskürtme Sistemi

Bu sistemin geliştirilmesindeki ana amaç düzensiz yanmanın olumsuz sonuçlarının önlenmesi olmuştur. Bu yeni püskürtme sistemi ilk safhada sıkıştırılmış petrol gazları için geliştirilmiş olup daha sonra sıkıştırılmış doğal gaza uygulanmıştır. Tüpten gelmekte olan sıkıştırılmış doğal gaz doğru bir aşırı basınçta iki kademeli bir regülatör ile kontrol edilir. Bir gaz ölçüm birimi her silindire aynı miktarda gazı ulaştırır. Gaz bir püskürtme borusu ve püskürtme valfi aracılığı ile her silindirin emme supapının tam ön kısmına püskürtülür. Gaz püskürtme sistemi mikroişlemci kumandalıdır. Performans, emisyon düzeylerini ve yakıt sarfiyatını gösteren sinyaller mikroişlemci tarafından ölçülür ve hareket konumuna dönüştürülürler. Mikroişlemci ilk olarak motor hızı sinyali ve emme manifoldu mutlak basıncına etki eder. Diğer parametreler de kumanda edilebilir : gaz kısma valfi konumu, lambda sondası ve emme havası sıcaklıkları, su ve yakıt miktarı. Mikroişlemci, gaz ölçüm birimi üzerine monte edilmiş olan dijital lineer hareketlendiriciye kumanda eder. Püskürtülen doğru yakıt miktarı her motor için kalibre edilir. Hareketlendirici, gaz kısma valfinin konumlarını veya sıcaklık ölçüm aletini temel alarak düzeltmeleri yapar. Düzeltmeleri ayrıca lambda sondasının sinyalleri ile de yapabilir. Çok noktadan gaz püskürtmeli

sistem, motorun tipi ve kullanılan katalizöre göre minimum emisyon düzeylerini sağlayan geliştirilmiş bir kumanda sisteminden meydana gelmiştir. Mikroişlemci içinde bir öğrenme sistemi yerleştirildiği için gaz püskürtme sistemi dışarıdan herhangi bir ayara gerek duymaz, bu ayarı mikroişlemci kendisi yapar. Sistemin blok diyagramı şekil 4 - 11 ' de gösterilmiştir.

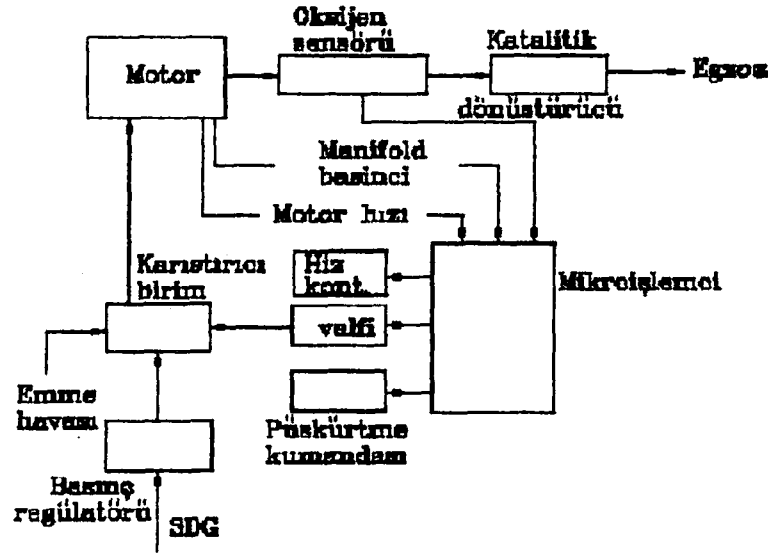


Şekil 4 - 11 : Çok noktadan doğal gaz püskürtmeli sistem

4.4.2. Ağır Taşıtlar

Ağır taşıtlar için Hollanda Deltec Fuel Systems firmasının geliştirmiş olduğu sistem ele alınacaktır. Bu da bir mikroişlemci kumandalı sıkıştırılmış doğal gaz sistemidir. Bu sistemin ana özelliklerini açık ve kapalı çevrim hava / yakıt oranı kumandası, tutuşma zamanı ayarı kumandası, boşta çalışma durumu düzenlenmesi, aşırı doldurma durumlarında wastegate kumandası gibi hususlar oluşturur. Mikroişlemciye gelen sinyaller emme manifoldu, motor hızı, gaz pedalı sensörü ve lambda veya oksijen sondasından gelmektedir. Mikroişlemci gaz karbüratöründeki ana gaz besleme selenoidlerine kumanda eder ; lambda kumanda valfi, boşta çalışma durumuna ve aşırı doldurma uygulandığı durumlarda da wastegate ' e kumanda etmektedir. Motor bir dizel motorundan sıkıştırılmış doğal gaz otto motoruna dönüştürüldüğü için bir tutuşturma sistemine ihtiyaç vardır. Bu tutuşturma sistemi de aynı mikroişlemci ile kumanda edilir. Bu mikroişlemci kendi başına teşhisler yapan çok fonksiyonlu bir motor bilgisayarı olarak izah edilebilir. Sensörleri, bağlantı

noktalarını, iç kısımda bulunan elektronik elemanları ve çalışma durumlarını göstermektedir. Bu sistemin blok diyagramı şekil 4 - 12 ' de gösterilmiştir.



Şekil 4 - 12 : Sıkıştırılmış doğal gaz motorlu ağır taşıtlar için mikroişlemci kumandalı sistem

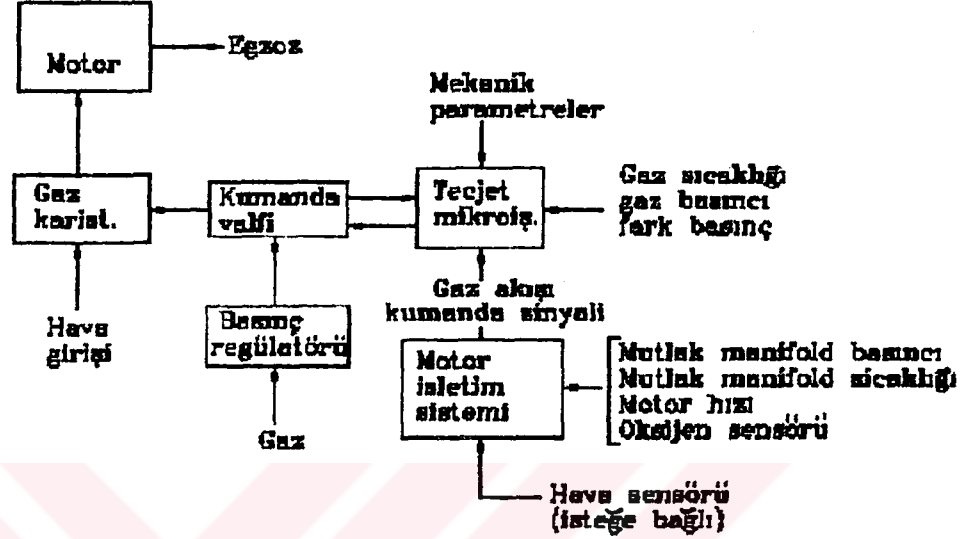
4.4.2.1. Ağır Taşıtlar İçin Tek Noktadan Gaz Yakıt Püskürtme Sistemi

A. B. D. ' de 1991 - 1998 arası için ağır taşıtlar için kabul edilen yeni egzoz emisyonu standartları ile temiz yanan yakıtların kullanılması gündeme gelmiştir. Bunun üzerine Hollanda Deltec Fuel Systems firması ağır taşıt doğal gaz motorları için mikroişlemci kumandalı tek noktadan gaz püskürtme sistemini geliştirdi. Bu sisteme Tecjet sistemi adı verilmiştir. Sistem bir mikroişlemci, elektronik kumandalı bir gaz valfi ve bir gaz hava karıştırıcısından meydana gelmiştir. Elektronik kumandalı gaz valfi doğrudan hava gaz karıştırıcısı üzerine monte edilmiştir.

Tecjet tek noktadan gaz püskürtme sistemi motorun var olan işletim sistemi ile beraber çalışır. Motorun işletim sistemi bir mikroişlemciden meydana gelmiştir. Mikroişlemci herhangi bir yük ve hız durumu için hava / yakıt oranını belirler ve buna göre istenen gaz akışına uygun olarak ayarlanmış bir çıkış sinyali yollar. Motor hızı, ateşleme sistemi ve aşırı doldurma uygulanması durumunda wastegate kumandası da bu mikroişlemci tarafından yapılmaktadır.

Tecjet gaz ölçme sistemi elektronik kumandalı birim, hareketlendirici ve sensörlerle birlikte gaz valfini içine almaktadır. Mikroişlemci motor işletiminden gelen

sinyali lineer bir hareketlendirici aracılığı ile gaz valfine kumanda eden çıkış sinyaline dönüştürür. Gaz valfi basınç regülatörü ve gaz hava karıştırıcısı arasında bulunan kuru gaz hortumu üzerine monte edilmiştir. Silindir kapasitesine göre gaz valflerinin boyutları değişmektedir.



Şekil 4 - 13 : Tek noktadan püskürtmeli sistem

Yakıtın stokiyometrik hava / yakıt oranı ve karışım akışı bilindiği zaman gaz akışının hava gaz karıştırıcısına debisi arzu edilen hava / yakıt oranında hesaplanabilir. Karışımın debisi motor hızı, piston konumu voltümetrik verim manifold mutlak basıncı ve karışım sıcaklığı cinsinden hesaplanır. Buna ek olarak hava / yakıt oranı yakıt kalitesi, karışım sıcaklığı ve gaz pedalı pozisyonu için düzeltilebilir. Bütün bu ayarlama ve hesaplar motor işletim sistemi tarafından yapılmaktadır. Bunlara ek olarak motor işletim sistemi ayrıca ateşleme sistemine ve aşırı doldurma durumunda da wastegate ' e kumanda eder.

Yukarıda açıklanan açık çevrim kumandasına ek olarak sistem kapalı çevrim ile de çalışabilir. Bu durumda gaz valfine gelen çıkış sinyali istenen hava / yakıt oranını sağlamak için bir oksijen sondası ile sürekli olarak düzeltilmektedir.

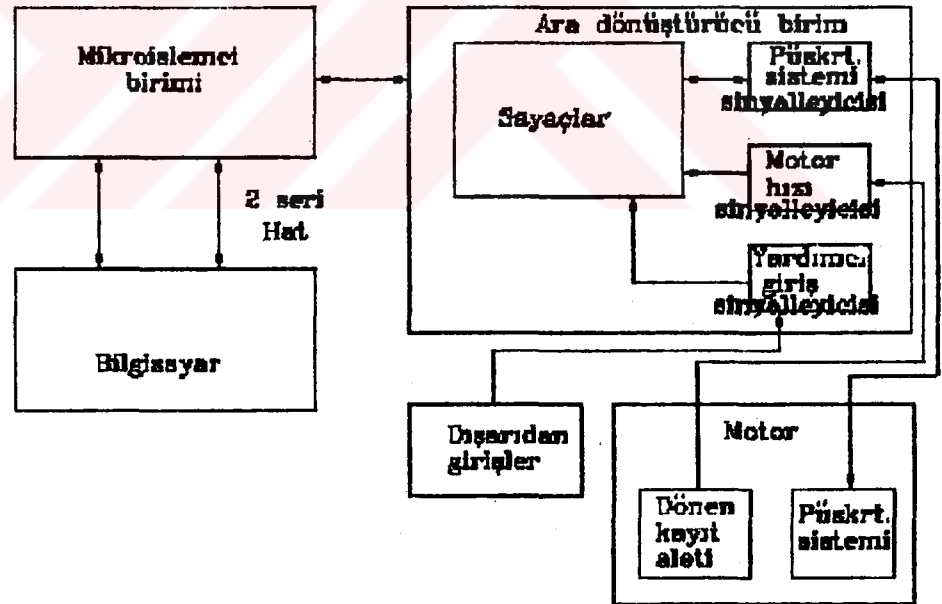
Tek noktadan püskürtmeli sistemin en önemli özellikleri şöyle sıralanabilir :

- Sistem, yüksek basınçlarda çalışır bu yüzden basınç regülatörünün toleranslarına daha az hassastır.

- Sistemin yüksek basınçlarla çalışması nedeni ile hava gaz karıştırıcısının zaten düşük olan mukavemeti daha da düşebilir.
- Sistem, aşırı doldurma uygulanması durumunda türbo doldurucunun giriş veya çıkışında da kullanılabilir.
- Ölçüm ve hesap sonucu bulunan değerlerin farkı kapalı çevrim kullanarak giderilebilir.

4.5. Ateşleme Avansının Bilgisayarla Ayarı

Ateşleme avansının bulunması işlemlerinde bilgisayar destekli bir deney tertibatından yararlanılmaktadır. Deneyin blok diyagramı şekil 4 - 14 ' te gösterilmiştir. Sistem bir mikroişlemci, motorun çeşitli devirlerinin ölçülmesi için bir sayaç çipi, mikroişlemciye ve mikroişlemciden dışarı bilgi alış verişinin sağlanması için iki tane programlanabilir dönüştürücü çip, bilgi depolanması için ve sistemin iç parametrelerinin ayarlanması için bir bilgisayar ve bu bilgisayarın sisteme bağlantısı için iki seri porttan meydana gelmektedir [4].



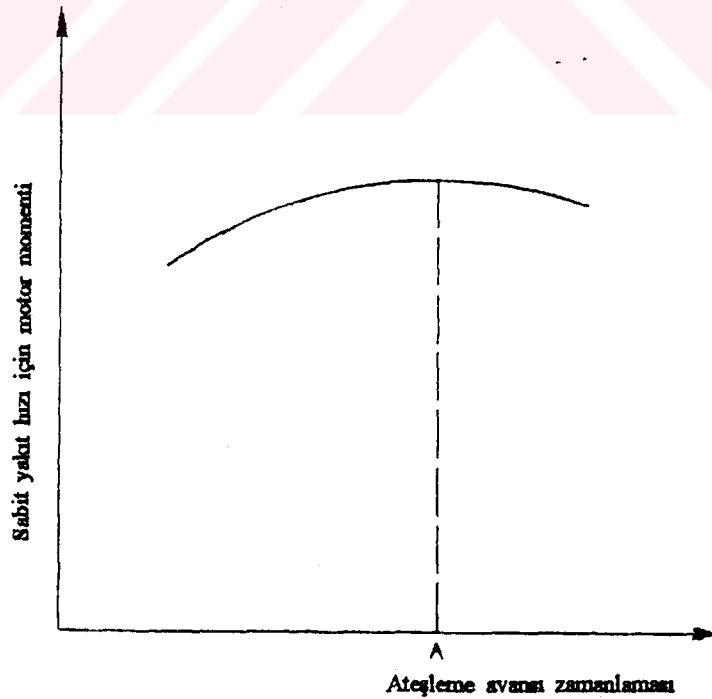
Şekil 4 - 14 : Otomatik avans ayarı sistemi blok diyagramı

Dönüştürücü birim mikroişlemciye motordan gelen sinyalleri dönüştürür. Ayrıca mikroişlemciden dijital zamanlama değerini alır ve avans zamanlamasını istenen değere doğrudan ayarlar veya dijital değeri, ateşleme sisteminde arzulanan

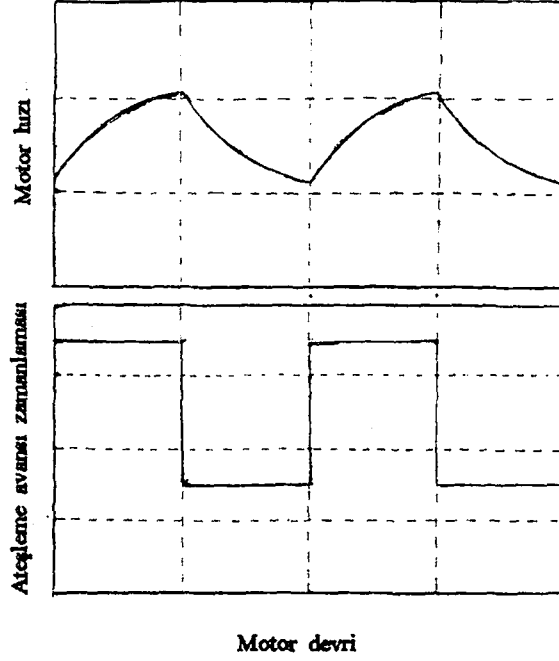
Şekil 4 - 15 kullanılan bilgisayar programının akış diyagramını göstermektedir. Program, değişkenlerin ve dönüştürücü çiplerin sıfırlanması ile başlar. Her hesaplama çevrimi motorun belli dönüş sayısına karşılık gelen 4 kısımdan oluşur. Mikroişlemci her kısım için zamanı belirler ve bu zamanlardan bir hata hesaplar. Bu hata temel alınarak zamanlamaya düzeltme yapılır ve çevrim tekrarlanır.

Bilgisayarın monitöründen istenen değişiklikler girilerek olaya müdahale edilebilir ve bu durumda sistem parametreleri ve değişkenleri bu yeni durum göz önüne alınarak düzenlenir. Program sonra tekrar kontrol moduna geçer.

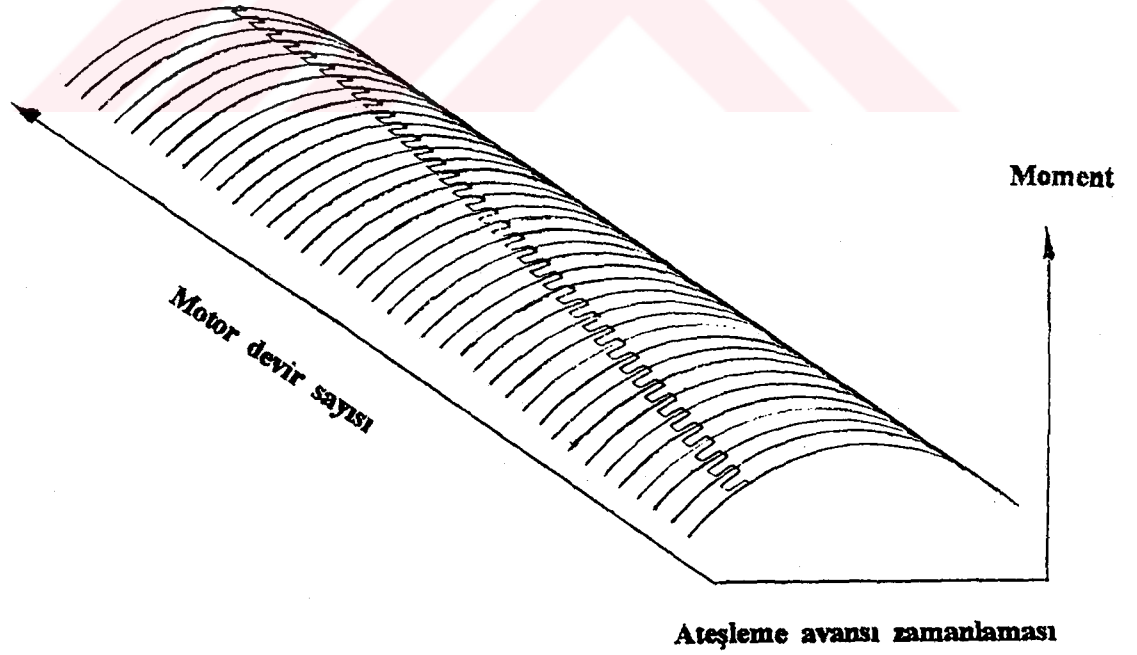
Şekil 4 - 16 sabit hız, sabit manifold basıncı ve sabit hava / yakıt oranında çalışan motorun momentini ateşleme avansının fonksiyonu olarak göstermektedir. Şekil 4 - 17 de sabit yükte motor hızının, ateşleme avansının çeşitli değerlerine cevabını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi avans artırıldıkça motor hızlanıyor ve avans azaltıldıkça da yavaşlıyor. Mikroişlemci bu esnada doğru zamanlamayı bulana kadar avansı düzeltir. Bu düzeltmeler hızda değişimler olmayana kadar uygulanmaya devam eder. Elde edilen optimum değer etrafında avansın son değeri belirlenir, bu olay şekil 4 - 18 'de gösterilmiştir. Buradan avansın maksimum momente denk gelen değere doğru gittiği görülmektedir. Sabit yakıt hızında sonuç olarak bulunan avans zamanı en iyi verimi sağlar.



Şekil 4 - 16: Sabit yakıt hızında taşıtın momentinin ateşleme avansı-na göre değişimi. A noktası maksimum fren momentini gösterir ve maksimum verim noktasıdır.



Şekil 4 - 17: Motor hızının ve ateşleme zamanlamasının motor hızlarının fonksiyonu olarak diyagramı



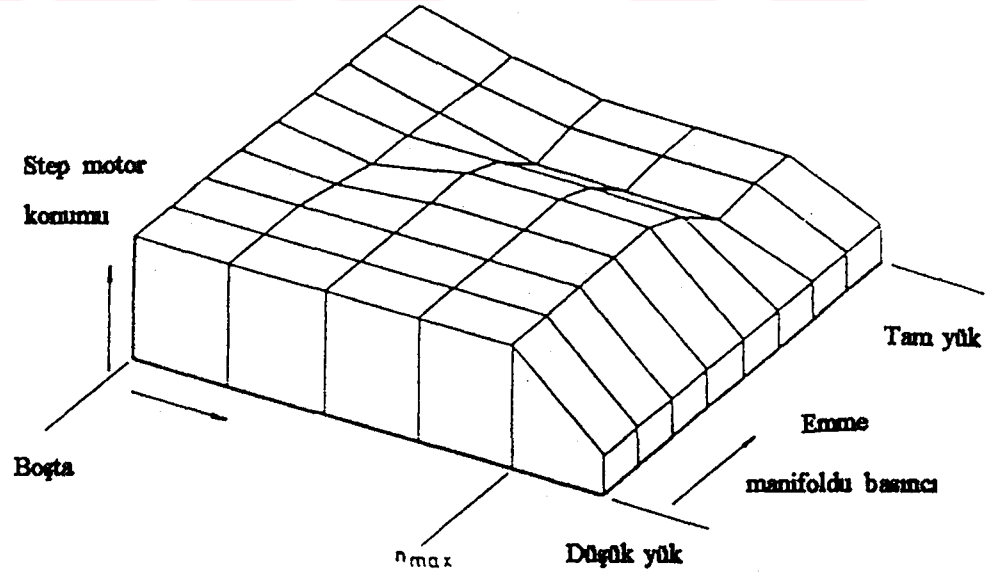
Şekil 4 - 18: Maksimum moment elde edilene kadar avans zamanlamasının mikroişlemcili kumanda sistemi ile değişim şeması

4.6. Belediye Otobüsleri Örneği

Dizel motorlarının doğal gaz motorlarına dönüştürülmesi işlemleri daha önceden de bahsedildiği gibi başta emisyon düzeylerinin çok iyi olması nedeniyle yapılmaktadır. Nitekim dünyada birçok büyük şehirlerin önemli sorunu olan hava kirliliğinin bir parça azaltılması amacı ile uygulanması başlamıştır. İlk olarak da belediye otobüslerinde denenmiştir. Ülkemizde de bu günlerde Ankara ve İstanbul belediye otobüslerinde bu tip araçların yerleştirilmesi için belediye üniversite ortak çalışmaları yapılmaya devam edilmektedir. Burada kullanılmakta olan doğal gaz elemanları şunlardır [12] :

- Bir gaz karbüratörü ve gaz kısma valfi
- Bir gaz basıncı regülatörü
- Elektronik olarak kumanda edilen bir gaz hattı azaltma elemanı (Step motor)
- Boşta çalışma regülatörü
- Bir yanma sistemi
- Bir elektronik kumanda modülü
- Sıcaklık ve manifold hava basıncı sensörü

Gaz hattı azaltma elemanı olarak kullanılan step motorun konumları elektronik kumanda modülü içinde programlıdır.



Şekil 4 - 19 : Hızın ve emme manifoldu basıncının fonksiyonu olarak step motorunun konumu

BÖLÜM 5. DÖNÜŞÜME ETKİLER

Elde bulunan bir dizel motorunun doğal gaz motoruna dönüştürülmesi için iyi bir etüt yapılması gereklidir. Bu etüt konu ile ilgili her türlü detayları içermeli böylece istenen özelliklere sahip motorun oluşturulması hem zaman bakımından hem de maddi bakımdan daha olumlu bir şekilde gerçekleşecektir. Çeşitli durumlar için ortaya çıkan etkiler bu etütün içinde göz önüne alınmalıdır. Bu etkiler dönüşüm masrafları, sistemin yaygınlaşması faktörleri, teknolojik faktörler ve çevre faktörleri olarak sıralanabilir.

Yapılacak dönüşüm sadece istenen egzoz emisyonu değerlerinin yakalanması ile kalmayıp ayrıca motorun belli bir gücü motorun ön görülen ömründen önemli derecede azalmalar göstermeden sağlanması, yüksek bir verim ile çalışması ve dönüşümün daha ekonomik olması için mümkün olduğunca dizel motorundan farklı olarak kullanılacak elemanların sayısının az olmasına da çalışılmalıdır.

5.1. Dönüşüm Masrafları

Bir dizel motoru doğrudan doğal gaz ile çalışamayacağından motora gerekli değişiklikler uygulanarak doğal gazı yakıt olarak kullanabilecek hale yani bir doğal gaz motoruna dönüştürülür. Tabii bu durumda motorda yapılan değişiklikler nedeni ile doğal olarak belli bir miktarda masraflar ortaya çıkar. Bu masraflar, bütün dönüşüm süreci göz önüne alınarak ve detaylı olarak ele alınırsa genel olarak şu şekilde sıralanabilir :

- Etüt, proje masrafları
- İşçilik masrafları
- Taşıta yapılması gereken değişiklik masrafları
- Hurda masrafları
- Arıza durumunda yeni parça masrafları
- Gerekli parçaların başka bölgelerden, yurt dışından getirilmesi masrafları
- Dönüşüm sonunda bakım masrafları

- Dönüşüm sonu teknik eleman yetiştirme masrafları
- Doğal gaz motorlarının yaygınlaşması için gerekli reklâm masrafları

Görüldüğü gibi motorların dönüşümü etraflıca incelendiği zaman bu işin oldukça zor olduğu ve çok özenli bir çalışma gerektirdiği ortaya çıkar. Bu etkenler toplam olarak göz önüne alınıp bu işten sonuçta gerek maddi gerekse çevre, enerji bakımından belli faydalar sağlandığı görüldüğü takdirde bu motor dönüşüm yönteminin uygulanması her bakımdan daha faydalı olacaktır. Bazı durumlarda ayrıca varolan olumsuz etkenler de azaltılmaya çalışarak optimum durumlara ulaşılmalıdır.

Dönüşüm sırasında motorda meydana gelen değişiklikler sonucu ortaya çıkan parçalar başka motorlarda yedek parça olarak değerlendirilirse yapılan masraflardan bir miktar da olsa tasarruf edileceği açıktır. Şüphesiz yöntem yerleştirilinceye kadarki masraflar yöntem tamamen biçimlendikten sonra yapılacak motor değişimlerindekilerden daha az olacaktır. Başarılı bir şekilde gerçekleştirilen yöntemin seri dönüşümlerde kullanılması zaman içinde mutlaka masrafları amortise edecektir.

Dizel motorunun doğal gaz motoruna dönüşüm maliyetleri yukarıda açıklanan etmenler göz önüne alınarak şu şekilde formüle edilebilir :

$$M_{top} = \frac{i(M_k + M_i)}{g} + H + O + L + K + YS + AS + M + T - D \quad (5.1)$$

Bu formülde :

M_{top} : Toplam dönüşüm masrafları

i : Çalışan kişi sayısı

M_k : Konstrüktör aylık maaşı

M_i : İşçi aylık maaşı

g : Çalışılan gün sayısı

H : Hata ve hurda masrafları

O : Oksijen sondası

L : Lambda sondası

K : Katalizör

YS : Yakıt sistemi maliyeti

AS : Ateşleme sistemi maliyeti

M : Mikroislemci fiyatı

- T : Depolama tüpü maliyeti
 D : Değiştirilen dizel parçaları masrafları

olarak ele alınmıştır.

5.2. Sistemin Yaygınlaşması

Doğal gazlı motorların yaygınlaşması önce bunların fiyatlarının uygunluğu, yakıt fiyatının uygunluğu ve yakıt sarfiyatı sonra da çevre şartlarına uygunlukları ile doğru orantılı olacaktır. Tabii bu durum sistemin ve yakıtın fiyatının önem kazanmasına neden olmaktadır.

Sistemi oluşturan elektronik kumandalı yakıt sistemi fiyatlarının pahalı olması sistemin dolayısı ile bu tip motorlu taşıtların da pahalı olmalarına neden olur. Doğal gaz fiyatlarının ise diğer yakıtlara göre daha uygun olması olumlu bir etmen olur. Yakıt sarfiyatların ise aynı ağırlıklı olmak üzere diğer tip motorlu taşıtlara göre daha düşük olması bir başka olumlu etmen olmaktadır.

Doğal gaz motorlu taşıtların yaygınlaşmasını bir bakıma da bu tip taşıtların devletçe de desteklenmesi yani vergilerinin diğerlerine oranla da daha düşük olması büyük bir ölçüde etkiler. Nitekim bu durumlar günümüzde birçok Avrupa ülkesinde görülmektedir.

5.3. Teknolojik Faktörler

Doğal gaz motorları her bakımdan kullanıcı için uygun olsa bile, dönüşümde bir de bu tip motorların diğer enerji kaynaklı motorlarla aynı performansları verip veremeyeceği sorusu akla gelebilir. Eğer dönüşüm sonucunda elde edilen performanslar diğer durumdakilerden daha kötüyse dönüşümün bir şey kazandırmadığı açıktır. Bu performansları şu şekilde sıralayabiliriz :

- Güç ve verim
- Hız
- Egzoz ve gürültü emisyonları
- Bakım kolaylığı
- Uygulanabilirliği

Aynı emisyon miktarlarında bir doğal gaz motorundan yaklaşık olarak aynı dizel motoru gücü alınmaktadır. Doğal gaz motorunun istenen gücü motoru yıpratmayacak, ömrünü ön görülen sürenin oldukça altına indirmeyecek şekilde gerçekleştirilmelidir. Şehir otobüslerindeki ölçümlere göre doğal gaz motorlarının verimleri dizel motorlara göre daha düşük bulunmuştur. Tam yükte pek fark olmamakla birlikte fark kısmi yükte ortaya çıkmaktadır.

Doğal gaz motorları yakıt depolarının oldukça yer işgal etmesi ve ağır olması nedeni ile aynı güçteki dizel motorlarına göre daha yavaş olmaktadır. Doğal gaz motorlarının dizel motorlarından dönüştürülmesi söz konusu olduğu için bu tip motorlar için de dönüşümü yapılan dizel motorlu taşıtın aktarma organları kullanılacaktır. Bu durumda taşıtın hızı en fazla dizel motorlu halindeki ile sınırlı olur. Yavaşlık sorunu hava yakıt karışımının zenginleştirilmesi ile çözülebilir. Bir başka yöntem de motor gücünü değiştirmeden aktarma organlarında yapılacak değişiklikler ile olur.

Egzoz emisyonlarının iyi oluşu ve gürültüsüz olarak çalışmaları doğal gaz motorları için bir avantaj olmaktadır. Fakat bu arada hızın artırılması durumunda NO_x emisyonlarının artacağı göz önüne alınıp optimum değerler elde edilmeye çalışılmalıdır. Üç yollu katalizör kullanımı egzoz emisyon düzeylerini iyileştirici bir etken olacaktır.

Doğal gaz motorlarının bakımı için çok değişik ve pahalı cihazların kullanılmalarına rağmen kolay olması uygun durum teşkil eder.

Bu motorların uygulanabilirlikleri ise, bunların çağın otomotiv gelişmelerini içine alabilecekleri, onlara uyum sağlayabilecekleri durumlarda, hedeflenen performansların gerçekleşmeleri durumlarında ve en önemlisi de iyi bir şekilde halkın bunlar hakkında bilgilendirilmesi ile yaygınlık kazanacaktır.

5.4. Çevre Faktörleri

Çevre denince içinde yaşadığımız ortam aklımıza gelir. Doğal gaz motorlarının bu ortama etkileri egzoz ve gürültü emisyonları ve bu tip motorlu taşıtların hareketleri esnasındaki etkileri olarak incelenir. Bölüm 3.3 ' de detaylı olarak görüldüğü gibi doğal gaz motorlarının egzoz emisyonları diğer tip motorlara göre çok daha iyidir.

Ayrıca bu motorların gürültüsüz olarak çalışmaları nedeni ile günümüzün çok önemli iki sorunu olan hava kirliliği ve gürültüye bir nebze de olsa çare getirmektedir.

Çevre faktörlerinin içinde ayrıca taşıtların yollara verdikleri zararlar da düşünülmelidir. Doğal gaz motorlu taşıtların yakıt depolarının ağırlıkları nedeni ile diğer tip taşıtlara göre daha ağır olmaktadır. Taşıtların ağırlıkları arttıkça da yollara verdikleri zararlar daha fazla olmaktadır. Bu durumda doğal gaz motorlu taşıtlar bir dezavantaj sunmaktadır. İşte bu dezavantajın ortadan kaldırılması için çalışmalar yapılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen hususların tamamının aynı anda kusursuz olarak sağlanması elbette mümkün olmaz. Bunlardan önemi en fazla olanların iyi bir şekilde sağlanıp diğerlerinden de biraz fedakârlıklar edip optimum dönüşümlerin yapılması başarılabılır.



BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğal gaz motorlarının amaçları şu şekilde sıralanabilir :

- Azalan mevcut enerji kaynaklarına alternatif çareler
- En önemli çevre sorunu egzoz ve gürültü emisyonlarının azaltılması
- Daha ekonomik fakat iyi performanslı taşıtlar

Doğal gaz motorlarının konstrüksiyonları en baştan yapılmayıp mevcut motorların doğal gazla çalıştırılması için dönüşümlerinin yapılması yoluna gidilmektedir. Bunun nedeni, doğal gaz motorlarının piyasasının henüz yeni oluşu ve imalatçıların ekonomik olarak riske girmek istememeleridir. Dönüşüm yapılacak motorlar olarak dizel motorları seçilmiştir. Bunun nedeni ise yüksek verimli ve güçlü olması istenmektedir. Bu istekler de dizel motorlarının tarifine uymaktadır ve dönüşüm yapılması ile de bu değerlere veya bu değerlere yakın değerlere ulaşmak mümkün olmaktadır. Yapılan dönüşümlerin tek yakıtlı motorlar olması, bu performansların sağlanması bakımından çift yakıtlı motorlara göre daha iyidir ve dönüşüm de daha az komplike olur. Dizel motorları bir kere tek yakıtlı doğal gaz motorlarına dönüştürüldüklerinde tekrar dizele dönüş çok zor olmaktadır.

Doğal gaz motorlarının yakıtının depolanması çok önemli bir sorun teşkil etmektedir. Yapılan hesaba göre aynı enerji miktarını sağlayacak doğal gaz miktarının yaklaşık olarak dizel yakıtının 4 misli olduğu görülmüştür. Bu nedenle doğal gazın depolanmasında gazın sıkıştırılması veya çok düşük sıcaklıklar ve yüksek basınçlar altında sıvılaştırılıp dolayısı ile hacminin azaltılması ile depolanması yöntemi uygulanmalıdır.

Doğal gaz taşıt üzerinde silindirik şekilli tüpler içinde depolanmaktadır çünkü silindirik depoların mukavemetleri bu bakımdan diğer tiplere göre daha iyi olmaktadır. Tüpler üzerinde yapılan çalışmalar ile doğal gazın sıfırın altında çok düşük sıcaklıklar ve yüksek basınçlarda saklanabildiği kriyojenik tanklar geliştirilmiştir. Daha sonra da tüpten doğal gazın motora yollarında sıvı gazın faz değiştirerek gaz haline geçmesi için gerekli enerjinin motorun egzoz gazlarından sağlandığı ve kriyojenik tanklara göre

daha basit konstrüksiyonlu yankriyojenik tanklar geliştirilmiştir. Yankriyojenik tanklardan gaz basınçlı olarak gönderildiği için hava yakıt karışımı daha iyi olur bunun sonucunda da daha iyi bir yanma sağlanır dolayısı ile motorun verimi de artmış olur. Fakat burada elde edilen motor ateşleme avansının değeri o anda kullanılan doğal gazın bileşimine göre olmaktadır. Doğal gazın elde edildiği yere göre bileşiminin de farklı olması nedeni ile yakıt ikmali yapıldıkça bu değerlerde oynamalar olması kaçınılmazdır.

Yankriyojenik tankların izolasyonunda kullanılan Trymer 9501 ve cam köpüğü malzemelerinden cam köpüğünün daha iyi bir yangın ve basma mukavemeti olması ayrıca fiyat olarak da aralarında fazla fark olmaması nedeni ile cam köpüğü izolasyon için daha uygun olmaktadır.

Doğal gaz motorlarının emisyon düzeyleri diğer tip motorlara göre çok daha iyi düzeylerde dir. Kükürt ve aldehitlerin olmayışı nedeni ile kokusuzdur. Kullanılacak üç yollu katalizör ve bir lambda sondası ile bağlantılı bir mikroişlemci ile oluşturulacak bir kapalı çevrim sayesinde yapılan sürekli kontrol, egzoz emisyonlarının çok az seviyelere indirilmesini mümkün hale getirecektir. Doğal gaz motorlarının ayrıca gürültüsüz ve daha az titreşimli olarak çalışmaları da sürüş rahatlığını artırır. Doğal gaz motorlarına, günümüzün hava kirliliği ve gürültü problemi yaşantısına bir ilaç olarak bakılabilir.

Hızlarının, türetildikleri dizel motorlarına göre az olması problemi ise hava / yakıt oranının NO_x emisyonlarını arttırmayacak optimum şekilde artırılarak veya daha yüksek çevrim oranlı aktarma organlarının kullanılması yöntemi ile çözülebilir.

Doğal gaz motorlarının yakıt olarak doğal gazı kullanmaları nedeniyle artık dizel motoru ateşleme sistemi, yakıt sistemi, yanma sistemi, egzoz sistemi kullanılmaz. Yeni motor için doğal gaza uygun sistemlerin yerleştirilmesi gerekir. Bu durumda mikroişlemci kontrollü çeşitli sistemler kapalı çevrim ile dışarıdan bir müdahale olmaksızın optimum şartlar sağlanarak çalışmaktadır. Doğal gaz motorlarının ateşleme avansları da bilgisayar ve mikroişlemci kontrollü olarak bir kapalı çevrim ile ayarlanıp, elde edilen değere motorun maksimum momenti gelmektedir. Böylece motorun verimi de artmış olur.

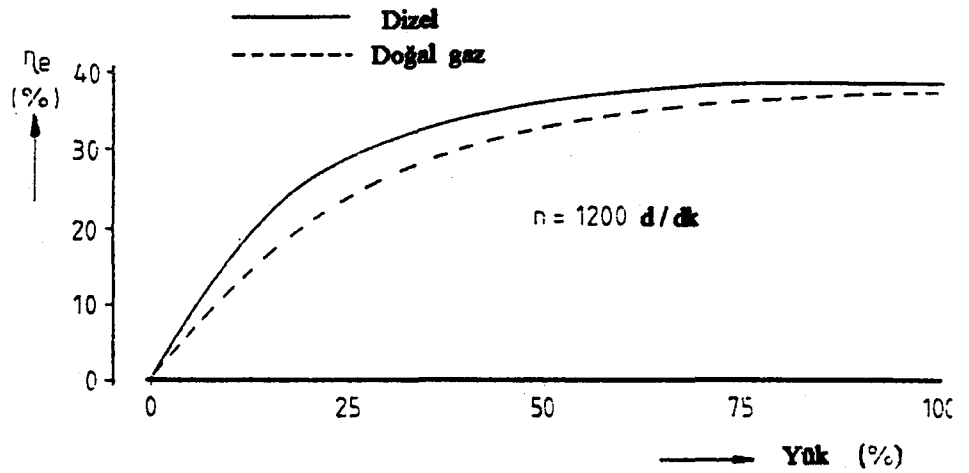
Doğal gazın kendi kendine tutuşma sıcaklığı dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu için dizel motorundaki sıkıştırılmalı ateşleme sisteminin kullanılması ancak

sıkıştırma oranının çok büyük değerlere çıkarılması ile mümkün olur o zaman da NO_x emisyonları artmaktadır. Bu yüzden tutuşturma bujiler ile yapılır. Doğal gazın alev hızı yavaş olduğu için motorun yanmayı düzgün gerçekleştirmesi ve vuruntusuz çalışması birden çok buji kullanılması ile sağlanabilir.

Kullanılan yakıtın hava fazlalık katsayısına göre fakir karışımlı ve stokiyometrik motorlar söz konusu olur. Fakir karışımlı motorların yanmalarının iyi olması için ön yanma odalı yapılmalıdır. Bu şekilde bu motorların verimleri çok iyi düzeylere çıkar. Stokiyometrik motorların en önemli avantajları, üç yollu katalizör kullanılması ile en düşük egzoz emisyonlarının yakalanmasıdır.

Dizel motorlarının dönüşümlerine dönüşüm masrafları, dizel motorlarının yaygınlaşması, motorun performanslarını belirleyen teknolojik faktörler ve çevre faktörleri etkimektedir. Bu faktörlerin optimum olarak gerçekleştirilmeleri dönüşümün başarısını sağlarken ve doğal gaz motorlarının yaygınlaşması da sağlanacaktır.

Bir dizel motorunun tamamen bir doğal gaz motoruna dönüştürülmesi bugün için yaklaşık olarak 1700 Dolar ' a mal olmaktadır. Başlangıçta bu değerin fazla olduğu düşünülse de zamanla kendi kendini amortise edecektir. Dizel motorlarının yaygınlaşmaları ise bu motorlarının faydalarının halka tanıtılması ve gerekli doğal gazın motora depolanması işlemlerinin yakıt istasyonlarının sayısının artırılması ile mümkün olacaktır.



Şekil 6 - 1 : Doğal gaz motorları ve dizel motorlarının verimlerinin karşılaştırılması

Doğal gaz motorlarının performanslarının dönüştürmeleri yapılmakta olan dizel motorlarının performanslarına eşit en azından aşağı yukarı bu değerlere ulaşması istenir. Performanslar deyince hız, güç, yakıt sarfiyatı, emisyon düzeyleri ve verim akla gelir. Yukarıda bahsedildiği gibi doğal gaz motorlarının hız, güç ve verimleri gerekli konstrüksiyonların uygun şekillerde yapılması ile dizel motorlarının değerlerine ulaşmaktadır. Gerek egzoz emisyonları gerek gürültü emisyonları bakımından doğal gaz motorları benzin ve dizel motorlarına göre çok daha iyi seviyededirler. Doğal gaz motorlarının yakıt sarfiyatı da, doğal gazın benzin ve dizel motoru yakıtından ucuz olması nedeni ile daha ekonomik olmaktadır.

Genel olarak doğal gaz motorları ile dizel motorlarına göre yakıt sarfiyatı masrafından % 40 kadar tasarruf edilmektedir bu durumda doğal gaz motorları dizel motorlarına göre yakıt masrafları bakımından daha ekonomik olmaktadır.

Yukarıda avantajları sıralanan doğal gaz motorlarının bundan sonra da geliştirme çalışmalarının devam etmesi ile avantajlarına yenileri eklenebilir. Doğal gaz motorlarının önemli iki sorunu depolama hacminin ve ağırlığının büyük oluşu dolayısı ile de taşıtın ağırlığının artması ve bunun neden olduğu hız problemi ele alınıp çözümler getirilmeli. Ayrıca günümüzün önemli sorunu olan emisyonlara da daha iyi çözümler bulmak için ya da sıfır emisyonlu alternatif motorların, örnek olarak elektrikli taşıt motorlarının geliştirilmesi çalışmaları artırılmalıdır. Bu şekilde, yapılan çalışmaların insanlık için çok önemli faydalar getireceği unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] MAN KATALOĞU, Doğal Gaz Motorları, 1992.
- [2] INDUSTRIE FRANÇAIS DU PETROLE, Le Rapport Annuel de L' Union Française des Industries Pétrolières, Paris 1992.
- [3] BÜYÜK LAROUSSE, Doğal Gaz, 7. Cilt, 1986.
- [4] KITTELSON D. B., PIPHO M. J. and FRANKLIN M. L., Dynamic Optimization of Spark Advance and Air-Fuel Ratio for a Natural Gas Engine, Dept. of Mechanical Engrg., University of Minnesota.
- [5] CHARLTON S. J., JAGER D. J., WILSON M., Computer Modelling and Experimental Investigation of a Lean Burn Natural Gas Engine, University of Bath, U.K.
- [6] DAĞSÖZ A. K., Doğal Gaz Ders Notları, İ.T.Ü., 1991.
- [7] ERGENEMAN M., SORUŞBAY C., Doğal Gazın İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı, Doğal Gaz Dergisi, Şubat 1990.
- [8] KREPEC T., MIELE D. and SUDANO A., Preliminary Concept of Semicryogenic Tank for Storage and Direct Injection of Natural Gas in Internal Combustion Engines, Concordio Univ., Montréal.
- [9] VAN DER WEIDE J., SEPPEN J.J., RIJKEBOER R. C., HOLLEMANS B., Alternative Fuels in the Netherlands Background, Demonstrations, New Developpements, 12. VDI / VW Symposium Aspects of Alternative Energies for Vehicle Drive, Wolfsburg 1992.

- [10] ASS. TECH. DE L' IND. DU GAZ EN FRANCE, Moteurs et Turbines à Gaz, Collection des Techniques Gazières, Paris.

- [11] VAN DER WEIDE J., TER RELE R. , Developpement of Light and Heavy Duty Engine Technologie for CNG and LPG, The European Conference on New Fuels and Clean Air, Anrwerp, 1991.

- [12] VAN LING J., CNG Engines for Urban Bus Application and Their Impact on the Environment, Conference Natural Gaz and Public Transport, Ravenna 1992.



ÖZGEÇMİŞ

Fuat PANCAR, 1969 yılında İstanbul ' da doğdu. Orta öğrenimini Saint Benoît Fransız Lisesi ' nde 1988 yılında tamamladıktan sonra aynı yıl İ.T.Ü. Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü ' ne girdi. 1992 yılının Temmuz ayında lisans öğrenimini , otomotiv bölümünden mezun olarak tamamladı. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Anabilim Dalı Otomotiv Programı ' nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen, Bursa ' da bulunan Valeo Debriyaj Fabrikası AR-GE bölümünde makina mühendisi olarak çalışmaktadır.

Y.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİZASYON MERKEZİ