

65627

**BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN
DOĞAL GAZLIYA DÖNÜŞÜMÜNÜN
PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

Ahmet KESKİN

Dumlupınar Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Makina Eğitimi Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Doç. Dr. Selim ÇETİNKAYA

Şubat 1997

Ahmet KESKİN' in YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırladığı " Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Doğal Gazlıya Dönüşümünün Performansve Emisyonlara Etkisi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

.06/ .5/1997

Üye : Prof. Dr. Mustafa BAKLI...

İMZA

Üye : Doç. Dr. Selim ÇETİNKAYA

İMZA

Üye : Doç. Dr. Duran ALTI PARMAK

İMZA

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 30/05/1997 gün ve
...07...sayılı kararıyla onaylanmıştır.

İMZA
Doç. Dr. ...
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN
DOĞAL GAZLIYA DÖNÜŞÜMÜNÜN
PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

**DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÖZET

Bu çalışmada, buji ile ateşlemeli bir benzin motorunun doğal gazlıya dönüşümünün performans ve emisyonlara etkisi araştırılmıştır. Doğal gaza dönüşüm için, regülatör, gaz karıştırıcı ve yüksek basınca dayanıklı doğal gaz tüpü kullanılmış, doğal gazın oktan sayısının yüksek olmasından dolayı, motorun termik verimini artırmak düşüncesiyle, konstrüksiyonunun müsaade ettiği ölçülerde, silindir kapağı taşlanarak, sıkıştırma oranı artırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, doğal gazla çalışmanın performans değerlerinde benzine göre azalma, emisyon değerlerinde ise, özellikle HC ve CO gibi zararlı emisyonlarda olmak üzere, önemli ölçüde azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, özgül enerji maliyetinin düşük olması, doğal gazın benzine göre oldukça ekonomik olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Buji ile ateşlemeli motor, doğal gaz, sıkıştırılmış doğal gaz, doğal gaz yakıtlı motor.

THE EFFECT OF USING NATURAL GAS FUEL ON THE PERFORMANCE AND
EMISSIONS OF THE SPARK IGNITED PETROL ENGINE

(M. Sc. Thesis)

Ahmet KESKİN

DUMLUPINAR UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

SUMMARY

In this study, the effect of using natural gas fuel on the performance and the emissions of the modified spark ignited petrol engine was investigated. Natural gas pressure regulator, gas mixer and gas tube were used for modification. To use the advantage of the high octane number of the natural gas fuel to increase the thermic efficiency of the engine, its compression ratio has increased by grinding the cylinder head within the allowed limits. As results, the values of the efficiency with natural gas was less than with gasoline. Also, considerable amount of decrease on the harmful emission values, especially HC and CO values was recorded. Nevertheless, the decrease of the cost of the specific energy is shown that as a fuel, natural gas is rather economical than gasoline.

Key words: Spark ignited petrol engine, natural gas, compressed natural gas, natural gas engine.

TEŞEKKÜR

Bu alıőmamı gerekleőtirirken değerli tavsiye ve bilgilerinden istifade ettiğim tez danıőmanım Sayın Do.Dr. Selim ÇETİNKAYA' ya teőekkürlerimi sunarım.

Aynı zamanda bu çalıőmamda Otomotiv Laboratuarlarından istifade etmeme izin veren Gazi Üniöersitesi Teknik Eğitim Faköltesi yetkililerine, çalıőmalarımda kullandığım doğal gaza dönüşüm kitinin temininde yardımlarını esirgemeyen BOTAŞ yetkililerine, özelliöle Baő müőavir Ali Yaőar HAFİZ Bey'e, çalıőmalarım esnasında her zaman yardımlarına baővurduęum Gazi Üniöersitesi Teknik Eğitim Faköltesi Makina Eğitimi Bölümü Otomotiv A.B.D. öğretim elemanlarına desteklerini esirgemeyen mesai arkadaőlarım ve emei geçen herkese teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Doğal Gazın Taşıtlarda Kullanımının Avantajları.....	2
1.1.1. Temizlik	2
1.1.2. Emniyet.....	2
1.1.3. Ekonomi	2
1.1.4. Bolluk	3
1.2. Doğal Gazın Tanımı	3
1.3. Dünya Doğal Gaz Rezervleri	4
1.4. Türkiye' nin Doğal Gaz Rezervi ve Doğal Gaz İthalatı	5
1.5. Doğal Gazın Sınıflandırılması	6
1.5.1. Sıvılaştırılmış doğal gaz	6
1.5.2. Sıkıştırılmış doğal gaz.....	7
1.6. Doğal Gazın Ölçümü	7
1.7. Doğal Gazın Özellikleri	7
1.7.1. Fiziksel özellikleri	7
1.7.2. Kimyasal özellikleri	9
1.7.3. Termodinamik özellikleri.....	11
1.8. Yanma ve Doğal Gazın Yanma Denklemi	12
1.9. Doğal Gaz Yakıt Sistemleri	14

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
1.9.1. Fakir karışimli doğal gaz motoru	15
1.9.2. Stokiyometrik karışimli doğal gaz motoru	16
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ.....	17
3. MATERYAL VE METOD.....	33
3.1. Deney Yeri.....	33
3.2. Deneyde Kullanılan Motorun Özellikleri.....	33
3.3. Doğal Gazlıya Dönüşüm İçin Kullanılan Elemanlar	33
3.3.1. Basınçlı doğal gaz tüpü.....	35
3.3.2. Kapatma vanası.....	35
3.3.3. Basıç göstergeleri.....	35
3.3.4. Basıç regülatörü.....	35
3.3.5. Selenoid vana.....	35
3.3.6. Gaz-hava karışım ünitesi.....	35
3.4. Deneyden Önce Motorda Yapılan Değişiklikler.....	36
3.5. Deneylerde Kullanılan Ölçü Aletleri.....	37
3.5.1. Dinamometre.....	37
3.5.2. Havametre.....	37
3.5.3. Doğal gaz sayacı.....	37
3.5.4. Yakıtmetre.....	37
3.5.5. Kronometre.....	37
3.5.6. Barometre.....	38
3.5.7. Emisyon ölçüm cihazı.....	38
3.6. Deneyle İlgili Hesaplamalar.....	38
3.6.1. Motor torku.....	38
3.6.2. Motor gücü.....	39
3.6.3. Yakıt ve özgül yakıt tüketimi.....	39
3.6.4. Özgül enerji tüketimi.....	39

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
3.6.5. Özgül enerji maliyeti.....	40
3.6.6. Volümetrik verim.....	40
3.6.7. Toplam verim.....	40
3.6.8. Emisyon değerleri.....	41
4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	42
4.1. Devir sayısı - Tork İlişkileri	42
4.2. Motor Gücü	44
4.3. Yakıt Tüketimi.....	44
4.4. Özgül Yakıt Tüketimi.....	46
4.5. Hava Tüketimi	46
4.6. Toplam Verim.....	46
4.7. Volümetrik Verim.....	48
4.8. Özgül Enerji Tüketimi	50
4.9. Özgül Enerji Maliyeti.....	50
4.10. Emisyonlar.....	52
4.10.11. Karbonmonoksit (CO).....	52
4.10.12. Karbondioksit (CO ₂).....	52
4.10.13. Hidrokarbonlar HC).....	52
4.10.14. Oksijen (O ₂).....	54
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	56

EKLER

1. Benzinle çalışmayla ilgili motor performans değerleri
2. Benzinle çalışmayla ilgili emisyon değerleri
3. Doğal gazla çalışmayla ilgili motor performans değerleri
4. Doğal gazla çalışmayla ilgili emisyon değerleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Doğal gaz motorunda modelleme sonucunda elde edilen sonuçlar	21
2.2. Doğal gaz için döndürme momenti, özgül yakıt tüketimi ve efektif verim değişimleri	22
2.3. Doğal gaz ve benzinle çalışmada motor gücü	23
2.4. Doğal gaz ve benzinle çalışmada motor torku	24
2.5. P_{me} , N_e , b_e ve h_t 'nin l' ya göre değişimi	25
2.6. Emisyonların l' ya göre değişimi	26
2.7. Buji yerleşim düzeni	26
2.8. Performans sonuçları	27
2.9. Serbest emmeli motorun teknik değerleri ve elde edilen sonuçlar	30
2.10. Turboşarjlı motorun teknik değerleri ve elde edilen sonuçlar	31
2.11. Metan numarası değişikliğinin ve değişik dizaynların etkisi	32
3.1. Deney tesisatının şematik resmi.....	34
3.2. Deney tesisatının fotoğrafı.....	34
4.1. Benzin ve doğal gazla çalışmada motor torkunun devir sayısına bağlı değişimi.....	43
4.2. Benzin ve doğal gazla çalışmada motor gücünün devir sayısına bağlı değişimi.....	43
4.3. Benzin ve doğal gazla çalışmada yakıt tüketiminin devir sayısına bağlı değişimi.....	45
4.4. Benzin ve doğal gazla çalışmada özgül yakıt tüketiminin devir sayısına bağlı değişimi.....	45
4.5. Benzin ve doğal gazla çalışmada hava tüketiminin devir sayısına bağlı değişimi.....	47
4.6. Benzin ve doğal gazla çalışmada toplam verimin devir sayısına bağlı değişimi.....	47
4.7. Benzin ve doğal gazla çalışmada volümetrik verimin devir sayısına bağlı değişimi.....	49
4.8. Benzin ve doğal gazla çalışmada özgül enerji tüketiminin devir sayısına bağlı değişimi.....	49
4.9. Benzin ve doğal gazla çalışmada özgül enerji maliyetinin devir sayısına bağlı değişimi.....	51
4.10. Benzin ve doğal gazla çalışmada CO emisyonunun devir sayısına bağlı değişimi.....	51
4.11. Benzin ve doğal gazla çalışmada CO ₂ emisyonunun devir sayısına bağlı değişimi.....	53
4.12. Benzin ve doğal gazla çalışmada HC emisyonunun devir sayısına bağlı değişimi.....	53
4.13. Benzin ve doğal gazla çalışmada O ₂ emisyonunun devir sayısına bağlı değişimi.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Çeşitli rezervlerden elde edilen doğal gazların ortalama bileşimleri	4
1.2. Doğal gazın sınıflandırılması.....	6
1.3. Doğal gaz ölçü birimleri ve eşdeğerlikleri.....	7
1.4. 20 °C sıcaklıkta ve atmosfer basıncında çeşitli gazların hava ile karışım tutuşma sınırları	8
1.5. Çeşitli gazların kendiliğinden tutuşma sıcaklıkları	9
1.6. Ham petrol, benzin, motorin ve doğal gazın bazı özellikleri	9
1.7. B.D.T.' den ithal edilen doğal gazın kimyasal bileşimi (% mol olarak)	10
1.8. Doğal gazı oluşturan hidrokarbonların ısı değerleri	11
1.9. Doğal gazı oluşturan gazların 300 K sıcaklıkta mükemmel gaz özellikleri	12
1.10. Standard kuru havanın elemanları	13
2.1. Benzinle çalışmaya ait veriler	22
2.2. Doğal gazla çalışmaya ilişkin veriler	23
3.1. Deneme motorunun teknik özellikleri.....	33
3.2. Emisyon ölçüm cihazı ölçüm sınırları ve hassasiyeti.....	38

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
λ	Hava fazlalık katsayısı
ϵ	Sıkıştırma oranı
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
η_t	Toplam verim (%)
η_v	Volümetrik verim (%)
AFR	Hava / yakıt oranı
B_e	Yakıt tüketimi (kg/h)
b_e	Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
CNG	Sıkıştırılmış doğal gaz
c_p	Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kg K)
c_v	Sabit hacimde özgül ısı (kJ/kg K)
D	Çap (mm)
HC	Hidrokarbon
H_u	Alt ısı değeri (kJ/kg)
k	Adyabatik üs
k_d	Tork düzeltme faktörü
L	Hava tüketimi (kg/h)
LNG	Sıvılaştırılmış doğal gaz
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
m	Kütle (kg)
M_e	Motor torku (Nm)
n	Devir (1/min)
N_e	Motor gücü (kW)
NO_x	Azot oksitleri
Ö.E.M.	Özgül enerji maliyeti (TL/kWh)
Ö.E.T.	Özgül enerji tüketimi (kJ/kWh)
P	Basınç (kPa)
ppm	Milyonda bir

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (Devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
R	Gaz sabiti (kJ/kgK)
T	Sıcaklık (K)
V	Hacim (m ³)
v	Özgül hacim (m ³ /kg)
V _H	Strok hacmi (m ³)



1. GİRİŞ

Mevcut enerji kaynaklarının tükenmekte oluşu, motorlu taşıtlarda kullanılmak üzere alternatif enerji kaynaklarının arayışını son yıllarda hızlandırmış bulunmaktadır. Yüz yılı aşkın bir süredir, Otto ve Diesel ilkelerine göre çalışan otomobil motorlarının ana yakıtı petrol kökenli yakıtlar olmuştur. Ancak, artan taşıt sayısı, petrol rezervlerinin sınırlı oluşu ve 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi nedeniyle, içten yanmalı motorlar için alternatif yakıt arayışları yeniden hız kazanmıştır. Ayrıca, son yıllarda artış gösteren taşıt sayısı ile birlikte etkin hale gelen hava kirliliği de, daha temiz bir yanma sağlayabilecek alternatif yakıt arayışlarındaki diğer bir faktördür(Albay,1993).

Alternatif yakıtların; kaynak ve potansiyel yakıt temini, emniyet, zehirlilik ve sağlığa zararlılık, motor performansı ve emisyonları, depolama, yakıt deposu ve tekrar yakıt temini gibi kriterler açısından incelenmesi gerekir (Gandhidasan and etc., 1991).

Yukarıda bahsedilen kriterler bakımından olumlu, motor yakıtı olarak kullanılabilir önemli alternatif yakıtlardan birisi de doğal gazdır. Bolluk, düşük maliyet, temiz yanma karakteristikleri, dağıtım sistemlerinin var oluşu, bunlara ek olarak daha düşük araç emisyonlarına imkan vermesi, doğal gazı elverişli bir alternatif yakıt yapmaktadır (Gandhidasan and etc., 1991). Emniyetli olan ve temiz yanan doğal gaz, korozif de değildir. Yandığında, formaldehit emisyonu da vermez (Öncül, 1990).

Doğal gazın, kolayca temin edilebildiği büyük şehirlerimizde, motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanımıyla; motorda iyi bir yanma temin edilerek, eksoz emisyonlarındaki kirliliğin azaltılması mümkündür. Doğal gazın karbon oranının, diğer yakıtlara göre düşük olması, eksoz gazlarındaki CO₂ oranının azalmasına da sebep olacaktır . Doğal gazın yüksek oktan sayısına sahip olması, sıkıştırma oranının artırılmasına, motor dizaynının geliştirilmesine ve indike termik verimin iyileştirilmesine imkan vermektedir. Bunlara ek olarak, doğal gaz kullanımı, motorlu taşıtların gürültü düzeyinde de azalmalar sağlayabilecektir (Bayhan, 1992) .

1.1. Doğal Gazın Taşıtlarda Kullanımının Avantajları

1.1.1. Temizlik

Doğal gaz, konvansiyonel ve alternatif yakıt türleri içinde en temiz olanıdır. Özellikle doğal gaz için tasarlanmış motorlarda, reaktif hidrokarbonlar, karbondioksit ve azot oksitlerinin emisyonları diğer motorlara göre çok düşüktür.

Hava fazlalık katsayısı 1,05'in altına düştüğü zaman NO_x emisyonları hızla artmakta, 0,85'in üzerine çıktığı zaman ise HC ve CO emisyonları artmaktadır.

1.1.2. Emniyet

Doğal gaz ile çalışan bir taşıt, diğer yakıtlarla çalışan taşıtlara göre, şu üç bakımdan daha emniyetlidir:

1. Doğal gaz çok katı standartlarla yapılmış silindirler içinde depolanır.

2. Doğal gazın fiziksel özellikleri tabii olarak doğal gazı emniyetli kılar. Doğal gaz havadan daha hafiftir. Bu özelliği dolayısıyla doğal gaz, serbest kaldığında, diğer yakıtların bir yakıt birikintisi veya gaz kümesi meydana getirmesinin aksine, hemen yükselerek aracı ve civarını terk eder.

3. 680 000 000 km'lik bir araştırma sonucunda, doğal gazlı araçlarda ciddi bir yaralanmayla sonuçlanan bir kazanın vuku bulmamış olması, sistem emniyeti için önemli bir referanstır (Hafız, 1991).

1.1.3. Ekonomi

Doğal gaz, temiz ve emniyetli olmasının yanında, ekonomik bir yakıttır. Enerji bakımından bir litre benzine denk doğal gazın fiyatı dikkate alındığında, benzine göre yaklaşık % 60 daha ucuz olduğu görülmektedir.

Doğal gaz ile çalışan motorlarda bakım periyotları daha uzundur. Bakım, ayar ve yağ değiştirme aralığı iki misli olmaktadır. Bu da bakım masraflarında % 40'a varan bir azalma söz konusu demektir. Doğal gazlı motorların daha gürültüsüz ve düzgün

çalışması sebebiyle, motorlarda aşınma ve titreşim daha az olmakta ve motorun ömrü artmaktadır.

1.1.4 Bolluk

Doğal gaz fosil esaslı yakıtlar içinde en bol bulunan yakıttır. Dünya Ekonomi Konseyi'nin (WEC) yaptığı çalışmalar, petrolün azalacağını ve fiyatının artacağını, buna karşılık doğal gazın, zengin rezervleriyle ucuzluğunu daha uzun süre koruyarak, gittikçe yaygınlaşacağını göstermektedir (Hafiz, 1991).

1.2 Doğal Gazın Tanımı

Ham petrolle birlikte veya ayrı olarak yer altında gözenekli ortamlarda bulunan hidrokarbon ve hidrokarbon olmayan gazların doğal olarak oluşmuş karışımı doğal gaz olarak tanımlanır. Doğal gaz, içinde büyük oranda metan (CH_4), karbondioksit (CO_2), kükürtdioksit (SO_2) ve hidrojen sülfür (H_2S) iktiva eden bir gaz yakıttır (Özgün, 1993).

Doğal gazın esas maddesi metandır. Metanın yanısıra etan (C_2H_6), propan (C_3H_8), bütan (C_4H_{10}) ve daha ağırları da bulunabilir. Ancak, yüksek karbonlu olanların miktarı, metana oranla çoğunlukla yok denecek kadar azdır.

Doğal gaz içinde bu gazlardan başka azot (N_2), helyum (He) ve diğer asal gazlar, karbondioksit (CO_2) ve az oranda su bulunabilir. Doğal gaz içindeki istenmeyen bileşikler çeşitli teknolojik işlemlerle esas gazdan ayrılıp temizlenebilir. Bu durumda doğal gazın verdiği ısı, yani kalori değeri, normal hava gazının iki katı kadardır.

Yeryüzündeki değişik doğal gaz yataklarından elde edilen doğal gaz içindeki bileşiklerin oranları birbirlerine göre çok farklı olabilmektedir. Almanya' daki Rheden 5 rezervindeki doğal gazın içinde ağırlıkça % 54, Amofring rezervindeki doğal gazın içinde ise ağırlıkça % 92.30 oranında metan gazı vardır. Yine benzer şekilde Rheden 5 rezervinden elde edilen doğal gazda ağırlıkça % 35.66 oranında CO_2 bulunurken, Tunus' daki Cap Bon rezervinde CO_2 yoktur (Özgün, 1993).

Dünyadaki çeşitli rezervlerden elde edilen doğal gazların ortalama bileşimleri Çizelge 1.1' de görülmektedir.

1.3 Dünya Doğal Gaz Rezervleri

Yeryüzünde en çok bulunan birincil enerji kaynaklarından birisi olan doğal gazın dünya rezervlerinin, 1991 yılı sonu itibarıyla 125 trilyon m³ civarında olduğu tespit edilmiştir (Özgün,1993). Bu miktar 18 yıl önceki rezervlerin iki katından daha fazladır. İspatlanmış gaz rezervlerinin petrol rezervlerine oranı yaklaşık % 86-90 civarında olup, halihazırda keşfedilmemiş veya petrole bulunmayan gaz rezervleri de dikkate alınacak olursa, doğal gazın gelecekte petrolden daha zengin bulunacağı söylenebilir.

Eski SSCB ülkeleri (Rusya Federasyonu, Ukrayna, Özbekistan, Türkmenistan ve diğerleri) dünya doğal gaz rezervlerinde %39,2 gibi çok büyük bir paya sahiptirler. Bunu Ortadoğu %30,4'lük bir payla takip etmektedir (BOTAŞ,1996). Rezervlerin büyüklüğü açısından başta gelen ülkeler sırasıyla, Bağımsız Devletler Topluluğu, İran, A.B.D. , Katar ve Cezayir' dir.

Çizelge 1.1. Çeşitli rezervlerden elde edilen doğal gazların ortalama bileşimleri (Özgün, 1993)

REZERV ADI	BİLEŞİMİ (AĞIRLIKÇA %)						
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C _m H _n	CO ₂	N ₂
Dephaiz (Almanya)	67,20	-	-	-	2,60	20,04	10,16
Rheden (Almanya)	54,20	0,82	-	-	-	35,66	9,52
Eisland (Almanya)	79,17	5,00	1,72	1,00	0,94	7,77	4,30
Amfring (Almanya)	92,30	6,00	-	-	-	0,53	1,17
Sochteren(Holland.)	70,01	4,64	0,96	0,42	0,39	2,13	21,45
Kuzey Dnz. (İng.)	83,87	6,04	2,04	1,03	1,67	1,00	4,45
Bakü (Azerbaycan)	87,70	5,83	-	-	-	5,66	0,81
Harsi (Cezayir)	63,32	11,30	6,37	4,14	7,18	0,42	7,26
Cap Bon (Tunus)	66,93	17,50	9,65	5,45	1,47	-	-
Kansas (A.B.D.)	77,00	3,90	2,60	2,00	0,60	1,10	13,60
Lousiana (A.B.D.)	92,18	3,33	1,48	0,79	0,30	0,90	1,02

Günümüzde 7587,3 milyon ton/yıl petrol eşdeğeri olan dünya birincil enerji tüketimi içinde doğal gazın payı % 20' ye ulaşmıştır. Diğer enerji kaynaklarının payı ise, petrol %38 kömür %30, nükleer ve hidro %12'dir (Özgün, 1993).

Doğal gaz günümüzde en fazla Kuzey Amerika ülkelerinde tüketilmekte olup, tüketilen tüm enerji içindeki payı %22,6 dır. Bunu sırasıyla B.D.T. , Batı ve Doğu Avrupa ülkeleri ile Avustralya izlemektedir. Doğal gaz, uluslararası ticaret ve ekonomik işbirliğine konu olan bir enerji kaynağıdır. B.D.T. en büyük doğal gaz ihracatçısı ülke olup, gaz ihracatında %29'luk bir paya sahiptir. En fazla doğal gaz ithal eden ülkeler sıralamasında, Almanya %19'luk payla birinci, Japonya ise %17' lik pay ile ikinci sırada yer almaktadır (Özgün, 1993).

1.4 Türkiye'nin Doğal Gaz Rezervi ve Doğal Gaz İthalatı

Türkiye'nin doğal gaz rezervi 34 milyar m³ ve üretilebilir doğal gaz rezervi ise 16 milyar m³ olarak tespit edilmiştir (Özgün, 1993). Türkiye'de 1930'lardan beri muhtelif bölgelerde doğal gaz araştırmaları yapılmış, bu yıllarda M.T.A. tarafından, doğal gaz olduğu tahmin edilen bölgelerin bir envanteri çıkarılmıştır. Ülkemizde doğal gaz arama çalışmalarının eskiden beri en yoğun olarak yapıldığı bölge Trakya Bölgesi olmuştur. Hamitabat, Kumrular, Umurca ve Kandamış alanları Trakya Havzasındadır. Bu bölge dışında Doğu Anaolu' da T.P.A.O. tarafından doğal gaz arama çalışmaları yapılmış, Siirt çevresinde Handof, Keban, Bakük ve Dodan kuyularında doğal gaza raslanmıştır. Diğer taraftan özel bir çok şirket Trakya Bölgesi'nde doğal gaz arama faaliyetlerini sürdürmektedirler (Özgün, 1993).

1994 yılı itibarıyla ithal edilen ve T.P.A.O.'dan alınan doğal gazın toplamı 5,2 milyar m³'ü bulmuştur. Bu tüketimin %53'ü elektrik enerjisi üretiminde, %23'ü endüstride, %12'si gübre üretiminde, %12'si ise konutlarda ısıtma amacıyla kullanılmıştır (BOTAŞ, 1996). Yapılan tahminlere göre, Türkiye'nin 2011 yılına kadar tüm bu sektörlerde ihtiyaç duyacağı doğal gaz miktarı 142,0467 milyar m³ kadar olacaktır (Özgün, 1993).

1.5 Doğal Gazın Sınıflandırılması

Doğal gazın sınıflandırılması değişik literatürlerde değişik şekillerde verilmektedir. Anglo-Sakson literatüründeki sınıflamada doğal gaz içindeki azot ve metan yüzdeleri önem kazanırken, DIN 1340' da metan ile kükürt yüzdeleri gözönüne alınmaktadır (Özgün, 1993) . Her iki kaynaktan da doğal gaz üç tipte sınıflandırılmıştır. Çizelge 1.2' de bu sınıflandırmalar görülmektedir.

1.5.1 Sıvılaştırılmış Doğal Gaz

Sıvılaştırılmış doğal (Liquid Natural Gas, LNG), doğal gazın sıvılaştırılarak yerüstü tanklarında depolanması biçiminde, diğer depolama metodlarına alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Sıvılaştırma işlemi sırasında doğal gaz hacminin 600 defa küçülmesi, gaz bazındaki depo kapasitesine göre çok büyük miktarda gazın depolanmasına imkan vermektedir. Doğal gaz atmosfer basıncında ancak -160°C 'nin altında sıvı olarak tutulabilmektedir. Bu sebeple LNG depolarının -160°C sıcaklığı koruyabilen ve soğutma yapabilen yapıda olmaları gerekmektedir (Öztürk, 1992).

Çizelge 1.2. Doğal gazın sınıflandırılması (Özgün, 1993).

a) Anglo-Sakson kaynaklarına göre

NO	TİPİ	ÖZELLİKLERİ			
		HACİMCE		HAVAYA GÖRE	ALT ISIL D.
		AZOT%	METAN%	YOĞUNLUK	(Mj/m ³)
I	Yüksek derece inert tip	6,3-16,2	71,9-83,2	0,66-0,708	35,0-39,0
II	Yüksek metan tipi	0,1-2,4	87,6-95,7	0,59-0,614	37,0-39,6
III	Yüksek ısı değer tip	1,2-7,5	85,0-90,1	0,62-0,719	39,6-41,6

b) DIN 1340'a göre

NO	TİPİ	ÖZELLİKLERİ
I	Kuru tip	Başlıca metan ihtiva eder,(%90 metan).
II	Yaş tip	Metandan başka etan, propan, bütan ihtiva eder.
III	Ekşi tip	Kurşun asetat testine göre; 500 mg/m ³ den daha fazla hidrojen sülfür ve diğer kükürtlü bileşenleri ihtiva eder.

1.5.2. Sıkıştırılmış Doğal Gaz

Sıkıştırılmış doğal gaz (Compressed Natural Gas,CNG) esas itibariyle, ekstrem koşullar hariç olmak üzere, daima gaz halinde bulunan metandan oluşmaktadır. Normal (atmosferik) basınçta, hacimsel olarak düşük enerji kapasitesine sahiptir. Bu yüzden, otomotiv yakıtı olarak kullanılabilmesi için bir aracı harekete geçirmeye yetecek derecede enerji elde edilinceye kadar sıkıştırılması gerekir. CNG, yüksek basınçlarda bile gaz olarak kalır. Bir binek otomobili yaklaşık 50 litre yakıt kapasiteli bir yakıt deposuna sahiptir. Bu boyutta bir doğal gaz tüpünün müsaade edilebilir maksimum basınç altında (200 bar) tutabileceği CNG miktarı yaklaşık 15 litre petrole tekabül etmektedir. Bu şekilde, yakıt ekonomisi 10 l/100 km olan bir otomobil, 150 km gidebilir (Özgün, 1993).

1.6. Doğal Gazın Ölçümü

Doğal gazın ölçümü ya metreküp (m^3), ton veya feetküp (ft^3) olarak yapılır. Üretim ve pazarlamada, milyar m^3 /yıl veya milyon ft^3 /gün ölçüleri de kullanılmaktadır. Çizelge 1.3' de doğal gaz ölçü birimleriyle, bazı yakıt eşdeğerlikleri verilmiştir.

Çizelge 1.3. Doğal gaz ölçü birimleri ve eşdeğerlikleri (Özgün, 1993).

1 milyar m^3 /yıl	= 100 milyon ft^3 /gün
1 milyar m^3 /yıl	= 900.000 ton fuel-oil/yıl
1 milyar m^3 /yıl	= 17.000 varil ham petrol/gün
1 milyar m^3 /yıl	= 700.000 ton sıvı doğal gaz/yıl
1 milyar m^3 /yıl	= 300.000 ton doğal gaz sıvıları/yıl
1 milyar m^3 /yıl	= 1.4 milyon ton kömür/yıl
1 ton sıvı doğal gaz	= 2.38485 m^3 sıvı doğal gaz
1 ton sıvı doğal gaz	= 1400 m^3 doğal gaz

1.7 Doğal Gazın Özellikleri

1.7.1 Fiziksel Özellikleri

a-Fiziksel hali: Doğal gaz, normal şartlar altında gaz halindedir. Metanın kaynama noktasının çok düşük ($-164\text{ }^\circ\text{C}$) olması nedeniyle, sıvılaştırılması oldukça

zordur. Ancak, kritik sıcaklıktan daha düşük sıcaklıklarda, basınç altında sıvılaştırılabilir (Özgün, 1993).

b-Yoğunluk: Doğal gazın havaya göre yoğunluğu $0,58 \text{ kg/m}^3$ ile $0,79 \text{ kg/m}^3$ arasında değişir. Sıvılaştırılmış doğal gazın yoğunluğu ise 419 kg/m^3 'dür.

c- renk ve koku: Doğal gaz renksiz ve kokusuz bir gazdır (Özgün, 1993).

d-Tutuşma sıcaklığı ve limitleri: Gazlarda tutuşmanın olabilmesi için, yanıcı gaz ile hava veya oksijen karışımının belirli bir oranda bulunması gerekir. Çeşitli yanıcı gazlarla birlikte, doğal gazın hava ile tutuşabilir karışım limitleri Çizelge 1.4'de görülmektedir.

Çizelge 1.4. 20°C sıcaklıkta ve atmosfer basıncında çeşitli gazların hava ile karışım tutuşma sınırları (Özgün, 1993).

YANICI GAZ	TUTUŞMA SINIRI (% HACİM)	
	ALT SINIR (%)	ÜST SINIR (%)
Hidrojen	4,1	74,0
Karbonmonoksit	12,5	74,0
Metan	5,3	13,9
Etan	3,1	12,5
Propan	2,4	9,5
n-Bütan	1,9	8,4
Doğal gaz	5,0	15,0

Diğer taraftan, bütün yakacakların kendiliğinden yanabilmeleri için belirli bir sıcaklığa ulaşmaları gerekir. Doğal gaz ile birlikte, çeşitli gazların kendiliğinden tutuşma sıcaklıkları Çizelge 1.5' de görülmektedir.

e-Alev sıcaklığı ve yanma hızı: Doğal gaz, en önemlibileşeni olan metanın simetrik yapısı nedeniyle son derece kararlı bir gazdır. Doğal gaz-oksijen alevi 2780°C 'dir. Doğal gazın yanma hızı, $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir (Özgün, 1993). Ham petrol, benzin, motorin ve doğal gazın bazı özellikleri Çizelge 1.6'da görülmektedir.

Çizelge 1.5. Çeşitli gazların kendiliğinden tutuşma sıcaklıkları (Özgün, 1993).

YANICI GAZ	TUTUŞMA SICAKLIĞI (°C)
Hidrojen	530
Karbonmonoksit	610
Metan	645
Etan	530
Propan	510
n-Bütan	490
Etilen	540
Asetilen	335
Doğal gaz	704

Çizelge 1.6. Ham petrol, benzin, motorin ve doğal gazın bazı özellikleri (Özgün,1993)

YAKIT ADI	ÖZG.AĞIRLIK (kg/dm ³)	ÜST ISIL DEĞ. (kJ/kg)	ALT ISIL DEĞ. (kJ/kg)	OKTAN
Ham petrol	0,75-1	41000-48000	38900-43550	67
Benzin	0,72-0,78	46900	43100	91-97
Motorin	0,82-0,86	45200	42400	-
Doğal gaz	0,737 (kg/m ³)	37800 kJ/m ³	34000 kJ/m ³	130

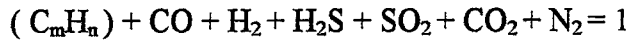
1.7.2 Kimyasal Özellikleri

a-Bileşimi: Doğal gaz, esas olarak metan, metana göre daha az oranda olmak üzere etan, propan gibi hidrokarbonlardan ve azot, karbondioksit, hidrojen, hidrojen sülfür, sülfürdioksit ile helyum gazlarından oluşmuş bir gaz karışımıdır. Ayrıca çok küçük yüzdelerde olmak üzere oksijen ve argon gazlarının bulunduğu doğal gaz kaynaklarına da rastlanmaktadır. Çizelge 1.7'de B.D.T.'den ithal edilen doğal gazın kimyasal bileşenleri görülmektedir.

Çizelge 1.7. B.D.T.'dan ithal edilen doğal gazın kimyasal bileşimi (% mol olarak)
(Balcı, 1995).

BİLEŞENLER	MİKTAR
Metan	min. % 85
Etan	max. % 7
Propan	max. % 3
Bütan	max. % 2
Pentan ve diğer ağır hidrokarbonlar	max. % 1
Karbondioksit	max. % 3
Oksijen	max. % 0,02
Azot	max. % 5
Kükürt	max. % 5,1 mg/m ³
Hidrojen sülfür	max. % 5,1 mg/m ³
Merkaptan kükürt	max. % 15,3 mg/m ³
Toplam kükürt	max. % 102,3 mg/m ³

b-Kapalı formülü: Gaz fazındaki yakıtların analiz sonuçları, karışımı oluşturan gazların hacimsel oranları cinsinden verilmektedir. Bir gaz, karışım şeklinde ise, birinci terim çeşitli hidrokarbonları göstermektedir.



her bileşenin hacimsel oranı bilindiğinden, elementlerin molsayısı dikkate alınarak, her bir elementin yakıt içindeki mol oranı aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir:

$$C_y = \sum C_i (C_m H_n)_i + CO + CO_2 \quad \text{kmol C/(kmol. Y)}$$

$$H_y = \sum H_i (C_m H_n)_i + 2H_2 + H_2S \quad \text{kmol H/(kmol. Y)}$$

$$O_y = CO + 2SO_2 + CO_2 \quad \text{kmol O/(kmol. Y)}$$

$$N_y = 2N_2$$

c-C/H oranı (C: Karbon, H: Hidrojen) : Yakıt içindeki C/H oranı, yanma sonucu meydana gelen ürünlerin cinsine önemli derecede etki etmektedir. Doğal gazın yapısındaki C/H oranının benzine göre düşük olması, yanma ürünleri arasında yanmamış hidrokarbonlar ile CO ve CO₂' nin daha az bulunmasına neden olmaktadır. Benzinin C/H oranının 0,56/1 olmasına karşılık, metanınki 0,25/1 'dir.

d-Mol ağırlığı: Doğal gazın kapalı formülündeki elementlerin atom ağırlıkları dikkate alınarak mol ağırlığı $M=16,096$ kg/kmol olarak bulunur.

e-Isıl değeri: Bir gaz karışımının ısıl değeri; herbir karışanın ağırlık veya hacimsel yüzdesi ile ağırlık veyahacime göre verilmiş ısıl değeri çarpımlarının toplamına eşittir.

Doğal gazı oluşturan çeşitli hidrokarbonların ısıl değerleri Çizelge 1.8'de verilmiştir.

Çizelge 1.8. Doğal gazı oluşturan hidrokarbonların ısıl değerleri (Özgün, 1993).

DOĞAL GAZI OLUŞTURAN HIDROKARBONLAR	ÜST ISIL DEĞER		ALT ISIL DEĞER	
	kJ/m ³	kJ/kg	kJ/m ³	kJ/kg
Metan	37706	55530	33943	49995
Etan	66060	51921	60434	47490
Propan	94042	50400	84515	46371
Bütan	121874	49590	112448	45769
Pentan	149871	49065	138492	45371

1.7.3 Termodinamik Özellikleri

Bir gaz karışımında karışanların mol oranı Y_i , molkütlesi M_i ile gösterilirse, her bir karışanın kütle oranı;

$$Y_{mi} = Y_i M_i / \sum Y_i M_i$$

olur. Diğer yandan karışanların gaz sabiti R_i , özgül ısıları c_{poi} ve c_{voi} ile gösterilirse, gaz karışımının gaz sabiti $R = \sum Y_{mi} \cdot R_i$ ve özgül ısıları,

$$C_{po} = Y_{mi} \cdot C_{poi} , C_{vo} = Y_{mi} \cdot C_{voi} \text{ olur.}$$

Doğal gazı oluşturan gazların 300 K 'deki mükemmel gaz özellikleri Çizelge 1.9'da verilmiştir.

Çizelge 1.9. Doğal gazı oluşturan gazların 300 K sıcaklıktaki mükemmel gaz özellikleri
(Özgün, 1993)

DOĞAL GAZI OLUŞTURAN GAZLAR	R (kJ/kgK)	C_{po} (kJ/kgK)	C_{vo} (kJ/kgK)
CH ₄	0,51835	2,2537	1,7354
C ₂ H ₆	0,27652	1,7662	1,4897
C ₃ H ₈	0,18855	1,6794	1,4909
C ₄ H ₁₀	0,14304	1,7164	1,5733
C ₅ H ₁₂	0,072799	1,7113	1,6395
CO ₂	0,18892	0,8418	0,6529
N ₂	0,29680	1,0416	0,7448

1.8. Yanma ve Doğal Gazın Yanma Denklemi

Gaz yakıtlar, temiz yakıtlardır ve tam yanma sağlamak için, hava ihtiyacı diğer yakıtlara oranla daha azdır.

Gaz yakıtların analizi genellikle, yakıtı teşkil eden bileşiklerin hacimsel analizleri ile yapılır. Yanma denkleminde, Çizelge 1.7'deki B.D.T. doğal gazının garanti edilen spesifikasyonları dikkate alınacaktır.

Yanma, yakıt içindeki değişik oranlarda bulunan karbon, hidrojen ve kükürt gibi yanıcı maddeler ile havanın oksijeni arasındaki değişik geçiş reaksiyonları sonunda ulaşılan kimyasal bir reaksiyondur. Yanma reaksiyonunun ideal olabilmesi için yakıtların gaz fazında olması gerekmektedir. Bu nedenle, katı ve sıvı yakıtların yanabilmesi için, önce gaz fazına geçmeleri gerekmektedir. Gaz yakıtlarda, yanmanın gerçekleşmesi için "yakıtın gaz fazında bulunma koşulu" doğal olarak sağlandığından, katı ve sıvı yakıtlarda olduğu gibi faz değiştirme ısısına gerek yoktur ve homojen bir karışım ile yanma

sağlanmaktadır. Ayrıca tek fazda başlayan ve devam eden yanma reaksiyonu sonucunda düzenli ve sabit ısı elde edilebilmektedir (Aksoy, 1988).

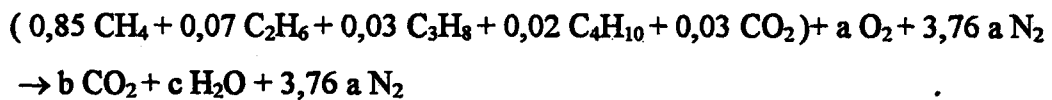
Atmosferik havanın bileşiminde, hacimsel olarak % 20,99 oksijen, % 78,03 azot ve % 0,1'den az diğer gazlar bulunmaktadır (Öz, 1976). Çizelge 1.10'da standard kuru havanın bileşenleri gösterilmiştir. Pratik hesaplamalarda oksijen dışındaki gazlar azot yüzdesine katılmaktadır. Bu durumda 100 mol havada, 21 mol oksijen ve 79 mol azot bulunduğu söylenebilir. Buna göre N_2/O_2 oranı $79/21 = 3,76 \text{ m}^3 N_2/\text{m}^3 O_2$ olur.

Havada % 23,1 ağırlık oranında oksijen, % 76,9 da azot bulunmaktadır. Buna göre, N_2/O_2 ağırlık oranı, $76,9/23,1 = 3,329 \text{ kg } N_2/\text{kg } O_2$ olmaktadır.

Çizelge 1.10 Standard kuru havanın elemanları (Öz, 1976).

ELEMAN	HACİMSEL %
Oksijen	20,99
Karbondioksit	0,03
Hidrojen	0,01
Azot	78,03
Argon	0,94

B.D.T.'den 1987 yılı Eylül ayından itibaren alınmakta olan doğal gaz, hacimsel olarak % 85 CH_4 , % 7 C_2H_6 , % 3 C_3H_8 , % 2 C_4H_{10} , % 3 CO_2 ve diğer hidrokarbonlardan oluşmakta olduğundan, teorik tam yanma için gerekli minimum hava/doğal gaz oranı, aşağıdaki tam yanma denklemiyle hesaplanabilir.



Karbon, hidrojen ve oksijen denkleştirilerek ,

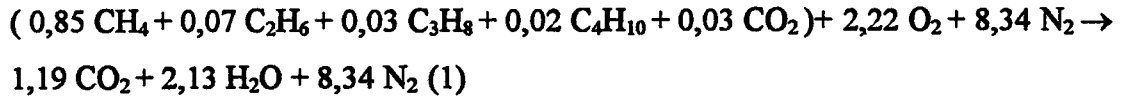
$$b = 0,85 + 0,07 * 2 + 0,03 * 3 + 0,02 * 4 + 0,03 \quad b = 1,19$$

$$c = 0,85 * 2 + 0,07 * 3 + 0,03 * 4 + 0,02 * 5 \quad c = 2,13$$

$$a = 1,19 + (2 * 13/2) 0,03 \quad a = 2,22$$

$3,76 a = 2,22 * 3,76 = 8,34$ olarak belirlenir.

Denklemdaki yerlerine yazılırsa,



olur.

Bu eşitliğe göre 1 mol doğal gaz için gerekli teorik hava miktarı :

$$2,22 \text{ O}_2 + 8,34 \text{ N}_2 = 10,56 \text{ mol olur.}$$

Bu durumda 1 mol doğal gazın tam yanması için gerekli hava / yakıt mol oranı 10,56:1 mol hava/mol yakıt olur. Diğer bir deyimle, atmosferik basıncıdaki 1 m³ doğal gazın tam yanması için gerekli hava miktarı 10,56 m³'tür.

1 mol yakıtın kütlesi ise ;

$$\begin{aligned} M_y &= 0,85 * 16 + 0,07 * 30 + 0,03 * 44 + 0,02 * 58 + 0,03 * 44 \\ &= 19,5 \text{ kg doğal gaz / 1 mol dür.} \end{aligned}$$

1 mol doğal gazın tam yanması için gerekli hava kütlesi; $M_h = (10,56) * M_{\text{hava}}$

$$M_h = 10,56 * 28,98 = 306,03/1 \text{ kg hava/1 mol olur.}$$

Bu durumda hava/doğal gaz kütleli oranı;

$$A/F = 306,0288 / 19,5 = 15,69/1 \text{ kg hava/kg doğal gaz olur (Altın, 1991).}$$

1.9 Doğal Gaz Yakıt Sistemleri

Bir benzin motorunun doğal gaz motoruna dönüştürülmesi istendiğinde, motorun sıkıştırma oranının uygun olması durumunda, gaz/hava karbüratörü ve kumanda sistemlerinin ilavesi ile dönüşüm sağlanabilmektedir.

Bu amaçla, venturi, orifis (delikli), girdap (vorteks) ve değişken sınırlamalı tip karbüratörler geliştirilmiştir.

Emisyonu azaltmak için, hava/yakıt oranı kontrolünün daha hassas yapılması gerekmektedir. Bu nedenle üretici firmalar tarafından, elektronik kontrol sistemleri geliştirilerek hava/yakıt oranının daha hassas ayarlanması sağlanmıştır.

Motorun doğal gaz motoru olarak yapılması halinde ise, ateşlemeyi kolaylaştırmak için farklı yanma odaları tasarlanmaktadır. Bu yanma odalarından biri kademeli dolgulu tipte olup, ilk ateşleme zengin karışimli çekirdekte yapılmaktadır. Bir diğer uygulama olan ön yanma odalı motorda ise, yanma ön yanma odasında başlamakta, ana yanma odasına türbülans ile geçen yanmış gazlar, buradaki tutuşmayı da sağlamaktadırlar. Dizel motorlarında olduğu gibi, yakıtın bir kısmının, bir veya bir kaç jet ile yanma odasına kolaylaştıran diğer yöntemdir.

Doğal gaz motorlarında kirletici emisyonu azaltmak için iki farklı prensip düşünülmüştür. Bunlar; fakir karışimli motorlar ve stokiyometrik karışimli motorlardır.

1.9.1. Fakir Karışimli Doğal Gaz Motoru

Fakir karışimli doğal gaz motorlarında hava fazlalık katsayısı 1,5-1,6 değerine kadar çıkabilmektedir. Bu durumda NO_x emisyonunda büyük azalmalar söz konusudur. Ayrıca yanma sırasında maksimum basınç ve sıcaklıkların düşmesi motor elemanlarının ısıl gerilmelerini azaltacak ve motorun ömrünü uzatacaktır. Ancak fakir karışimde motorun gücü azalacaktır.

Fakir karışimli motorda ön yanma odaları kullanılarak alevin yanma odası içindeki yolu kısaltılabilir. Böylece yanma hızının artması ile vuruş direnci yükselmekte, bu da motorun daha yüksek sıkıştırma oranı ile çalıştırılmasını mümkün kılmaktadır. Netice olarak motorun güç ve verimi artmaktadır. Hava fazlalık katsayısının artması ile de verim artmakta, ayrıca NO_x emisyonu azalmaktadır. Böylece fakir karışimli yüksek hızlı yanmalı motorda, stokiyometrik karışıma göre yakıt tüketiminde % 15-20 oranında iyileşme sağlanmaktadır.

Fakir karışımın diğer bir uygulama şekli de, değişken hava fazlalık katsayılı motorlardır. Bu motorlar tam yükte stokiyometrik karışimde çalışmakta, kısmi yüklerde

ise fakir karışım ile çalışarak verimin artması ve NO_x emisyonunun azalması sağlanmaktadır.

Fakir karışımın güç azaltıcı etkisini önlemek için yapılan uygulamalardan bir diğeri aşırı doldurmadır. Silindir içindeki dolgu miktarının artması ile güç artışı meydana gelmektedir. Isıl gerilmelerin artışı önlemek için dolgunun ara soğutucu vasıtasıyla soğutulması bir çözümdür.

1.9.2. Stokiyometrik Karışımli Doğal Gaz Motoru

Doğal gaz motorunun stokiyometrik karışımli olarak çalıştırılması durumunda motorda maksimum güç elde edilebilmektedir. Otto çevrimi ile çalışan bu motorun buji ile ateşlemesi yapılmakta, sıkıştırma oranı arttırılarak benzin motoruna göre daha verimli çalışması sağlanmaktadır. Ancak bu karışım oranında NO_x emisyonu maksimum değerdedir. Eksoz gazı resirkülasyonu veya üç yollu katalizör kullanılarak eksoz emisyonu değerleri düşürülmektedir (Göktan v.d.,1994).

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Fleming R.D. ve Glen B.O'Neal (1985) tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motorda doğal gaz kullanımının motor performansına, eksoz emisyonlarına ve termik verime etkilerini araştırmışlardır. Deneyler sırasında sıkıştırma oranı, hava fazlalık katsayısı ve ateşleme zamanı değiştirilerek bunların motor karakteristiklerine olan etkileri ve optimum çalışma noktaları tespit edilmiştir. Doğal gaz kullanımının motorlarda ilk harekete geçişte büyük kolaylık sağladığı, doğal gazın fiyat yönünden benzine göre avantajlı olduğu belirtilmiştir. Doğal gazın yanma hızının benzine göre daha düşük olduğu, yanma hızının artırılması için özel yanma odası geliştirildiği, bu yanma odasının türbülansı artırarak yanmayı hızlandırdığı belirtilmiştir.

Araştırmada, doğal gaz ve benzin için, standard sıkıştırma oranı 8,4/1' de en iyi tork 2140 1/min'de elde edilmiştir. Bu devirde ortalama efektif basınç 440 kPa olarak ölçülmüştür. Hava fazlalık katsayısı zengin limitten fakir limite değiştirilerek, en iyi tork için minimum ateşleme zamanı, her bir hava fazlalık katsayısı için ayarlanmıştır. Doğal gaz için minimum ateşleme zamanının, hava fazlalık katsayısına bağlı olarak, 2 ile 6° arasında büyüdüğü belirtilmiştir. Doğal gaz kullanımında termik veriminin iyileştirilmesi için, yanma hızının artırılmasının ve bunun için de yanma odası geometrisinin değiştirilmesinin gerektiği ifade edilmiştir. İndike termik verimler, doğal gaz ve benzin için karşılaştırılmış, hava fazlalık katsayısının 0,8 ile 1,1 arasında olduğu motor çalışmalarında benzerlik gözlenmiştir. Doğal gaz için sıkıştırma oranı 8,4/1' den 18,5/1'e kadar değiştirilmiş ve 15,5/1 iken indike termik verim en yüksek değere ulaşmıştır.

Wide van der J.ve arkadaşları (1988), yaptıkları araştırmada, motorlar için çeşitli gaz yakıt karıştırıcıları geliştirmişlerdir. Geliştirilen karıştırıcılar, esas olarak; bir gaz karıştırıcı, gaz yakıtın basıncını düzenleyen bir regülatör ve basınç ölçücü ünitelerden meydana gelmektedir. Yapılan karıştırıcıların sabit çevre şartlarında, bütün motor hızı ve yükleri için sabit hava/yakıt oranı sağladığı belirtilmiştir. Hava/yakıt oranının sabitliği ve eksoz emisyonlarının kontrolü için λ sensörü, elektronik kontrol ünitesi ve katalist kullanılmıştır. Bu kontrol sisteminin, hava/yakıt oranını, stokiyometrik çalışma noktasının da bulunduğu iki nokta arasında tuttuğu ve bu sınırlar içerisinde eksoz emisyon değerlerinin optimum olduğu belirtilmiştir.

Karim G.A. ve I. Wierzba (1983), yaptıkları çalışmada, metan ve propanın buji ile ve sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kullanımını karşılaştırmalı olarak araştırmışlardır. Bu uygulamada, gaz yakıtların karıştırıcı tarafından homojen olarak uygun oranda hava ile karıştırılması ve silindirler arasında yakıt dağılımı değişiminin çok az olması istenmektedir. Araştırmadan çıkarılan diğer sonuçlar şöyle özetlenebilir: Gaz yakıtlar benzine göre daha soğuk çalışmaya imkan verirler. Gaz yakıtlar silindire alınırken gaz halinde olduklarından emme havasının kapasitesini azaltırlar. Bu da motorun gücünün düşmesine sebep olur. Bundan başka ateşleme avansı yeniden ayarlanmazsa, doğal gazın düşük yanma hızından dolayı daha düşük yanma sonu silindir basıncı ortaya çıkar. Bu da motor torkunun azalmasına neden olur. Volümetrik verimin ve güç çıkışının artması için, soğutma sisteminin yeniden ayarlanması gerekir. Gaz yakıtlı çalışmada, benzin ile çalışmada kullanılan termostatın açılma sıcaklığından 10 yada 15 °C daha düşük sıcaklıkta açılan termostat kullanılmalıdır.

Karim (1983), gaz yakıtlarda ateşleme, kendiliğinden ateşleme ve vuruşu sınırlarını; sıkıştırma oranı, hava fazlalık katsayısı ve emilen karışımın sıcaklığına bağlı olarak karşılaştırmıştır. Metan ile yapılan bu çalışmada, emilen karışımın sıcaklığı 34 °C iken sıkıştırma oranı 16 olduğunda, 72 °C iken sıkıştırma oranı 14 olduğunda, 106 °C iken sıkıştırma oranı 13 olduğunda, 138 °C iken sıkıştırma oranı 12,5 olduğunda ve 154 °C iken sıkıştırma oranı 10,5 olduğunda vuruşu başlamıştır. Emilen karışımın sıcaklığı 106 °C iken sıkıştırma oranı 16 olduğunda, 138 °C iken sıkıştırma oranı 15 olduğunda ve 154 °C iken sıkıştırma oranı 14,5 olduğunda, karışım kendiliğinden ateş almıştır. Emilen karışımın sıcaklığı 138 °C olduğu zaman sıkıştırma oranı 16'ya yükseldiğinde, 154 °C olduğunda ise sıkıştırma oranı 15,5'e yükseldiğinde, karışım kendiliğinden ateş aldıktan sonra vuruşu başlamıştır. Hava fazlalık katsayısı 0,6 ile 1,3 sınırının dışına çıktığında, bujiden kıvılcım çıktığı halde yanmadığı belirtilmiştir.

Christopher S.Weaver (1989), doğal gazın motorlu araçlarda kullanılmasıyla ilgili olarak yaptığı çalışmada, doğal gazın motorlu araçlar için temiz bir yakıt olduğunu belirtmiştir. Doğal gaz ile çalışan motorların genellikle yüksek olan NO_x emisyonlarının, üç yollu katalist kullanılarak ve hava/yakıt oranı doğru ayarlanarak, fakir yanma yada hızlı yanma motorlarında alev sıcaklıkları düşürülerek azaltılabileceğini belirtmiştir. Ayrıca, hava/yakıt oranının doğru olarak ayarlanmasının güç çıkışı ve verimi artırmasının yanısıra, eksoz emisyonlarının

düşürülmesinde de oldukça önemli olduğunu, fakir çalışmada doğal gazın yanması için kıvılcım enerjisinin yüksek olması gerektiğini, ateşleme zamanı, yakıt ekonomisi ve eksoz emisyonlarında oldukça önemli etkiye sahip olduğunu ifade etmiştir.

Weaver (1989), doğal gaz ile çalışmada yanma hızını geliştirmek için iki tip hızlı yanma odası geliştirmiştir. Bu çalışmada, yanma odası dizaynının, vuruntunun azaltılması ve verimin yükselmesinde oldukça önemli olduğu, doğal gazın yanma hızının benzine oranla daha az olması nedeniyle, verimin artırılması için yanma hızının artırılması gerektiği, fakir karışımla çalışan ve yüksek sıkıştırma oranlı motorlarda alev hızının motor performansında oldukça büyük etkiye sahip olduğu, geliştirdiği yanma odalarının hava-yakıt karışımında türbülans meydana getirerek alev hızının artmasını sağladığı ifade edilmiştir.

Onurbaş A. (1990), çeşitli gaz yakıtları yakacak bir karıştırıcı geliştirmiş, karıştırıcı ile doğal gaz, biogaz ve LPG yi, tek silindirli buji ile ateşlemeli motorda sabit devirlerde denemiştir. Deneme sonunda, biogaz ve doğal gaz ile yapılan çalışmada elde edilen güç ve moment eğrilerinin, benzin kullanımı ile elde edilen değerlerin sürekli altında kaldığı belirlenmiştir. Özgül yakıt tüketiminde ise, doğal gazla çalışmada, benzine göre % 7-33 arasında bir azalma görülmüştür. Araştırmacı, doğal gaz, biogaz ve LPG'nin, aynı benzin motoru üzerinde önemli bir değişiklik yapılmadan, karbüratör yerine takılacak uygun bir karıştırıcı aracılığı ile alternatif yakıt olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

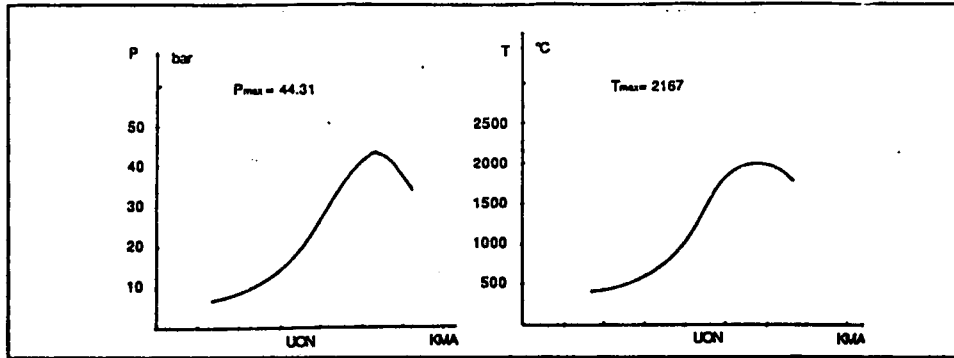
Bayhan M. (1992), motorlu taşıtlarda yakıt olarak doğal gazın kullanılmasıyla eksoz emisyonlarının azaltılması konulu makalesinde, konuyu teorik olarak incelemiştir. Makalede, taşıtlarda doğal gaz kullanımıyla, dizel motorlarda NO_x ve HC emisyonlarında, benzin motorlarında ise CO ve HC emisyonlarında azalmalar temin edileceği belirtilmektedir. Ayrıca, benzinli araçta doğal gaz kullanımı sonucunda, güç ve momentte düşme olmakla beraber, motor veriminde bir artma ve bunun sonucu olarak ta özgül yakıt tüketiminde düşmelerin olduğu belirtilmektedir.

Özaktaş T. (1988), yaptığı çalışmada, matematiksel bir model kurarak, Otto çevrimi ile çalışan ve konstrüktif özellikleri bilinen bir benzin motorunun, çevrim analizini teorik olarak incelemiş ve sonuçların gerçek motor değerlerine uygun olduğunu göstermiştir. Aynı matematiksel simülasyon modeli ile, elemansal analizi bilinen doğal gazın bu motorda

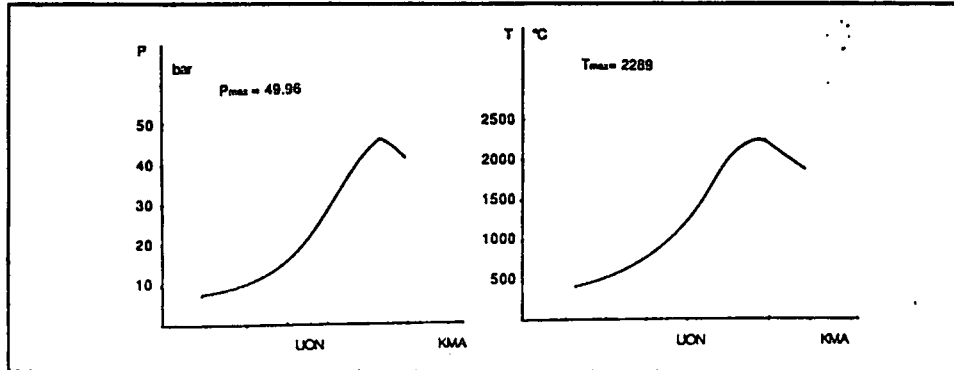
kullanılması halindeki çevrim analizi incelenerek karşılaştırmaları yapılmıştır. Çeşitli hava fazlalık katsayısı ve dönme sayısı değerlerinde, basınç ve sıcaklığın çevrim boyunca değişimi ile güç ve özgül yakıt tüketimi bulunmuş, benzin motoru için yapılan bu işlemler, doğal gaz motoru için de tekrarlanmıştır. Her iki motor için bulunan değerler birbirleriyle karşılaştırılarak doğal gaz motorunun üstünlükleri belirlenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar Şekil 2.1' de gösterilmiştir.

Çolak S. (1992) yaptığı çalışmada, tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motorda (Lombardini LA 205) hiç bir değişiklik yapmadan % 100 doğal gaz kullanımının motor karakterleri üzerine etkisini benzinle karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Deney setine, içinde % 100 doğal gaz bulunan tüp ve gaz sayacı bağlayarak, motorun moment, güç ve özgül yakıt tüketimini hesaplamış, bu değerleri % 100 benzin kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda, moment değerinde % 29,4, güç değerinde % 33 azalma, özgül yakıt tüketimi değerinde ise % 35 artış olduğunu belirtmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 2.2 'de gösterilmiştir. Sonuç olarak, küçük güçlü içten yanmalı motorlarda % 100 doğal gazın verimli olarak kullanılabilmesi için, motorun sıkıştırma oranının artırılmasının ve motorun özelliklerine uygun bir gaz karıştırıcısının gerekli olduğunu belirtmiştir.

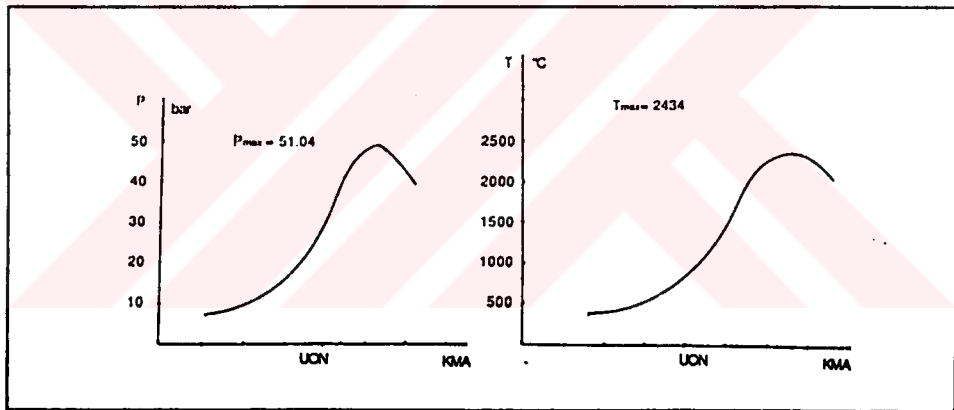
Yücesu H.S. (1993), yaptığı çalışmada Anadol marka 1197 cm³ toplam silindir hacmindeki buji ile ateşlemeli bir motoru doğal gazla çalıştırabilmek için gerekli olan gaz karıştırıcıyı tasarlamış ve denemelerde kullanmıştır. Deney sonuçları Çizelge 2.1 ve 2.2 'de 1/min'den başlayarak) sürekli artış göstermiştir. Sadece 4500 1/min'de maksimum güce göre %3,3'lük bir azalma göstermiştir. Doğal gazla çalışmada ise 3500 1/min'e kadar artış gözlenmiş fakat bu devirden sonra hızlı bir güç düşüşü meydana gelmiştir. Deneme sonucunda, doğal gazın 3500 1/min'den sonra motorda çeşitli düzenlemeler (yanma odası geometrisinin değiştirilmesi, emme manifoldunun yeniden düzenlenmesi v.b.) yapılmadan verimli olmayacağı sonucuna varılmıştır. Motor torku ise, doğal gazla çalışmada 2700 1/min'e kadar artış, bu devirden sonra ise azalma göstermiştir. Benzin ile çalışmada da motor torku 2700 1/min'den sonra düşüş göstermiş, fakat doğal gazla çalışmada meydana gelen düşüş daha fazla olmuştur. Şekil 2.3 ve 2.4'de, motor gücü ve motor torkuna ait grafikler gösterilmiştir.



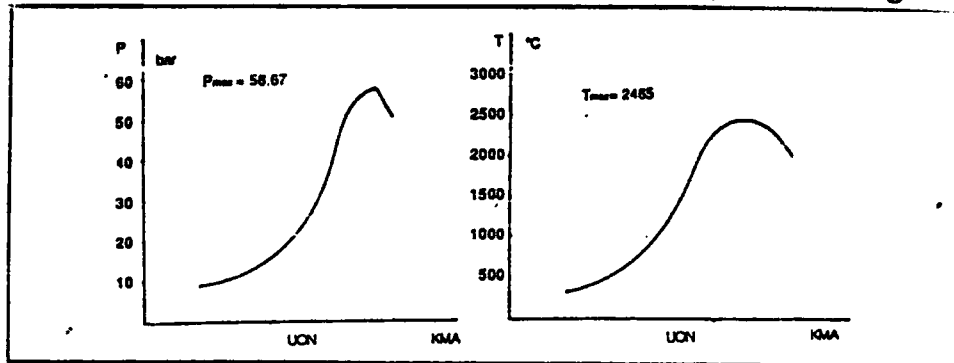
a) Doğal gaz motorunda fakir karışımında basınç ve sıcaklığın KMA' na göre değişimi ($\epsilon=8,8$)



b) Doğal gaz motorunda stokiyometrik karışımında basınç ve sıcaklığın KMA' na göre değişimi ($\epsilon=8,8$)

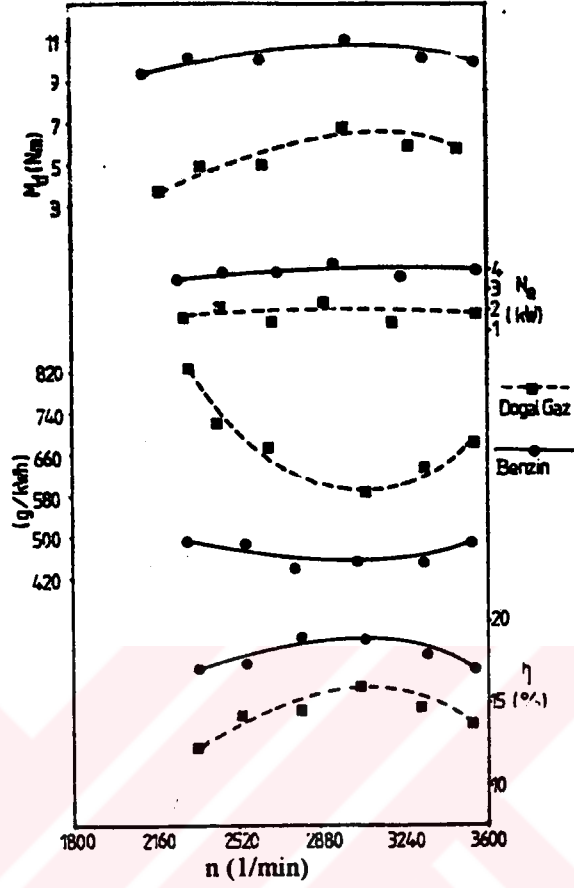


c) Doğal gaz motorunda zengin karışımında basınç ve sıcaklığın KMA' na göre değişimi ($\epsilon=8,8$)



d) Doğal gaz motorunda zengin karışımında basınç ve sıcaklığın KMA' na göre değişimi ($\epsilon=10$)

Şekil 2.1. Doğal gaz motorunda modelleme sonucunda elde edilen sonuçlar (Öztaş,1989)



Şekil 2.2 Doğal gaz için döndürme momenti, özgül yakıt tüketimi ve efektif verim değişimleri (Çolak, 1992)

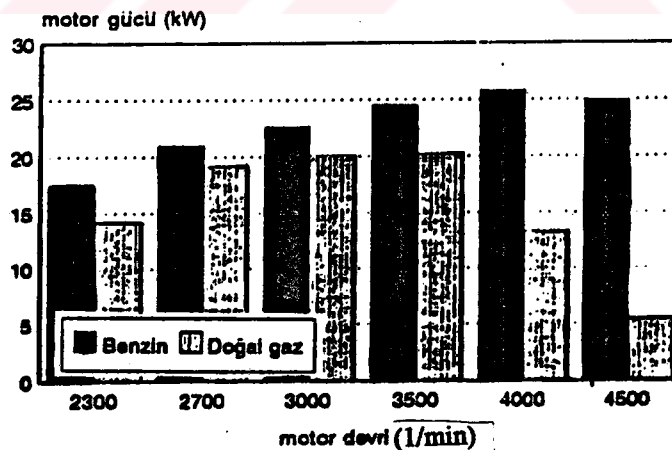
Çizelge 2.1 Benzinle çalışmaya ait veriler (Yücesu, 1993)

Motor devri (1/min)	Motor torku (Nm)	Motor gücü (kW)	Yakıt tük. (kg/h)	Termik verim (%)	Volümetrik verim (%)
2300	72,5	17,46	7,9	18,26	77
2700	74,3	21	8,9	19,5	79,22
3000	72,2	22,69	9,6	19,52	77,93
3500	67	24,56	10,6	19,14	79,03
4100	61,7	25,85	11,7	18,25	81,3
4500	53	24,98	12,8	16,12	82,52

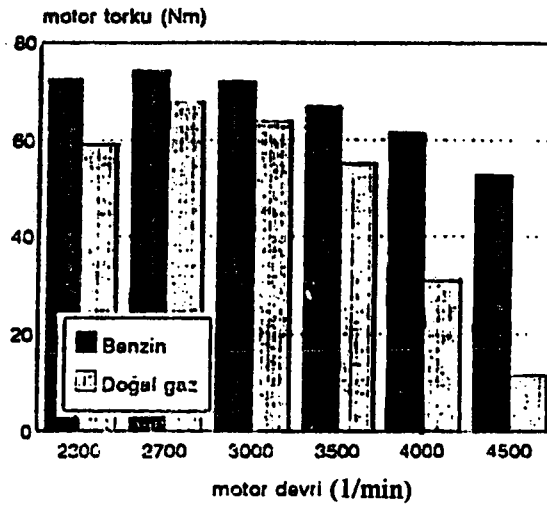
Çizelge 2.2 Doğal gazla çalışmaya ait veriler (Yücesu, 1993)

Motor devri (1/min)	Motor torku (Nm)	Motor gücü (kW)	Yakıt tük. (kg/h)	Termik verim (%)	Volümetrik verim (%)
2300	59,15	14,25	6,24	22,6	70,23
2700	67,85	19,19	7,20	26,37	73,69
3000	63,99	20,10	8,40	23,69	72,23
3500	55,27	20,26	9,60	20,89	73,73
4100	31,03	13,32	10,68	12,35	81,2
4500	11,64	5,48	11,76	4,62	79,67

Albay A.O. (1993), yaptığı çalışmada, doğal gazı benzin içerisine belli oranlarda katarak kullanmış ve çıkan sonuçları benzinin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır. Çalışmada silindir çapı 90 mm stroku 80 mm olan Farymann marka motor kullanılmış olup , çalışma esnasında motor devri 2000 1/min'de, ateşleme avansı ise 10°de tutulmuştur. Benzin kullanıldığında, karışım maksimum $\lambda=1,44$ 'e kadar fakirleştirilebildiği için, değerlendirme benzin+doğal gazda $\lambda=1,44$ ve daha büyük değerler için yapılmıştır.



Şekil 2.3. Doğal gaz ve benzinele çalışmada motor gücü (Yücesu, 1993).

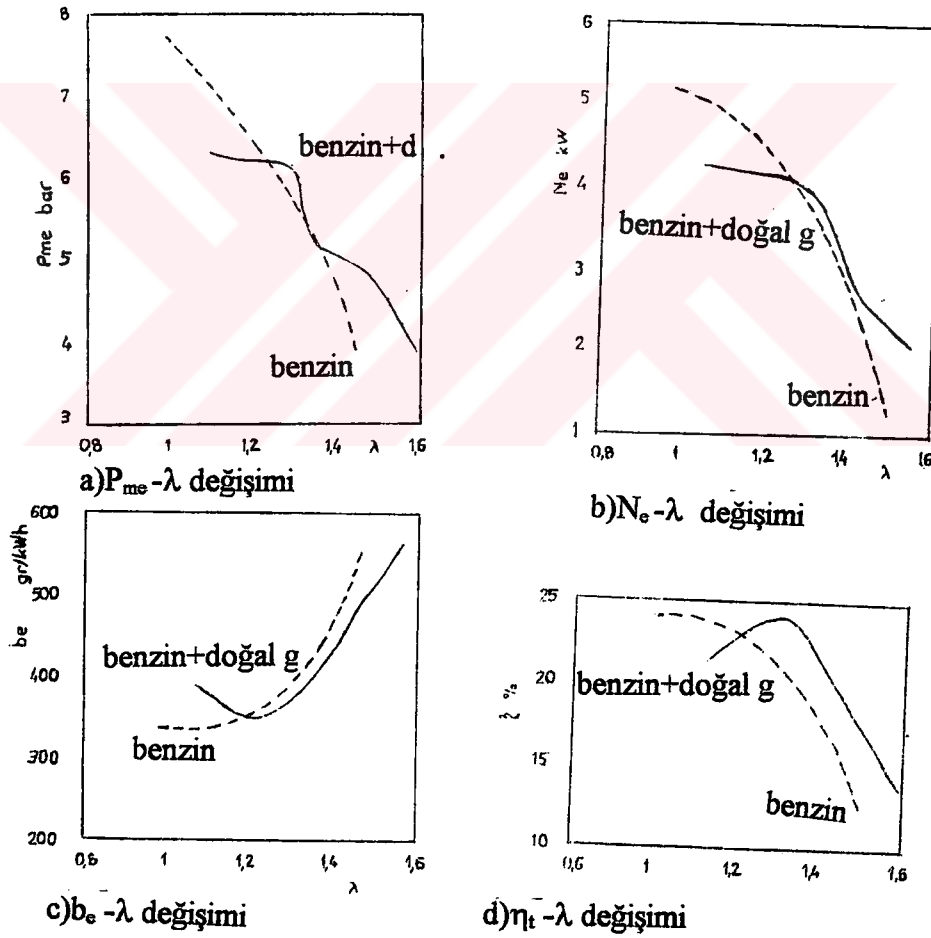


Şekil 2.4. Doğal gaz ve benzinle çalışmada motor torku (Yücesu, 1993)

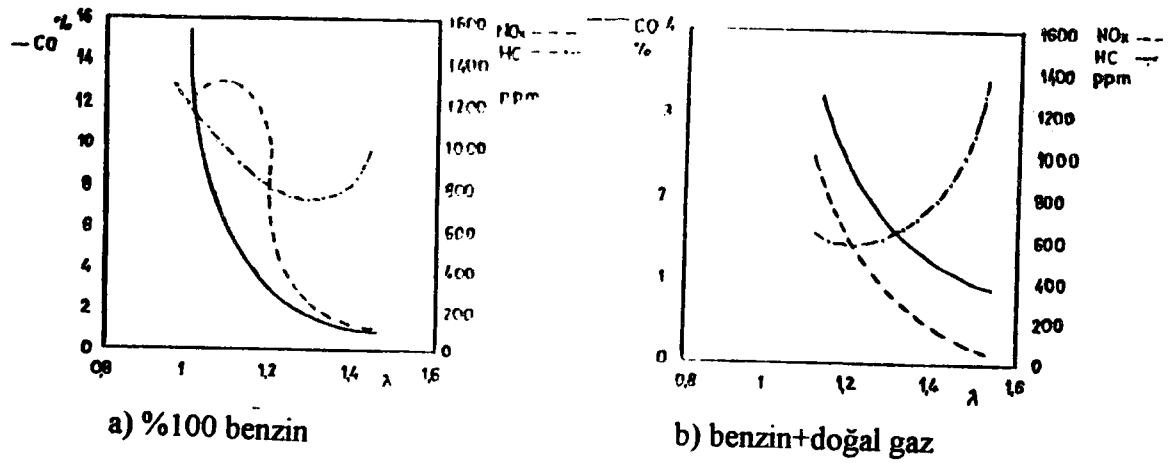
% 100 benzin kullanıldığında, $\lambda = 1,44$ 'deki $N_e = 2,2$ kW, $P_{mc} = 4,06$ bar olmuştur. Benzine % 20 doğal gaz eklendiğinde ve karışım daha fakirleştirildiğinde ($\lambda = 1,46$) güç $N_e = 2,73$ kW'a yükselmiş, $P_{mc} = 4,06$ bardan 5,04 bara çıkmış, özgül yakıt tüketimi $b_e = 520$ g/kWh'dan 412 g/kWh'a inmiştir. Benzin ve benzin+doğal gazda aynı hava fazlalık katsayılarında çalışıldığında, benzin+doğal gazın benzine göre daha iyi sonuç verdiği ifade edilmiştir. % 100 benzinle $\lambda = 1,14$ 'de $N_e = 3,79$ kW, $P_{me} = 5,87$ bar, $b_e = 405$ g/kWh, aynı λ ile benzin+doğal gaz kullanıldığında ise, $N_e = 4,11$ kW, $P_{me} = 6,16$ bar ve $b_e = 382$ g/kWh olmuştur. % 100 benzinde $\lambda = 1,44$ 'de NO_x emisyonu 100 ppm iken, aynı λ 'da benzin+doğal gaz kullanıldığında 90 ppm'e düşmüştür. % 100 benzinde $\lambda = 1,14$ iken, $NO_x = 1100$ ppm, aynı λ 'da benzin+doğal gaz kullanıldığında 850 ppm olmuştur. HC emisyonu, karışım fakirleştirildiğinde benzinlide, zenginleştirildiğinde ise benzin+doğal gazlıda daha avantajlı olmaktadır. CO emisyonu açısından ise pek fark görülmemiştir. Verim bakımından ise benzin+doğal gaz daha avantajlı bulunmuştur. Verim, % 100 benzinde $\lambda = 1,44$ iken %16, benzin+doğal gazda ise %20 kadar; $\lambda = 1,14$ iken, % 100 benzinlide %20, benzin+doğal gazda % 22 kadar olmuştur. Bu da verim bakımından, benzin+doğal gazın azda olsa avantajlı olduğunu göstermektedir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar Şekil 2.5 ve 2.6 'da gösterilmiştir.

Meyer R.C. ve arkadaşları (1992), tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motorda, buji sayısı ve buji yerlerini değiştirerek çeşitli deneyler yapmışlardır. Deneyler sonunda buji sayısı ve yerinin, NO_x , HC, CO emisyonları yanma süresi, ateşleme gecikmesi, maksimum silindir basıncı ve maksimum silindir sıcaklığına büyük etkisi olduğu görülmüştür. Düşük emisyon meydana getirmek için, fakir karışım ön yanma odasıyla birlikte, stokiyometrik yanma ve üç yollu katalistle dıştan oksidasyonun kullanılabilceği belirtilmiştir. Bujilerin deney sırasındaki yerleşim biçimi Şekil 2.7'de, yapılan deneylerin sonucunda elde edilen performans eğrileri ise Şekil 2.8'de gösterilmiştir.

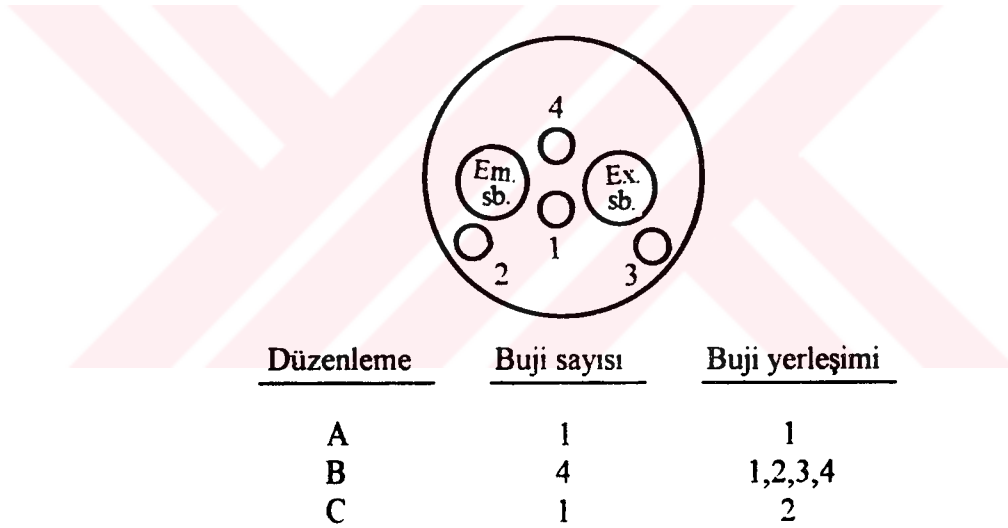
Çok buji düzenlemesinin Şekil 2.7 (B) performansta daha geniş avantaja sahip olduğu görülmüştür. Uygulama sonucunda bütün hava fazlalık katsayılarında daha büyük güç ve daha büyük termal verim elde edilmiştir. Yanmama oranı düştüğünde,



Şekil 2.5 P_{me} , N_e , b_e ve η_t 'nin λ 'ya göre değişimi (Albay.1993).

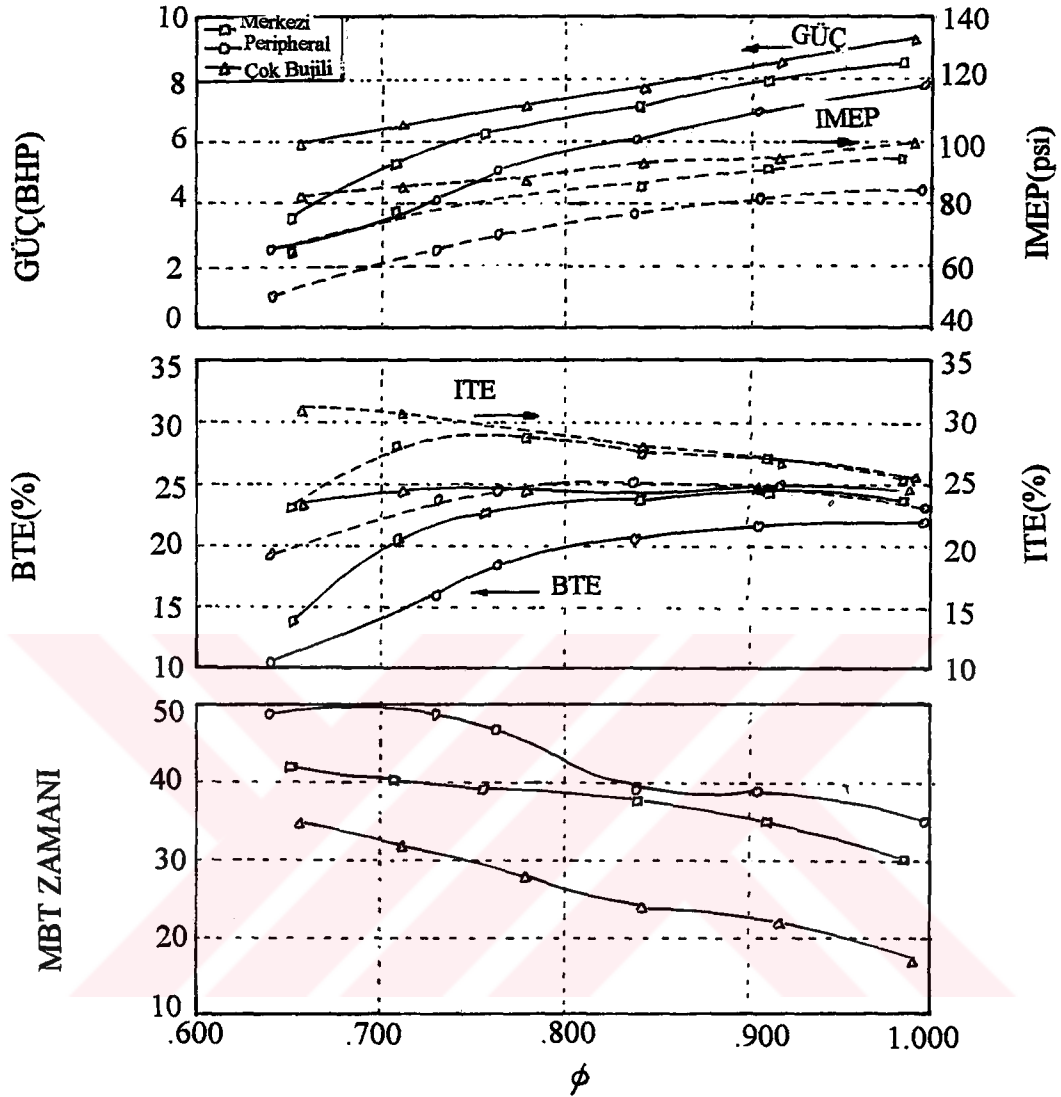


Şekil 2.6. Emisyonların λ'ya göre değişimi (Albay.1993).



Şekil 2.7 Buji yerleşim düzeni (Meyer, 1992).

daha düşük hava fazlalık katsayısında, HC üretimi daha düşük olmuştur. Bununla birlikte, daha hızlı yanma sonucunda, aynı derecede düşük hava fazlalık katsayısında, diğer düzenlemelerden daha yüksek NO_x üretimi gerçekleşmiştir. Peripheral C buji yerleştirmesi, λ=0,8-1 arasının haricinde, normalin üzerinde emisyon üretmekte ve daha az performans gösterdiği halde, daha düşük NO_x ve HC emisyonları üretmektedir. Merkeze yerleştirilmiş A bujisi düzenlemesi, diğer düzenlemelerle mukayese edildiğinde, yeterli performans ve düşük emisyon ürünlerinde en iyi sonucu vermiştir.



Şekil 2.8 Performans sonuçları (Meyer, 1992).

Sonuçta; farklı buji düzenlemeleri, farklı yanma oranlarıyla birleştirildiğinde her bir hava fazlalık katsayısı için optimal bir yanma oranı olduğu, bu optimal yanma oranının, NO_x ürünleri ve performans karakteristiklerini yeterince karşılayabildiği ifade edilmiştir. Mevcut dizel motorlarından doğal gaza dönüştürülmüş motorlarda tek merkeze yerleştirilmiş bujili düzenlemenin, optimuma yakın yanma oranında en uygun düzenleme olduğunu belirtmişlerdir.

Klimstra J. (1990), fakir karışimli doğal gaz motorlarını, özgül yakıt tüketimi, güç kapasitesi ve emisyonlar bakımından incelemiş, NO_x emisyonu sınırlamalarının azalmasında shaft

verimi ve silindir yüklerinin etkisi olduğunu, CO ve HC emisyonlarının düşürülmesinin de mümkün olduğunu belirtmiştir. Özgül güç kapasitesinde ve şaft verimindeki her gelişmenin, NO_x emisyonunda düşmeye sebep olduğunu, fakir karışimli motorlarda NO_x üretimindeki düşüşün, hava/yakıt oranının artışı, düzenli yanma ve emniyetli ateşlemenin elde edilmesiyle sağlandığını belirtmiştir. Bu durumda, ön yanma odasının olumlu sonuçlar vereceği, ancak çok fakir karışımlarda HC emisyonlarının artmasına karşı dikkatli olunması gerektiği belirtilmiştir. Performansla ilgili olarak, gelecekte fakir karışimli motorların fren ortalama efektif basıncının (BMEP) 12 barı fazlaca geçmeyeceği, NO_x emisyonunu düşük tutmanın zor olduğu, BMEP'in 12 bardan fazla olmasının şaft verimini artıracacağı, fakir karışimli motorların şaft veriminin yaklaşık olarak maksimum % 40 ile sınırlandırıldığını, uygun şaft veriminde ve BMEP'in yaklaşık 12 bar değerinde, NO_x miktarının 75 g/GJ olması gerektiği, uygun bir dizayn ile, CO emisyonununun 150 g/GJ'ü geçmeyeceği ve HC emisyonlarının yakıt girişinin % 1'inden daha az olarak sınırlandırılabilceği, bundan sonraki araştırmalarda, istenmeyen bütün bileşiklerin emisyonlarını düşürmek için özel tasarımlar yapılabileceği belirtilmiştir.

Ronney T.D. ve arkadaşları (1991), doğal gaz, 89 oktan kurşunsuz benzin, 2,2-dimetil bütan (22DMB)ve MTBE (metil tertü-butil eter) in, stokiyometrik ve fakir yakıt-hava karışımlarında, 4 silindirli otomobil motorundaki vurunu karakteristikleri üzerine çalışmışlardır. Her bir yakıt için, farklı giriş sıcaklığında vurunu sınırları çok farklı bulunmuştur. Fakat, aynı giriş sıcaklığındaki vurunu sınırları, fakir karışımlarda, stokiyometrik karışımdan daha yüksek bulunmuştur. Benzin ve 22 DMB'nin ITKL (The Intake Temperature at the Knock Limit) sinde fakir karışım halinde artış , MTBE ve doğal gazın ITKL sindeki artıştan daha yüksektir. 22 DMB'nin fakir karışımlar için ITKL MTB ve hemen hemen onun kadar yüksek olan doğal gazdan daha yüksek değer göstermesi şaşırtıcıdır. Bu sonuçlar kendi kendine ateşleme kimyasının ayrıntılı sayısal modeliyle karşılaştırılmış ve bütün modellemelerde model ve deney sonuçları arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür.

Gou M. ve arkadaşları (1990), orjinali benzinli olarak tasarlanmış buji ile ateşlemeli bir motorda alternatif yakıt olarak doğal gaz kullanımının yanma karakteristiklerinde meydana getirdiği gelişmeleri araştırmıştır. Doğal gazın gerekli fiziksel karakteristikleri orjinal güçten %10-20'lik güç kaybına neden olur. Bazı talepler için bu kabul edilmez. Bu taleplerde yanma artırılarak karşılanabilir. Bu araştırmada doğal gaz ve benzin karışımı kullanılarak tek silindirli

motorun performansı geliştirilmiştir. Metan-hava karışımının alev hızı, benzin-hava karışımının alev hızından daha hızlı olduğu kabul edilmiştir. Metan-hava-benzin karışımının ise daha iyi yanma karakteristiklerine sahip olduğu belirtilmiştir.

Gambino M., Iannoccane S. ve Unich A. (1991), diesel motorunun doğal gazlı buji ile ateşlemeli bir motora dönüşümü için gerekli analizleri yapmışlardır. Deney sonuçları, diesel ve doğal gazlı buji ile ateşlemeli motor için serbest emme ve turboşarj için dönüşüm gösterilmiştir. Emisyon değerleri, doğal gaz dönüşümünün elektronik emisyon kontroluna ihtiyaç duyduğunu göstermiştir. Yapılan deneylere dayanarak, dizel motordan dönüştürülen metan yakıtlı buji ile ateşlemeli bir motorun emisyon değerleri ve performansı tatmin edicidir. Basit bir yanma odası geometrisi ve özel dizayn edilmiş giriş portuyla Avrupa emisyon düzenlemelerinden daha düşük düzeyde emisyonlarla birlikte, diesel motor performansı ile aynı olması mümkündür. Şekil 2.9 'da serbest emmeli motorun teknik değerleri ve elde edilen sonuçlar, Şekil 2.10 'da ise turboşarjlı motorun teknik değerleri ve elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

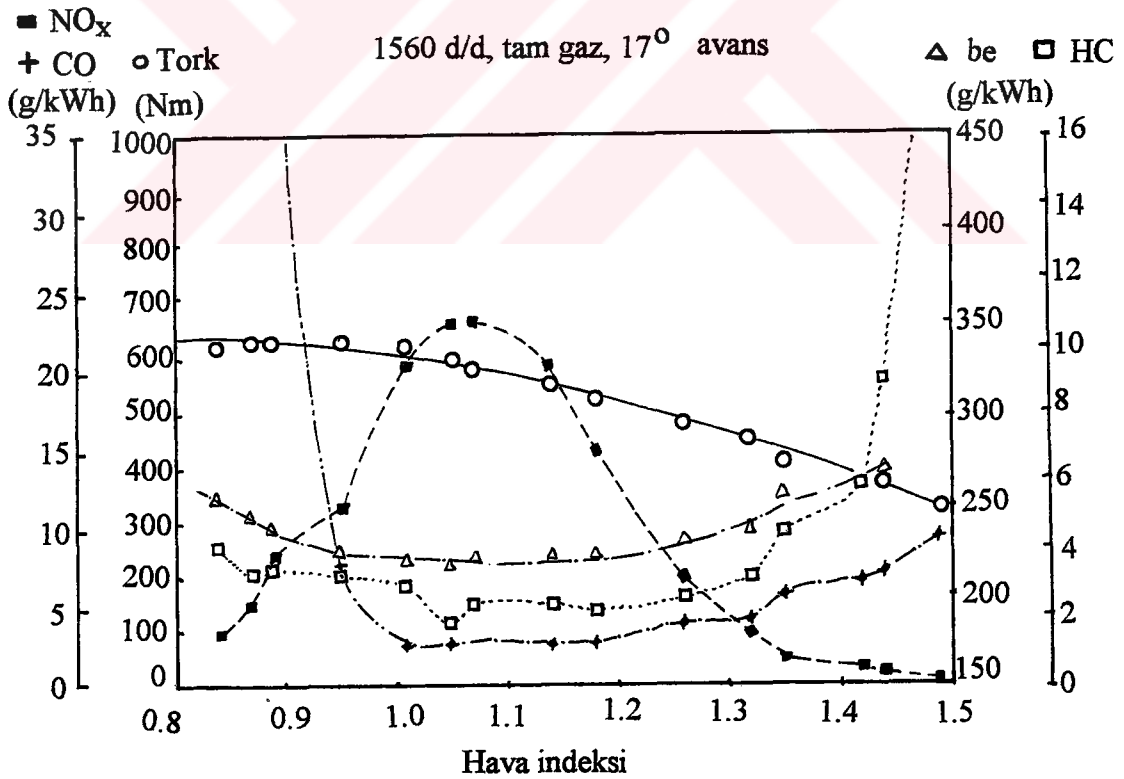
Schiffgens H.J. ve arkadaşları (1994), stokiyometrik ve fakir karışimli Otto çevrimli doğal gaz motorunda bazı dizayn değişikliklerinin ve metan numarası değişikliğinin (LPG veya CNG ilavesi) uyum parametrelerini kullanarak optimize etmişlerdir. Otto çevrimli gaz motorlarının kontrolü için metan numarası değiştirme fikrini benimsemişlerdir. Şekil 2.11 'de metan numarası değişikliğinin ve değişik dizaynların etkileri görülmektedir. Yeni geliştirilmiş gaz motorlarının istenen temiz hava kalitesine uygunluk gösterdiği görülmüştür. Test sonuçlarında Otto çevrimli gaz motorlarının emisyon limitlerine uygunluğu yanında yüksek verimlerini de devam ettireceklerini belirtmişlerdir.

Fowler T., Londer D. ve Broomhall D. (1991), doğal gaz yakıtlı içten yanmalı motorlarda NO_x emisyonunu düşürmek için bir çalışma yapmışlardır. Standard üç yollu konvertörler (TWC) içten yanmalı motorlarda doğal gaz kullanıldığında ve hava/yakıt oranı tam kontrol edildiğinde % 95 NO_x emisyonunda düşme olabilir. Yanmada asidik nem yoğunlaşmasında CO ve metan emisyonlarında % 50 ve % 98 düşme görülür. Doğal gazla yakıtlandırılmış motorlarda nitrojen oksitleri ve amonyak konsantrasyonu ölçümleri TWC'nin nitrojen reaksiyonundaki NO_x üzerinde yaklaşık % 100 etkili olduğunu göstermiştir. Doğal gazla yakıtlandırılmış birleşmiş ısı ve güç motorlarına TWC ilavesi, sera etkisi yapan

emisyonları minimuma indirir, partiküler SO_x emisyonunu ihmal edilebilir miktarda verir ve düşük NO_x emisyonlarıyla ideale yakın emisyonlar verir

Silindir sayısı	6
Toplam kurs hacmi	9572 cm ³
Silindir çapı	125 mm
Strok	130 mm
Sıkıştırma oranı	11/1 (17/1)
Maksimum güç	136 kW-2600 1/min (151 kW-2600 1/min)
Maksimum tork	572 Nm-1400 1/min(638 Nm-1600 1/min)
Maksimum fren verimi	0,316 (0,351)
Çift bujili elektronik ateşleme	
Çift karbüratör IMPCO 200	

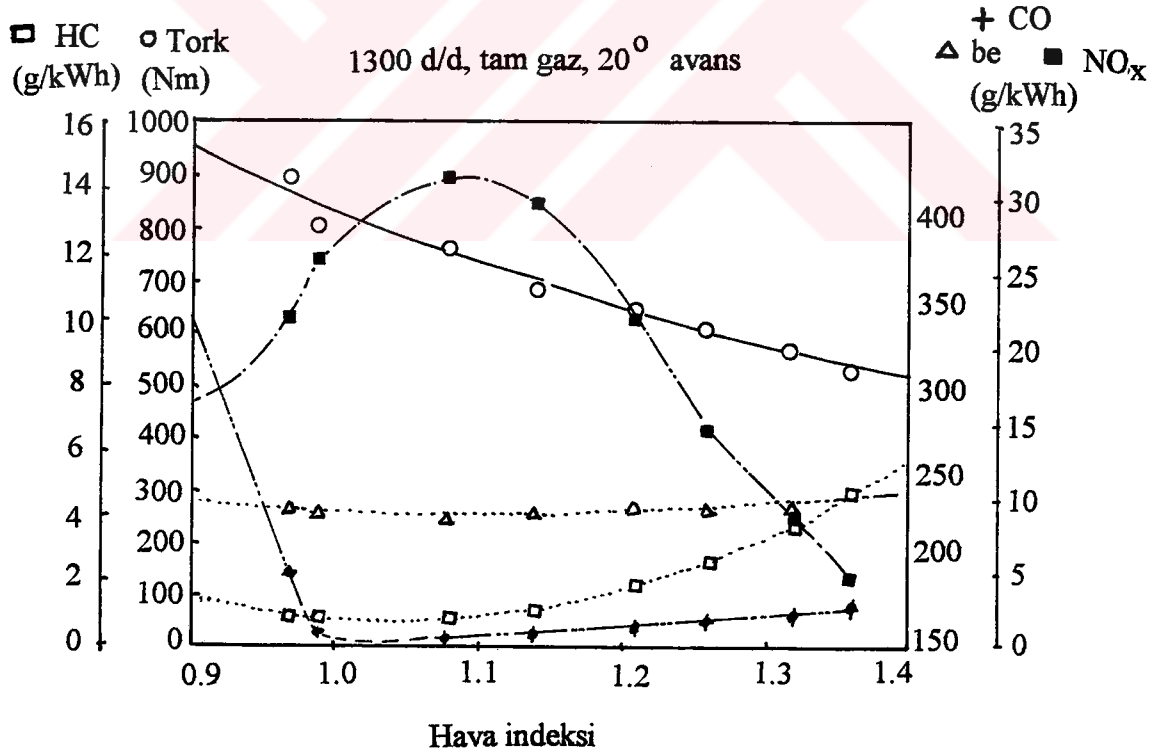
Not: Parantez içindeki değerler diesel motoruna aittir.



Şekil 2.9. Serbest emmeli motorun teknik değerleri ve elde edilen sonuçlar (Gambino, 1991).

Silindir sayısı	6 (turboşarjlı)
Toplam kurs hacmi	9500 cm ³
Silindir çapı	120 mm
Strok	140 mm
Sıkıştırma oranı	9/1 (16/1)
Maksimum güç	152 kW-2050 1/min (154 kW-2050 1/min)
Maksimum tork	962 Nm-1300 1/min (882 Nm-1100 1/min)
Maksimum fren verimi	0,321 (0,351)
Boost basıncı	0,60 bar
Bindirme (overlap) açısı	0 (49,8)
Çift bujili elektronik ateşleme	
Çift karbüratör IMPCO 200	
Ara soğutucu	

Not: Parantez içindeki değerler diesel motoruna aittir.



Şekil 2.10 Turboşarjlı motorun teknik değerleri ve elde edilen sonuçlar (Gambino,1991).

DEĞİŞİM	ETKİ					
	Stokiyometrik			Fakir		
	Vuruntu eğilimi	η_e	NO _x	Vuruntu eğilimi	η_e	NO _x
Ateşlemeyi geciktirme	++	--	o	++	-	++
Hava/yakıt oranının fakirleştirilmesi	/	/	/	+	o	+
Yük düşürme	+	--	o	+	-	+
Eksoz gaz resirkülasyonu	++	o	+	++	o	++
Karışım sıcaklığının düşürülmesi	++	+	o	++	+	++
Soğ.suyu sıcaklığının düşürülmesi	+	o	o	+	o	+
Hızın düşürülmesi	++	+	o	+	+	+
Kompresyon oranının düşürülmesi	++	--	o	++	-	++

++ çok faydalı + faydalı o etkisiz - negatif -- çok negatif

Şekil 2.11. Metan numarası değişikliğinin ve değişik dizaynların etkisi (Schiffgens, 1994).

Deluchi M.A., Jonston A.R. ve Spreling D. (1988), yaptıkları çalışmada metanollü taşıtlarla doğal gazlı taşıtları emisyon, performans, emniyet, maliyet gibi kriterler açısından karşılaştırmasını yapmışlardır. İleri metanollü araçların hava/yakıt oranı, sıkıştırma oranı ve diğer faktörlere bağlı olarak benzinli araçlarla mukayesesinde % 10-20 daha fazla güçlü olduğunu belirtmişlerdir. Yakın zaman için doğal gazın da en az metanol kadar iyibir yakıt olduğunu belirtmişler ve bu nedenle doğal gazın uzun zaman uygulanabilir bir yakıt olduğunu belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Deney Yeri

Deney, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Otomotiv Eğitimi Anabilim Dalı laboratuvarında yapılmıştır. Deney tesisatının şematik resmi Şekil 3.1'de deney tesisatı fotoğrafı ise Şekil 3.2'de görülmektedir.

3.2. Deneyde Kullanılan Motorun Özellikleri

Deneyde kullanılan motorun özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

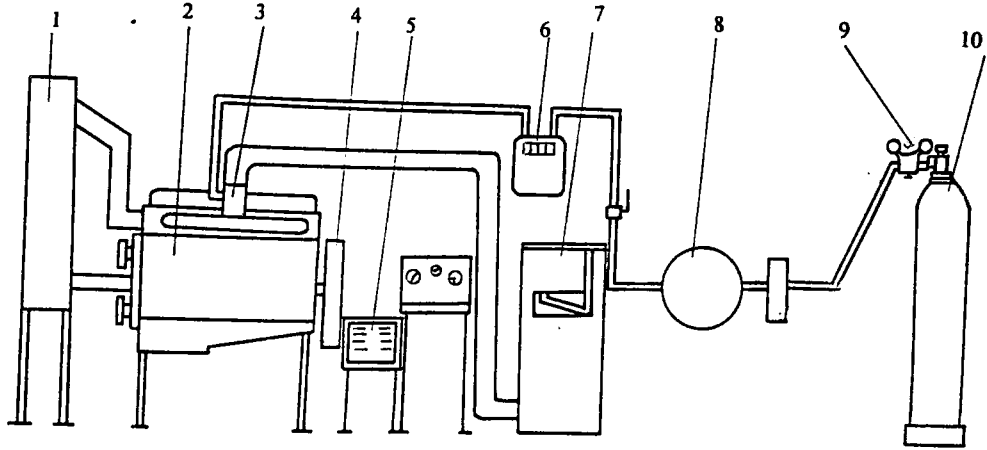
Çizelge 3.1. Deneme motorunun teknik özellikleri (Can, 1982)

Markası	Murat 124
Motor tipi	Sıra, I tipi
Silindir Sayısı	4
Silindir çapı	73 mm
Piston stroku	71,5 mm
Toplam kurs hacmi	1197 cm ³
Sıkıştırma oranı	8,8/1 (9,7)
Ateşleme sırası	1-3-4-2
Soğutma	Su ile
Yağlama	Basınçlı yağlama
Azami güç	5600 1/min'de 60 HP (DIN)
Azami döndürme momenti (tork)	3400 1/min'de 8,9 mkg

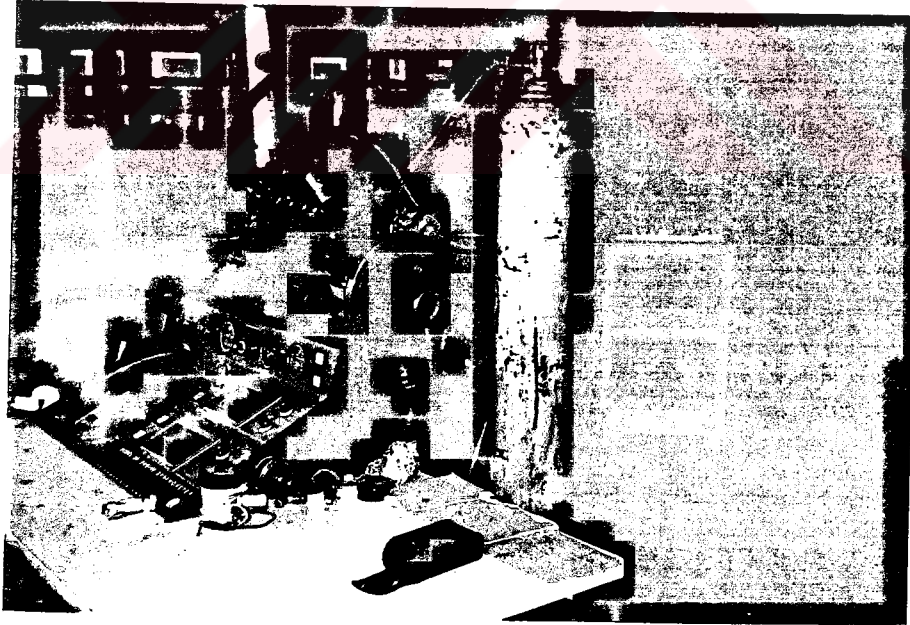
3.3. Doğal Gazlıya Dönüşüm İçin Kullanılan Elemanlar

Doğal gaza dönüşüm için; basınçlı doğal gaz tüpü, kapatma vanası, basınç göstergesi, basınç regülatörü, selenoid vana, gaz/hava karışım ünitesi kullanılmıştır. Bütün bu parçalar, Tartarini marka olup BOTAŞ tarafından İtalya'dan ithal edilmiştir.

- | | | | |
|-------------------|------------------------|--------------------------|-------------------|
| 1 Soğutma kulesi | 4 Dinamometre | 7 Havametre | 10 Doğal gaz tüpü |
| 2 Motor | 5 Emisyon ölçüm cihazı | 8 Regülatör ve manometre | |
| 3 Gaz karıştırıcı | 6 Doğal gaz sayacı | 9 Regülatör | |



Şekil 3.1. Deney tesisatının şematik resmi.



Şekil 3.2. Deney tesisatının fotoğrafı.

3.3.1. Basınçlı doğal gaz tüpü

Benzinli araçlar için kullanılan doğal gaz tüpü, 50-75 l kapasitelidir. Doğal gaz tüplere 200 barlık basınçla doldurulabilmektedir. Denemelerde kullanılan tüp ise, 150 bar basıncındaki doğal gazla doldurulmuştur.

3.3.2. Kapatma vanası

Doğal gaz tüpünün çıkışında bir adet kapatma vanası bulunmaktadır. Elle çalışan bu vana ile tüm gaz hattı kapanıp açılabilir.

3.3.3. Basınç göstergeleri

Tasarıma göre değişen basınç göstergesi mahalleri genellikle tüp basınçları ile regülatörden sonraki basınçları gösteren cihazlardır.

3.3.4. Basınç regülatörü

Deney tesisatında iki ayrı regülatör kullanılmıştır. Birinci regülatör, doğal gaz tüpünün hemen çıkışında olup yüksek basınçtaki gazın basıncını düşürmektedir. İkinci regülatör ise, gaz sayacı ile selenoid vana arasına yerleştirilmiştir. Bu regülatör, iki kademeli yapılmış olup basınç düşmesi sonucu oluşacak yoğunlaşmayı önlemek için çift cidarlı yapılmıştır. Regülatör, bir hortum ve basınç vasıtasıyla motor suyuyla irtibatlandırılarak cidarlar arasından sıcak su dolaşımı sağlanır. Ayrıca regülatör emme manifoldundaki vakumla irtibatlandırılmıştır.

3.3.5. Selenoid vana

Motorun orjinal yakıt ile çalışması veya stop etmesi durumunda gaz akışı bu vana vasıtasıyla kesilmektedir.

3.3.6. Gaz-hava karışım ünitesi

Bu ünite hava ayar klepesi ile emme manifoldu arasına veya hava ayar klepesi ile hava filtresi arasına monte edilen kesitte üniform bir gaz karışımı sağlayan bir ünedir.

3.4. Deneyden Önce Motorda Yapılan Değişiklikler

Deney yapılmadan önce, kullanılacak yakıtın gaz bir yakıt olmasından dolayı , gazların daha fazla sıkıştırılabileceği fikriyle motor sıkıştırma oranının artırılması düşünülmüştür. Bunun için, motor katalogunda müsaade edilen miktar olan 1mm kadar silindir kapağından talaş kaldırılmıştır. Sıkıştırma oranında yaklaşık 0,9/1 kadar artış sağlanmıştır. Sıkıştırma oranındaki artış miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

Eldeki veriler

$$\text{Silindir çapı (D)} = 73 \text{ mm}$$

$$\text{Strok (H)} = 71,5 \text{ mm}$$

$$\text{Toplam kurs hacmi } (\Sigma V_H) = 1197 \text{ cm}^3$$

$$\text{Silindir sayısı (z)} = 4$$

$$\varepsilon = (V_H + V_C) / V_C$$

V_C : odası hacmi (V_C)

$$V_H = \Sigma V_H / z$$

$$= 1197 / 4 = 299,25 \text{ cm}^3 = 299250 \text{ mm}^3$$

$$\varepsilon = (V_H + V_C) / V_C$$

$$8,8 = (299250 + V_C) / V_C$$

$$8,8 V_C - V_C = 299250$$

$$V_C = 38365,385 \text{ mm}^3$$

Silindir kapağından kaldırılan talaş miktarı 0,95 mm olarak aldığında yanma odası hacmi; $0,95 * \pi * (D_{\text{silindir}})^2 / 4$

Yani ; $0,95 * \pi * (73)^2 / 4 = 3976,11746 \text{ mm}^3$ kadar küçülür.

Talaş kaldırma işleminden sonraki sıkıştırma oranı yazılacak olursa;

$$\varepsilon = 299250 + (38365,385 - 3976,11746) / (38365,385 - 3976,11746)$$

$$\varepsilon = 9,7/1 \text{ bulunur.}$$

Ayrıca silindir kompresyon basınç değerleri de ölçülerek yaklaşık %8 civarında bir artış olduğu görülmüştür. Talaş kaldırılmadan yapılan ölçümler esnasında silindir

sırasına göre 8,79, 9,49, 8,79, 9,49 bar olarak bulunan değerler, talaş kaldırma işleminde sonra ise 9,49, 10,19, 9,49, 10,20 bar olarak ölçülmüştür.

3.5. Deneyleerde Kullanılan Ölçü Aletleri

3.5.1. Dinamometre

Model Dr Engine GO-POWER SYSTEMS marka hidrolik dinamometre kullanılmış olup, maksimum tork 160 mkg ve maksimum devir ise 10.000 1/min'dir. Soğutma sıvısı olarak şehir suyu kullanılmaktadır.

3.5.2. Havametre

GO-POWER M5000 tipindedir. Üzerinde 0-75 mmss aralığında ölçüm yapan bir manometre bulunmaktadır. Denemeler sırasında 1,183" çapında nozul kullanılmıştır. Havametre ile ilgili hesaplamalarda hava akışı ve düzeltme faktörü tabloları kullanılmıştır.

3.5.3. Doğal gaz sayacı

BRAUN NB marka kuru körüklü tip olup ölçü debisi minimum 3 m³/h' dir.

3.5.4. Yakıtmetre

Baster marka olup maksimum ölçme kapasitesi 15 kg'dır. 1 gram hassasiyetli olup dijital göstergelidir.

3.5.5. Kronometre

Denemelerde süre ölçümü için CASIO F91W marka 1 salise hassasiyetli kronometre kullanılmıştır.

3.5.6. Barometre

Denemelerde kullanılan barometre Precision marka olup ölçüm aralığı 710-800 mmHg'dır.

3.5.7. Emisyon ölçüm cihazı

Denemelerde emisyon ölçümü için SUN MGA1200 marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Cihaz CO, CO₂, HC, O₂ gazlarının analizini yapabilmekte, bunun yanında λ , hava/yakıt oranı ve motor devri de ölçülebilmektedir. Cihazın ölçüm sınırları Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

3.6. Deneyle İlgili Hesaplamalar

3.6.1. Motor torku

Motor torku, dinamometre tork göstergesinden kgm cinsinden okunarak yerçekimi

Çizelge 3.2. Emisyon ölçüm cihazı ölçüm sınırları ve hassasiyeti

PARAMETRE	ÖLÇÜM SINIRI	HASSASİYET
CO	0-%10	%0,01
CO ₂	0-%20	%0,01
HC	0-200 / 0-20000	1 ppm / 10 ppm
O ₂	0-%21	%0,1
λ	0,80-2,00	0,001
AFR	5,0-30,0	0,01
Motor devri	0-9000	1 rpm

ivmesi ve tork düzeltme faktörü ile çarpılarak belirlenmiştir. Birimi Nm'dir. Tork düzeltme faktörü ;

$$k_d = (100/P_a) * (T_a/298)^{0,5} \quad (\text{Yücesu,1991}).$$

k_d = Tork düzeltme faktörü

P_a = Deneme ortamı basıncı (kPa)

$$P_a = 751/760 * 1,01325 * 10^{-2}$$

$$P_a = 100,125 \text{ kPa}$$

$T_a =$ Deneme ortamı sıcaklığı (K)

$$k_d = (100/100,125) * (293,4/298)^{0,5}$$

$k_d = 0,988$ olarak belirlenmiştir.

$$M_{e1} = M_{e1} (\text{mkg}) * k_d * 9,81 \text{ (Nm)}$$

3.6.2. Motor gücü

Denemeler sırasında motor gücü, motor torku ve motor hızı tespit edilip güç formülünde yerine yazılarak tespit edilmiştir.

$$N_e = M_e * n / 9549$$

$N_e =$ Motor gücü (kW)

$M_e =$ Motor torku (Nm)

$n =$ Motor devri (1/min)

3.6.3. Yakıt ve özgül yakıt tüketimi

Benzin tüketiminin belirlenmesi için yakıtmetre ve kronometre, doğal gaz tüketiminin belirlenmesi için de gaz sayacı ve kronometre kullanılmıştır. Doğal gaz tüketimi m^3/h olarak ölçülmüş kg/h 'e dönüştürülmüştür. Yakıt tüketimi ve motor gücü değerlerinden faydalanılarak aşağıdaki bağıntıdan özgül yakıt tüketimi belirlenmiştir.

$$b_e = (B_e / N_e) * 10^3$$

$b_e =$ Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

$B_e =$ Yakıt tüketimi (kg/h)

$N_e =$ Motor gücü (kW)

3.6.4. Özgül enerji tüketimi

Özgül enerji tüketiminin belirlenmesi için daha önceki veriler kullanılmıştır. Belirli motor hızları için elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri, kullanılan yakıtların ısı değerleriyle çarpılarak özgül enerji tüketimi değerleri belirlenmiştir.

$$\text{Ö.E.T.} = (b_e * H_u) / 1000$$

$\text{Ö.E.T.} =$ Özgül enerji tüketimi (kJ/kWh)

b_e = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

H_u = Kullanılan yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

3.6.5. Özgül enerji maliyeti

Belirli motor devirleri için bulunan özgül yakıt tüketimleri yakıtların birim fiyatları ile çarpımı sonucunda elde edilmiştir.

Benzin için; $\text{Ö.E.M.} = (b_e / 1000 \rho_b) * F_b$

Ö.E.M. = Özgül enerji maliyeti (TL / kWh)

b_e = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

ρ_b = Benzinin yoğunluğu (kg / lt)

F_b = Benzin fiyatı (TL / lt)

Doğal gaz için; $\text{Ö.E.M.} = (b_e / 1000 \rho_d) * F_d$

Ö.E.M. = Özgül enerji maliyeti (TL / kWh)

b_e = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

ρ_d = Doğal gazın yoğunluğu (kg / m³)

F_d = Doğal gazın fiyatı (TL / m³)

3.6.6. Volümetrik verim

Volümetrik verim, denemeler sırasında havametre ile ölçülen hava tüketiminin, motorun bu çalışma sırasında tüketmesi gereken teorik hava tüketimine oranıdır.

$$\eta_v = L_g / L_t$$

$$\eta_v = \text{Volümetrik verim(\%)}$$

$$L_g = \text{Gerçek hava tüketimi (kg/h)}$$

$$L_t = \text{Teorik hava tüketimi (kg/h)}$$

3.6.7. Toplam verim

Toplam verim, motordan alınan mekanik enerjinin o anda motorun tükettiği yakıtın enerjisine oranıdır.

$$\eta_t = (N_e * 3600) / (B_e * H_u)$$

η_t = Toplam verim (%)

B_e = Yakıt tüketimi (kg/h)

H_u = Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

3.6.8. Emisyon değerleri

Performans değerlerinin alındığı devirlerde CO, CO₂, HC, O₂ emisyonları ve λ , AFR, n değerleri emisyon cihazı ekranından alınmıştır.

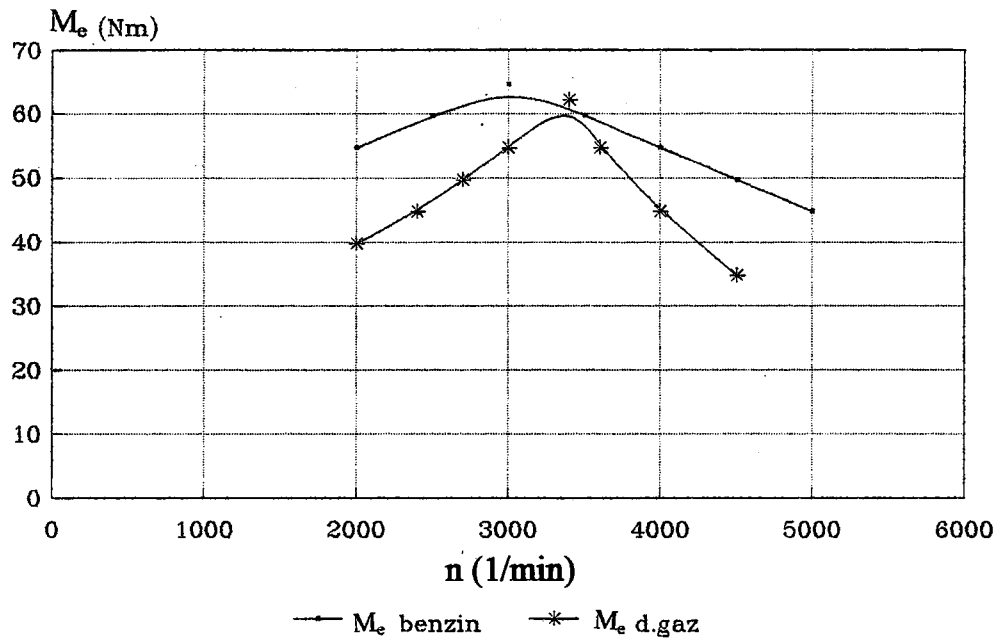


4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

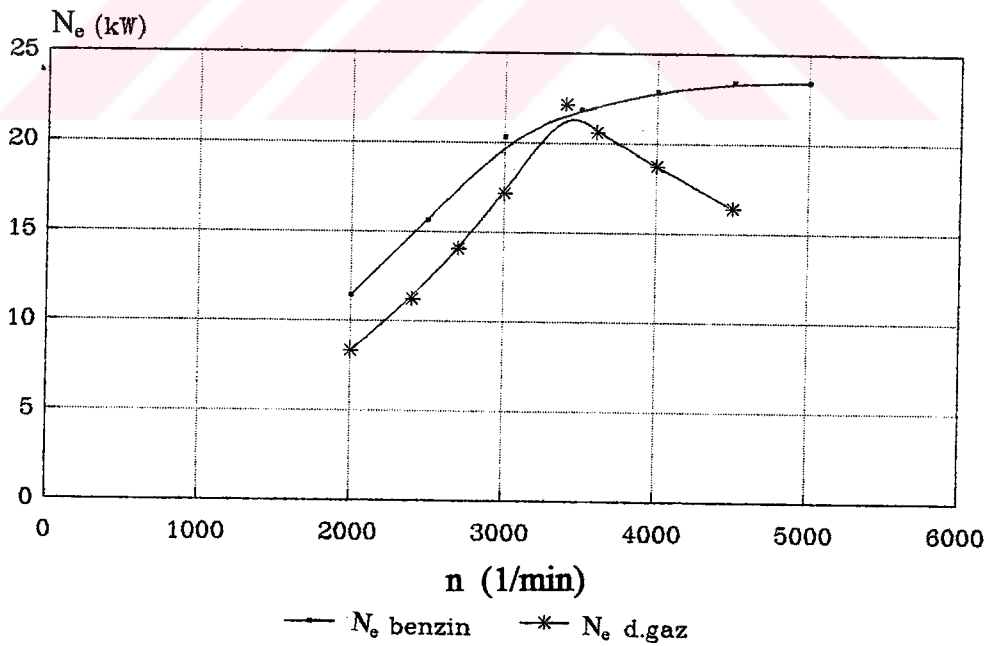
Doğal gaz ve benzin ile denemeler % 100 gaz keleşi açıklığında yapılmıştır. Dinamometre yükü değiştirilerek elde edilen farklı devirlerde ölçülen değerler, benzin ve doğal gaz için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Motor karakteristikleri ile ve emisyonlarla ilgili ölçülen ve hesaplanan değerler Ek'de verilmiştir.

4.1. Devir Sayısı - Tork İlişkileri

Şekil 4.1.'de, benzin ve doğal gazla çalışmada devir sayısına bağlı olarak motor torku değişimleri gösterilmiştir. Doğal gazla çalışmada elde edilen tork değerleri, 3400 1/min motor devri dışında, benzinle çalışmada elde edilen değerlerin altında kalmıştır. Benzinle çalışmada maksimum tork 3000 1/min'de 64,13 Nm, doğal gazla çalışmada ise 3400 1/min'de 62,13 Nm olarak belirlenmiştir. Benzinle yapılan denemede tork 2000 1/min'den başlayarak 3000 1/min'e kadar sürekli yükselmiş, bu devirde maksimum değerine ulaşmış ve sonra düşmeye başlamıştır. Doğal gazla yapılan denemede ise, tork 2000 1/min'den başlayarak 3400 1/min'e kadar yükselmiş, bu devirde maksimum değerine ulaşmış ve sonra düşmeye başlamıştır. Doğal gazla çalışmada meydana gelen düşüş benzinliye oranla biraz daha fazla olmuştur. Bu sonuç diğer araştırma sonuçlarına uymaktadır. 3400 1/min'den sonra doğal gazla çalışmada meydana gelen motor torkundaki düşüş daha önce yapılan çalışmalardakinden daha az olmaktadır. Bu devir sayısında elde edilen tork, benzinle yapılan çalışmada 3000 1/min'de elde edilen torka (maksimum tork) çok yakındır. Fakat maksimum motor torkundan sonraki düşüş doğal gazla çalışmada daha fazladır. Doğal gazla çalışmada elde edilen motor torkunun benzinle çalışmada elde edilen motor torkundan düşük olmasının sebebi, doğal gazın yanma hızının benzine göre daha az olmasına ve doğal gazın emme işlemini esnasında silindirlere daha az miktarda alınmasına bağlanabilir. Bu durum, gücün azalmasına da sebep olmaktadır.



Şekil 4.1. Benzin ve doğal gazla çalışmada motor torkunun devir sayısına bağlı değişimi.



Şekil 4.2. Benzin ve doğal gazla çalışmada motor gücünün devir sayısına bağlı değişimi.

4.2. Motor Gücü

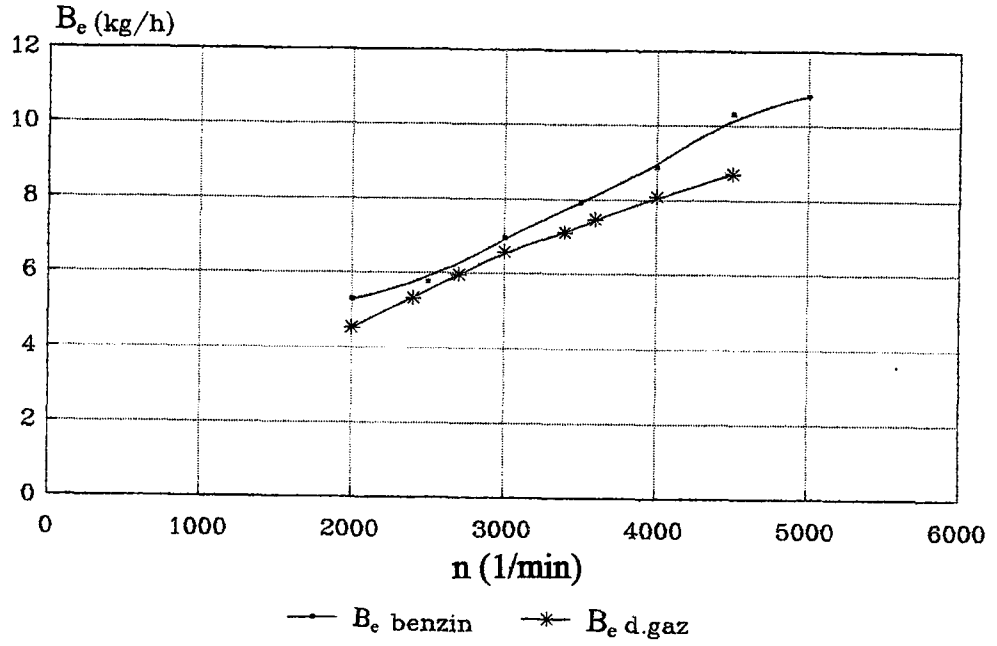
Benzin ve doğal gazla çalışmayla ilgili motor gücü eğrileri, Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Doğal gazla çalışmada elde edilen güç eğrisi, 3400 1/min motor devri dışında, benzinle çalışmada elde edilen değerlerin altında kalmıştır. Doğal gazla çalışmada maksimum güç, 3400 1/min'de 22,122 kW iken, benzin ile çalışmada 4500 1/min'de 23,42 kW olarak belirlenmiştir. Motor gücü, benzinle çalışmada 4500 1/min'e kadar sürekli artış göstermiş, doğal gazla yapılan denemede ise, 3400 1/min'e kadar artmış, bu devirden sonra azalmıştır.

Motor gücü değerlerinin değişimi doğal gazla çalışmada motor torku değişimine benzemektedir. Motor gücü doğal gazla çalışmada 3400 1/min'a kadar artmakta daha sonra azalmaktadır. Doğal gazla çalışmada elde edilen maksimum motor gücü değeri, benzinle çalışmada elde edilen maksimum motor gücü değerine yakındır. Fakat, doğal gazla çalışmadaki güç eğrisi benzinle çalışmadaki güç eğrisinden daha düşük devirlerde azalmaya başlamaktadır. Elde edilen bu sonuç ta diğer araştırma sonuçlarına uymaktadır.

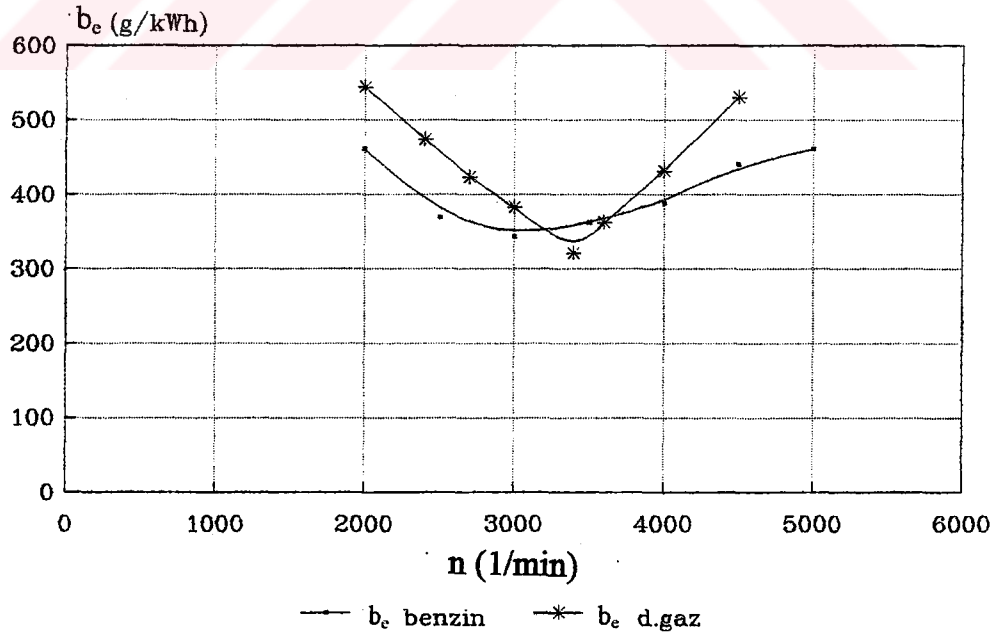
Motor torku ve gücü yanma hızının artırılması ile artırılabilir. Bu amaçla doğal gazla çalışmada türbülanslı yanma odaları önerilmektedir (Weaver, 1989). Türbülans etkisi, yanma odası geometrisi ve emme manifoldu dizaynı yardımıyla değiştirilebilir. Yanma süresinin kısaltılması için iki buji ile ateşleme de düşünülebilir.

4.3. Yakıt Tüketimi

Benzin ve doğal gazla çalışmaya ait yakıt tüketimi eğrileri Şekil 4.3.'de gösterilmiştir. Yakıt tüketimi, hem benzin hem de doğal gazla çalışmada 2000 1/min' den başlayarak sürekli artış göstermiştir. Bütün çalışma devirlerinde doğal gazla çalışmaya ait tüketim eğrisi, benzinle çalışmaya ait tüketim eğrisinin altında kalmıştır.



Şekil 4.3. Benzin ve doğal gazla çalışmada yakıt tüketiminin devir sayısına bağlı değişimi.



Şekil 4.4. Benzin ve doğal gazla çalışmada özgül yakıt tüketiminin devir sayısına bağlı değişimi.

4.4. Özgül Yakıt Tüketimi

Benzin ve doğal gazla çalışmayla ilgili özgül yakıt tüketimi eğrileri Şekil 4.4.'de gösterilmiştir. Doğal gazla çalışmada elde edilen özgül yakıt tüketimi eğrisi, 3400 1/min motor gösterilmiştir. Doğal gazla çalışmada elde edilen özgül yakıt tüketimi eğrisi, 3400 1/min motor devri dışında, benzinle çalışmada elde edilen özgül yakıt tüketimi eğrisinin üzerinde kalmıştır. Minimum özgül yakıt tüketimi, doğal gazla çalışmada 3400 1/min'de 320,9 g/kWh, benzinle çalışmada ise, 3000 1/min'de 342,87 g/kWh olarak belirlenmiştir. Maksimum özgül yakıt tüketimi ise, benzinle çalışmada 2000 1/min'de ve 5000 1/min'de 461 g/kWh, doğal gazla çalışmada ise, 2000 1/min'de 544 g/kWh olarak belirlenmiştir.

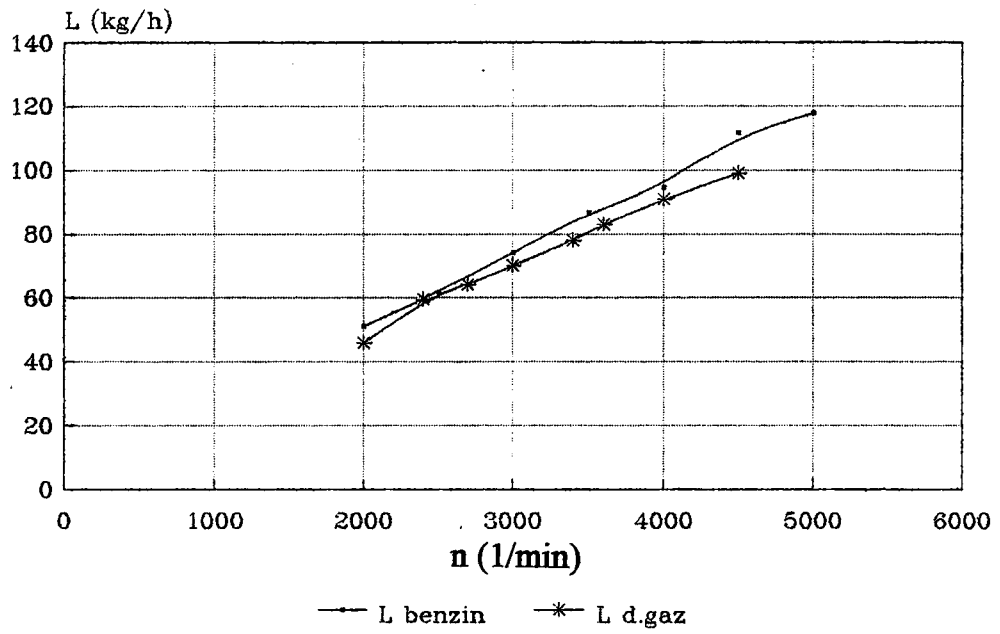
Özgül yakıt tüketimi, doğal gazla çalışmada 3400 ve 3600 1/min'de benzinle yapılan çalışmadakinden az olmuştur. Bu devir sayıları dışında ise daha fazla olmuştur. Bu devir sayılarında birim güç başına tüketilen benzin miktarına göre daha az olduğu için doğal gaz özgül yakıt tüketimi bu devir sayılarında avantajlıdır.

4.5. Hava Tüketimi

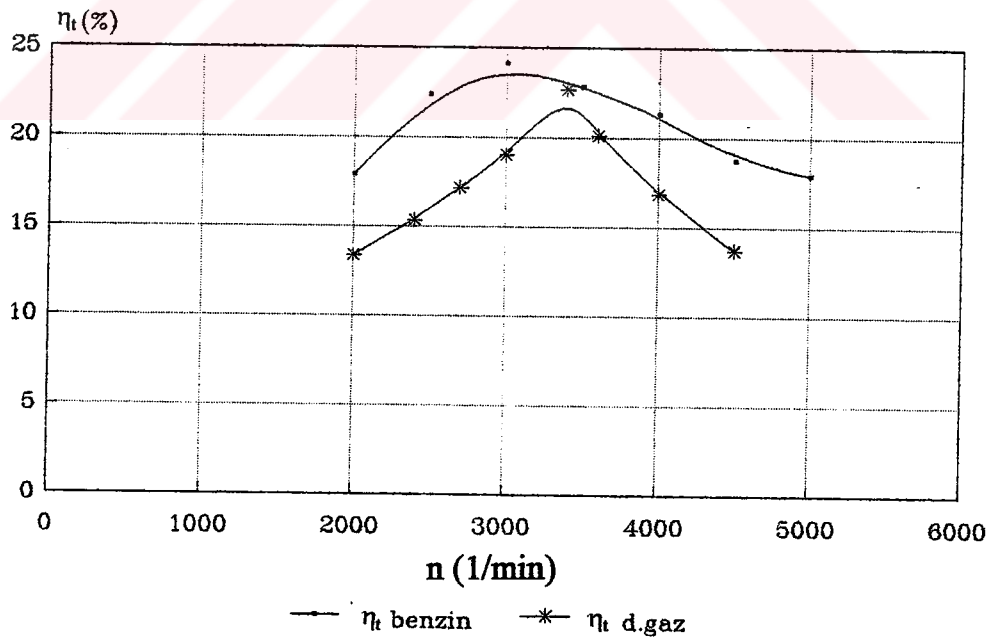
Benzin ve doğal gazla çalışmayla ilgili hava tüketimi eğrileri Şekil 4.5.'de gösterilmiştir. Hava tüketimi, benzin ve doğal gazla çalışmada devir sayısına bağlı olarak sürekli artmıştır. Doğal gazla çalışmada elde edilen hava tüketim eğrisi, benzinle çalışmada elde edilen hava tüketim eğrisinin altında kalmıştır. 2000 1/min'de benzinle çalışmada 51,01 kg/h hava tüketilirken, doğal gazla çalışmada 45,8 kg/h hava tüketilmiştir. 4500 1/min'de ise, benzinle çalışmada 111,496 kg/h, doğal gazlı çalışmada ise, 99 kg/h hava tüketilmiştir.

4.6. Toplam Verim

Doğal gaz ve benzinle çalışmayla ilgili toplam verim eğrileri Şekil 4.6.'da gösterilmiştir. Doğal gazla çalışmada elde edilen verim 3400 1/min'de benzinle çalışmadaki değere yakın olup, diğer devirlerde benzinle çalışmadakinden daha düşük olmuştur.



Şekil 4.5. Benzin ve doğal gazla çalışmada hava tüketiminin devir sayısına bağlı değişimi.



Şekil 4.6. Benzin ve doğal gazla çalışmada toplam verimin devir sayısına bağlı değişimi.

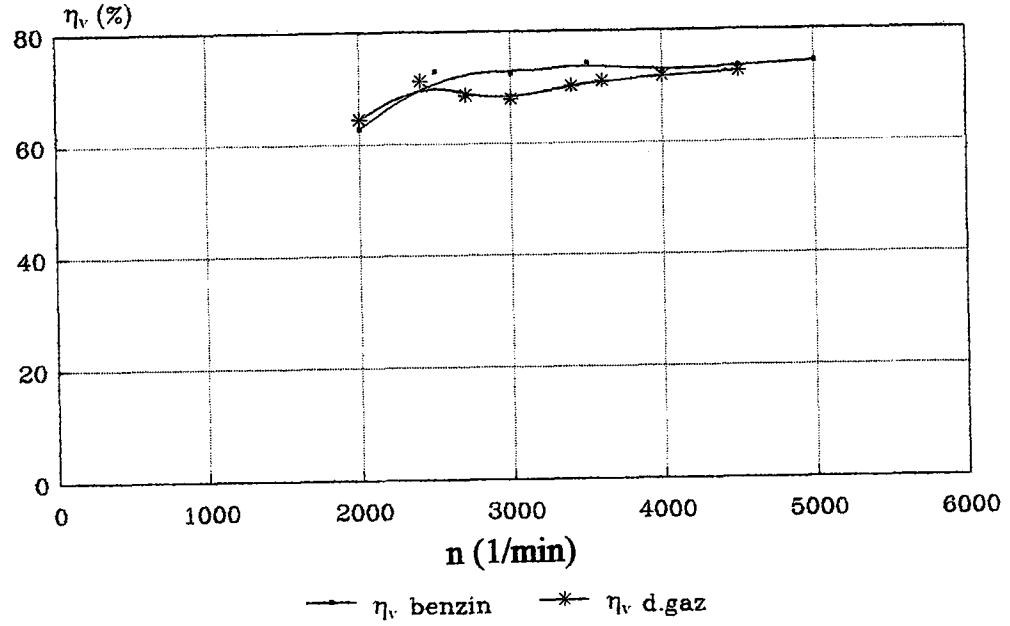
Maksimum toplam verim, doğal gazla çalışmada 3400 1/min'de % 22,66, benzinle çalışmada ise 3500 1/min'de % 22,8 olarak belirlenmiştir. Minimum toplam verim, benzinli ve doğalgazla çalışmada ölçüm yapılan en yüksek devirde ölçülmüştür. Benzinli çalışmada 5000 1/min'de % 17,92 iken, doğal gazla çalışmada 4500 1/min'de % 13,7 olarak gerçekleşmiştir.

Toplam verim, motordan elde edilen mekanik enerjinin o anda motorun tükettiği yakıtın enerjisine oranı olarak tarif edilmiştir. 3400 1/min dışındaki devir sayılarında motordan elde edilen enerji miktarının tüketilen enerjiye göre az olması toplam verim eğrisindeki bu azalmaya neden olmuştur. Bunun yanında doğal gazın alt ısıl değerinin benzine göre fazla olması ile birlikte motordan elde edilen gücün benzinle çalışmada elde edilen güce göre düşük olması bu sonucu vermektedir.

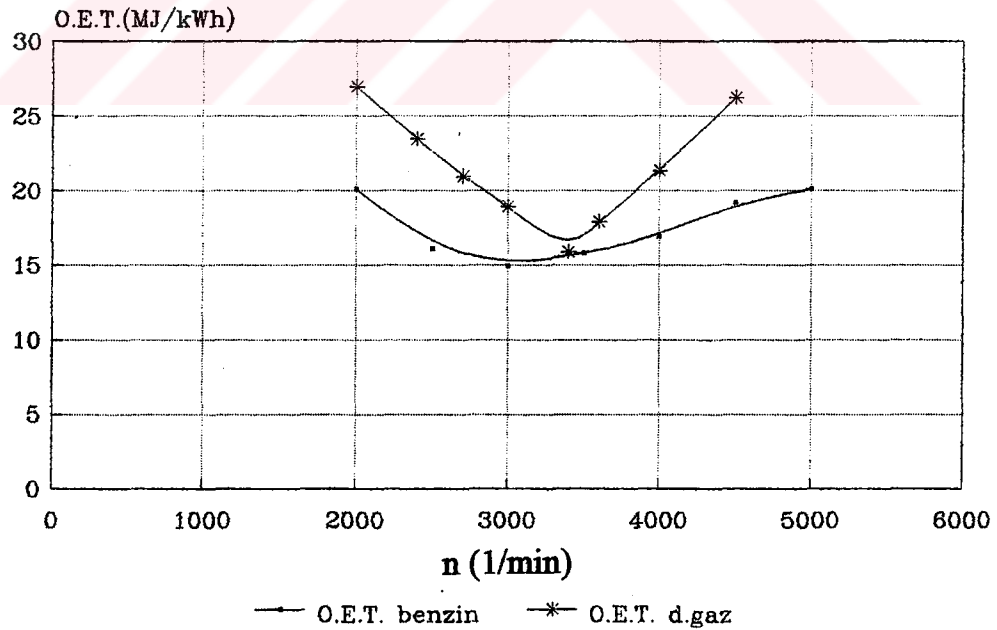
4.7. Volümetrik Verim

Doğal gaz ve benzinle çalışmayla ilgili volümetrik verim eğrileri Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. Doğal gazla çalışmada elde edilen volümetrik verim eğrisi 2000 1/min dışında benzinle çalışmada elde edilen volümetrik verim eğrisinin altında kalmıştır. Doğal gazla çalışmada maksimum volümetrik verim 4500 1/min'de % 72,53 iken, benzinle çalışmada 5000 1/min'de % 74,18 olarak belirlenmiştir. Her iki yakıtla yapılan çalışmada da volümetrik verim 2000 1/min'den itibaren devre bağı olarak sürekli artış göstermiştir. Doğal gazlı çalışmadaki artış oranı biraz daha fazla olmuştur.

Volümetrik verim açısından benzin doğal gaza göre daha avantajlı görülmektedir. Doğal gazla çalışmada volümetrik verimin düşük olmasının nedeni, doğal gazın gaz yakıt olması nedeni ile emme hacmini işgal etmesinden dolayıdır. Bu da doğal gazla çalışmada hava tüketimini azaltır. Benzin motora verilirken sıvı haldedir. Bir kısmı emme manifoldunda buharlaştığı için benzinle çalışmada volümetrik verim yüksek olmaktadır.



Şekil 4.7. Benzin ve doğal gazla çalışmada volümetrik verimin devir sayısına bağlı değişimi.



Şekil 4.8. Benzin ve doğal gazla çalışmada özgül enerji tüketiminin devir sayısına bağlı değişimi.

Doğal gazla çalışmada volümetrik verimi artırabilmek için benzinli motorlarda kullanılan emme manifoldu ısıtma sistemleri iptal edilebilir.

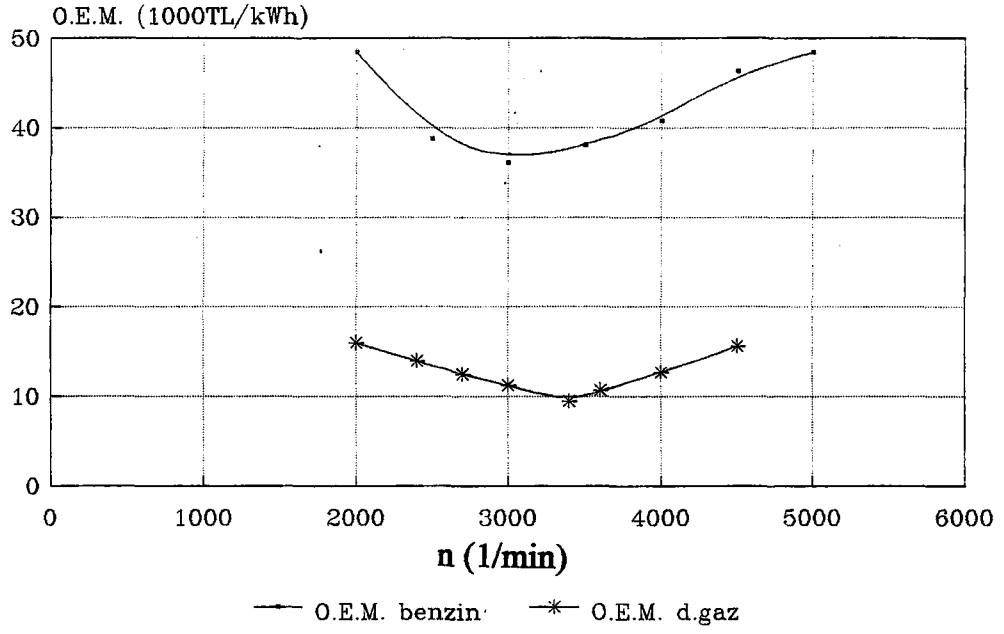
4.8. Özgül Enerji Tüketimi

Doğal gaz ve benzinle çalışmayla ilgili özgül enerji tüketimi eğrileri Şekil 4.8.'de gösterilmiştir. Doğal gazla çalışmada elde edilen özgül enerji tüketimi eğrisi 3400 1/min dışında benzinle çalışmada elde edilen özgül enerji tüketimi eğrisinin üzerinde kalmıştır. Benzinle yapılan deneylerde minimum özgül enerji tüketimi 3000 1/min'de 14941 kJ/kWh iken, doğal gazla çalışmada 3400 1/min'de 15885 kJ/kWh olarak belirlenmiştir. Benzinle yapılan çalışmada maksimum özgül enerji tüketimi 5000 1/min'de 20094 kJ/kWh iken, doğal gazla yapılan çalışmada 4500 1/min'de 26235 kJ/kWh olarak belirlenmiştir.

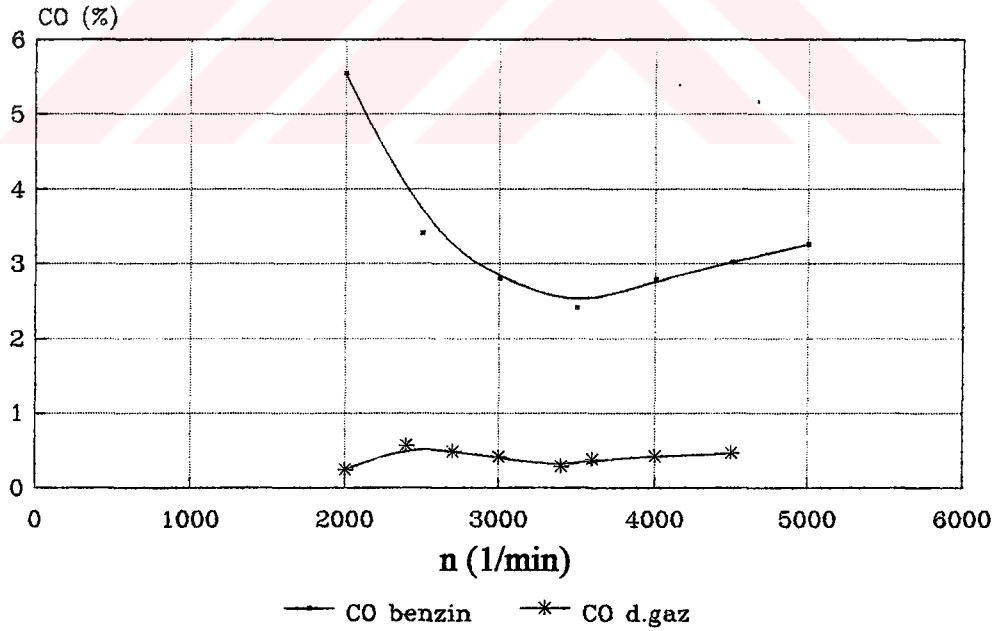
Özgül enerji tüketimi açısından, doğal gazla çalışmada birim güç başına tüketilen enerji miktarı benzinle çalışmada birim güç başına tüketilen enerji miktarından 3400 1/min dışında fazla olmuştur. Bu devir sayısı dışında özgül enerji tüketimi açısından benzin daha avantajlıdır.

4.9. Özgül Enerji Maliyeti

Doğal gaz ve benzinle çalışmayla ilgili özgül enerji maliyeti eğrileri Şekil 4.9.'da gösterilmiştir. Doğal gazla çalışmada elde edilen özgül enerji maliyeti eğrisi devamlı olarak benzinle çalışmada elde edilen özgül enerji maliyeti eğrisinin altında kalmıştır. Minimum özgül enerji maliyeti, 05/01/1997 tarihinde geçerli olan birim perakende satış fiyatlarına göre doğal gazla yapılan çalışmada 3400 1/min'de 9432 TL/kWh iken benzinle yapılan çalışmada ise 3000 1/min'de 36013 TL/kWh olmuştur. Maksimum özgül enerji maliyeti ise doğal gazla yapılan çalışmada 2000 1/min'de 15939 TL/kWh iken benzinle yapılan çalışmada 5000 1/min'de 48435 TL/kWh olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.9. Benzin ve doğal gazla çalışmada özgül enerji maliyetinin devir sayısına bağlı değişimi.



Şekil 4.10. Benzin ve doğal gazla çalışmada CO emisyonunun devir sayısına bağlı değişimi

Özgül enerji maliyeti açısından doğal gaz bütün devir sayılarında benzinden çok daha düşük olmuştur. Fiyat yönünden doğal gaz benzine göre 2-3 kat avantaj sağlamaktadır.

4.10. Emisyonlar

Emisyon olarak, HC, CO, CO₂, O₂ emisyonları benzinle ve doğal gazla çalışmada ayrı ayrı ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Doğal gazla çalışmada ölçülen bütün emisyon değerleri, benzinle çalışmada ölçülen değerlerin altında kalmıştır. Özellikle CO, HC emisyonlarında önemli ölçüde düşüşler görülmüştür.

4.10.1. Karbonmonoksit (CO)

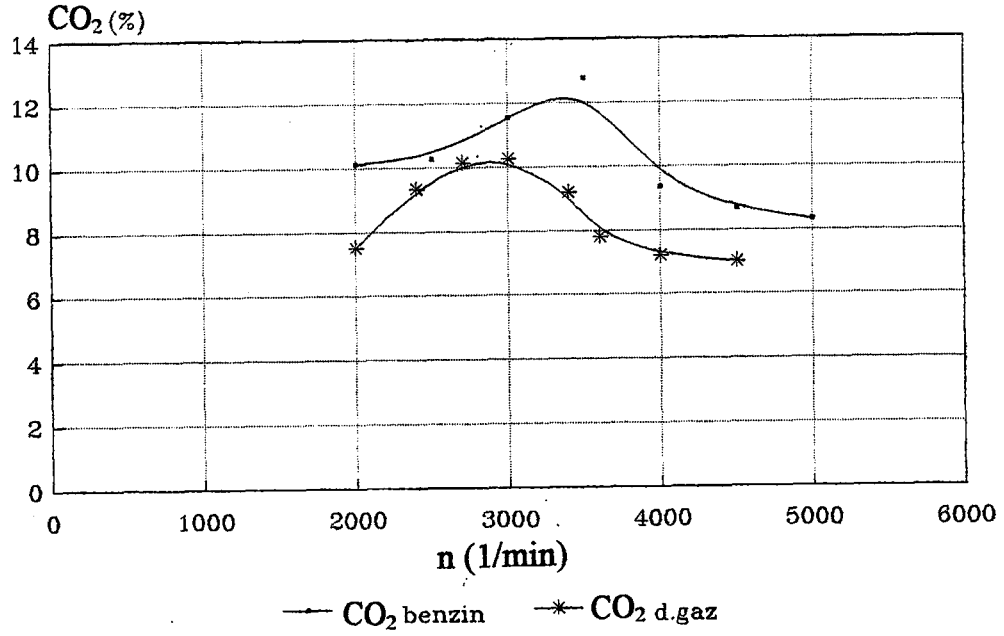
Doğal gaz ve benzinle çalışmada elde edilen CO emisyonu eğrileri Şekil 4.10 'da gösterilmiştir. Bütün devir sayılarında elde edilen CO değerlerinin, doğal gazla yapılan çalışmada, benzinle yapılan çalışmada elde edilen değerlere oranla düşük olduğu tespit edilmiştir. Minimum CO emisyonu, hacimsel olarak doğal gazla çalışmada 2000 1/min'de % 0,24, benzinle çalışmada 3500 1/min'de % 2,42 olmuştur.

4.10.2. Karbondioksit (CO₂)

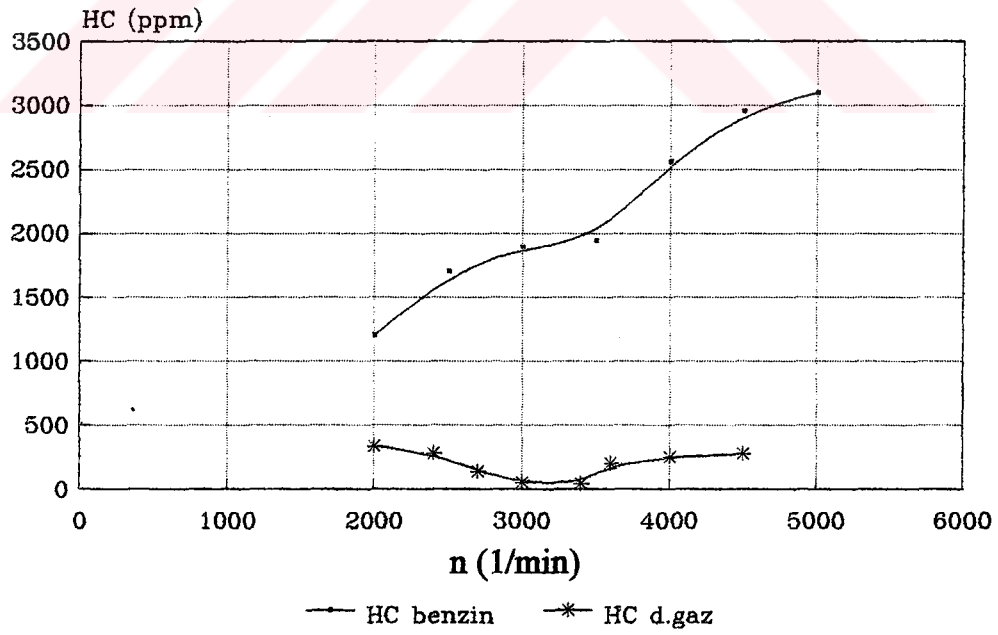
Doğal gaz ve benzinle çalışmada elde edilen CO₂ emisyonu eğrileri Şekil 4.11.'de gösterilmiştir. Bütün devir sayılarında elde edilen CO₂ değerlerinin, doğal gazla yapılan çalışmada, benzinle yapılan çalışmada elde edilen değerlere oranla düşük olduğu görülmüştür. Minimum CO₂ emisyonu hacimsel olarak, doğal gazla çalışmada 4500 1/min'de % 7,01, benzinle çalışmada 5000 1/min'de % 8,32 olmuştur.

4.10.3. Hidrokarbonlar (HC)

Doğal gaz ve benzinle çalışmada elde edilen HC emisyonu eğrileri Şekil 4.12. 'de gösterilmiştir. Bütün devir sayılarında elde edilen HC değerlerinin, doğal gazla yapılan



Şekil 4.11. Benzin ve doğal gazla çalışmada CO₂ emisyonunun devir sayısına bağlı değişimi.

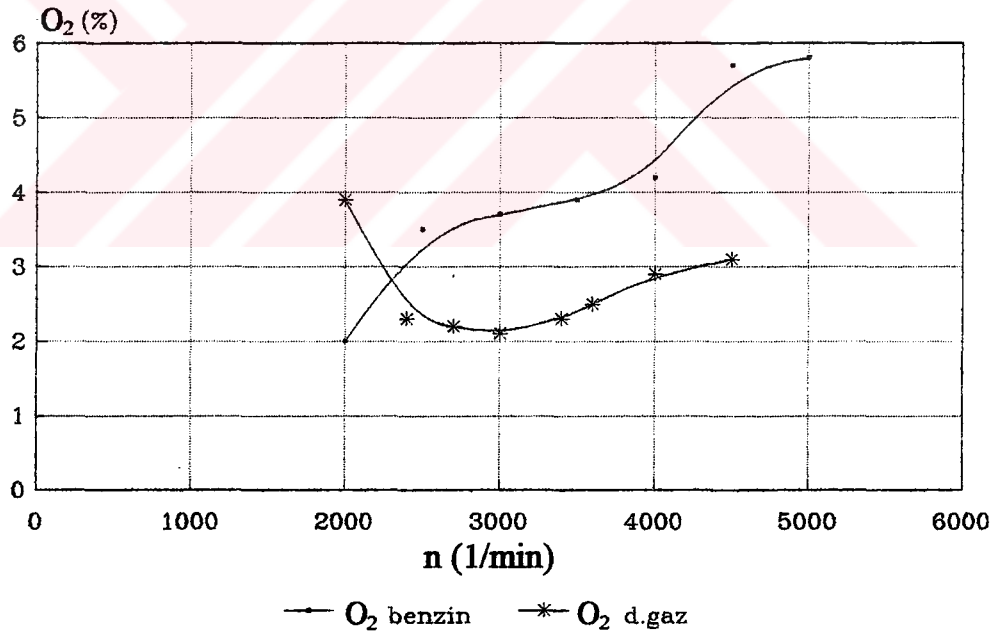


Şekil 4.12. Benzin ve doğal gazla çalışmada HC emisyonunun devir sayısına bağlı değişimi

çalışmada, benzinle yapılan çalışmada elde edilen değerlere oranla oldukça düşük olduğu görülmüştür. Minimum HC emisyonu, doğal gazla çalışmada 3000 1/min'de 39 ppm, benzinle çalışmada 2000 1/min'de 1200 ppm olmuştur.

4.10.4. Oksijen (O_2)

Doğal gaz ve benzinle çalışmada elde edilen O_2 emisyonu eğrileri Şekil 4.13.'de gösterilmiştir. 2000 1/min dışındaki bütün devir sayılarında elde edilen O_2 değerlerinin, doğal gazla yapılan çalışmada, benzinle yapılan çalışmada elde edilen değerlere oranla düşük olduğu görülmüştür. Minimum O_2 emisyonu, hacimsel olarak, doğal gazla çalışmada 3000 1/min'de % 2,1 , benzinle çalışmada 2000 1/min'de % 2 olmuştur.



Şekil 4.13. Benzin ve doğal gazla çalışmada O_2 emisyonunun devir sayısına bağlı değişimi.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 4 silindirli Murat 124 marka otomobil motorunun sıkıştırma oranı, motor yapısının izin verdiği ölçüde silindir kapağı taşlamak suretiyle yükseltilmiştir. Doğal gaza dönüşüm için, doğal gaz tüpü, regülatör ve gaz karıştırıcı kullanılmış, yapılan deneylere bağlı olarak, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Doğal gazın oktan sayısının, benzin oktan sayısından çok daha yüksek oluşu sıkıştırma oranını artırarak aynı hacimli benzin motoruna göre daha fazla güç alınabilmesine imkan sağlamaktadır. Ayrıca oktan sayısının yükseltmek için benzinde olduğu gibi kurşunlu bileşiklere ihtiyaç olmadığından çevreye daha az zararlı etki söz konusudur.

Sonuç olarak depolama problemi ve yeniden yakıt temini başta olmak üzere doğal gaz, kaynaklarında bulunan sülfürlü bileşiklerden arındığında gelecek yıllarda petrolün yerini doldurabilecek önemli bir alternatif yakıt olarak görülmektedir. Bir çok ülke bu günden doğal gazın motorlu araçlarda kullanımını teşvik etmektedir. Ülkemizde doğal gaz kullanımının giderek yaygınlaştığı bu dönemde gerek motorlar gerekse öteki yanma sistemlerinde oluşan atıkların azot oksitleri yönünden de ciddi bir incelemeye tabi tutulması gerekmektedir. Araştırma sonuçlarından doğal gazın bulunulan aşamada sabit benzin motorlarında başarı ile kullanılabilceği söylenebilir. Bu amaçla uygun emniyet ve koruma düzenleri üzerinde durmak gerekmektedir. Bunun yanında sıkıştırma oranı artırılabilen benzinli motorlar yüksek basınçla tüplere depolanmış sıkıştırılmış doğal gaz ve regülatör kullanılarak doğal gaza dönüştürülebilir. Bunun yaygın olarak kullanılabilmesi için doğal gaz dolum istasyonlarının kurulması gerekir. Doğal gazın özgül enerji maliyetinin düşük olması da ekonomik yönden doğal gazı cazip hale getirmektedir. Doğal gaz kullanımında zararlı emisyonların düşük olması çevre açısından da doğal gazın olumlu bir alternatif bir yakıt olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aksoy, N., 1988, Doğal gaz ve yanma, Botaş Doğal Gaz Yanma Sempozyum Tebliğleri, Ankara, 61-73 s.
- Albay, O.A., 1993, Fakir Karışimli Benzin Motorlarında Hidrojen veya Doğal Gazın Ek Yakıt Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alibaş, K. ve Çolak, S., 1992, Doğal Gazın Tek Silindirli İçten Yanmalı Bir Motorda Kullanılabilme Olanığının Güç, Döndürme Momenti ve Özgül Yakıt Tüketimi Yönünden Araştırılması, Mühendis ve Makina, c.35, s.391, 30-35 s.
- Altın, R., 1991, Diesel Motorlarda Yakıt Olarak Doğal Gazın Kullanımı Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Balcı, M., Yücesu, S. ve Altın, R., 1995, İçten Yanmalı Motorlarda Doğal Gaz Kullanımı, Endüstriyel Teknoloji, 1,2, 9-16 s.
- Bayhan, M., 1992, Motorlu Taşıtlarda Yakıt Olarak Doğal Gazın Kullanılmasıyla Eksoz Emisyonlarının Azaltılması, Mühendis ve Makina c.33, s.394, 34-39 s.
- BOTAŞ Proje Dairesi Dökümanları, Yayınlanmamış, Ankara, 1996.
- Can, H., Murat 124/131, İnkılap ve Aka Basımevi, İstanbul, 1982.
- Çolak, S., 1991, Doğal Gazın Tek Silindirli İçten Patlamalı (OTTO) Bir Motorda Yakıt Olarak Kullanılma Olanığının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enst., Ankara.
- Deluchi, M.A., Robert, A.J. and Daniel, S., 1988, Methanol vs. NGVs A Comparison of Resource Supply, Performance Emissions, Fuel Storage, Safety, Costs and Transitions, SAE paper no. 881656.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Erdiller, B. ve Yücesu, S., 1993, Buji ile ateşlemeli motorlarda doğal gaz kullanımının motor performansına etkileri, G.Ü.Tek.Eğt.Fak.Dergisi, c.4, s.1, 5-16 s.,Ankara.
- Fleming, R.D. and Wierzba, A.,1985, Potential for improving the efficiency of a spark ignition engine for natural gas, SAE paper no. 852073.
- Fowler, T.D., Lander, D. and Broomhall, 1991, D., Reduced NO_x emissions from internal combustion engines fuelled by natural gas, Fuel, v.70, April 1991, 499-502 p.
- Gambino M., Iannoccane, S. and Unich, A., 1991, Heavy-Duty spark ignition engines fueled with methane, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, v. 113, July 1991, 359 - 364 p.
- Gandhidasan, P., Ertas, A. and Andersan, E.E., 1991, Review of methanol and compressed natural gas (CNG) as alternative for transportation fuels, Journal of Energy Resources Technology, v. 113, June 1991, 101-107 p.
- Göktan, A.G., Soruşbay, C., Ergeneman, M., Arslan, E. ve Özaktaş, T., 1994, Doğal gaz motorları ve otobüslerde doğal gaz kullanımı, Termodinamik Dergisi, Haziran 1994, 54- 57 s.
- Gou, M., Detuncq, B., Guernier, C. and St.Germain, P.,1990,Performance of a single cylinder engine fuelled by a mixture of natural gas and gasoline, SAE paper no.900585.
- Hafız, A.Y., 1992, Doğal gazın taşıtlarda kullanımı, Doğal gaz tebliğleri, Ankara, 76-83 s.
- Jouke, W.V., Seppen, J.J., Ling and J.A.N. Van, 1988, Experiences with CNG and LPG operated heavy duty vehicles with emphasis on u HD diesel emissions standards, SAE paper no. 881657.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Karim, G.A. and Wierzba, I., 1983, Comparative studies of methane and propane as fuels for spark ignition and compression engines, SAE paper no.831196.
- Klimstra, J.,1990, Prformance of lean burn natural gas fueled engines on specific fuel consumption, power capacity and emissions, SAE paper no. 901495.
- Meyer, R.C., Meyers, D.P., King, S.R. and Liss, W.E., 1992, Effects of spark plug number location in natural gas engines, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power v. 114, July 1992, 475-479 p.
- Öncül, N., 1990, Geleceğin yakıtları, Bilim ve Teknik Dergisi Temmuz 1990 sayısı,6-7 s.
- Onurbaş, A., 1990, Tarımda kullanılan sabit patlamalı motorlarda çeşitli gaz yakıtların kullanılmasını sağlayacak karıştırıcının geliştirilmesi, Doktora tezi, A.Ü. FenBilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Öz, İ.H., 1976, Termodinamiğin Esasları, Motorlar Cilt 1,Birsen Kitabevi Yayınları, İstanbul.
- Özaktaş, T., 1988, Benzin ve doğal gaz motorunun çevrim analizinin matematiksel model ile karşılaştırılması, Doktora tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özaktaş, T., 1989, Doğal gaz ile çalışan taşıt motorunun performansının incelenmesi, 2.Otomotiv Yan Sanayi Sempozyumu, 1, 236-241 s.
- Özgün, Ö.F., 1993, Taşıtlarda doğal gaz kullanımı, Yüksek lisans tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Öztürk, S., 1992, Doğal gaz ve uygulamaları, Ankara.
- Ronney, P.D., Shoda, M. and Waida, S.T., 1991, Knock charecterictics of liquid and gaseous fuels in lean mixtures, SAE paper no. 912311.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Schiffgens, H.J., Endres, H., Wackertapp, H. and Schrey,E., 1994, Concepts for the adaptation of spark ignition engines to changing methane number, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Oct.1994, v. 116, 733-739 p.
- Ünal, K., 1992, Dünya'da doğal gaz ve Türkiye'ye temini, Doğal Gaz Tebliğleri, Ankara, 7-13 s.
- Weaver, S.C., 1989, Natural gas vehicles a review of the state of the art, SAE paper no. 892133.
- Yücesu, H.S., 1991, Doğal gazın benzin motorlarında kullanımı amaca uygun gaz karıştırıcının tasarım ve imalatı, Yüksek lisans tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.



EKLER

Ek.1. Benzinle çalışmayla ilgili motor performans değerleri.

n (1/min)	M _e (Nm)	N _e (kW)	B _e (kg/h)	b _e g/kWh	L (kg/h)	Ö.E.T. kJ/kWh	η _v (%)	η _t (%)	Ö.E.M. TL/kWh
2000	54,673	11,451	5,28	461,1	51,01	20092	62,72	17,92	48431
2500	59,643	15,615	5,76	368,88	61,71	16073	72,88	22,4	38736
3000	64,613	20,299	6,96	342,87	74,047	14940	72,37	24,1	36013
3500	59,643	21,86	7,92	362,31	86,389	15787	74,20	22,8	38054
4000	54,673	22,90	8,88	387,77	94,615	16897	72,48	21,30	40729
4500	49,70	23,42	10,32	440,64	111,48	19200	73,48	18,75	46282
5000	44,73	23,42	10,8	461,14	117,77	20094	74,18	17,92	48435

Ek.2. Benzinle çalışmayla ilgili emisyon değerleri.

n (1/min)	% vol CO	% vol CO ₂	ppm vol HC	% vol O ₂
2000	5,54	10,15	1200	2
2500	3,41	10,25	1700	3,5
3000	2,81	11,53	1890	3,7
3500	2,42	12,56	1945	3,9
4000	2,79	9,35	2557	4,2
4500	3,02	8,65	2954	5,7
5000	3,26	8,32	3101	5,8

Ek. 3. Doğal gazla çalışmayla ilgili motor performans değerleri.

n (1/min)	M _e (Nm)	N _e (kW)	B _e (kg/h)	b _e g/kWh	L (kg/h)	Ö.E.T. kJ/kWh	η _v (%)	η _t (%)	Ö.E.M. TL/kWh
2000	39,76	8,328	4,53	544	45,8	26928	64,444	13,37	15989
2400	44,73	11,24	5,328	474	59,54	23463	71,22	15,34	13931
2700	49,70	14,053	5,95	423,4	64	20958	68,55	17,18	12445
3000	54,67	17,176	6,57	382,5	70	18934	71,088	19,01	11242
3400	62,13	22,122	7,1	320,9	78	15885	70,06	22,66	9432
3600	54,67	20,611	7,46	361,9	83	17914	70,91	20,09	10637
4000	44,73	18,737	8,08	431	91	21334	71,78	16,86	12668
4500	34,79	16,395	8,7	530,6	99	26235	72,53	13,7	15595

Ek. 4. Doğal gazla çalışmayla ilgili emisyon değerleri.

n (1/min)	% vol CO	% vol CO ₂	ppm vol HC	% vol O ₂
2000	0,24	7,51	337	3,9
2400	0,57	9,33	279	2,3
2700	0,48	10,13	137	2,2
3000	0,41	10,25	53	2,1
3400	0,28	9,19	39	2,3
3600	0,38	7,81	199	2,5
4000	0,42	7,20	252	2,9
4500	0,46	7,01	276	3,1