

750951

**BENZİNLİ MOTORLARDA EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİ EDEN
FAKTÖRLERİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Hayri YAMAN

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalında

Bilim Uzmanlığı Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

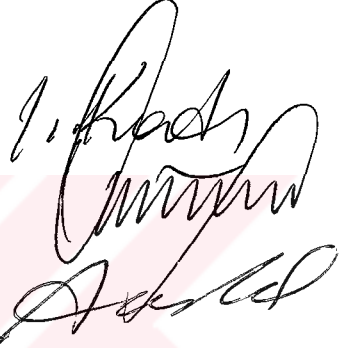
Şubat 2004

150951

KABUL:

Hayri YAMAN tarafından hazırlanan "BENZİNLİ MOTORLARDA EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/02/2004

Başkan : Prof. Dr. İbrahim KADI



Üye : Yrd. Doç. Dr. Adnan PARLAK



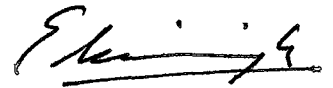
Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

17.02.2004



Prof. Dr. Etem KİŞİOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bilim Uzmanlığı Tezi

BENZİNLİ MOTORLARDA EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Hayri YAMAN

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK

Şubat 2004, 105 sayfa.

Fosil esaslı yakıtların kullanıldığı motorlu taşıt sayısının her geçen gün artması dünyayı önemli çevre sorunlarıyla karşı karşıya bırakmaktadır. Trafikte kullanılan ve üretilmekte olan taşıtların büyük çoğunluğu çevreye zararlı emisyonlar veren benzin motorlu taşıtlardır. Bu taşıtların çevreye vermiş olduğu zararları en aza indirmek için buji ateşlemeli motorların egzoz emisyonlarına etki eden faktörlerin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada buji ateşlemeli bir motorun hava fazlalık katsayısı, ateşleme avansı, sıkıştırma oranı ve motor sıcaklığı gibi bazı yapısal ve işletme parametrelerinin

ÖZET (devam ediyor)

CO ve HC emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca benzin ve LPG yakıtının emisyon bakımından karşılaştırılması yapılmıştır.

Deneylerde, değişken sıkıştırma oranlı tek silindirli dört zamanlı bir motor ile dört silindirli dört zamanlı karbüratörlü bir taşıt motoru kullanılmıştır.

Deneyler sonucunda, ateşleme avansının uygun değerde olmamasının HC emisyonlarını artırdığı, hava fazlalık katsayısının 1'den küçük olması halinde CO ve HC emisyonlarının arttığı, çok fakir karışımlarda HC emisyonlarının arttığı, sıkıştırma oranı arttıkça CO emisyonunun azaldığı HC emisyonunun arttığı, motor sıcaklığı artışının HC emisyonunu önemli ölçüde azalttığı ve buji tırnak aralığının normalden küçük ayarlanmasının HC emisyonunu artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca LPG ile çalışmada benzinliye göre daha düşük emisyonlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Egzoz emisyonları, motor ayarları, buji tırnak aralığı, alternatif yakıtlar, motor sıcaklığı.

Bilim Kodu : 626.10.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

AN EXPERIMENTAL STUDY OF FACTORS WHICH HAS AN EFFECT ON EXHAUST EMISSION OF GASSOLINE ENGINE

Hayri YAMAN

Zonguldak Karaelmas University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine

Thesis Advisor: Asst.Prof. M. Bahattin ÇELİK

February 2004, 105 pages.

The constant increase in the number of fossil fuel based motor vehicles is causing the world to experience serious environmental problems. Most of the motor vehicles currently used in traffic and still being produced are gasoline motor vehicles, which release harmful emissions. In order to minimize the harms of these motor vehicles to the environment, it is essential to master the factors affecting the exhaust emission of spark ignition engines.

In this study, the effects of some structural and operational parameters of a spark ignition engine such as air excess factor, ignition timing, compression ratio and engine temperature to CO and HC emissions have been examined experimentally.

ABSTRACT (continued)

In addition, the fuels of gasoline and LPG have been compared in terms of emission values.

Both a four-stroke single-cylinder engine with variable compression ratio and a four-stroke four-cylinder engine with carburettor were used in the experiments.

As results of the experiments, it has been determined that inappropriate ignition timing increases HC emissions, CO and HC emissions increase if the air excess factor is less than '1', HC emissions increase in lean mixtures, a negative correlation between compression ratio and CO emissions and a positive correlation between compression ratio and HC emission appear, increase in the temperature of engine significantly reduces HC emission and a spark gap less than normal increases HC emission. Furthermore, lower emissions were obtained in engines run by LPG, compared with gasoline engine.

Keywords : Exhaust emissions, engine settings, spark gap, alternative fuels, engine temperature.

Science Code : 626.10.01

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının oluşumunda büyük pay sahibi olan engin bilgi ve tecrübesinden yararlandığım, yönlendirme ve eleştirileriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren danışman hocam Yrd.Doç.Dr. M. Bahattin ÇELİK ve görüşleriyle çalışmama yön veren Otomotiv Anabilim Dalı hocalarıma, deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen öğretmen arkadaşlarım M. Kemal BALKİ, İrfan SÖNMEZ ve Kazım SEZER'e (Karabük Mesleki Eğitim Merkezi) sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER ve KISALTMLAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 HAVA KİRLİLİĞİ	4
2.1 HAVA KİRLİLİĞİNİN OLUŞUMU	4
2.2 HAVA KİRLİLİĞİNDE MOTORLU TAŞITLARIN ROLÜ	5
BÖLÜM 3 BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR.....	7
3.1 BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA YANMA.....	7
3.1.1 Yanma.....	7
3.1.2 Yanma Çeşitleri	8
3.1.3 Yakıt Hava Miktarına Ait Tanımlar	8
3.1.3.1 Hava/Yakıt Oranı	8
3.1.3.2 Hava Fazlalık Katsayısı, Eşdeğerlik(ekivalans) Oranı	10
3.1.3.3 Yanmaya Etki Eden Parametreler	11

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

3.2 BENZİN MOTORLU TAŞITLARDA KİRLETİCİ	
EMİSYONLARIN OLUŞUMU VE ETKİLERİ.....	12
3.2.1 Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Oluşumu	13
3.2.2 Hidrokarbon (HC) Emisyonu Oluşumu	14
3.2.3 NO _x Emisyonu Oluşumu	16
3.2.4 Kurşun Ve Kurşun Bileşiklerinin Oluşumu	18

BÖLÜM 4 BENZİN MOTORLU TAŞITLARDA KAYNAKLANAN	
KİRLETİCİLERE KARŞI ALINAN ÖNLEMLER	19

4.1 KAYNAK ÖNCESİ ÖNLEMLER.....	19
4.1.1 Yakıt Kalitesinin İyileştirilmesi.....	20
4.1.2 Alternatif Yakıtların Kullanımı	20
4.1.2.1 Doğal Gazın Kullanımı	20
4.1.2.2 LPG'nin Kullanımı	21
LPG'nin Yakıt Olarak Özellikleri	22
4.1.2.3 Hidrojenin Kullanımı.....	24
4.2 KAYNAĞINDA ALINAN ÖNLEMLER	27
4.2.1 Yanma Odası Şekli ve Yüzey/Hacim Oranı.....	27
4.2.2 Sıkıştırma Oranı.....	29
4.2.3 Ateşleme Sisteminin Yapısı.....	30
4.2.4. Motor Bakım Ayarları.....	31
4.2.4.1 Hava/Yakıt Oranı.....	33
4.2.4.2 Yakıt Sisteminin Tipi Bakım ve Ayarı.....	35
4.2.4.3 Ateşleme Avansı	37
4.2.4.4 Motor Aşınması.....	38
4.2.4.5 Motor Sıcaklığı.....	39
4.2.4.6 Motorun Yük ve Hız Durumu	40

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.2.4.7 Karter Havalandırma	40
4.2.4.8 Depo Buharı Geri Kazanım Sistemi	43
4.2.4.9 Egzoz Gazı Geri Dönüşüm Sistemi.....	44
4.2.4.10 Fakir Karışımli Motor.....	47
4.3. KAYNAK SONRASI ÖNLEMLER.....	49
4.3.1. Termik Reaktörler	49
4.3.2. Katalitik Konvertörler.....	49
 BÖLÜM 5 SÜRÜŞ ŞARTLARININ EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ....	 53
5.1 RÖLANTİ ÇALIŞMASI	53
5.2 HIZLANMA	54
5.3 SABİT HIZ	55
5.4 HIZ KESME (MOTOR FRENİ SÜRÜKLENME)	56
 BÖLÜM 6 MOTORLU TAŞIT KİRLETİCİ EMİSYONLARINA GETİRİLEN SINIRLAMALAR.....	 57
6.1 YENİ TAŞITLARIN TİP TESTİ.....	58
6.2 TRAFİKTEKİ TAŞITLARIN EGZOZ EMİSYONUNUN PERİYODİK KONTROLÜ.....	60
6.3 TÜRKİYE’DE TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN KİRLETİCİLERE GETİRİLEN SINIRLAMALAR	61
 BÖLÜM 7 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	 64
7.1 DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI	64
7.2 DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER.....	64
7.2.1 Deney Yerleri	64
7.2.2 Deney Motoru ve Taşıt.....	66

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
7.3. DENEYDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI.....	67
7.3.1. Motor Deney Seti ve Dinamometresi	67
7.3.2. Egzoz Gaz Analizörü.....	67
7.3.3. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi.....	68
7.3.4 Kronometre	68
7.3.5 Ateşleme Ölçümünde Kullanılan Cihaz.....	69
7.3.6 Motor Sıcaklık Ölçme Cihazı	69
7.3.7 Elektronik Terazı.....	69
7.4. DENEYLERİN YAPILIŞI	69
7.4.1 Motor Deneyleri	69
7.5 DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR	71
7.5.1 Motor Momenti ve Gücü	71
7.5.2 Yakıt Tüketimi ve Özgöl Yakıt Tüketimi	71
 BÖLÜM 8 DENEY SONUÇLARI, TARTIŞMA VE ÖNERİLER	 73
8.1. DENEY SONUÇLARI	73
8.1.1 Motor Momentin Etkisi	73
8.1.2 Motor Hızının Egzoz Emisyonlarına Etkisi.....	74
8.1.3 Hava Fazlalık Katsayısının Etkisi.....	75
8.1.4 Ateşleme Avansının Etkisi.....	75
8.1.5 Sıkıştırma Oranının Etkisi	77
8.1.6 Buji Tırnak Aralığının Etkisi.....	78
8.1.7 Motor Sıcaklığının Etkisi	80
8.1.8 LPG Yakıtının Kullanımının Etkisi	80
8.1.9 Özgöl Yakıt Tüketimi Ve Motor Gücünün Belirlenmesi	82
8.3 SONUÇLAR.....	83
8.4 ÖNERİLER	84
KAYNAKLAR.....	85
EK AÇIKLAMALAR A	90

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ	105
----------------	-----



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Benzinli motorda CO oluşumunun hava/yakıt oranına göre değişimi.....	14
3.2 Benzin motorunda oluşan HC (hidrokarbon) konsantrasyonu ile Hava/Yakıt Oranı Arasındaki İlişki	15
3.3 Benzin motorunda oluşan NO _x gazı konsantrasyonu ile hava/yakıt oranı arasındaki ilişki	17
4.1 Motor devri-CO emisyonu ilişkisi (Benzin ve LPG ile çalışma).....	24
4.2 Motor devri-HC emisyonu ilişkisi (Benzin ve LPG ile çalışma).....	24
4.3 Yanma odası dizaynının egzoz emisyonuna etkileri	28
4.4 Araçların (%) olarak sistemlerine göre arıza grafiği	31
4.5 Hava fazlalık katsayısının(λ) egzoz emisyonlarına etkisi	34
4.6 Ateşleme avansının egzoz emisyonlarına ve özgül yakıt tüketimine etkisi	38
4.7 Motor soğutma sıcaklığının HC emisyonuna etkisi.....	39
4.8 Karter havalandırma sistemi (PVC)	42
4.9 Elektronik kontrollü yakıt buharı geri kazanım sistemi.....	43
4.10 Egzoz gazı geri dönüşüm sistemi.....	44
4.11 EGR'li ve EGR'siz bir motorun egzoz emisyonları karşılaştırması	46
4.12 Benzin motorlarında özgül yakıt tüketimi (sfc) ve Egzoz emisyonlarının HFK'na göre değişimi.....	48
4.13 Kademeli katalitik konvektör sistemi	50
4.14 Lamda vericili kontrollü üç yollu katalitik konvektör	51
4.15 Katalitik konvertörsüz motorda yapılan ölçüm.....	52
4.16 Motor yüküne HC emisyonu katalitik konvektörlü sonrası değeri	52
5.1 Karbüratörlü benzin motorunda egzoz gazı içindeki kirletici konsantrasyonlarının ve HFK'nın sabit devir sayısında yüke göre değişimi	56
6.1 Taşıtın yol şartlarındaki hareketinin modelleyen tambur ve egzoz emisyonu ölçüm düzeneği	59

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam Ediyor)

<u>No:</u>	<u>Sayfa</u>
7.1 Deney tesisatının belli kısmının yandan görünüşü	65
7.2 Deney tesisatının genel görünümü	65
7.3 Deney tesisatının şematik görünüşü	66
7.4 Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.....	68
7.5 Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.....	68
8.1 Motor momenti değişiminin CO ve HC emisyonuna etkisi	74
8.2 Motor Hızının HC ve CO emisyonuna etkisi (Benzinle Çalışma)	75
8.3 Motor Hızının HC ve CO emisyonuna etkisi (LPG'li Çalışma)	75
8.4 Hava Fazlalık Katsayısının (HFK) 2200d/d'da CO ve HC emisyonlarına etkisi	76
8.5 Ateşleme avansının CO ve HC emisyonuna etkisi (2200d/d)	76
8.6 Sıkıştırma Oranının CO ve HC emisyonlarına Etkisi (2200d/d)	78
8.7 Benzinle yapılan çalışmada buji tırnak aralığının egzoz emisyonlarına etkisi (2000 d/d).....	79
8.8 LPG ile yapılan çalışmada Buji tırnak aralığının egzoz emisyonlarına etkisi (2000d/d).....	79
8.9 Motor sıcaklığının HC emisyonuna etkisi n=200d/d	80
8.10 LPG ve Benzinle Çalışmanın CO Emisyonu Yönünden Karşılaştırılması.	81
8.11 LPG ve Benzinle Çalışmanın HC Emisyonu Yönünden Karşılaştırılması	81
8.12 Deney Motorunun Motor Gücü Özgül yakıt tüketimi değişimleri.....	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Kirletici emisyonların sağlık ve çevre açısından etkileri	6
4.1 LPG'yi oluşturan propan ve bütan kimyasal özelliği.....	22
4.2 Buji ile ateşlemeli motorda kullanılacak bazı yakıtların özellikleri.....	26
4.3 Motor ayarının ve bakımının emisyonlara etkisi.....	32
5.1 Çalışma rejimine bağlı olarak egzoz emisyonları için tipik örnek değerler.....	53
6.1 Faz 1, Faz 2 ve Faz 3 limit değerleri.....	62
6.2 Faz 4 emisyon limitleri.....	63
7.1 Motorun teknik özellikleri.....	67
A.1 Motor momentinin emisyonlara etkisi deney sonuçları $n=2200\text{d/d}$, $\epsilon=8/1$, $G.K.A=1/1$, $HFK=1$	91
A.2 Hava Fazlalık Katsayısının emisyonlara etkisi deney sonuçları $n=2200\text{d/d}$, $\epsilon=8/1$, $G.K.A=1/1$	92
A.3 Ateşleme avansının emisyonlara etkisi deney sonuçları $n=2200\text{ d/d}$, $\epsilon=8/1$, $G.K.A=1/1$	92
A.4 Sıkıştırma oranının emisyonlara etkisi deney sonuçları $G.K.A=1/1$, $HFK=1$	93
A.5 Buji tırnak aralığının emisyonlara etkisi deney sonuçları. Buji tırnak aralığı=0.40 mm, motor sıcaklığı=90°C	94
A.6 Buji tırnak aralığının emisyonlara etkisi deney sonuçları. Buji tırnak aralığı=0.60 mm, motor sıcaklığı=90°C	95
A.7 Buji tırnak aralığının emisyonlara etkisi deney sonuçları. Buji tırnak aralığı=0.80 mm, motor sıcaklığı=90°C.....	96
A.8 Buji tırnak aralığının emisyonlara etkisi deney sonuçları. Buji tırnak aralığı=1 mm, motor sıcaklığı=90°C.....	97
A.9 Buji tırnak aralığının emisyonlara etkisi deney sonuçları. Buji tırnak aralığı=1.20 mm, motor sıcaklığı=90°C	98

ÇİZELGELER DİZİNİ (Devam Ediyor)

<u>No:</u>	<u>Sayfa</u>
A.10 LPG'li çalışmada BTA'nın emisyonlara etkisi deney sonuçları. BTA=0.40mm, motor sıcaklığı=90°C	99
A.11 LPG'li çalışmada BTA'nın emisyonlara etkisi deney sonuçları. BTA=0.60mm, motor sıcaklığı=90°C	100
A.12 LPG'li çalışmada BTA'nın emisyonlara etkisi deney sonuçları. BTA=0.80mm, motor sıcaklığı=90°C	101
A.13 LPG'li çalışmada BTA'nın emisyonlara etkisi deney sonuçları. BTA=0.80mm, motor sıcaklığı=90°C	102
A.14 LPG'li çalışmada BTA'nın emisyonlara etkisi deney sonuçları. BTA=1.20mm, motor sıcaklığı=90°C	103
A.15 Motor sıcaklığının emisyonlara etkisi. n=2000 d/d, G.K.A=0 (Boşta çalışma).	104
A.16 Motor gücü ve özgül yakıt tüketimi ölçüm sonuçları.G.K.A=1/1, HFK=1	104

SİMGELER DİZİNİ

B	=	Saatlik yakıt tüketimi
$b_e(sfc)$	=	Özgül yakıt tüketimi
CO	=	Karbon monoksit
CO ₂	=	Karbon dioksit
G	=	Motordan ölçülen gerçek hava/yakıt oranı
HC	=	Hidrokarbon
kW	=	Kilowatt
M _e	=	Motor momenti
n	=	Motor devri
NO _x	=	Azot oksit
P _e	=	Motor gücü
SO ₂	=	Sülfür dioksit
T	=	Teorik hesaplanan hava/yakıt oranı
ϵ	=	Sıkıştırma oranı
λ	=	Hava fazlalık katsayısı
θ	=	Ateşleme avansı açısı

KISALTMALAR DİZİNİ

AA	= Ateşleme avansı
AB	= Avrupa birliği
AÖN	= Alt ölü nokta
BTA	= Buji tırnak aralığı
CNG	= Sıkıştırılmış doğal gaz
DSOM	= Değişik sıkıştırma oranlı motor
ECE	= Avrupa şehir içi çevrimi
ECU	= Elektronik kontrol ünitesi
EUDC	= Avrupa oto yol çevrimi
EY	= Eksik yanma
EO	= Ekivalans oranı
GKA	= Gaz kelebek açıklığı
HC	= Hidrokarbon
HFK	= Hava fazlalık katsayısı
H/Y	= Hava yakıt oranı
KMA	= Krank mili açısı
LNG	= Sıvılaştırılmış doğal gaz
LPG	= Sıvılaştırılmış petrol gazı
MON	= Motor oktan sayısı
NEDC	= Avrupa yeni emisyon çevrimi
PM	= Partikül madde
PVC	= Pozitif karter havalandırma
RON	= Araştırma oktan sayısı
TSE	= Türk standartları enstitüsü
TTY	= Teorik tam yanma
ÜÖN	= Üst Ölü Nokta

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Hava kirliliği son yıllarda kamuoyunda tartışılan önemli bir konudur. Hava kirliliğinin kaynakları endüstriyel, ısıtma ve taşıt araçları gibi çok değişiktir. Her bir kaynağın hava kirliliğine etkileri farklı boyutlardadır (ÇVK, 1995).

Hava kirlenmesi, insan, bitki, hayvan ve madde üzerine zarar verebilen veya rahat yaşama biçimi ve maddeyi aşırı derecede etkileyen kum, toz, uçan kül, kurum, is duman, buğu, tütsü, sis, pus, buhar, gaz veya koku gibi birleşenlerin miktar, karakteristik ve süre olarak çevre atmosferinde bulunmasıdır (Borat ve ark., 1992).

Dünyadaki enerjinin %30'u hidrolik ve nükleer santrallerden üretilmekte ve geriye kalan %70 enerji fosil adı verilen petrol, kömür, gaz veya bunların sentetik türevlerinin yakılmasıyla elde edilmektedir. Yakıttaki hidrojen ve oksijenin havayla reaksiyonu sonucu su, karbondioksit, ısı ve ışık doğmaktadır. Bunlara ilave olarak çok fakir ve zengin yakıt hava karışımının kullanılması veyahut çok düşük yanma sıcaklığının oluşması ve yakıtta bulunan bazı bileşenler nedeniyle hava kirlenmesine yol açan partiküller (PM), kükürt oksitler (SO_x), azot oksitler (NO_x), karbonmonoksit (CO), yanmamış hidrokarbonlar (HC) ve aldehitler (R.CHO) gibi ürünler doğmaktadır (Borat ve ark., 1992).

Hava kirlenmesinde motorlu taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarının önemli bir payı bulunmaktadır. Özellikle sanayileşmiş bölgelerdeki hava kirliliğinin yaklaşık %60-70'nin motorlu taşıtlardan kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Borat ve ark., 1992).

Motorlu taşıtlar; egzoz emisyonu, yakıt-yağ buharı, kurşun bileşikler, asbest ve lastik tozları, aşınma-paslanma ve korozyon sonucu oluşan gaz, sıvı ve katı

atıklarla çevreyi kirletmektedir. Bu kirleticilerin en etkin, zararlı ve yoğun olanları egzoz gazında bulunan karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC), NO_x ve partikül maddelerdir. Bunlardan NO_x ile PM daha çok dizel motorlu taşıtlardan kaynaklanmaktadır (Ciniviz ve ark., 2002).

Hava kirletici emisyonların büyük bir bölümü yanma sonucu oluşmaktadır. Emisyonların kontrolünde çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlar yanma öncesi alınan önlemler, yanma sırasında alınan önlemler ve yanma sonrası alınan önlemler olarak sınıflandırılabilir.

Yanma öncesi alınan önlemler, yakıt kalitesinin iyileştirilmesi, alternatif yakıt kullanımı gibi yöntemlerdir. İçten yanmalı motorlarda, kirletici emisyonları azaltmak amacıyla LPG, alkoller, CNG (sıkıştırılmış doğal gaz), LNG (sıvılaştırılmış doğal gaz), hidrojen gibi yakıtlar kullanılmaktadır (Dinler ve Yücel, 2002).

Yanma sırasında alınan önlemler çoğunlukla yapısal nitelikteki önlemlerdir. Benzin motorlarında motor tasarımına ilişkin çeşitli parametrelerin değişimi egzoz gazları içerisindeki HC, CO ve NO_x miktarlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu parametreler: Yanma odası şekli, yanma odası yüzey/hacim oranı, sıkıştırma oranı, emme kanalının şekli, supap zamanlaması ve ateşleme sisteminin verimliliğidir (Kutlar ve ark., 1998).

Benzin motorları normal ayarları ile çalışırken bile yüksek oranlarda CO, HC ve NO_x yaymaktadır. Emisyon miktarını etkileyen en önemli etken hava fazlalık katsayısıdır. HFK ayrıca motorun performansını ve özgül yakıt tüketimini de etkilemektedir. Benzin motorlarında egzoz gazı emisyonları seviyesi büyük ölçüde motor ayarlarına bağlı olduğundan, en ufak bir ayar bozukluğu durumunda zaten zorlukla sağlanabilen emisyon sınırı dışına çıkmaktadır (Kutlar ve ark., 1998).

Hava/yakıt oranı ve ateşleme avansının motorun çalışma şartlarına göre ayarlanmasıyla, güç, yakıt tüketimi ve emisyonlar olumlu yönde etkilenmektedir.

Yanma sonrasında alınan önlemler ise; katalitik konvertörler, partikül filtreleri, termik reaktörler gibi art işlem yapan sistemlerdir (Dinler ve Yücel, 2002).

Bu çalışmada buji ateşlemeli bir motorun bazı yapısal ve işletme parametrelerinin egzoz emisyonuna olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca alternatif yakıtlardan LPG ve benzinle çalışan taşıtların egzoz emisyon değerleri aynı koşullardaki çalışmalarla karşılaştırılmıştır.



BÖLÜM 2

HAVA KİRLİLİĞİ

Hava kirliliği; genel olarak kalitesiz yakıtların ısıtmada kullanıldığı konutlardan, çeşitli sanayi tesislerinden, motorlu araçlardan ve atmosferik şartlardan kaynaklanmaktadır.

2.1 HAVA KİRLİLİĞİNİN OLUŞUMU

Hava kirliliği, ilk olarak 19.yy başlarında sanayi devrimi ile birlikte Avrupa’da enerji ihtiyacını karşılamak üzere yoğun bir şekilde fosil esaslı kömür yakıtı kullanılması ile sanayiinin yoğun hava akımının az olduğu dar bölgelerde insan sağlığını tehdit etmeye başlamıştır (Kutlar ve ark., 1998).

Ancak hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin bilimsel olarak incelenmesi 1910’lu yıllarda başlar. İlk kez bu dönemde karbonmonoksit ve diğer bileşiklerin kent havasını zehirlediği ve insanlarda sağlık bozukluklarına yol açtığı saptanmıştır.

Hava kirliliğinin oluşmasında, rüzgar, sıcaklık, nem, basınç, enversiyon (Atmosferde belli kalınlıkta bir tabaka içerisinde normal olarak sıcaklığın yukarıya doğru azalması gerekirken, tam tersine sıcaklığın artması hali) gibi meteorolojik değişkenler ve olaylar, topoğrafik-jeomorfolojik özellikler gibi doğal etkenler rol alsada ana kaynak yanma olaylarıdır (elektrik üretiminde, sanayi üretiminde, ısıtmada, motorlu taşıtlarda). Dünyadaki enerjinin ancak %30 kadarı yanmasız bir şekilde hidrolik ve nükleer santrallerde üretilmektedir. Geriye kalan %70 enerji fosil yakıt adı verilen kömür, petrol, gaz veya bunların sentetik türevlerinin yakılması ile elde edilmektedir.

Bu yakıtlar temelde hidrojen (H_2) ve karbondan (C) oluşmuşlardır. Yakıtın yanması, yakıtın içindeki yanabilen elemanlar ile havanın oksijeni arasında

yüksek hızla oluşan kimyasal reaksiyonlardır. İdeal yanmada (teorik tam yanma) hava içindeki oksijen (O_2), karbonla birleşerek karbondioksit (CO_2) ve hidrojenle birleşerek de su buharı (H_2O) oluşturur. Havanın azotu (N_2) ise reaksiyona girmez (Kutlar ve ark., 1998).

İdeal yanma koşulları uygulamada tam olarak gerçekleştirilememektedir. Yanmaya katılan hava gerekenden çok (fakir yakıt- hava karışımı) veya az (zengin yakıt-hava karışımı) olabilir, örneğin 1 kg benzinin tam olarak yanması için gerekli hava miktarı yaklaşık, 14.5 kg'dır. Benzinli bir motorun karbüratöründe benzin ile hava karıştırılırken gerekenden daha çok benzin karıştırılıyorsa fazla olan kısım tam yanamayacak ve yanma sonucu CO_2 veya H_2O yanında CO (karbonmonoksit) ve HC (hidrokarbonlar) oluşacaktır. Yanmaya katılan hava gereken miktarda olsa bile, yanma odasında yakıt ile havanın iyi karışmaması nedeniyle zengin ve fakir karışım bölgeleri oluşabilir ve yine tam yanma gerçekleşmeyebilir. Her türlü ideal yanma koşulları sağlansa bile yanmanın kimyası gereği, bir miktar kirletici dediğimiz tür bileşen (özellikle CO ve NO_x) oluşacaktır. Ayrıca hidrokarbon yakıtlar içerisinde bulunan farklı oranlardaki kükürt ve yakıtta çeşitli nedenlerle eklenen katkı maddeleri de yanma sonucunda kirletici madde olarak ortaya çıkmaktadır (Kutlar ve ark., 1998).

Havada bulunan bu istenmeyen maddeler sadece motorlu taşıtlardan çıkan havayı kirleten kimyasal maddeler değildir. Başlıca kirletici unsurlar, fabrikalar, termo elektrik santralleri, binaların kalorifer sistemleri, çöp, fırınlar gibi hava kirliliğine yol açan sabit kaynaklar ile uçaklar, gemiler gibi hava kirliliğine yol açan seyyar kaynaklar sayılabilir.

2.2 HAVA KİRLİLİĞİNDE MOTORLU TAŞITLARIN ROLÜ

Genellikle hava kirliliği sanayi, konut ısıtma ve ulaşım sektöründen kaynaklanmaktadır. Bazı ülkelerde ise ulaşımın rolü sanayiden çok daha önemli boyutlara ulaşmıştır. Otomobiller tarafından üretilen ve havayı kirleten maddeler otomobil yakıtının (benzin veya dizel yakıtı) yanması veya buharlaşması neticesinde ortaya çıkarlar. Bunlar başlıca üç ana gruba ayrılırlar: CO, HC ve

NO_x. Bu gazları solumak zehirlenmelere neden olur. İnsan sağlığı, hayvanlar ve doğa açısından zararlı ve tehlikeli gazlardır.

Kirletici emisyonların kaynakları, insan sağlığı ve çevrede meydana getirdiği etkiler Çizelge 2.1’de görülmektedir.

Çizelge 2.1 Kirletici emisyonların sağlık ve çevre açısından etkileri (Toyota, 1992).

Kirleticiler	Atmosferdeki Başlıca Kaynaklar	Başlıca Zararlı Etkileri	Açıklamalar
CO	• Otomobiller %93 • Güç santralleri %7	Kandaki oksijenin yenilenmesine engel olarak karbonmonoksit zehirlenmesi olur. (Atmosferdeki bir milyonda (ppm)30-40 birim olan CO, sinir sisteminde uyuşukluğa veya felce neden olur; 500 birim veya daha fazla CO konsantrasyonu nefes darlığına ve baş ağrılarına neden olur. Çok yüksek konsantrasyon ise ölüme neden olur.)	---
HC	•Otomobiller %57 •Petrol rafinerileri, solvent,vb. kullanımı %43	• Solunum yollarını tahriş eder.	Fotokimyasal dumanlı sisin nedeni
NO _x	• Otomobiller %39 • Fabrikalar, güç santralleri, petrol rafinerileri, vb. %61	• Gözleri, burun ve gırtlak bölgelerini tahriş eder; eğer bu tahriş şiddetli ise öksürme, baş ağrıları ve akciğerlerde problemler ortaya çıkar. • Atmosferik NO₂:3-5 ppm’de sinir bozucu bir koku çıkarır. 10-30 PPM’ de gözleri ve burnu tahriş eder. 30-40 ppm’de öksürme, baş ağrıları ve baş dönmesine neden olur.	Fotokimyasal dumanlı sisin başlıca nedeni
SO ₂	• Otomobiller (dizel) %1 • Fabrikalar, güç santralleri, ısıtma sistemleri, vb. %99	• Solunum yollarını tahriş eder ve nefes borusunda iltihaplanmaya neden olur.	----

BÖLÜM 3

BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR

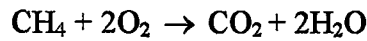
Motorlu taşıtların yol açtığı çevre kirliliği ve egzoz gazlarının bileşimi içten yanmalı motorlarda, yanma sırasında yakıt içindeki hidrokarbonlar, hava içerisindeki oksijen ile birleşerek çeşitli bileşikler oluşturmaktadır.

3.1 BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA YANMA

Yanma basit bir şekilde hidrokarbonlu yakıtların hızlı oksidasyonu olarak tarif edilebilir. Fakat yanma, başlangıcı, gelişmesi ve tamamlanması kimyasal reaksiyon hızına ve özelliğine, yanma bölgesindeki ısı ve kütle transfer durumuna ve çevreye olan ısı transfer durumuna bağlı olan çok karmaşık fiziksel ve kimyasal bir süreçtir (Ayhaner, 2000).

3.1.1 Yanma

Bir kimyasal reaksiyonda ya enerji çıkışı olmakta ya da enerji yutulmaktadır. En yaygın enerji açığa çıkarma reaksiyonu; yakıtın, havanın oksijeni tarafından oksitlenmesi ya da yanmasıdır. Reaksiyon sonucunda kimyasal yapıları farklı olan maddeler oluşur. Kimyasal reaksiyona giren maddelere bileşen, reaksiyon sonucu oluşan maddelere ürün adı verilir. Örneğin;



denklemini ile verilen reaksiyonun bileşenleri metan ve oksijen, ürünleri ise karbondioksit ve su'dur (Büyüktür, 1991).

3.1.2 Yanma Çeşitleri

Yanma olayında oksidasyonun tamamlanıp tamamlanmamasına göre yanma dört kısma ayrılabilir (Borat ve ark., 1992).

1. Teorik Tam Yanma (TTY): Yakıt içerisinde bulunan bütün yanabilir bileşenler tam olarak oksitlenir ve ürün olarak CO_2 , H_2O , SO_2 ve N_2 'ye dönüşür. Bu yanmada minimum oksijen miktarı kullanılır, egzozda O_2 görülmez.

2. Tam Yanma (TY): Gerekli hava miktarı TTY halindeki fazla olduğunda egzozda O_2 , CO_2 , H_2O , SO_2 ve N_2 görülen yanma şeklidir. Hava fazlalık katsayısı (HFK) 1'den büyüktür.

3. Eksik Yanma (EY): Oksidasyonun tam olmayışından dolayı egzozunda CO , HC , H_2 , CO_2 , H_2O , SO_2 ve N_2 bulunan yanma şeklidir. $\text{HFK} < 1$ halidir.

4. Kısmi Eksik Yanma (KEY): Yanma odasındaki karışım, sıcaklık değişimi ve kalış süresindeki yetersizlikler sonucu genel $\text{HFK} > 1$ olmasına rağmen O_2 'nin yanında CO ve H_2 gibi EY ürünleri görülmektedir. Bu sadece mevzii yakıt/hava oranının düzensizliğünün sonucu değildir. Yüksek sıcaklıkta CO_2 , H_2O molekülleri ısı ayrışma (parçalanma, dissociation) ile CO , H_2 gibi EY ürünleri açığa çıkarılır (Çelik, 1999).

3.1.3 Yakıt Hava Miktarına Ait Tanımlar

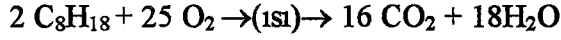
Yanma olaylarında kullanılan yakıt-hava miktarını belirtmek için çeşitli tarifler kullanılmaktadır. Bu tarifler arasında gerçekte basit bağlantılar mevcuttur (Borat ve ark., 1992).

3.1.3.1 Hava/Yakıt Oranı (H/Y)

H/Y oranı, motorun tükettiği hava kütlesinin yakıt kütlesine oranıdır.

Benzinli bir motorun ideal olarak çalışabilmesi için yakıt ve havanın belirli ağırlık oranlarında karışım oluşturması gerekir. Hava/yakıt oranı silindir içerisindeki karışımın içerisindeki havanın ağırlığının yakıtın ağırlığına oranı olarak tanımlanır.

Teorik hava yakıt oranı 15/1 olduğunda motorda tam yanma gerçekleşir. Bunu benzin (C_8H_{18}) için kimyasal olarak aşağıya hesaplayacak olursak;



C: 12gr $\rightarrow$ Mol ağırlıkları

H: 1gr $\rightarrow$ Mol ağırlıkları

O: 16gr $\rightarrow$ Mol ağırlıkları

$$2[(12 \cdot 8) + (1 \cdot 18)] + 25[(2 \cdot 16)] \Rightarrow 16[(12 \cdot 1) + (2 \cdot 16)] + 18[(2 \cdot 1) + 16]$$

$$228\text{gr}(\text{benzin}) + 800\text{gr}(\text{oksijen}) \Rightarrow 704\text{gr}(CO_2) + 324\text{gr}(H_2O)$$

23gr oksijen 100gr havada varsa

800gr oksijen x

$$x = (800 \cdot 100) / 23 = 3478 \text{ gr} \Rightarrow \text{hava gereklidir.}$$

228 gr benzini tam olarak yakmak için;

$$AFR = 3478 / 228 = 15.24 \text{ Buna göre teorik hava/yakıt oranı } H/Y \cong 15/1 \text{ 'dir.}$$

1 gram oktan tamamen yakıldığı zaman yukarıdaki denklemin sol tarafında bulunan miktarlar nispetinde havadaki oksijen ile bileşerek enerji reaksiyonunu açığa çıkarır. Bu reaksiyonunun nihai ürünleri, enerjinin yanı sıra, kimyasal denklemin sağındaki CO_2 gazı ve sudur (Toyota, 1992). Gerçekte otomobillerde kullanılan benzin saf oktan değildir. Eğer otomobillerde saf oktan kullanılırsa idi bu oran tam yanma için 15/1 olurdu.

Motorlu taşıtlarda kullandığımız benzin oktan ve diğer hidrokarbonların bir karışımıdır. O nedenle benzin için kullanılan hava/yakıt oranı 15/1 den daha düşüktür. 14.4/1 ile 15/1 arasında bulunur. Bu değer benzin motorlarında ortalama olarak 14.7/1 olarak kabul görür. Buna stokiometrik hava/yakıt karışımı denir. Stokiometrik orandan yakıt fazlalığı olan tarafa gidildikçe karışım zenginleşir.

Örneğin hava/yakıt oranı 10/1 den küçük ise karışım çok zengin olacak ve yakıtın tamamının yanması için yeterli oksijen olamayacaktır. Böyle bir yanma aracın egzozundan çıkan karbonmonoksit (CO) miktarının artmasına neden olacaktır.

Eğer hava/yakıt oranı stokimetrik orandan daha büyük ise karışım fakirleşecek ve yine yanma verimi düşecektir. Daha fazla fakirleşmede örneğin; H/Y=18/1 den sonra ki oranlarda egzozdan dışarı atılan hidrokarbon (HC) miktarı artmaktadır.

3.1.3.2 Hava fazlalık katsayısı (HFK), ekivalans (eşdeğerlik) oranı

Birim miktardaki yakıt için kullanılan gerçek hava miktarının TTY için gerekli minimum hava miktarma oranıdır. Motordan ölçülen gerçek Hava/Yakıt oranı;

$$G = \left(\frac{H}{Y} \right) \quad (3.a)$$

Teorik olarak hesaplanan Hava/Yakıt oranı;

$$T = \left(\frac{H}{Y} \right) \quad (3.b)$$

Modern karışım hazırlama yöntemine göre, (3.a) ve (3.b)'deki eşitlikleri (3.c)'deki eşitlikte yerine koyduğumuzda hava fazlalık katsayısı cinsinden hesaplama formülü oluşturulur (Çelik, 1999).

$$HFK = \frac{G}{T} \quad (3.c)$$

Eksik yanma enerji kaybı ile sonuçlandığından, pratikte yanmanın tam olarak gerçekleşmesi için teorik hava miktarından daha fazla hava kullanılır. Bu durumda HFK l'den büyük olur. Buji ile ateşlemeli motorlarda HFK 0.8 ile 1.2 arasında değişmektedir. HFK l'in üzerine çıktıkça karışım fakirleşmekte, l'in altına düştükçe karışım zenginleşmektedir.

İngilizce literatürde HFK' nın tersi olarak ekivalans oranı (EO) kullanılır ve Φ ile gösterilir. Bunu yakıt fazlalık katsayısı şeklinde düşünmek mümkündür (Borat ve ark., 1992).

Ekivalans oranı (eşitlik (3.c)'nin tersi);

$$\Phi = \frac{1}{\text{HFK}} \quad (3.d)$$

3.1.3.3 Yanmaya Etki Eden Parametreler

Buji ile ateşlemeli motorlardaki gerçek yanma olayı ile, teorik yanma arasında çok yönden farklılıklar vardır. Teorik olarak sabit hacimde olması gereken yanma, ideal olmayan nedenlerden dolayı sabit hacimde gerçekleşmez. Çünkü yanma için belirli bir zamana ihtiyaç vardır. Bu zaman karışımın homojenliğine, uygun oranda olmasına, ateşlemenin ideal olmasına, motor hızına, ateşleme avansına, motor sıcaklığına bağlıdır. Alevin yayılma hızı, yanabilir karışımın fiziksel veya kimyasal özelliklerine ve türbülans şiddetine bağlıdır. Bütün bu faktörler yanma hızını doğrudan veya dolaylı etkilediklerinden tam ve ideal yanma gerçekleşmez (Çelik, 1987).

1. Motor Devri: Motorun devir sayısı arttıkça yanma için gerekli süre azalır, silindirdeki karışımın türbülansı ve dolayısıyla yanma hızı artar. Yanmanın verimli olması için ateşleme avansı motor devrine bağlı olarak değiştirilir (Çelik, 1987).

2. Emme Basıncı: Silindire emilen yakıt-hava karışımının basıncı artarsa, alev cephesinin ilerleme hızı azalmakla beraber sıkıştırma sonu sıcaklığı da arttığından alev ve yanma hızı artmaktadır. Kısmi yüklerde emme basıncı düştüğünden yanma hızı azalır, avans artırılır.

3. Artık Gazların Miktarı: Silindir içinde kalan artık gaz miktarının artmasıyla silindirdeki kullanılabilir oksijen miktarı azaldığından yanmış gazların sıcaklığı azalmakta, dolayısıyla yanma hızı da azalmaktadır. Motor yükü azaldıkça artık gaz miktarı artar.

4. Sıkıştırma Oranı: Sıkıştırma oranı artarsa karışımın basıncı ve sıcaklığı artar, artık gazların miktarı azalır. Dolayısıyla karışım daha kolay ateşlenir. Yanma olayının başlangıç safhasının süresi azalır, ikinci safhadaki yanma hızı da artar.

Ancak sıkıştırma oranının yüksek değerlere ulaşması vurutuya sebep olur, verim düşer.

5. Hava Fazlalık Katsayısı (HFK): Yanma hızını, dolayısıyla açığa çıkan ısı miktarını, basıncın ve sıcaklığın değişimini etkiler. $HFK=0.9-0.95$ civarında olduğunda yanma hızı maksimumdur. $HFK=0.7$ gibi bir değerin altına düştüğünde, şartlara bağlı olarak kolaylıkla tutuşma sınırı dışına çıkmaktadır. HFK'nın $0.8-0.9$ gibi değerlerinde birinci ve ikinci safha süresi kısalmakta ve basınç artma hızı büyümektedir. Fakir karışımlarda ($HFK=1.1-1.2$) ise, tutuşabilmenin üst sınırı yaklaşıldığından motorun yapısına bağlı olarak ateşleme ve yanma, çevrimden çevrime değişim gösterir. Karışım fakirleştikçe ateşlemenin sağlanamadığı çevrimlerin sayısı giderek artar (Çelik, 1987).

6. Yanma Odası Şekli: Türbülansın şiddeti, emme kanalının ve yanma odasının şekline bağlı olarak değişmektedir. Yanma odasının şekli küresel veya küresele yakın ise toplam alev yolu kısılacığından yanma için gerekli KMA aralığı daha küçük, basınç artma hızı daha yüksek olacaktır. Ayrıca yanma odasına konan bujinin konumu ve buji sayısı da yanma süresini etkilemektedir (Çelik, 1987).

3.2 BENZİN MOTORLU TAŞITLARDA KİRLETİCİ EMİSYONLARIN OLUŞUMU VE ETKİLERİ

Motorlarda ideal yanma durumunda, yanma ürünleri zehirli etkileri olmayan CO_2 ve H_2O ile havadaki azottan (N_2) oluşmaktadır. Ancak uygulamada yanmanın tam olmaması ve yanma odası koşullarına bağlı olarak bazı kimyasal parçalama olayları nedeniyle oluşan ara ürünler egzoz gazları içerisinde yer almaktadır. Bu ürünler; yanmamış hidrokarbonlar (HC), azot oksitler (NO_x), karbonmonoksit (CO), partikül madde (PM), yakıt içinde bulunan kükürt ve katkı maddeleri nedeniyle kükürtdioksit (SO_2), ve kurşun bileşikler (Pb) gibi zararlı maddelerdir.

Taşıtlardaki kirletici emisyonların en büyük kaynağı motor içinde yanma sonucu oluşan egzoz gazlarıdır. HC emisyonunun yaklaşık %60'ı ve CO, NO_x , SO_2 , PM ve kurşun bileşiklerinin tümü yanma sonu oluşmakta, egzoz gazlarıyla atmosfere atılmaktadır. Kirletici emisyonların diğer bir kaynağı karter havalandırmasıdır.

Karterden atmosfere atılan kirleticiler ağırlıklı olarak HC'lerden oluşmaktadır. Karter havalandırması toplam motor emisyonunun yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır. Yakıt deposu havalandırmasından atmosfere atılan HC emisyonu, taşıtın toplam HC emisyonunun yaklaşık %5-10'u kadardır. Ayrıca motorlardan çıkan yaklaşık %5'i karbüratörden kaynaklanmaktadır (Kutlar ve ark., 1998).

Motor cinsine bağlı olarak dizel motorlarında CO ve HC üretimi benzin motorlarına göre daha düşük düzeyde olmakta, buna karşı dizel motorları tarafından üretilen kirletici bileşenlerin esas kaynağını partikül madde ve NO_x emisyonları oluşturmaktadır (Kutlar ve ark., 1998).

3.2.1 Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Oluşumu

Kokusuz ve renksiz bir gaz olan CO çok zehirlidir. Bu gazın kandaki oksijeni taşıma görevine sahip olan hemoglobine bağlanma yeteneği oksijene oranla yaklaşık 200 kere daha fazladır. Bu nedenle CO ortamında bulunan bir kişinin solunum yoluyla aldığı CO, kandaki normal hemoglobini bozar, vücut hücrelerinin oksijen alma olanağını engelleyerek zehirlenmeye ve boğulmaya neden olur. Yani CO solunması, akciğerlerden vücut dokularına oksijen taşınmasını bozmaktadır (Aslan, 1996).

Yanma odası içinde yeterli oksijen bulunmaması nedeniyle yakıtın tam yanamaması sonucunda CO gazı üretilmektedir.

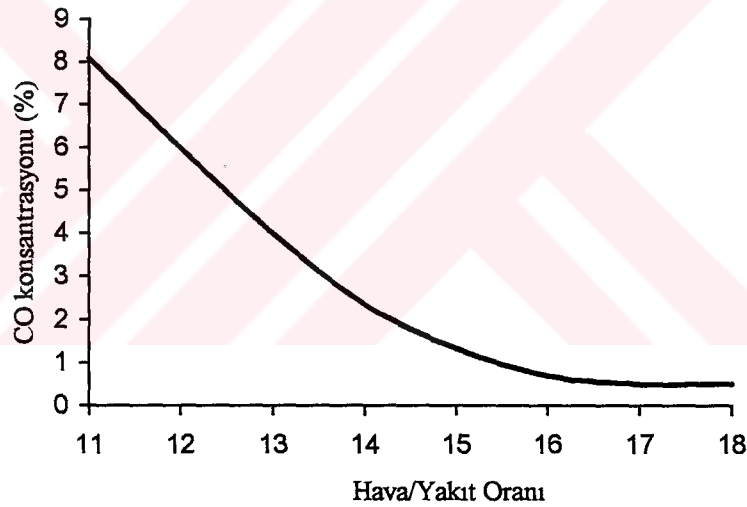
Teorik olarak, teorik hava/yakıt oranının ihtiyacı olan miktardan daha fazla oksijen var ise CO üretimi olmamalıdır, ancak gerçekte, bu durumda bile CO üretimi olmaktadır. Bunun üç nedeni vardır:

1. CO gazı bir sonraki oksidasyon ile CO₂ gazına dönüşür ($2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$) ancak bu reaksiyon diğerleri ile karşılaştırılınca biraz daha yavaş gerçekleşir ve geriye kalan tüm CO gazı CO₂ gazına dönüştürülemez. Bu sebepten dolayı, hava/yakıt karışımı çok fakir olsa bile CO üretimi olur.

2. Yakıtın yanma odası içinde doğal olarak homojen dağılamaması nedeniyle hava/yakıt karışımı da eşit olmayan bir yanmaya maruz kalır.

3. Silindir iç cidarları üzerinde sıcaklığın daha az olması "soğutmaya" neden olur. Yani bir başka deyişle, yanmanın gerçekleşebilmesi için sıcaklık çok düşüktür, dolayısıyla alev silindirin bu bölgelerine ulaşamaz (Toyota, 1992).

Egzoz gazı içindeki CO konsantrasyonu (hacimsel oran) genellikle hava/yakıt oranı tarafından tespit edilir ve prensip olarak hava/yakıt oranındaki değişimlere göre CO'nun hacimsel oranında değişiklik olacaktır. Gerçek bir benzinli motorun egzoz gazları içinde bulunan CO konsantrasyonunun hava/yakıt oranının artması karışımın fakirleşmesi ile birlikte CO emisyonunun nasıl düştüğü Şekil 3.1'de görülmektedir. Bu grafikte görüldüğü gibi, egzoz gazları içindeki CO konsantrasyonunun azaltılmasının en iyi yolu, hava/yakıt oranını mümkün olan en uygun değere ayarlamaktır (Toyota, 1992).



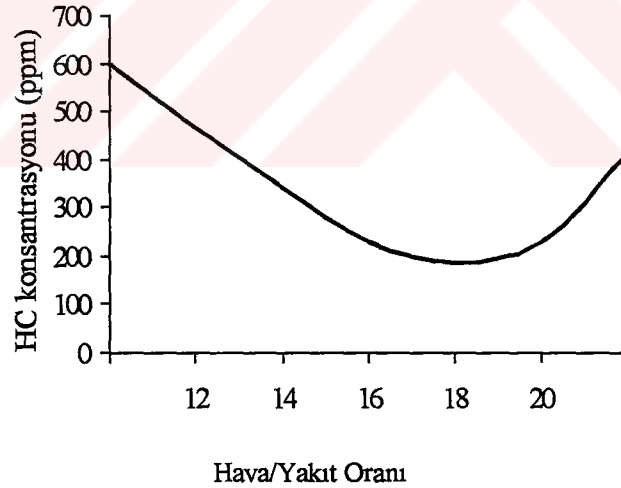
Şekil 3.1 Benzinli motorda CO oluşumunun hava/yakıt oranına göre değişimi.

3.2.2 Hidrokarbon (HC) Oluşumu

Hidrokarbonlar yanmamış ya da kısmen yanmış yakıt anlamına gelir. Bu gazlar genellikle kötü kokulu ve tahriş edici maddelerdir. Yakıt deposundan, karbüratörden ve taşıtın egzozundan atmosfere atılır.

Egzoz gazları içerisinde hidrokarbon bulunması yakıtın tam olarak yanmadığını gösterir. HC oluşumunun ana nedeni sıcaklıkların veya oksijenin yetersiz olması sonucunda yanmanın tamamlanamamasıdır. Bu durum; silindir içerisinde bazı bölgelerde hava/yakıt karışım oranının çok zengin veya çok fakir olması sonucu oksidasyon reaksiyonlarının yavaşlaması ve yanmanın tamamlanamamasından kaynaklanmaktadır. Isı kayıpları nedeniyle silindir içindeki soğuk yüzeylere ulaşan alevin anında sönmesi ve piston-silindir arası gibi dar bölgelerde alevin ilerleyemeyerek sönmesi de HC emisyonlarını artırmaktadır (Kutlar ve ark., 1998).

Taşıtın egzozundan normal sınır değerleri üzerinde hidrokarbonların çıkışına etki eden faktörlerden birisi uygun olmayan hava/yakıt oranıdır. Hava/yakıt oranı değişiminin benzinli motorlarda hidrokarbon oluşumuna etkisi Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2 Benzin motorunda oluşan HC (hidrokarbon) konsantrasyonu ile hava/yakıt oranı arasındaki ilişki (Toyota,1992).

Şekil 3.2’de karışım zenginleştikçe silindir içerisindeki oksijen yetersizliği nedeni ile tam yanma gerçekleşmemektedir. Bu durumda kısmen yanmış hidrokarbonlar normalden daha fazla atmosfere atılmaktadır. Eğer karışım oranı çok fakire doğru giderse tekrar hidrokarbon miktarı artmaya başlar. Bunun nedeni; silindir

içerisindeki karışımın yakıt molekülleri arasındaki mesafenin artması ve yanma süresinin uzaması sonucu yanma veriminin düşmesiyle tekrar hidrokarbon miktarını arttırmasıdır (OSD, 1997).

3.2.3 NO_x Emisyonu Oluşumu

Azot oksitler de (NO, NO₂, N₂O₂ vb. bileşiklerin tümü birden NO_x olarak tanımlanmaktadır) CO gibi kandaki hemoglobin ile birleşmektedir. Ancak azot oksitlerin en önemli zehirleyici etkisi ciğerlerde nemle birleşerek nitrik asit oluşturmasıdır (Aslan, 1996).

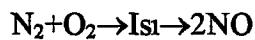
Azot oksitler ayrıca kimyasal sis oluşumunu etkilemektedir. Atmosferde bulunan su ile (yağmur, sis vb.) birleşerek nitrik asit oluşumuna neden olurlar. Böylece atmosferde asit yağmuru olayını meydana getirirler ve bitki örtüsüne zarar verirler.

Azot oksitler içinde NO renksiz, kokusuz bir gazdır. NO₂ ise kırmızı-kahverengi renkli, kötü kokulu, tahriş edici bir gazdır. Yanma ürünleri arasında genellikle NO bulunmasına rağmen, atmosfere atıldıktan sonra bir kısmı NO₂'ye dönüşmektedir. NO gazının ayrıca felç yapıcı özellikleri de bulunmaktadır(Kutlar ve ark., 1998).

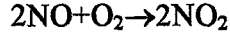
Azot (N₂) normal şartlar altında silindir içersinde yanma sonucunda reaksiyona girmez. Azot oksitlerin (NO_x) yanma sonucu oksijenle tepkimeye girerek meydana gelmesinin tek şartı yüksek sıcaklıktır.

Yanma sonu sıcaklığı 1600 °C üzerine çıkarsa, havanın içersindeki azot oksijenle reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler (NO_x)'ler meydana gelmektedir.

Sonuç olarak, azot oksit oluşumunu silindir içi sıcaklığının büyük ölçüde etkilediği sıcaklık arttıkça azot oksidin hızla arttığı anlaşılmaktadır (Kutlar ve ark., 1998).

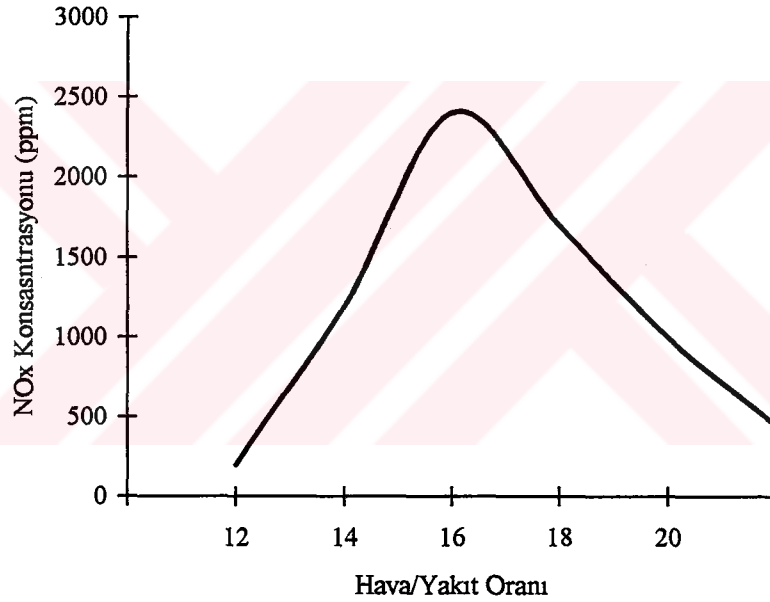


Bu azot oksit daha sonra atmosferde bulunan oksijen ile bileşerek nitrojen dioksiti (NO_2) meydana getirmektedirler.



Yanma sonu sıcaklığının en yüksek ve hava/yakıt oranı 16/1 olduğunda azot ile oksijen birleşerek azot oksit meydana gelmektedir.

Hava/yakıt oranının 16/1'den daha zengin tarafa doğru ilerlemesi ile NO_x emisyonu azalmaya başlar. NO_x emisyonu, yanma kalitesinin zengin hava/yakıt oranında kötüleşmesi ile yanma sonu sıcaklığı düştüğünden azalmaktadır.



Şekil 3.3 Benzin motorunda oluşan NO_x gazı konsantrasyonu ile hava/yakıt oranı arasındaki ilişki (Toyota, 1992).

Şekil 3.3'den de anlaşıldığı gibi azot oksitlerin en yüksek değerleri H/Y oranının 16/1 ($\lambda=1.1$) olduğu durumdadır. Bu oranın sağında yada solundaki oranlarda azot oksit miktarlarının yanma sonu sıcaklığının azalması ile birlikte ani olarak düştüğü görülmektedir.

3.2.4 Kurşun ve Kurşun Bileşiklerinin (Pb) Oluşumu

Kurşun, benzine katılmaya başladığı 1923 yılından 1980'li yıllara kadar en önemli benzin katkısı olmuştur. Kurşun bileşikleri, normal ve süper benzinde vuruntuya karşı direnci sağlamak amacıyla çoğunlukla kurşun tetraetil ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$) olarak katılırlar. Bu bileşikler doku, kan dolaşımı ve sinir sisteminde tahribat yapmaktadırlar. Kurşun emisyonlarının tehlikesinin farkına varılmasıyla birlikte 1970'ler ve 1980'lerde kademeli olarak kurşun bileşikleri kaldırılmaya başlanmıştır (Dinler, 2001; Kutlar ve ark., 1998).

Benzine, yakıtın oktan sayısını artırmak amacıyla eklenen kurşun tetraetil $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ gibi katkı maddeleri, yanma ürünleri arasında kurşun bileşenlerinin de bulunmasına neden olmaktadır. Bu bileşikler gerek doğrudan gerekse bitkiler üzerinde birikerek buradan doğrudan (yol kenarlarında yetişen bitkisel besinler) veya dolaylı (yol kenarlarında otlayan hayvanların eti ve sütü) olarak tüketilen besinler yolu ile insan vücuduna geçmektedir. Kurşun, zamanla birikerek vücudu etkileyen çok kuvvetli zehirli bir maddedir. Metabolizma ve beyin üzerinde olumsuz etkileri mevcuttur (Aslan, 1996).

BÖLÜM 4

BENZİN MOTORLU TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN KİRLETİCİLERE KARŞI ALINAN ÖNLEMLER

Bugün içten yanmalı motorlu araçları hava kalitesini dikkate alarak dizayn etmek zorunluluğu vardır. Şehirlerdeki hava kalitesinin artışı, çeşitli kaynaklara uygulanan emisyon kontrol teknolojilerinde önemli gelişmelerle olmaktadır. Örneğin, bugün yeni model bir otomobil emisyon kontrolü olmayan otomobile oranla yaklaşık %90 NO_x, %95 daha az HC ve CO yaymaktadır (Dinler, 2001).

4.1 KAYNAK ÖNCESİ ÖNLEMLER

Yakıt kalitesinin artırılması yakıt tüketimini azalttığı gibi egzozdan çıkan zararlı emisyonların miktarlarında azalmalar meydana getirmektedir. Yakıt bileşiminde yapılacak değişiklikler ile egzoz gazlarındaki CO, NO_x HC'ların azaltılması amaçlanmaktadır.

Benzin yakıtında oktan sayısını yükseltmek için kullanılan kurşun bileşikleri katalitik konvertör teknolojisinin yaygınlaşması nedeniyle katkı maddesi olarak kullanılmaktan vazgeçilmeye başlanmıştır. Bu ise dolaylı olarak egzoz gazlarındaki kurşun emisyonunu ortadan kaldırmaktadır.

Kurşun bileşiklerinin benzin içerisinden çıkarılmasıyla oktan sayısını katalizatöre zarar vermeden arttırmak için içerisinde oksijen (O₂) bulunan hidrokarbon bileşiklerine ve diğer bazı katkı maddelerine yönelinmiştir. Bunlardan bazıları Etanol (C₂H₅OH), Metanol (CH₃OH), Tersiyer bütıl alkol (TBA), (C₄H₉OH), Metil tersiyer bütıl eter (MTBE), Metilsiklopentadiyel mangan trikarbonil (MMT) gibi sıralanabilir (Kutlar ve ark., 1998).

4.1.1 Yakıt Kalitesinin İyileştirilmesi

Buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılacak yakıtın kalitesi ve cinsi en düşük egzoz emisyon değerleri verebilecek kalitede hızlı ve verimli yanacak yapıda olmalıdır. Çünkü kullanılan yakıtın cinsinde bulunan hidrojen ve karbonun kimyasal bağ yapısı, içerisine katılan katık maddeler, yanma sonucunda egzozdan çıkan emisyonları etkileyen faktörlerden biri olmaktadır. Bu nedenle motorlarda kullanılan alternatif yakıtların egzoz emisyonlarının birbirlerinden çok farklı değerler vermesi, alternatif temiz yakıt konusundaki araştırmaların artmasına neden olmuştur.

4.1.2 Alternatif Yakıtların Kullanımı

Egzoz gazlarının insan sağlığını tehlikeye düşürecek seviyeye ulaşmasının yanı sıra artan tüketim ile dünyada bilinen petrol rezervlerinin hızla azalmaya başlaması alternatif yakıt arayışlarına hız kazandırmıştır. Bu nedenle tüm dünyada bu konu üzerinde çalışmalar yapılmış ve mevcut motor yakıtlarının yerini alacak, fakat petrol kökenli olmayan yakıtların bulunmasına ve bunların motorlarda kullanılabilme imkanlarının araştırılmasına yönelinmiştir (Korkmaz, 1996). Günümüzde LPG, doğal gaz, alkoller ve hidrojen gibi yakıtlar benzine oranla daha düşük emisyon değerleri verdiği için motorlarda kullanılmaktadır.

4.1.2.1 Doğal Gazın Kullanımı

Doğal gaz çeşitli gazların bileşiminden meydana gelmiştir. Ana yapıyı oluşturan metan (CH_4) toplam hacmin %85-99'unu oluşturur. Geri kalan kısım diğer hidrokarbonlar, karbondioksit, azot, helyum gibi asalgazlar; hidrojen sülfid ve su taneciklerinden meydana gelmiştir. Tutuşma sıcaklığı yüksek olduğundan vuruntuya dayanıklıdır. Saf metanın oktan sayısı (RON) 130'dur. Yüksek oktan sayısı sayesinde 15/1'lik sıkıştırma oranlarına kadar kullanılabilir. Normal koşullarda gaz halinde bulunduğu için hava ile her oranda kolayca karışır. Benzine oranla daha fakir karışımlarla kullanılabilir (Kutlar ve ark., 1998).

Doğal gaz konvansiyonel ve alternatif yakıt türleri içinde en temiz olanıdır. Özellikle doğal gaz için tasarlanmış motorlarda, reaktif hidrokarbonlar, karbondioksit ve azot oksitlerin 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 (Keskin, 1997).

Emisyon açısından en iyi çözümü veren yaklaşım, motoru %100 doğal gazla, buji ateşlemeli motor olarak çalıştırmaktır. Doğal gazın oktan sayısının yüksek olması (120-130) dolayısıyla, bu motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarına (12/1-14/1) çıkılabilmektedir (Kutlar ve ark., 1998).

4.1.2.2 LPG'nin Kullanımı

LPG, temiz yanması ve daha az egzoz emisyonları vermesi nedeni ile tercih edilen alternatif yakıt konumuna gelmiştir. Kolay bulunması, teknoloji ve endüstrideki hızlı gelişmeler, ekonomik zorluklar tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de LPG yakıtının otomotiv sektöründe kullanımını hızla gündeme getirmiştir (Anon, 2000).

Türkiye'de daha çok konutlarda ve sanayimizin bir çok kesimlerinde ısıtma, aydınlatma amacıyla, dünyada ve özellikle de ABD'de otomotiv sanayiinde araçlara enerji elde etmek için kullanılmaktadır (Tekgüler, 1992). Propan (C_3H_8) ve Bütan (C_4H_{10})'nın belli oranlarındaki karışımından oluşan ve Liquefied Petroleum Gases kelimelerinin baş harfleri ile ifade edilen sıvılaştırılmış bir petrol gazıdır. Dünyadaki LPG üretiminin %61'i doğal gaz %39'u ise rafineri üretiminden elde edilmektedir.

Ülkemizde; otomotiv yakıtı olarak kullanılacak olan LPG özel olarak üretilmektedir. Buna göre ülkemizde %30 propan, %70 Bütandan oluşan LPG karışımı yakıt olarak kullanılmaktadır. Avrupa ülkelerinde Amerika ve Kanada'da propan gazının oransal olarak ağırlıklı olduğu gaz kullanılırken Fransa, İtalya, Yunanistan ve İspanya'da ülkemizdeki bütan ağırlıklı LPG gazı kullanılmaktadır.

LPG'nin yakıt olarak özellikleri

LPG ülkemizde %30 propan (C_3H_8) ile %70 oranında Bütan (C_4H_{10})'nın karışımından oluşmaktadır. Motor yakıtı olarak kullandığımız LPG'nin özellikleri aşağıda Çizelge 4.1 verilmiştir.

Çizelge 4.1 LPG'yi oluşturan propan ve bütanın kimyasal özelliği (Ergemen ve Soruşbay, 1996)

GAZ	PROPAN	BÜTAN
Kimyasal formülü	C_3H_8	C_4H_{10}
Moleküler ağırlığı	42	58
Özgül ağırlığı (kg/litre)	0.51	0.58
Kaynama Noktası (°C)	-43	-0.5
Alt ısı değeri (Kcal/kg)	11070	10920
Tutuşma Noktası (°C)	510	490
Tutuşma Sınırları (hacimsel %)	2.1-9.5	1.5-8.5
Yanma Hızı (cm/s)	32	32

Buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılan benzin ile LPG arasında farklılıklar vardır. Motorda yakıt olarak kullandığımız LPG gazı propan-bütan karışımıdır. Gaz yakıtlarda karışım hazırlama kolaylaşmakta, motora ani gaz verme durumlarında hava/yakıt oranı daha düzgün silindire gitmektedir. Sıvı yakıtlara göre LPG silindir içerisinde daha geniş alana yayılarak daha homojen yapı oluşturur.

LPG yakıtı içerisindeki propan ve bütan oranları ülkelerin iklim şartlarına göre değişmektedir. Propan'ın kaynama noktası tabloya göre $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$ derece Bütan'ın ise $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ derecedir. Bu duruma göre LPG yakıtının içerisinde bulunan bütan oranının yüksek olması soğuk havalarda motorun zor ve verimsiz çalışmasına neden olmaktadır. Soğuk iklim ortamlarında LPG bünyesinde propan daha fazla tutularak sıvı fazından gaz fazına geçişi kolaylaştırmaktadır (Telli, 1998). Bütanın kaynama noktası nispeten yüksek olduğundan daha sıcak iklimlerde kullanılır.

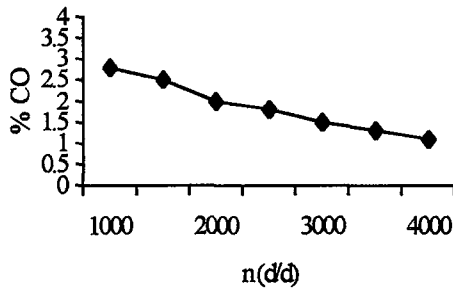
Kaynama noktası düşük olan propan ise daha soğuk iklimlerde kullanılır. Çünkü bu gibi yerlerde bütan yeterli basıncı sağlayamaz. Soğuk bölgelerde yüzde olarak propan miktarı daha yüksek tutulur.

LPG'nin ihtiva ettiği karbon-hidrojen oranı benzine göre daha düşüktür. Hidrokarbon oranı düşük olan yakıtların oktan sayısı yüksek olduğundan vuruntuya karşı benzinden daha dayanıklıdır. Bunun dışında LPG yakıtı benzine göre çok daha temiz egzoz emisyonlarına sahiptir. LPG'nin ısı değeri 25504 kJ/litre'dir. Benzin için bu değer 31440-40950 kJ/litre arasında, benzinin kalitesine göre bir değer almaktadır. Bu sebeple bazı motorların LPG'ye dönüştürülmesi sonucunda %5-10 arasında güç kaybı olduğu görülür (Korkmaz, 1996).

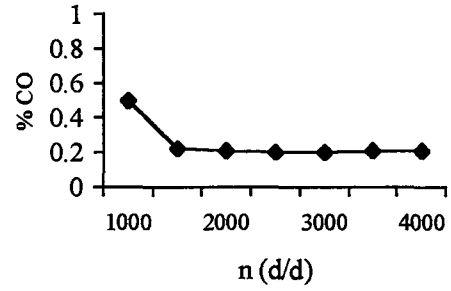
LPG yakıtından optimum gücü ve ekonomikliği elde etmek için, motorun uygun sıkıştırma oranına sahip olması gerekir. Motorlarda kurşunsuz benzinle katalitik dönüştürücülerin kullanılması motor üreticilerini daha düşük sıkıştırma oranına sahip motor üretimine zorlamıştır. LPG'nin oktan sayısı 112'dir. Benzinle karşılaştırıldığında bu büyük bir rakamdır. LPG ile çalışan motorlar vuruntusuz olarak 10.5/1 sıkıştırma oranında rahatlıkla çalışabilmektedirler. Bazı LPG yakıtlı motor üreten firmalar, ürettikleri motorların sıkıştırma oranını daha da yükseltmişlerdir (Korkmaz, 1996; Durgun, 1988).

LPG yakıtlı motorların egzoz emisyonları benzin yakıtlı motorların egzoz emisyonlarına göre çok daha temizdir. LPG yakıtlı motorlarda jikleme ihtiyacı yoktur. Ani ivmelenme durumunda devreye giren ivmelenme pompasına da gerek duyulmaz. Normal LPG hava/yakıt karıştırıcıları benzin motorlarındaki karbüratörlerden daha küçüktür. LPG motoru benzin motorlarından çok daha verimli çalışır. Özellikle düşük devirlerde gözle görülür bir verim artışı olur (Korkmaz, 1996).

Bayındır ve ark. (1997) yapmış oldukları bir deneysel çalışmada 1992 Model Renault 9 araca LPG yakıt sistemini monte etmişler ve motorun belli devirlerinde aynı kriterlerde benzinle yapılan çalışmayla karşılaştırma yapmışlar. Bu çalışmalar sonucunda LPG'li çalışmada daha düşük HC ve CO emisyonu değerleri elde edilmiştir, Şekil 4.1 ve 4.2'de görülmektedir.

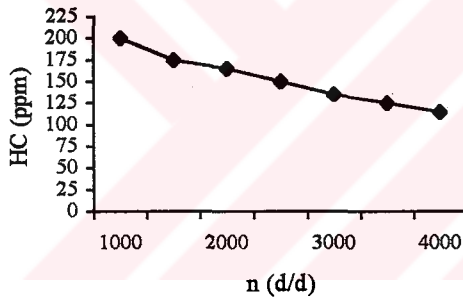


a. Motor devri-CO ilişkisi (Benzin).

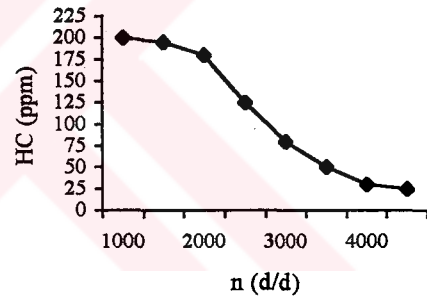


b. Motor devri-CO ilişkisi (LPG).

Şekil 4.1 Motor devri-CO emisyonu ilişkisi (Benzin ve LPG ile çalışma) (Bayındır ve ark., 1997).



a. Motor devri-HC ilişkisi (Benzin).



b. Motor devri-HC ilişkisi (LPG).

Şekil 4.2 Motor devri-HC emisyonu ilişkisi (Benzin ve LPG ile çalışma)(Bayındır ve ark., 1997).

4.1.2.3 Hidrojenin Kullanımı

21. Yüzyılın yakıtı olarak da isimlendirilen, renksiz, kokusuz, tatsız ve saydam bir yapıya sahip olan hidrojen, tabiattaki molekül ağırlığı en düşük olan maddedir. Kömürün gazlaştırmasından, doğal gazdan, suyun elektroliz yoluyla ayrıştırılmasından elde edilebilir (Korkmaz, 1996; Arslan ve Soruşbay, 1989)

Hidrojenin oktan sayısının diğer alternatiflere göre çok yüksek olması dolayısıyla hem otto hem de dizel motorlarında ve yüksek sıkıştırma oranlarında rahatlıkla kullanılabilir, Çizelge 4.2. Tutuşma sınırlarının HFK'nın 0.15 gibi çok küçük değerinden 4.35 gibi yüksek bir değerine kadar uzaması, yani çok zengin karışımların da, çok fakir karışımların da kolaylıkla tutuşabilmesinin avantajları olmakla beraber, bu özelliği hidrojenin taşınmasında ve depolanmasında büyük zorluklara sebebiyet vermektedir. Hidrojeni emniyetli olarak bir kaç değişik şekilde depolamak mümkün olmakla beraber en çok kullanılan yöntem yüksek basınç altında gaz veya sıvı halde tanklara depolamaktır. Gaz halde depolandığında enerji yoğunluğu oldukça düşük olmakta, sıvı halde depolandığında ise yakıt tankı maliyeti artmaktadır. Hidrojen, egzoz emisyonları yönünden mükemmel bir yakıttır. Egzoz içerisinde CO ve (azda olsa motor yağlama yağının silindir içerisinde yanması göz önüne alınmaz ise) HC bulunmaz. NO_x ise problem olarak ortaya çıkmaktadır. Katalitik konvertörlerin kullanılması ile bu problemin çözülmesi mümkündür (Korkmaz, 1996; Arslan ve ark., 1991).

Benzinle çalışan bir motorun hava fazlalık katsayısı (λ) değerini 1.3 oranının üzerine çıkartabilmek çok güçtür. Oysa hidrojenle çalışan bir motor ise $\lambda=3.0$ ve üzerini kabul edebilirken, tüm emisyonlarda ortadan kalkmaktadır (Kılıçarslan ve Kolip, 2002).

Çizelge 4.2 Buji ile ateşlemeli motorda kullanılacak bazı yakıtların özellikleri (Korkmaz, 1996; Kılıçarslan ve Kolip, 2002)

Özellikler	Birim	Hidrojen H ₂	Metan CH ₄	Benzin C ₈ H ₁₈
C/H Oranı	-	0.0	0.25	0.556
Buharlaştırma Isısı	Mj/kg	0.447	0.509	0.272
Özgül Ağırlığı Sıvı	kg/m ³	0.07	0.424	0.73
Gaz	kg/m ³	0.084	0.78x10 ³	
Alt Isıl Değeri	Mj/litre	8.41	20.8	31.8
	Mj/kg	119.93	50.8	43.4
Tutuşma Sınırları	% Hacim	4.1-74	5-15.4	1.30-7.60
	HFK	0.15-4.35	0.59-2	0.26-1.67
Laminer Alev Hızı	m/s	2.91	0.37	0.37
Adyabatik Alev Sıcaklığı	K	2383	2227	2266
Difüzyon Katsayısı	m ² /s	0.61	0.16	0.08
Kaynama Noktası	K	20.65	111.7	305-494
Donma Noktası	K	14	-	217
Araştırma Oktan Sayısı	RON	130	130	91-100
Motor Oktan Sayısı	MON	-	105	82-94

Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olmasına rağmen hidrojen hava karışımının tutuşturulabilmesi için gerekli enerji miktarı düşüktür. Tutuşma aralığının geniş olması hidrojenin daha geniş karışım aralığında düzgün

yanmasını sağlar ve yanma sonunda daha az kirlenici oluşur. Hidrojen motorları maksimum yanma sıcaklığını azaltacak biçimde fakir karışım ile çalıştırılabilir. Böylece daha az NO_x oluşurken, HC ve CO emisyonları oluşmaz. Alev hızının yüksek olması ise otto motorlarında ideale yakın gaz keleşine gerek kalınmadan, karışım silindire kısılmadan gönderilmesi sonucu pompalama kayıpları azaltılmış olur (İçingür ve ark., 2002).

Hidrojenin hava ile yanması sonucunda, yakıtta karbon bulunmaması nedeni ile yanma ürünleri arasında CO, CO_2 ve HC mevcut olmayacak, sadece motorun yağlama yağının yanması nedeni ile çok az miktarda oluşan HC'ler egzoz gazları arasında bulunacaktır. Diğer yandan bu motorlarda, yüksek yanma sıcaklıkları nedeni ile havanın kimyasal reaksiyonu sonucu azot oksitler üretilmektedir. (İçingür ve ark., 2002).

NO_x 'lerin hidrojen motorlarında oluşumunu azaltmak için hidrojen yakıtının geniş tutuşma aralığında çalışma özelliğinden yararlanılarak fakir karışım ile çalıştırılabilir. Ayrıca son zamanlarda kullanılan araçlara takılmaya başlanan NO_x katalitik konvertörü kullanılarak en az seviyeye çekilebilir.

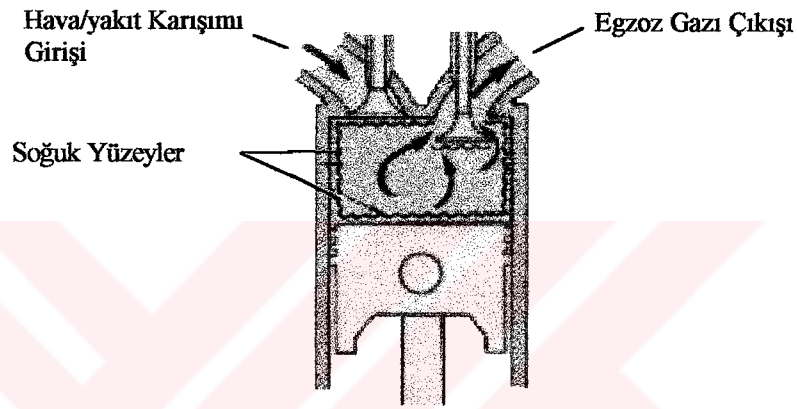
4.2 KAYNAĞINDA ALINAN ÖNLEMLER

Kirlenici bileşenlerin motorda yanma sırasında ve diğer motor içi kaynaklarda oluşumunu azaltmak için değişik yapısal önlemler alınmaktadır.

4.2.1 Yanma Odası Şekli ve Yüzey/Hacim Oranı

Motorun yanma odasının tasarımı motorun performansına ve egzoz emisyonlarına doğrudan etkisi bulunmaktadır. Yanma odası pistonun silindir içerisinde çıkabildiği en üst nokta ile (Ü.Ö.N) silindir bloğunun silindirin üstünü kapatan üst kısmının arasında kalan hacimdir. Bu silindirin yanma odasının yüzeyinin hacmine oranı egzoz emisyonlarını doğrudan etkilemektedir. Yanma odasının şekli yuvarlak (küre benzeri) ise hacmi büyük buna karşın yüzeyi az olur ve yanma sırasında dışarı itilen ısı az olacağından sıcaklıklar yüksek olur. Aksi durumda, diğer bir deyişle yanma odasının ince ve uzun bir şekle sahip olması

durumunda ise sıcaklıklar düşük olacaktır. Yüzey/hacim oranı yanma odasının geometrisine, yani çap/strok orantısına ve sıkıştırma oranına bağlıdır. Yanma odasının yüzey sıcaklığı malzemenin dayanma sınırı nedeniyle, dizel motorlarında 350 °C'yi, benzin motorlarında ise 250 °C'yi aşmamalıdır. Ancak bu kadar düşük sıcaklıklarda yanmanın yüzeye kadar ilerlemesi mümkün olmamakta ve alev yüzeye yakın bölgelerde Şekil 4.3'de olduğu gibi sönmektedir. Sözü geçen alev sönme bölgesinde yanma tamamlanamadığı için egzozdan tam yanmamış yakıt (HC) atılmaktadır (Kutlar ve ark., 1998).



Şekil 4.3 Yanma odası tasarımının egzoz emisyonuna etkileri (Toyota, 1992).

Silindir yüzeyindeki soğuk bölgeler yanmanın kalitesini düşüreceğinden egzoz emisyonlarının artışına neden olur. Bu durumda yetersiz yanmadan dolayı karbonmonoksit ve hidrokarbon (HC) emisyonu artış göstermektedir.

Yanma odasının yapısı küre şeklinde yapıldığında yüzey/hacim oranı az olacağından, silindir iç sıcaklığı yüksek olacaktır. Silindir iç sıcaklığının yüksek olması yüzeye yakın bölgelerdeki alev sönmesini en aza indireceğinden HC emisyonunda azalma NO_x emisyonunda ise artış meydana getirmektedir.

Yüzey alanının hacme oranı artınca ısı kayıpları da arttığından yanma odası içindeki sıcaklıklar düşecek ve böylece egzozdan çıkan NO_x azalacaktır.

CO emisyonunda ise yüzey/hacim oranına bağlı olarak belirgin bir değişim olmamaktadır (Aslan, 1996).

4.2.2 Sıkıştırma Oranı (ϵ)

Benzin motorlarında sıkıştırma oranının yükseltilmesi yakıtın vuruntuya karşı dayanabildiği noktaya kadar olmaktadır. Sıkıştırma oranı yüksek tutulduğu nokta yakıtın kendi kendine tutuşacağı ve ateşleme yapıldıktan sonra yanma odasının çeşitli noktalarından kendi kendine yanma başlatmadan vuruntu yapmayacağı son noktaya kadar ayarlanmaktadır.

Sıkıştırma oranının yükseltilmesi yakıt-hava karışımının sıkıştırma sonu sıcaklığını arttıracığından motorun ısı veriminin artmasını sağlar. Bu durumda motorun özgül yakıt tüketimi azalmakta ve maksimum çıkış gücünde artış olmaktadır. Sıkıştırma oranının yükseltilmesi yüzey/hacim oranını arttıracığından alev sönme bölgesi artacaktır. Bu durum ise HC emisyonunun artmasına neden olmaktadır. Sıkıştırma oranının yükselmesi motorun gücünü arttıracığından güç başına düşen HC oranında azalma olduğundan, gerçekte HC emisyonu olumsuz yönde etkilenmemektedir (Kutlar ve ark., 1998).

Sıkıştırma oranının artması ile yanma sonu sıcaklığı yükselteceğinden NO_x emisyonunda artış olmaktadır. Bu nedenden dolayı sıkıştırma oranı çok fazla yükseltilmez. Yeni tip yüksek sıkıştırma oranlı direk silindire püskürtmeli benzin motorlarında NO_x emisyonu için araçta ikinci bir azot oksit katalitik konvertörü kullanılarak bu sorun çözülmektedir.

Matsumoto and friend (1978) yapmış oldukları çalışmada 1.6 litre 4 zamanlı Toyoto motorunda 8/1, 9/1, 10/1 sıkıştırma oranlarının değişiminin yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. En düşük HC emisyonunun 8/1 sıkıştırma oranlı çalışmada elde edildiği tespit edilmiştir.

Çelik (1999) kendi geliştirdiği değişken sıkıştırma oranlı motorda yapmış olduğu araştırmada sıkıştırma oranının egzoz emisyonlarını ne oranda etkilediğini araştırmıştır. Artan sıkıştırma oranı ile CO emisyonlarında belli bir miktar azalma gözlenmiştir. Minimum ve maksimum sıkıştırma oranları arasında, her iki motor yükünde CO emisyonlarında yaklaşık %20 azalma belirlenmiştir. Sıkıştırma oranının artması HC emisyonlarını olumsuz yönde etkilemiştir. Yüksek sıkıştırma

oranlarında yüzey/hacim oranının artmasıyla birlikte HC emisyonları da artmaktadır. Minimum sıkıştırma oranı ile maksimum sıkıştırma oranı arasında HC emisyonları, %50 motor yükünde %38, %80 motor yükünde %59 artmıştır.

4.2.3 Ateşleme Sisteminin Yapısı

Bilindiği gibi ateşleme sistemi benzin motorlarında kullanılmaktadır. Bujiin silindir kapağındaki yeri ve silindir başına buji sayısı ve bujiin cinsi (sıcak veya soğuk buji) motorun HC ve NO_x emisyonlarını, gücünü ve vuruşu olasılığını doğrudan etkilemektedir (Aslan, 1996).

Ayrıca yanma odası başına kullanılan buji sayısının artması (iki veya üç buji) halinde, genellikle kısmi yüklerde ve fakir karışımla çalışan motorlarda yanma kararsızlığını artacağından HC emisyonu azalır ancak yanmanın iyileşmesi ile artan sıcaklığa bağlı olarak NO_x emisyonu artar. Soğuk tip bujilerin seramik izolatörü kısa olmakta ve elektrotlardaki ısıyı kolayca motorun silindir kapağına geçirmektedir. Bu tip bujiler silindir içi ısı yükü yüksek olan motorlarda kullanılır. Böylece buji elektrotlarının aşırı ısınmasına engel olunur ve buna bağlı olarak yakıt hava karışımının kendi kendine tutuşma olasılığı azaltılır (Kutlar ve ark., 1998).

Sıcak tip bujiler ise silindir içi ısı yükü düşük olan motorlarda kullanılır. Bu tip bujilerin seramik izolatörü daha uzun olup silindir içindeki ısının silindir kapağına iletilmesi zorlaştırılır. Böylece bujiin elektrotlarının sıcak kalması ve elektrotlar üzerinde oluşan birikimlerin yüksek sıcaklıkta yakılarak temizlenmesi sağlanır. Soğuk bölgelerde kısa mesafeli çalışan araçlarda daha iyi yanmayı sağlayacağından egzoz emisyonları daha az olacaktır.

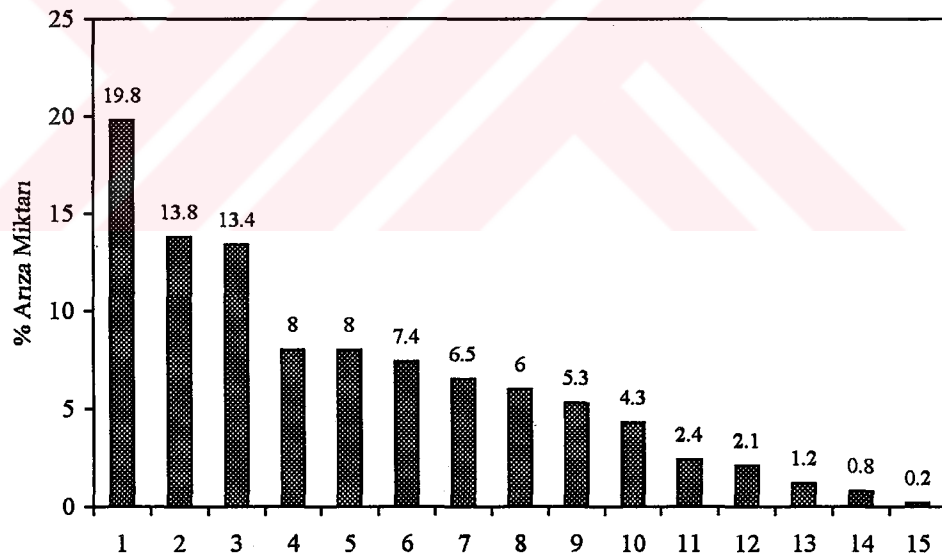
Buji tırnak aralığı mesafesi motorda yanmayı etkileyen faktörlerden biri olarak ortaya çıkan değişken olmaktadır. Buji tırnak aralığı normal ateşleme sistemlerinde 0.6-0.8mm, elektronik ateşlemeli motorlarda ateşlemenin kuvvetli olması durumunda 1mm civarındadır. Tırnak aralığının mesafesi normalden fazla yada az olması durumunda egzoz emisyonlarını olumsuz etkilemektedir. Motorun

cinsine göre en uygun belirlenen buji tınak aralığında egzozda en az HC ve NO_x çıkışı olmaktadır.

4.1.2 Motor Bakım Ayarları

Motorlu bir taşıtın daha az yakıt tüketimi ve daha düşük egzoz emisyonu verecek şekilde üretimi yeterli olmamaktadır. Bu özelliklerin korunması için aracın kullanımı süresince gerekli ayar ve bakımların zamanında yapılması gerekmektedir. Gerekli ayar ve bakım zamanları üretici firma tarafından belirtilen zamanlarda yapılmadığı zaman motorun yakıt tüketimini ve egzoz emisyonlarını artırmaktadır.

Alman Otomobil Kulübü (ADAC) tarafından 1995 yılında yayımlanan ve 1 ila 6 yaş arasında 1 milyonun üzerinde taşıtın arıza dağılımları Şekil 4.4'de grafik halinde gösterilmiştir (Kutlar ve ark., 1998).



- | | | |
|---------------------------------|----------------------|------------------------|
| 1. Akü – Alternatör-Kontak | 6. Yakıt Sistemi | 11. Karoseri |
| 2. Motor Elektrikliği | 7. Lastikler | 12. Egzoz Sistemi |
| 3. Motor | 8. Aktarma Organları | 13. Fren Sistemi |
| 4. Soğutma Sistemi | 9. Genel Elektrik | 14. Tekerlek Asılları |
| 5. Karbüratör-Püskürtme Sistemi | 10. Kayış | 15. Direksiyon Sistemi |

Şekil 4.4 Araçların (%) olarak sistemlerine göre arıza grafiği (Kutlar ve ark., 1998).

Araçların satış sonrasındaki servis hizmetlerinin tam olarak yapılmaması ve araçların motorlarının rutin aşınıları zaman içerisinde egzoz emisyon miktarlarını artırmaktadır.

Arslan ve ark. (1999) 1600cc üstten kamlı TOFAŞ motoru ile yapmış oldukları çalışmada motor ayar ve bakımının egzoz emisyonlarını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Deneysel çalışmada sırası ile şu çalışmalar yapılmıştır. Birinci aşamada motorun tüm ayarları katalog değerlerine uygun olarak yapılmış ve TS 11366'daki işlem sırası ile motor teste tabi tutulmuş ve emisyonları kaydedilmiştir. İkinci aşamada diğer ayarlar sabit kalmak şartı ile avans ayarı, supap ayarı ile karter havalandırma, rejim sıcaklığı, filtre-buji (kirli filtre, değişimi gereken buji) gibi genelde ihmal edilen ayar ve bakımlar teker teker bozularak yada değiştirilerek emisyonlar kaydedilmiştir. Son aşamada ise bir ayarın bozulmasını başka bir ayarla düzeltmeye çalışma ile ilgili testler yapılarak sonuçlar Çizelge 4.3'te görüleceği gibi kaydedilmiştir.

Çizelge 4.3 Motor ayarının ve bakımının emisyonu etkisi (Arslan ve ark., 1999).

Emisyonlar	Standart	Avansı bozuk	Kirli filtre	Bujiler eski	Supap ayarı bozuk	Motor soğuk	Karter Havalan. sökük
CO (%)	1.5	4.5	4	3.5	2.5	5	1.0
HC (ppm)	350	750	800	750	450	800	300
CO ₂ (%)	14	11	11	12	13	10	13
O ₂ (%)	2	3	3	2.5	2	2	2
Devir (d/d)	900	750	800	800	850	650	850
Çalışma	Normal	Düzensiz Çalışma	Düzensiz Çalışma	Düzensiz Çalışma	Normal	Düzensiz Çalışma	Normal

Sonuçların Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi motorun bakım ve ayarlarındaki bir eksikliğin motorun egzoz emisyon değerlerini çok etkilendiğini tespit etmişler. Örnek olarak filtrenin kirlenmesi (kirli filtre ile yapılan deneyde), standart değeri %1.5 olan motorun CO emisyonu %4.5'e yükseldiği tespit edilmiş.

Çelik ve Tekin (1989) yapmış oldukları deneysel çalışmada karbüratörlü bir motorun buji ve hava filtresini yenisi ile değiştirerek, motorun ayarlarını katalog değerinde ayarlamışlar. Belirtilen koşullarda taşıt motoru 80 °C civarına (rejim sıcaklığı) kadar ısıtılmış ve egzozdaki CO %'si cihazla 900 d/d (relatide) %2.5

değerine ayarlamışlar. Taşıt çeşitli yol ve çalışma koşullarında karışık çevrimde, 3200 km yaklaşık altı ay kullanılmış ve tekrar deneye alınmıştır. % CO miktarı %2.5'den %4.5'e çıktığı, relanti hızı 900 d/d'dan 850 d/d'ya düştüğü gözlemlenmiştir. Aynı taşıt motoru soğuk iken ölçülmüş % CO miktarı %5.6 ölçülmüştür. Motor ısındığında tekrar ölçümde %4.5'e düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca 2000 d/d da % CO miktarının 5.2'ye yükseldiği görülmüştür.

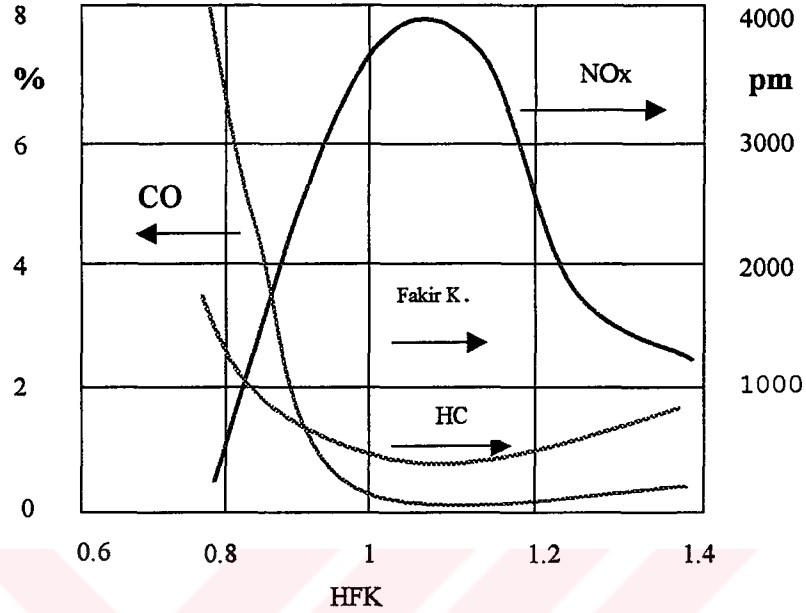
Deney taşıtı buji, platin, karbüratör bakım ve ayarları yapılarak deneyler tekrarlanmış ve CO miktarında, yakıt hava oranında düzeltilmeler görülmüştür. Relantide 900 d/d'da % CO miktarı %2.2'ye, 2000 d/d'da da % CO miktarının %4'e düştüğü saptanmıştır.

4.1.2.1 Hava/Yakıt Oranı

Benzin motorları, normal ayarları ile çalışırken bile yüksek oranlarda CO, HC ve NO_x yaymaktadır. Daha önce de sözü edildiği gibi, emisyon miktarlarını etkileyen en önemli değişken hava fazlalık katsayısıdır. HFK ayrıca motorun performansını ve özgül yakıt tüketimini de etkilemektedir.

Bu nedenle benzin motorunda güç azaltılmak veya arttırılmak isteniyorsa yakıt miktarı değil, HFK sabit kalacak şekilde motora emilen toplam yakıt-hava karışımının miktarı, bir gaz kelebeği yardımıyla emme kanalı kesiti kısılarak veya açılarak ayarlanmaktadır. Bu nedenle benzin motorlarında, ilk hareket, ivmelenme, maksimum güç vb. bazı çalışma koşulları dışında hava fazlalık katsayısının stokiometrik değer (HFK=1) civarında tutulması, karışımın tüm yanma odasında homojen olması (yanma odası içinde her yerde HFK=1 olması), bütün silindirlere gönderilen yakıt ve hava miktarlarının eşit olması ve çevrimden çevrime farklılıkların olmaması (silindir içindeki ve silindirler arasındaki düzgün HFK dağılımının her çevrimde sağlanabilmesi) amaçlanmaktadır. Karışım oluşturma sisteminin bütün bu şartları sağlamasının mümkün olmadığı durumlarda, silindir içinde bölgesel olarak zengin ve fakir karışımlar oluşmakta ve silindirler arası farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bu durumda emisyonlarda artış olmaktadır (Kutlar ve ark., 1998).

Buji ile ateşlemeli bir motor da hava fazlalık katsayısının egzoz emisyonlarına etkisi Şekil 4.7’de görülmektedir



Şekil 4.5 Hava fazlalık katsayısının egzoz emisyonlarına etkisi (Aslan, 1996).

Şekil 4.5’de motor devri ve yükün sabit kaldığı kabul edilmiştir. Şekilden anlaşıldığı gibi, karışım oranı stokiometrik orandan zengin tarafa doğru yaklaştıkça CO miktarı artmaktadır. Bunun nedeni hava/yakıt oranının zengin tarafa yaklaştıkça oksijen miktarının azalması ile birlikte yetersiz yanmanın meydana gelmesindendir. Karışım oranı zengin tarafa doğru ilerledikçe CO miktarında artış olmaktadır. Ayrıca karbonmonoksit lamda (λ)=1.2 civarından daha fakir tarafa doğru gidildikçe artış göstermektedir. Tekrar CO’nun lamda (λ)=1.2 değerden sonra artış göstermesi silindir içersindeki yakıt molekülleri arasındaki mesafenin artması ve yanma kalitesinin düşmesi nedeni ile CO emisyonunda artış meydana gelmektedir.

Hidrokarbonların (HC) hava/yakıt oranına göre değişimi Şekil 4.5’den incelediğinde, hava/yakıt oranı zengin tarafa doğru ilerledikçe HC oranında artış olduğu görülmektedir. Bunun nedeni hava/yakıt oranı zenginleştikçe yanma için gerekli oksijen azalması ile yanmanın tam olarak gerçekleşmemesidir. Ayrıca HC

miktarının yakıt çok fakirleştğinde tekrar yükseldiği, böylece yanma kötüleştiği için HC miktarının artışı görülmektedir.

Bu üçlü emisyonlardan, NO_x 'lerin, zengin karışımda iken düşük olmasının nedeni zengin karışımda oksijen yetersizliğinden yanma sonu sıcaklığının düşük olmasındandır (Toyota, 1992).

$\lambda=1.1$ civarında iken yanma sonu sıcaklığı yüksektir. Doğal olarak hava ile birlikte silindir içersine giren (N_2) azot, yüksek sıcaklıkta yeterli oksijeni bulduğunda azot oksidi (NO_x)'i meydana getirmektedir. Sıcaklık $1600\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin altında ise N_2 oksijenle O_2 ile birleşmeden dışarı atılmaktadır.

Bu emisyon eğrisi egzozdan çıkan bu gazların hepsinin aynı zamanda azaltılmasının çok zor olduğunu açıkça göstermektedir

Bu kirletici egzoz emisyonları, yukarıdaki hava/yakıt oranı grafiğine göre motora hiçbir ekstra emisyon azaltıcı sistem eklenmeden, motorun normal çalışma şartlarında yanma sonucunda hava/yakıt oranına göre egzoz emisyonlarını ifade etmektedir. Buna göre günümüzde egzoz emisyonları için belirli sınır değerleri getirilmiş ve belirlenen değerleri teknolojinin gelişimine paralel olarak daha da aşağı çekmek için egzoz emisyonunu azaltan katalitik konvertör, EGR gibi sistemler eklenmiştir.

Yüksek güç için HFK (λ)=0.9-0.95, ekonomik çalışma için HFK (λ)=1.05-1.10 ve optimum kirletici bileşenleri miktarları için HFK (λ)=1.1-1.2 civarında tutulmalıdır (Safgönül ve ark., 1995).

4.1.2.2 Yakıt Sisteminin Tipi Bakım ve Ayarı

Benzin motorlarında egzoz gazı emisyonları seviyesi büyük ölçüde motor ayarlarına bağlı olduğundan, en ufak bir ayar bozukluğu durumunda zaten zorlukla sağlanabilen emisyon sınırları dışına çıkmaktadır (Kutlar ve ark., 1998).

Bu şartlarda benzin motorunun istenilen emisyon şartlarını sağlayabilmesi için motorun bakım ve ayarlarının tam olması önem arz etmektedir. Motorun egzoz

emisyonlarını ve yakıt tüketimini doğrudan etkileyen bakım ayar ve durumlarını sıralayacak olursak: Motora giden hava/yakıt oranı, ateşleme avansı, buji ve yüksek voltaj kablolarının durumu, klasik ateşlemeli eski sistemlerde platin aralık ayarı, hava filtresinin kirlenmesi, motorun soğuk çalışması nedeniyle yanma odasında meydana gelen karbon birikintisi ve motorda meydana gelen motor aşınmasını sayabiliriz.

Ayar ve bakımın araç üzerinde teknolojik gelişmelerin paralelinde en aza indirilme çalışması yoğun bir şekilde devam etmektedir.

Karbüratörlü sistemde yakıtın silindirlere dağılımı eşit değildir. Bu dengesiz dağılım, yakıt tüketimi ile egzoz gazındaki HC ve CO oranını, dolayısı ile hava kirliliğini artırır; güç ve momentin dengesiz dağılımına neden olur (Işıksoluğu, 2001).

Klasik olarak eskiden beri kullanılan ve 2000 yılı itibari ile ülkemizde satışı durdurulan karbüratörlü sistemlerin yerini gelişmiş elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sistemleri almıştır. Bu sistemlerin sağlamış olduğu üstünlük motorun daha az yakıt tüketimi daha fazla güç ve daha düşük egzoz emisyonları meydana getirmesidir. Ayrıca motorun düzgün hızlanması, dengeli çalışması, aynı silindir hacmine sahip karbüratörlü motora göre daha az yakıtla daha fazla güç elde etme imkânını sağlamaktadır. Sistem önceleri benzin motorlarının performansını artırmak amacı ile tasarlanmakla birlikte, günümüz de daha çok yakıt ekonomisi sağlama ve egzoz kirleticilerini azaltma yönünde geliştirilmektedir (Işıksoluğu, 2001).

Karbüratör veya püskürtme sistemindeki bir arıza veya ayar bozukluğu hava fazlalık katsayısını değiştirerek doğrudan yanma sürecini, dolayısıyla emisyonları ve yakıt tüketimini etkiler. En çok karşılaşılan boşa çalışma (rölanti) ayarsızlığıdır. Benzin motoru boşa çalışırken, ateşleme koşullarının iyi olabilmesi için, karışım içindeki yakıt miktarı artırılmaktadır (zengin karışım). Bu durumda hava yetersiz kaldığından CO ve HC emisyonları çok yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu bakımdan, özellikle boşa çalışma durumunda, karbüratör ve

benzin püskürtme sistemi ayarlarının çok iyi olması ve motora, imalatçının öngördüğü miktardan daha fazla yakıt gitmemesi çok önemlidir

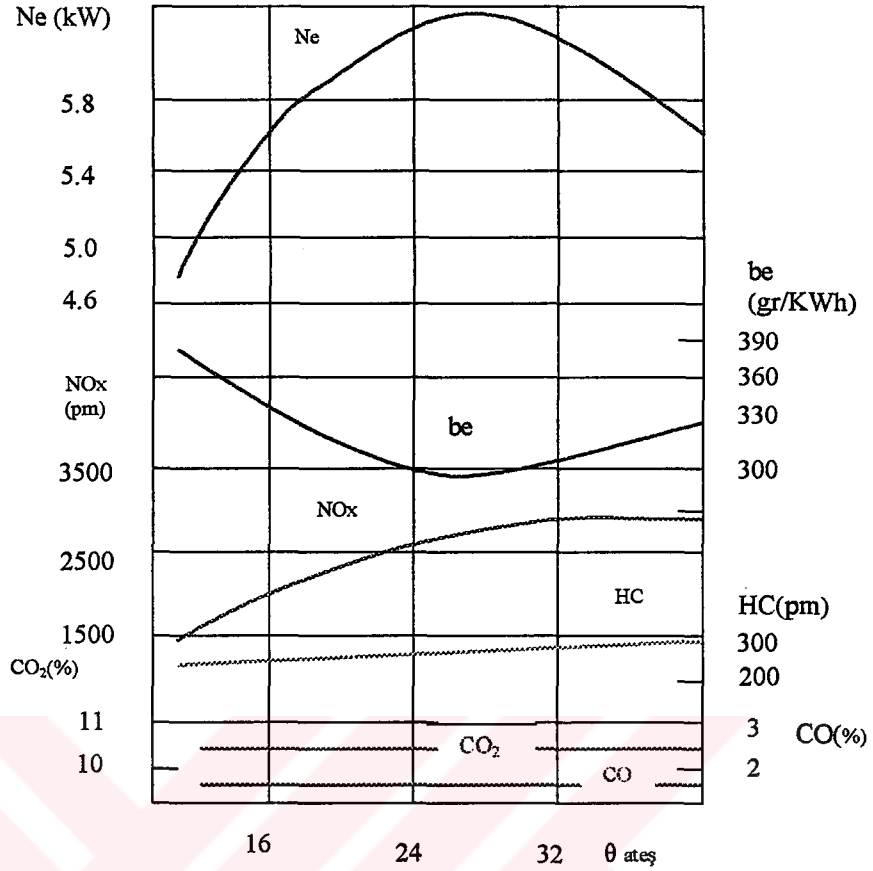
Modern elektronik kontrollü benzin püskürtmeli motorlarda ise, boşta çalışma sırasındaki yanma koşulları, karbüratörlü motorlara göre iyileştirilmiştir. Bu bakımdan bunlarda hava fazlalık katsayısı sürekli olarak ölçülerek kontrol edilmekte ve boşta çalışırken bile HFK=1 civarında kalması sağlanmaktadır. Bu nedenle bu motorlarda boşta çalışma emisyonları çok düşüktür (karbüratörlü motorlardan 4-5 kez daha düşük). Bu motorlarda ayrıca ayar bozukluklarının, boşta çalışma sırasında, HFK'na etkisi de çok aza indirilmiştir.

4.1.2.3 Ateşleme Avansı

Yakıtın silindir içerisinde yanması ve bu yanmanın sonucunda silindir içerisinde maksimum basıncın elde edilmesi için Ateşleme Krank Mili Açısı (KMA) cinsinden Ü.Ö.N dan belirli derece önce başlatılması gereklidir. Ayrıca silindir içerisinde oluşan maksimum basınç piston Ü.Ö.N'yı 5°-10° derece geçte oluşturduğunda motordan en yüksek güç elde edilebilmektedir.

Bu nedenle ateşleme avansı motorun devri ve çalışma koşullarına göre avans 30°-50° dereceye kadar arttırılabilmektedir. Ateşleme avansının motorun devrine göre artırılmasının amacı motordan en az yakıt tüketimi ile en fazla fazla gücü elde etmektir(Aslan, 1996).

Ateşleme avansının belli bir Krank Mili Açısı (KMA) artırılması motorun gücünü artmasının yanında, kirletici HC emisyon miktarlarını da artırmaktır. Ateşleme avansının azaltılması NO_x emisyonlarını azaltmasının yanında güçte büyük düşme ve yakıt tüketiminde artış meydana getirdiği için istenmez. Şekil 4.6'da benzinli bir motorun sabit devir sayısı, yük, hava fazlalık katsayısı ve volümetrik verim koşullarında ateşleme avansının egzoz emisyonları, güç ve özgül yakıt tüketimi üzerindeki etkileri gösterilmektedir (Kutlar ve ark., 1998).



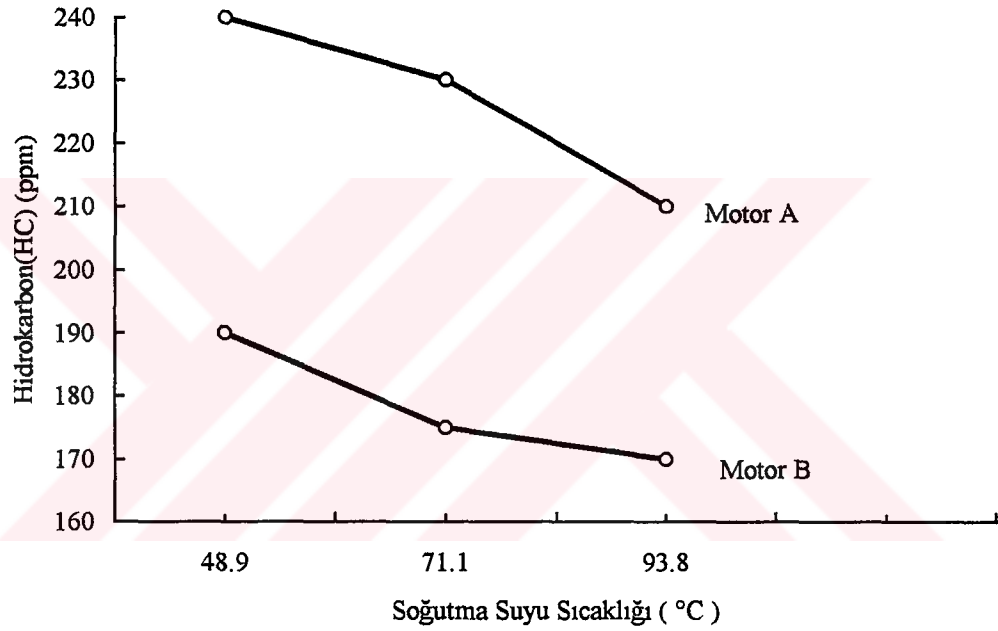
Şekil 4.6 Ateşleme avansının egzoz emisyonlarına ve özgül yakıt tüketimine etkisi (Kutlar ve ark ,1998).

4.2.4.4 Motor Aşınması

Piston-silindir grubundaki aşınmalar HC emisyonunu artırmaktadırlar. Yanma odasına kaçıp yanmaya katılan yağ miktarının artmasından ve karter kaçaklarının çoğalması nedeniyle gazların kapalı karter havalandırma sisteminden geçişlerinin artmasından dolayı kanserojen HC emisyonlarında artış olmaktadır. Piston-silindir grubundaki aşınmalar, karter gazlarının, toplam egzoz gazları emisyonundaki payını artırmaktadır. Motorun aşınması sınır seviyeye geldiğinde emisyonlar ortalama olarak %50, yakıt tüketimi ise %15 artış göstermektedir (Kutlar ve ark., 1998).

4.2.4.5 Motor Sıcaklığı

Soğuk motorda silindir cidarlarına yakıtın tam buharlaşmadan yapışması ve alevin silindir cidarlarına gelmeden soğuk bölgelerde sönmesi yanmamış hidrokarbon miktarını artırmaktadır. Çok soğuk havalarda motorun kolay çalıştırılabilmesi için karışımın zenginleştirilmesi ve tamamının buharlaşmaması, hidrokarbon emisyonlarını artırmaktadır. Karışımın zengin hazırlanması yetersiz oksijen ortamında gerçekleşeceğinden CO Emisyonunda artış meydana getirmiş olacaktır.



Şekil 4.7 Motor soğutma sıcaklığının HC emisyonuna etkisi (Crouse and Anglin, 1983).

Chrysler (1983) firmasının yapmış olduğu bir çalışmada iki ayrı motorda (Motor A ve Motor B) soğutma suyunun sıcaklığının HC emisyonuna etkisi ölçülmüş, soğutma suyu sıcaklığı arttıkça HC emisyonunun Şekil 4.7’de gösterildiği gibi azaldığı tespit edilmiştir.

Motorun mümkün olan en çabuk zamanda normal çalışma sıcaklığına getirilmesi egzozdan çıkan HC emisyonlarının oluşum miktarını azaltmaktadır. Motorun çabuk çalışma sıcaklığına getirilmesi için fanlı yada benzeri soğutma sistemlerinin motor soğuk iken radyatöre hava çekmeyerek ısıma periyodunu çabuklaştırması

sağlanmalıdır. Bu nedenle son zamanlarda motorun soğuk çalıştırılmasını ortadan kaldıran, motorun soğuk çalıştırılmasına yakın zamanlayıcı soğutma suyunun ısınmasını sağlayan ek ilave ısıtıcı sistem, aracın beklediği yerde devreye girerek, motoru belli çalışma sıcaklığında hazır bekleten sistemler bazı otomotiv firmaları tarafından kullanılmaya başlanmıştır.

4.2.4.6 Motorun Yük ve Hız Durumu

Motor hızının artması, karışımın türbülansını artırmakta ve egzoz zamanındaki sıcaklığın yüksek olması nedeni ile HC emisyonunda belli bir yükleme değerlerine kadar azalma meydana gelmektedir. NO_x emisyonlarında ise hız ve yük artışı ile birlikte silindir iç sıcaklığının artışına paralel olarak artış meydana geldiği tespit edilmiştir (Heywood, 1988). Motor hızı ve yüküne bağlı olarak, CO emisyonlarında ise yük ve hız arttıkça azalma meydana gelmektedir.

Motordaki yükün azaltılması dolayısıyla, gaz keleşliği açıklığının azalması, karışımın ateşlenmesini zorlaştırır. Dolayısıyla yanma verimi düşer. Bu sakınca belirli süreye kadar karışımın zenginleştirilmesiyle azaltılabilir. Düşük yüklerde yanma olayının tamamlanamaması nedeniyle bir kısım yakıt, egzoz gazlarıyla birlikte dışarı atılır ve özgül yakıt sarfiyatı artar. Böylece aracın egzozundan çıkan kirletici miktarı artmış olur (Çelik ve Tekin, 1989).

Salman ve ark. (1997) yapmış oldukları bir çalışmada motor hızının HC ve CO emisyonuna etkisini incelemişlerdir. Artan motor hızı ile beraber CO ve HC emisyonlarının düştüğü tespit edilmiştir.

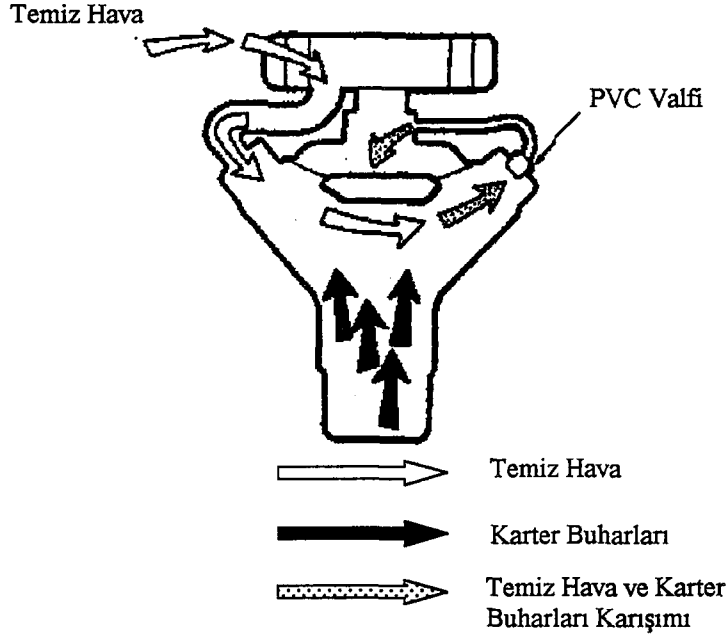
Motor hızı artışı ile birlikte türbülansında artması sonucunda yanma veriminin iyileşmesi CO ve HC emisyonlarında azalma meydana getirmektedir.

4.2.4.7 Karter Havalandırması

Taşıt motoru üzerindeki kirletici emisyonları önleme ve motor yağının uzun süre özelliği bozulmadan kullanılmasını sağlamak üzere motora eklenen sistemlerden biridir (Kutlar ve ark., 1998)

Karter havalandırması, karterden çıkan kirleticilerin atmosfere yayılmasını önlemek amacı ile 1961 yılında A.B.D'nin Kaliforniya eyaletinde uygulanmaya başlanmıştır. Silindirlerden kartere sızan kaçak gazları %70-80'i (HC dahil olmak üzere) yanmamış gazlardır (Toyota,1992).

Geri kalan %20-30'u ise su buharı ve çeşitli gaz haline dönüşmüş farklı asit tipleridir. Karterden sızan bu gazların tümü motor yağının bozulmasına, tehlikeli bir şekilde kirlenmesine, çamur tortu oluşmasına ve motor parçalarının paslanmasına sebep olacaktır. Silindirlerden kartere sızan gazların büyük çoğunluğunu emisyon sınırlandırılması getirilen yanmamış hidrokarbonlar oluşturduğundan doğrudan dış ortama atılmasına karşı önlemler getirilmiştir. Önceleri silindirlerden kartere sızan gazlar için alınan önlemler aracın hızına göre dış ortamdan alınan hava kartere girecek şekilde tasarlanmış olup tekrar kartarda ki sızıntı gazlar ile birlikte dış ortama atılmakta idi. Motorlu taşıt emisyonlarının yasalarla kontrol altına alınması ile birlikte bu sistemlerde gelişmeler olmuştur. Çünkü bir taşıttaki toplam HC emisyonunun %20 karterden sızan gazlardan kaynaklanmaktaydı. Son yıllarda kullanılan karter havalandırma sistemlerinden en etkin olanı pozitif karter havalandırma (PVC) sistemleridir. Bu sistemde, kartere giren taze hava silindirlerden sızan gazların yanına olarak PVC valfindan geçtikten sonra manifolda iletilmektedir. Böylece yanmamış hidrokarbonlar Şekil 4.5'de görüleceği gibi motor tarafından silindirlerde yakılırlar (Crouse and Anglin, 1983).



Şekil 4.8 Karter havalandırma sistemi (PVC) (Crouse and Anglin, 1983).

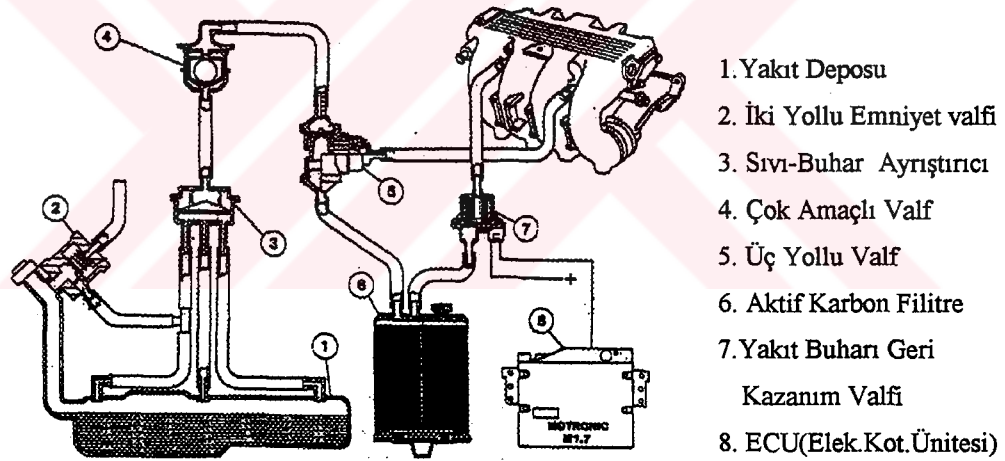
Ancak pozitif karter havalandırma sistemin karterden gelen kaçak gazları silindirlere tekrar gönderilmesi esasına göre çalışırken motorun değişik çalışma şartlarında karışım oranını bozmadan silindirlere gönderilmesi esas olmaktadır. Şekil 4.8’de görülen karter havalandırma sisteminde karterden manifolda dönüş borusu üzerine tek yönde geçiş sağlayan PVC valfi montaj edilir. Böylece motorda meydana gelen geri tepmelerde alevin kartere ulaşması engellenmiş olur. Valfin içersindeki supap ve yay mekanizması, karterin değişik çalışma şartlarındaki manifold vakumlarının değişmesi ile karterden gelen hortumun çapı sabit olması durumunda motora giden karışım oranı bozulacaktır. Bu nedenle supap mekanizması motor rölanti de çalışırken fazla manifold vakumundan ileri doğru daha çok çekileceğinden karterden gelen kaçak gazlar daha az motora geçiş yapacak, motor devri arttığında manifold vakumu azalacağından PVC valfi yapısı gereği karterden gelen gazların geçişine daha çok izin verecek yapıda çalıştığından motorun karışım dengesi bozulmadan ve karterden motor yağı emilip savrulmadan emniyetli bir şekilde çalışmasını devam ettirilecek ortamda düzenlenmiştir.

4.2.4.8 Depo Buharı Geri Kazanım Sistemi

Otomobilleri hareket ettiren güç motorun içerisinde yanan yakıttan gelir. Taşıttan kaynaklanan kirlilik, kendi yakıtının buharlaşması ve yanma sürecinde üretilen egzoz gazlarıdır (Anon, 1994).

1993'te Avrupa'da taşıt emisyonunun azaltılması için önemli kararlar alınmış. Alman bu kararlarla benzinli bir motorda katalitik konvertör ve yakıt deposu yakıt buharı geri kazanım sistemi zorunlu hale getirilmiştir.

Depodan yakıt buharlaşmasına önlem alınması halinde, benzinli taşıtlarda depoda buharlaşan yakıt, buhar olarak depo havalandırmasından ve motor yakıt sisteminden çevreye atılmaktadır. Yılda 15000 km yol yapan bir binek taşıttan yaklaşık 3 kg HC yakıt buharı bu şekilde bir yılda atmosfere atılmaktadır (Kutlar ve ark., 1998).



Şekil 4.9 Elektronik kontrollü yakıt buharı geri kazanım sistemi (Tofaş, 1997).

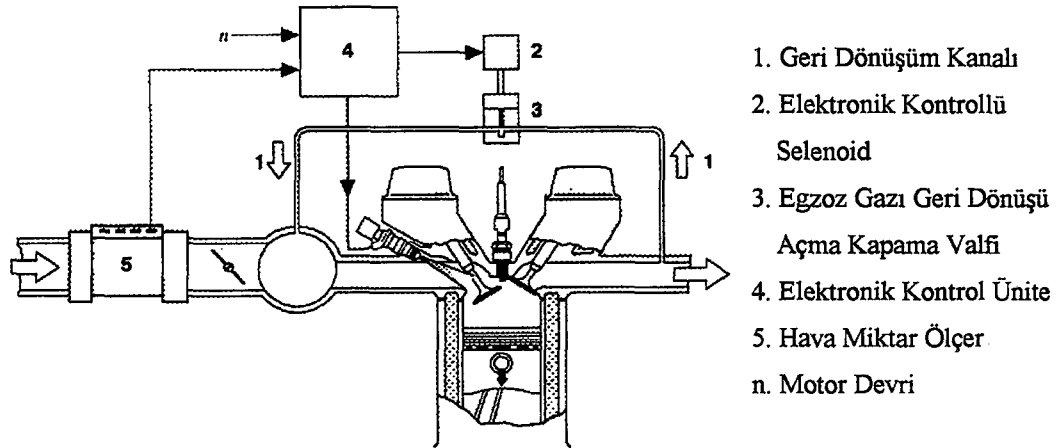
Avrupa EURO 93 (Faz 1) normunda araç üzerinde bulunması gereken HC buhar emisyonunu azaltıcı aktif karbon filitreli yakıt sistemi kullanılmaktadır. Yakıt buharı geri kazanım sistemleri; depodan buharlaşan yakıtın atmosfere atılmasını engelleyen buharlaşan yakıtı depolayan ve motorun çalışma şartlarına uygun olarak yakıtın silindirlere gönderilmesini sağlayan sistemdir. Bu sistemler elektronik yada pünomatik kontrollü olarak çalışmaktadırlar. Şekil 4.9'da elektronik kontrollü yakıt buharı geri kazanım sisteminde ECU tarafından yakıt

buharının motorun çalışma şartlarına göre silindirlere gitmesini yada gitmemesi sağlanmaktadır (Tofaş, 1997).

Benzin buharı toplama sistemlerinde, yakıt deposundan ve motorun yakıt sisteminden buharlaşan yakıt, borular yardımıyla bir aktif karbon filtre elemanına gönderilmektedir. Yakıt buharı filtrenin kömürüne emdirilir ve geriye kalan temiz hava dışarı atılır. Böyle bir sistem ile donatılmış bir binek taşıtında, yılda 15000 km yol yapması halinde, yıllık yakıt buharı kaçağı yaklaşık 300 grama düşmektedir (Kutlar ve ark., 1998).

4.2.4.9 Egzoz Gazı Geri Dönüşüm Sistemi (EGR)

Otomotiv motorlarında kirletici emisyon sınıfına giren gazlardan bir tanesi de azot oksitler (NO_x)'dir. Azot oksitler havadaki azotun motorun normal çalışma şartlarında silindirlere girmesiyle yanma esnasında yüksek sıcaklığa maruz kalarak oksijenle oksidasyona girmesiyle oluşmaktadır. NO_x daha çok yanma sonu sıcaklığının 1600°C 'nin üzerinde olması durumunda oluşmaktadır. Yanmanın gerçekleşme anında silindirin iç sıcaklığı 1600°C altında tutulabilirse silindir içersindeki N_2 ve O_2 'nin, NO_x gazını meydana getirmesi önlenebilir (Toyota, 1992). Egzoz gazı geri dönüşüm sistemi Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10 Egzoz gazı geri dönüşüm sistemi (EGR)(Bosh, 1993).

EGR (Exhaust Gas Recirculation), egzoz gazlarının bir miktarının yanma odalarına geri beslenmesi ile NO_x emisyonlarını düşürmek için Şekil 4.10'da

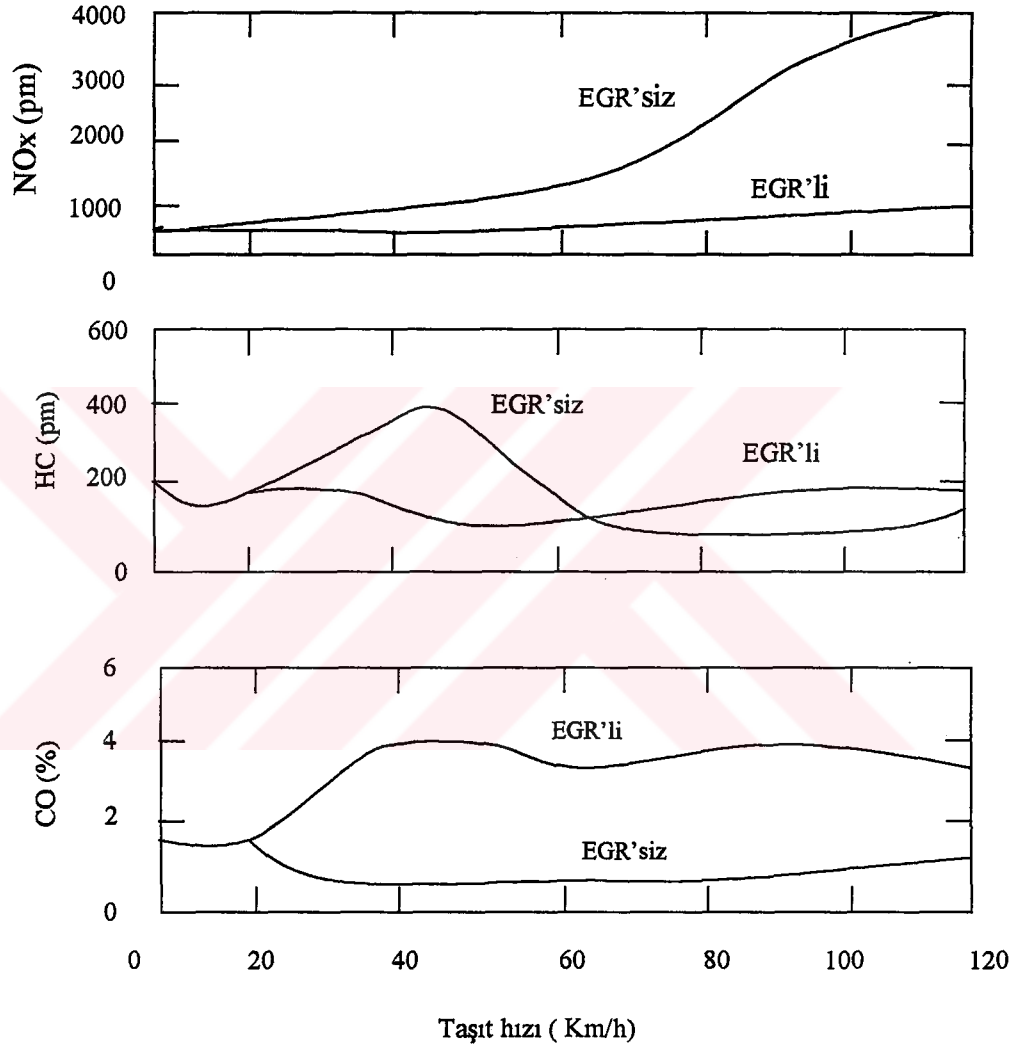
görüldüğü gibi kullanılan sistemdir. Taze karışım içersine gönderilen egzoz gazı silindir iç sıcaklığını düşüreceğinden NO_x oluşumunu engellemektedir. Bu yöntemde oluşan NO_x miktarı 60 ppm'den 6 ppm'e düşürülebilmektedir (Ayhaner, 2000).

NO_x oluşumunu önlemenin en iyi yöntemi silindir içersinde yanma sonu sıcaklığını düşük tutmaktır. EGR sisteminde silindirlere yanma sonu sıcaklığını düşürmek üzere egzoz gazı gönderilir. Karışım doğal olarak fakirleşir. Bu durumda egzoz gazları silindir içersinde seyreltilmiş olduğundan yanma sonu sıcaklığı düşecek ve böylece meydana gelen NO_x miktarı düşmüş olacaktır. Benzin motorunda egzoz gazı geri dolaşımı yanma odasına emilen toplam dolgunun %10'u düzeyinde olduğunda, NO_x emisyonu %50-%60 kadar azalmaktadır (Kutlar ve ark., 1998). Daha fazla EGR gönderilmesi silindir içersindeki oksijen miktarını azaltacağından HC ve CO emisyonunda artış meydana gelecektir. EGR miktarındaki fazla artış motorun gücünü etkileyeceğinden motora alınan EGR miktarının kontrollü verilmesi gerekmektedir. Motorun yükü az olduğunda EGR sistemine gerek yoktur. Bu sebeple yük azaldığında motora giden egzoz gazı miktarını azaltmak için pünomatik çalışan EGR sistemleri motor soğutma suyu 40 °C altında iken bir EGR vakum modülatörü ile ve egzoz gazı basıncına bağımlı olarak çalışmaktadır. Rölanti çalışmasında motorun çalışma dengesinin bozulmaması için egzoz basıncının düşük olması ile hiç EGR gazı gitmeyecek şekilde çalışmaktadır. Motor yükü arttığında silindir içersine fazla egzoz gazı, yükün az olduğunda ise silindirlere daha az egzoz gazı ve tam yükte hiç egzoz gazı gitmeyecek şekilde kontrollü olarak çalışma sağlanmaktadır (Tofaş, 1997).

Elektronik EGR sistemlerinde ise motor kendi sıcaklığı 55 °C'den fazla, dış hava sıcaklığı 17 °C'den büyük ve motor devri 1550 – 5600 d/d aralığında iken, ECU kontrolü altında çalışmaktadır (Tofaş, 1997).

EGR kullanımı ile birlikte silindir içersine gönderilen sıcak egzoz gazı karışımı daha iyi buharlaştıracak HC emisyonun da Şekil 4.11'de görüldüğü gibi 60 km/h kullanıma kadar azaldığı, bundan sonraki hız artışlarında karışım

içerisindeki egzoz gazı miktarının artması HC emisyonunu kötüleştirdiği görülmektedir. NO_x emisyonunda motora EGR uygulanması ile birlikte yanma sonu sıcaklığını düşeceğinden hızlı bir azalma görülmektedir. NO_x emisyonu bu sistemle azalırken hava/yakıt konsantrasyonu içerisindeki egzoz gazı miktarı fazlalığı ise CO emisyonunu artırmaktadır.



Şekil 4.11 EGR'li ve EGR'siz bir motorun egzoz emisyonları karşılaştırması (Balki, 2003).

Azot oksitler HFK (λ)=1.1 oranında en yüksek değerine ulaşmaktadır. Karışım daha da fakirleştikçe NO_x emisyonu hızla azalmaktadır. Fakir karışımlı motor kullanımı ile de NO_x emisyonunun en aza indirilmesi sağlanabilir.

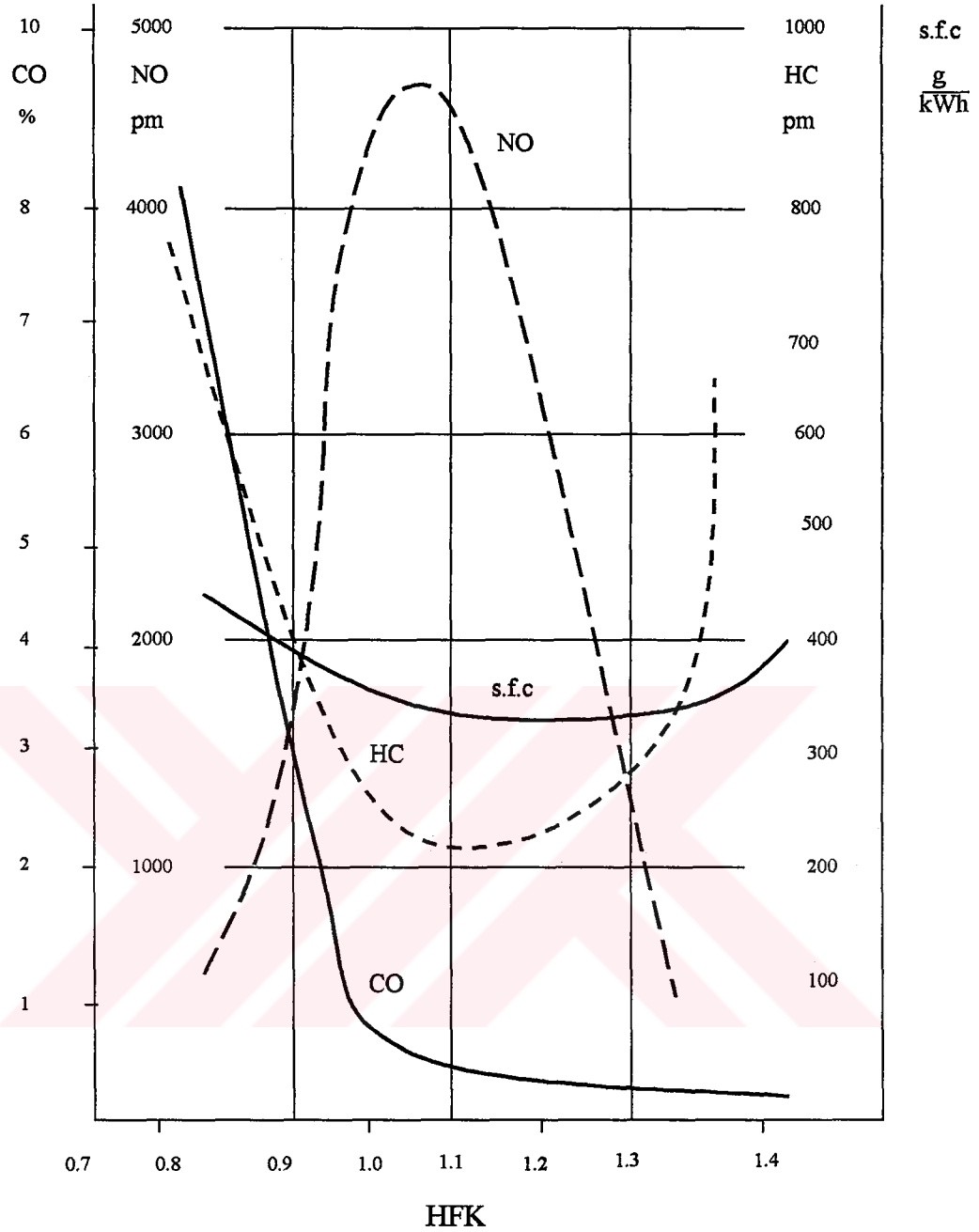
4.2.4.10 Fakir Karışımli Motor

Motorlar, silindir hacimleri bakımından günümüzde 1.4 litreden az, 1.4 ile 2.0 litre arası ve 2.0 litreden büyük olmak üzere (küçük, orta, büyük) üç grupta toplanmaktadır. 1.4 litrenin üzerindeki orta ve büyük motor tipleri birim zamanda kullandıkları yakıt fazlalığından dolayı, emisyonlarının fakir karışımında azaltılması daha da önemlidir. Eğer bu tür motorlarda mümkün olduğunca fakir karışım ile yanma sağlanırsa birim zamanda kullandıkları yakıt düşecek bunun sonucunda CO, HC ve NO_x emisyonlarında fark edilir derecede azalma gözlenecektir (Çelikten, 1993).

Fakir karışımli motorlarda hava fazlalık katsayısı HFK=1.1-1.4 olacak şekilde yakıt hava karışımı hazırlanmaktadır. Ancak bu fakir karışımı kararlı bir şekilde tutuşturmak için önlemler alınması, örneğin yüksek güçlü ateşleme sistemleri, özel bujiler vb. kullanılması gerekmektedir. Fakir karışımli yanma halinde, CO ve NO_x (sıcaklıklar düştüğünden) düşmekte ancak tutuşma şartları iyileştirilmediğinde HC emisyonları artmaktadır (Kutlar ve ark., 1998).

Yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarında en önemli noktanın hava/yakıt oranının değişimi olduğu bilinmektedir. Benzinli motorlardaki NO_x emisyonlarındaki azalma ve motor verim artışı HFK'nın 1.2 ile 1.4 değerleri arasında olmaktadır.

Şekil 4.12'de görüldüğü gibi fakir karışımli HFK değeri 1.4 ile 1.6 arasında alınması HC emisyonlarının ani ve aşırı olarak arttığı görülmektedir.



Şekil 4.12 Benzin motorlarında özgül yakıt tüketimi (sfc) ve Egzoz emisyonlarının HFK'na göre değişimi (Gruden, 1979).

HC+NO_x emisyonlarının değişimi her zaman aynı değerde değişmesine rağmen HFK'nın 1.1 ile 1.35 arasındaki değerlerde ideal olduğu söylenebilir (Çelikten, 1993).

Fakir yanma bölgesinde HFK=1.1 ile 1.3 arasındadır. CO ve HC bileşiklerinin kısmi olarak azalması yanında NO_x bileşiklerinin daha fazla azaldığı

görülmektedir. Bunlar, sıkıştırma oranının azalması , ateşleme ateşleme avansının düşürülmesi ve yakıt tüketimindeki olumsuzlukların egzoz gazı resürkülasyonu (EGR) yoluyla kontrol edilmesi gibi çalışmalarla mümkün olmaktadır. Fakir karışımda oluşan temel nokta, yakıt tüketiminin azalması sonucunda yukarıda belirtilen özellikle özellikle üç emisyonun dengelenmesidir. Uygun kompresyon oranı; yanma odası dizaynı ve fakir karışım bölgesindeki ateşleme noktasıyla mümkün olacaktır. Eğer bu parametreler ne kadar başarılı optimize edilirse, sonuçta o motor o oranda fakir yanmalı motordur denebilir (Çelikten, 1993).

4.3 KAYNAK SONRASI ÖNLEMLER

Motorda yanma sonunda çıkan egzoz gazının uygulanmakta olan egzoz emisyon sınırlarında ya da altında olması zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle yanma sonunda üç ayrı kirletici gaz emisyonlarına uluslararası sınırlamalar getirilmiştir. Sınırlama getirilen bu gazları, hidrokarbonlar (HC), karbonmonoksit (CO) ve azot oksit (NO_x) emisyonları oluşturmaktadır. Bu gazların sınır değerlerinin altına indirilmesi için termik reaktörler ve katalitik konverter kullanımı gibi önlemler alınmıştır. Oksidasyon katalitik konvertörü ilk olarak 1975 yılında ABD’de kullanılmıştır. Katalitik konverterler zaman içinde gelişerek buji ile ateşlemeli motorlarda zorunlu hale gelmiştir (Bosch, 1995).

4.3.1 Termik Reaktörler

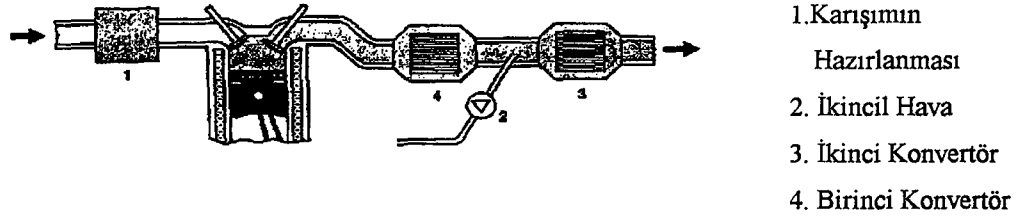
Termik reaktör sistemlerinde egzoz gazları, egzoz sisteminde yer alan, belirli bir sıcaklığa sahip (600-700 °C) bir odada, bir süre bekletilerek ve sisteme ilave hava gönderilerek CO ve HC’ların okside olması sağlanır. Ancak termik reaktörler NO_x ’in azaltılmasında etkili olamamaktadır. 70’li yılların başında güncel olan termik reaktörler bugün tamamen terkedilmiş ve yerini katalizatöre bırakmıştır (Aslan,1996).

4.3.2 Katalitik Konvertörler

Yanma sonrası alınan önlemlerden en önemli gelişme katalitik konvertörlerde olmuştur. Motordan belirli sıcaklık değerleri üzerinde çıkan HC, CO ve NO_x

gazları katalizör vasıtası ile zararlı etkileri en az değerlere indirilmektedir. Benzinli bir motorda egzoz emisyonları büyük oranda katalitik konvertörler tarafından kontrol altına alınmaktadır.

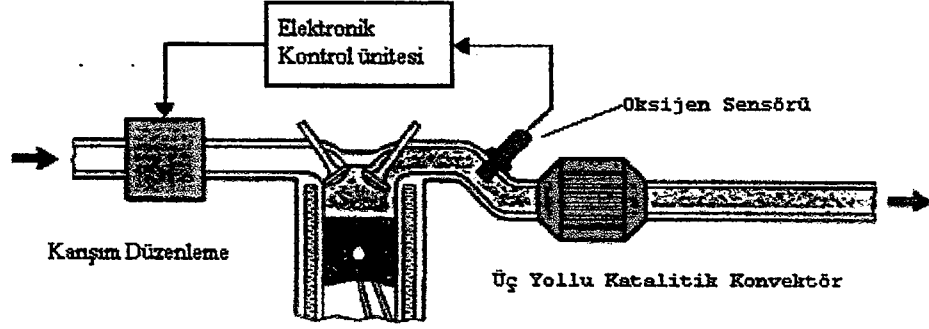
İlk kullanılan katalitik konvertörler sadece HC ve CO emisyonlarını azaltmak üzere egzoz manifolduna ek hava vererek çalışıyordu. Gelişmeler devam ederek sonraki uygulamalarda iki konvertör beraberce kullanıldı (Bosch, 1995).



Şekil 4.13 Kademeli katalitik konvertör sistemi (Bosch, 1995).

Birinci konvertörde NO_x 'ler indirgenirken ikinci konvertörde HC ve CO'lerin oksidasyonu gerçekleştirilmektedir. Sistemin yapısı Şekil 4.13'de görülmektedir (Ayhaner, 2000).

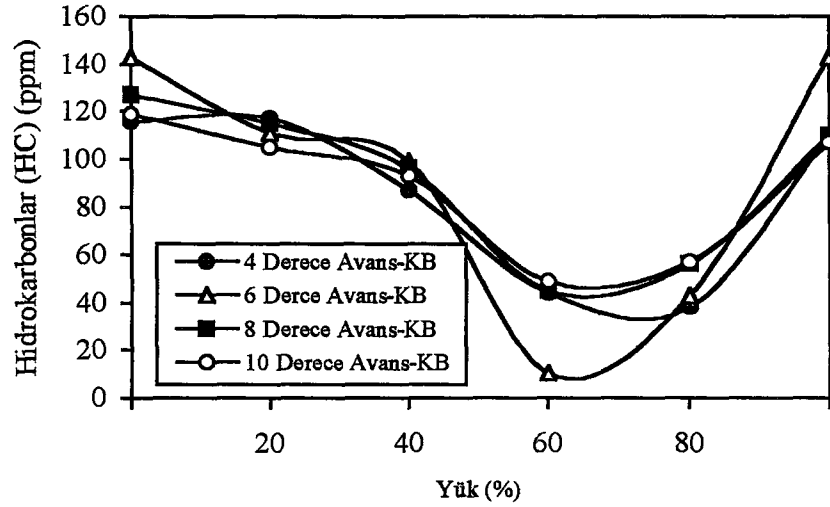
Benzinli bir motorda yanma sonucunda oluşan HC, CO ve NO_x emisyonları aynı anda bir adet 3 yollu katalitik konvertör de %90-95'lere varan oranlarda sınır değerlerinin altında dönüşüm gerçekleşmektedir. Üç yollu katalitik konvertörler 1990'lı yılların başından itibaren kullanılmaya başlanmış olup 2000'li yıllarda aracın imalatı sırasında araca takılması Şekil 4.14'de görüldüğü gibi zorunlu hale gelmiştir. Üç yollu katalitik konvertör tek bir gövdeden oluşan bir yapıya kavuşturulmuştur. Yanma sonucunda çıkan bu üç emisyonun zararsız hale dönüştürülmesinde büyük verimlilik sağlanmıştır. Sistem, elektronik kontrol ünitesi ile hava/yakıt oranını stökiyometrik oran'da tutmaya çalışmaktadır. Egzoz manifolduna bağlanan oksijen sensörü karışımın durumu hakkında enjeksiyon beynine bilgi vermektedir.



Şekil 4.14 Lamda vericili kontrollü üç yollu katalitik konvertör (OSD, 1997).

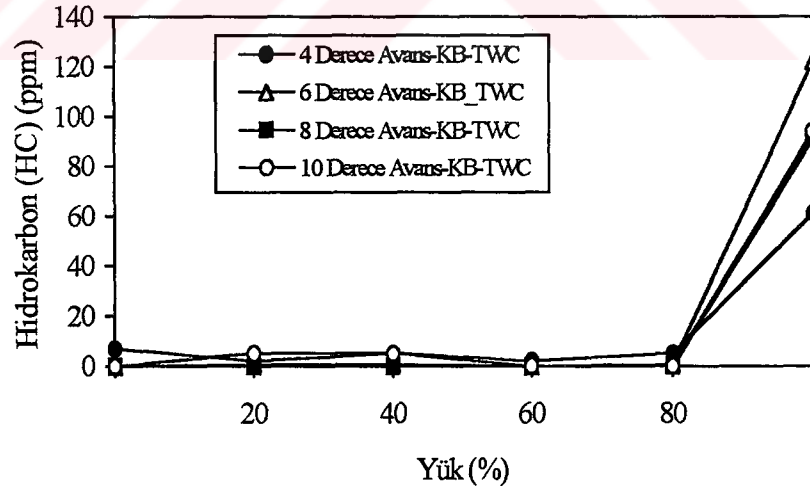
Lamda verici (oksijen sensörü), egzoz manifoldu üzerine bağlanan ve iç ve dış yüzeyi platinle kaplanmış zirkonyum oksit denilen özel bir seramikten yapılan bir elamandır. Kullanılan seramik 250 °C sıcaklıkta oksijen iyonlarını iletir. Oksijen oranı elektrotun iki tarafında aynı değil ise iki sınır yüzey arasında bir elektrik gerilimi oluşur. Elektronik beyinin bu gerilimi algılaması ile karışım oranı, $HFK=1$ koşuluna göre yeniden düzenlenir. Oksijen sensörünün ürettiği gerilim, $\lambda > 1$ için 0, $\lambda < 1$ için ise, yaklaşık 800 mv (mili volt) düzeyindedir. Çıkış gerilimi beyine yada bilgisayara iletilerek püskürtülen yakıt miktarı $\lambda=1$ değerlerine göre ayarlanmaktadır (Bosch, 1995).

Dinler (2001) yapmış olduğu bir çalışmada 2260 serisi, 2264E model, 1600cm³ hacimli, 4 zamanlı, 4 silindirli sıra tipi benzinli bir motora katalitik konvertör bağlamış 2400 d/d'da (40 dev/s) kurşunsuz benzin yakıtı kullanarak motoru değişik yüklerde yükleyip katalitik konvertörlü ve konvertörsüz ölçüm alarak hidrokarbon (HC) emisyonun dönüşüm miktarını araştırmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Şekil 4.15 ve 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.15 Katalitik konvertörsüz motorda yapılan ölçüm (Dinler, 20001).

Motor yükü az olduğunda HC miktarı fazla, motor yükü artıktıkça artmakta fakat motor yükü %80'den sonra Şekil 4.15'de görüldüğü gibi HC emisyonları tekrar artmaktadır. Şekil 4.16'da konvertörlü ölçümde düşük yüklerde katalitik konvertör dönüştürme veriminin çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Konverterin %80 yükten sonra dönüştürme veriminin çok düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 4.16 Motor yüküne göre HC emisyonu katalitik konvertör sonrası değeri (Dinler, 2001).

BÖLÜM 5

SÜRÜŞ ŞARTLARININ EGZoz EMİSYONLARINA ETKİSİ

Değişik sürüş şartlarında motorun hız ve yükü değişmekte, dolayısıyla tüketilen yakıt miktarı ve egzoz emisyonları da farklı olmaktadır. Çizelge 5.1’de değişik kullanım şartlarının egzoz emisyonlarına etkisi verilmiştir.

Çizelge 5.1 Çalışma rejimine bağlı olarak egzoz emisyonları için tipik örnek değerler (Kutlar ve ark., 1998).

Çalışma rejimi	HC (ppm)	CO (%)	NO _x (ppm)	CO ₂ (%)	H ₂ O (%)
Boşta çalışma	750	5.2	30	9.5	13
Sabit hız	300	0.8	1500	12.5	13.1
İvmelenme	400	5.2	3000	10.2	13.1
Hız kesme	4000	4.2	60	9.5	13

5.1 RÖLANTİ ÇALIŞMASI

Taşıt boşta çalışmada faydalı bir taşıma işinde bulunmamaktadır. Fakat bu çalışma rejiminin yakıt tüketiminde ve toplam egzoz emisyonundaki payı oldukça büyüktür. Boşta çalışmada motor düzgün olarak çalışabileceği en düşük dönme sayısında dönmekte ve kendi iç sürtünmelerini yenecek kadar güç üretmektedir. Karbüratörlü benzin motorlarında boşta çalışma (rölanti) düzeneği, ancak geniş bir aralıkta değişen ve genellikle zengin bir (HFK=0.8-1) hava/yakıt karışımı sağlayabilmektedir. Bu şartlardaki yanma eksik yanma, soğuk cidarlar ve çok düşük silindir basıncının oluşturduğu düşük yanma hızları nedeniyle HC ve CO emisyonları fazladır (püskürtmeli benzin motorlarında bu durum karbüratörlü

motorlara göre daha iyidir), NO_x 'ler ise silindir içinde bir önceki çevrimden kalan atık gazlar yüzdesinin büyük olmasından ve buna bağlı olarak düşük yanma sıcaklıklarından dolayı, pratik olarak yoktur (Kutlar ve ark., 1998).

Bu rejimde CO emisyonunun azaltılmasında en etkin yöntem hava/yakıt karışımının fakirleştirilmesidir. Ancak karışımın çok fakirleşmesi ($\text{HFK} > 1$) durumunda karışımın tutuşmaması nedeniyle aksaklıklar meydana gelmekte, bu da HC'ları artırmaktadır. Motor kararsız çalıştığından titreşimler oluşmaktadır. Bu nedenle, özellikle ortam havası sıcaklığının sıfırın altında olduğu şartlarda, boşta çalışmanın fakir karışıma göre ayarlanması son derece sakıncalı olmaktadır (Kutlar ve ark., 1998).

5.2 HIZLANMA

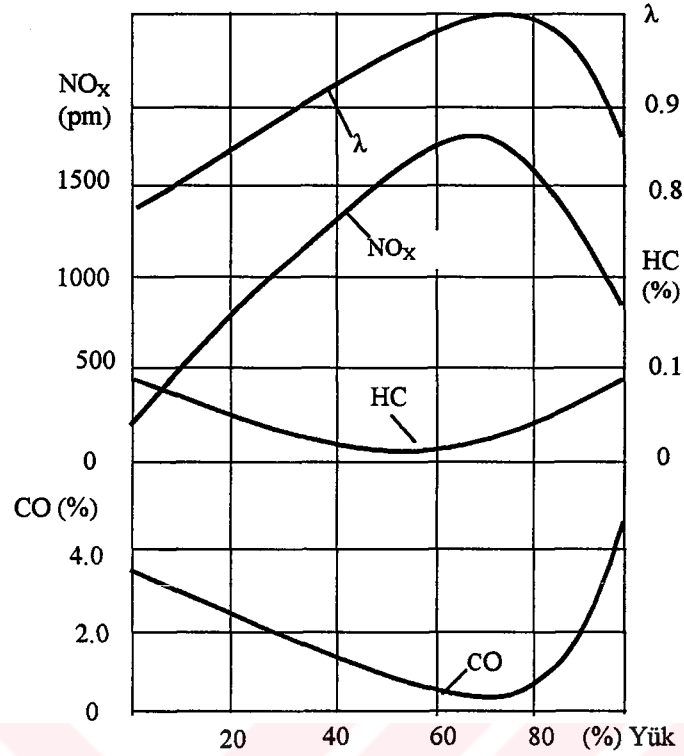
Yakıt tüketimi ve emisyon açısından bir diğer sakıncalı durum ise, özellikle şehir trafiği içinde gereksiz hızlanmalar ve frenlemelerdir. Taşıtlar şehir içi şartlarında kullanılırken çalışma zamanlarının büyük bölümünde ivmelenme rejiminde çalışırlar. Bu şartlarda taşıtların ivmelenme rejiminde çalışma süresi toplam çalışma sürelerinin %42 'si dolayındadır. Zirve saatlerinde (trafiğin yoğun olduğu saatler) ise bu oran ek olarak %10-20 artmaktadır. Bu da egzoz emisyonlarının bağlı olarak artması anlamına gelir. Çünkü hızlanma sırasında motor hızlanmanın gerektirdiği yükseklikte bir güç üretmekte ve buna karşı daha çok yakıt tüketerek daha çok kirletici yaymaktadır (Kutlar ve ark., 1998).

Aracın hızlanması için gaza ani olarak hızlıca basmak gerekir. Bu gaza ani basma sırasında motora normalin üstünde ek yakıt verilir. Karbüratörlü sistemde kapış pompası ile gönderilen yakıt miktarı arttırılır. Yani hava/yakıt oranı zenginleşir. $\text{HFK} < 1$ 'den küçüktür. Hava/yakıt oranı 8/1 civarındadır. HC ve CO emisyonları artar. Bundan başka, yanma hızı ve yanma odası içi sıcaklık artışı dolayısı ile NO_x konsantrasyonunda artma görülür.

5.3 SABİT HIZ

Bu rejimde taşıt sabit hızda seyretmektedir. Benzin motorlu bir taşıt motorunun ekonomik çalışması istendiğinden hava fazlalık katsayısının 1.0-1.1 değerleri arasında olması sağlanır. Karbüratörlü benzin motorunda bu değerler sabit hız rejiminde oldukça iyi bir şekilde ayarlanabilirken elektronik kontrollü püskürtme sistemleri ile hassasiyet daha da artırılabilir. Ayrıca karbüratörlü motorda silindirler arasında oluşan HFK değişimi yani genel HFK=1 civarında iken silindirler arasında zengin ve fakir karışımla çalışanlar olabilir ve buna bağlı olarak HC, CO ve NO_x emisyonunda artışlar oluşabilir. Her silindire ayrı ayrı püskürtme yapan sistemlerle (multipoint injection=çok noktadan püskürtme) bu durum ortadan kaldırılabilir (Arslan, 1996).

Sabit hız rejimi halinde karşılaşılan diğer bir durum ise değişken eğimlerdir. Eğer taşıt değişken eğim koşullarında sürücü tarafından vites kademesi değiştirilmeksizin sabit hızda kullanılıyorsa motor devri sabit kalmakta ancak yük değişmektedir. Bu ise, sürücünün eğim koşullarına göre gaz pedalı konumunu ayarlaması ile sağlanmaktadır. Sözü geçen sabit devir sayısı değişken yük durumu karbüratörlü benzin motorlarının egzoz emisyonu konsantrasyonlarını ve HFK'nı Şekil 5.1'de görüldüğü gibi etkileyecektir. Elektronik kontrollü püskürtme sistemleri ile donatılmış olan benzin motorlarında ise HFK sabit tutulacağından egzozdaki NO_x konsantrasyonu dışındaki kirleticiler (CO, HC) karbüratörlü motorlarda olduğu kadar yük durumundan etkilenmeyeceklerdir (Kutlar ve ark., 1998).



Şekil 5.1 Karbüratörlü benzin motorunda egzoz gazı içindeki kirletici konsantrasyonlarının ve HFK'nın sabit devir sayısında yüke göre değişimi (Kutlar ve ark., 1998).

Karbüratörlü bir motorda %80 motor yükünden sonra Şekil 5.1'de görüleceği gibi karışımın zenginleşmesi neticesinde HC ve CO emisyonları artarken, silindir iç sıcaklığının azalması ile NO_x emisyonunu azalmaktadır.

5.4 HIZ KESME

Normal seyir şartlarında seyreden bir benzinli taşıtın gaz pedalından ayak çekilince gaz keleşbeği emme kanalını kapatmaktadır. Fakat motor dönmeye devam ettiğinden, silindirde, büyüklüğü motor hızıyla değişen çok düşük bir basınç oluşmaktadır. Bu olay ayak gaz pedalından çekili durumda taşıt viteste seyredilirken yani motor freni yapılırken ortaya çıkmaktadır. Gaz keleşbeği kapalı olduğundan oluşan karışım çok fakirdir. Bu şartlarda oluşan alev cephesinin hızı ve sıcaklığı düşüktür. Bu ise eksik yanma ürünlerinin çok artmasına yol açmaktadır. Hatta silindirlere üniform dolgu dağılımı olmadığından çok fakir karışımlarda bazı silindirlerde tutuşma hiç gerçekleşmemektedir.

Dolayısıyla egzozu yanmamış HC'lar gönderilmektedir. Bu arada, ateşlemesini tamamlayan, fakat düşük alev hızından dolayı yanması egzozu kadar uzayan bir silindirin egzoz gazları, egzoz sisteminde biriken bu yanmamış karışımı tutuşturabilir. Özellikle dönemeç ve yokuş aşağı inişlerdeki gaz kesmelerde duyulan egzoz patlamaları bu şekilde oluşmaktadır. Buna karşı önlem olarak rölanti çalışmasındaki yakıt miktarını artırmak, yani karışımı zenginleştirmek gerekir. Bu ise boşta çalışmadaki emisyonları artıracaktır. Modern benzin püskürtmeli taşıtlarda hız kesme sırasında yakıt püskürtülmesi de durdurulduğundan emisyon ve yakıt tüketiminde azalma sağlanmaktadır. Yanma odası iç sıcaklığı oluşan bu kötü şartlardan dolayı çok düşük olacağından NO_x emisyonu hemen hemen sıfır denecek kadar az olacaktır (Arslan, 1996; Toyota, 1992).

CO konsantrasyonu, sabit rejime göre, boşta çalışmada 2 kat, hız kesme rejiminde ise 1.6-1.9 kat artmaktadır. Bu nedenle şehirlerin merkezi kısımlarındaki yollar şehir dışı otoyollara göre CO açısından 3-4 kat daha fazla kirlenmektedir (Kutlar ve ark., 1998).

BÖLÜM 6

MOTORLU TAŞIT KİRLETİCİ EMİSYONLARINA GETİRİLEN SINIRLAMALAR

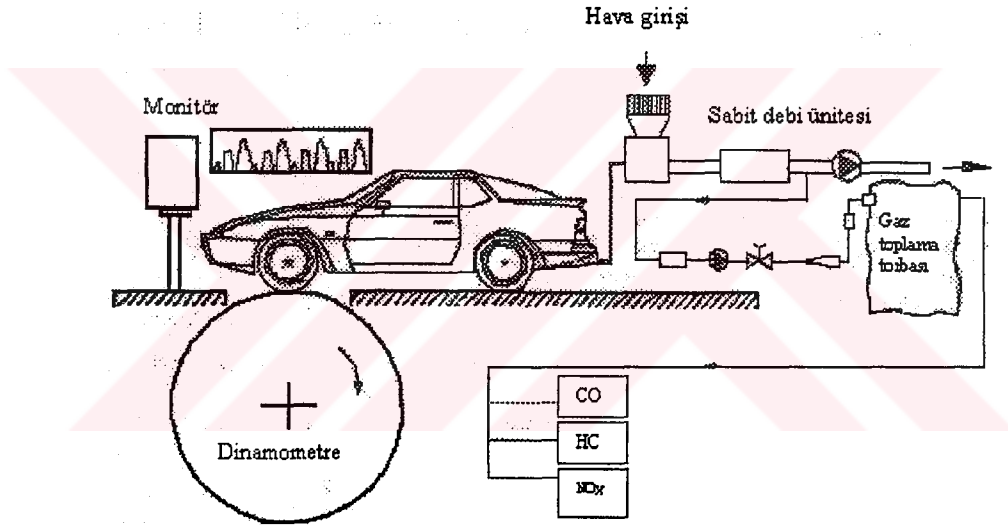
Taşıt egzoz emisyonlarının azaltılmasına yönelik ilk çalışma 1960 senesinde Los Angeles şehrinin de bulunduğu Kaliforniya eyaletinde başlamıştır. 1961 yılında taşıt motorlarında, yağın bulunduğu karter ile silindir altında bulunan içinde biriken yakıt ve yağ buharının atmosfere atılmayıp (karter havalandırması) tekrar emme kanalına gönderilmesiyle ilgili çalışmalar başlamış (pozitif karter havalandırması) ve 1963 yılında Kaliforniya eyaletinde trafiğe yeni çıkacak bütün taşıtlara uygulanması zorunlu hale getirilmiştir. 1966 yılında ikinci basamak önlem olarak motorlu taşıtların egzozlarından çıkan CO ve HC emisyonlarına sınır değerler belirlenmiş ve trafiğe yeni çıkacak taşıtlarda bu sınır değerlerin altında olmaları zorunlu tutulmuştur. Bu uygulama 1968 yılına kadar sürdürülmüştür. Taşıt üreticileri bu sınır değerleri sağlamak amacıyla hava fazlalık katsayısını $HFK=1.1-0.5$ değerleri arasında ayarlayarak CO ve HC emisyonlarını düşürmüşlerdir. Ancak daha sonraları şehir atmosferinde yapılan ölçümler NO_x ve O_3 emisyonlarında anormal artış olduğunu göstermiştir. HFK'nın 1-1.05 arasında olması motor içi sıcaklıkları yükseltmiş ve NO_x emisyonu artırmıştır. Ayrıca NO_x ve HC'nun güneş ışığı etkisiyle (fotokimyasal) O_3 oluşturması da artış göstermiştir. Bu nedenle ABD'de 1970 ve 71 senelerinde çıkarılan kanunla taşıt emisyonunda HC, CO ve NO_x üçlüsünün bir arada kontrolü öngörülmüştür (Kutlar ve ark., 1998).

6.1 YENİ TAŞITLARIN TİP TESTİ

Tip testi, piyasaya yeni çıkacak taşıtlara uygulanır. Test edilecek taşıttan bir örnek seçilerek bu taşıtın trafikte oluşturacağı egzoz emisyonları ölçülür. Bu amaçla özel deney düzenekleri ve standartlar ile belirlenmiş hassas emisyon ölçüm aletleri

kullanılır (bakım servislerindeki birden çok gaz emisyonunu ölçen aletler bu tip deneyler için yetersizdir). Boş ağırlığı 3500 kg'm altında olan taşıtlarda genellikle taşıtın kendisi bir deney düzeneğine bağlanarak trafik koşullarını modelleyen bir seyir çevrimi boyunca açığa çıkan toplam egzoz emisyonu ölçülür. Bu deneyler sonucunda taşıtın egzoz emisyon miktarının önceden belirlenmiş sınır değerleri aşp aşmadığı kontrol edilerek, üretimine veya ithal edilmesine izin verilir (Kutlar ve ark., 1998).

Taşıtların tam yol şartlarındaki emisyon miktarlarının tespiti için şasi dinamometresi kullanılmaktadır. Taşıtın çekici tekerleği dinamometre üzerinde daha önceden belirlenmiş standarttaki hızlarda kullanılmalıdır.



Şekil 6.1 -Taşıtın yol şartlarındaki hareketinin modelleyen tambur ve egzoz emisyonu ölçüm düzeneği (Arslan, 1996).

Deney için taşıt çalıştırılır ve daha önceden belirlenmiş seyir çevrime uygun olarak kullanılır. Taşıtın egzoz borusu ise egzoz gazı örnek alma sistemine sızdırmaz bir şekilde bağlanır. Şekil 6.1'de görüldüğü gibi egzozdan çıkan bütün gazları toplamak çok büyük hacim gerektirdiğinden bunun yerine egzoz gazları sabit debili bir pompa ile emilen hava ile seyreltilir ve seyreltilen egzoz gazının bir kısmı deney boyunca bir torbada toplanır.

Deney sonunda torbada toplanan seyreklik egzoz gazının içindeki kirletici maddelerin hacimsel oranları ölçülür. Bu hacimsel orandan, çevrim boyunca egzozdan atılan kirletici maddelerin ağırlıkları hesaplanır. Uygulanan test çevriminin uzunluğu (km) bilindiğine göre taşıtın yol şartlarında egzozdan alınan birim yol başına (g/km) ne kadar kirletici yaydığı belirlenmiş olur.

Taşıtların egzoz emisyonlarını ölçmek için kullanılmak üzere çeşitli çevrimler hazırlanmıştır.

EURO 93 (Faz 1) yönetmeliği ile 1991 yılından başlayarak şehir içi test çevrimine en fazla 120 km/saat hıza kadar çıkılan bir otoyol çevrimi eklenmiş ve emisyon sınırları g/test yerine g/km cinsinden verilmiştir. Yeni sınır değerleri sağlamak için bütün benzinli motorlu taşıtlarda egzoz sisteminde üç yollu katalizör kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Ayrıca benzin deposundan ve yakıt sisteminden kaynaklanan HC emisyonları için de sınır değerleri getirilmiştir.

Şehir içi çevrim için 195 saniyelik çevrim dört kez tekrarlanarak gerçekleştirilir. Bu çevrimde maksimum hız 50 km/h , ortalama hız 19 km/h, toplam kat edilen yol mesafesi 4.052 km, her çevrimde esas alınan mesafe 1.013 km olarak egzoz gazı numunesi alınmalıdır. Alınan bu numuneler özelliği bozulmayacak süre içerisinde analiz edilerek belirlenip, çıkan sonuçlara göre yeni taşıtlara onay verilir (TSE, 2000).

6.2 TRAFİKTEKİ TAŞITLARIN EGZOZ EMİSYONUNUN PERİYODİK KONTROLÜ

Trafikte kullanılan taşıtlara, bir yıl süreli geçerli olmak üzere çevre emisyon pulu verilmektedir. Çevre Bakanlığının kontrol ve denetimi altında illerde valiliklerin sorumluluğunda emisyon ölçümünü yapabilecek yetkiye sahip TSE, meslek liseleri, makine mühendisleri odaları il temsilcilikleri, üniversiteler, tam teşekküllü yetkili servisler gibi kuruluşlarca taşıt boşa çalışır durumda (rölantide) emisyon cihaz ile yapılan ölçüm sonuçları önceden belirlenmiş değerler ile karşılaştırılarak bir yıl süreli geçerli olacak emisyon pulu verilmektedir.

Şu an uygulamada baz alınan değerler 01.10.1975 öncesi benzin motorlu taşıtlar için (2.11.1986 tarih ve 19269 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği ve TS 11365/Nisan 1994 standardı gereğince) 01.10.1975 öncesi üretilmiş taşıtlar için CO=%6, 01.10.1975 sonrası taşıtlar için CO=%4.5, 01.10.1985 yılı sonrası üretilen taşıtlar için CO=%3.5 ve tüm buji ile ateşlemeli taşıt motorları için HC sınır değerleri $50 < HC < 400$ ppm arasında sınır değerleri belirlenmiştir.

6.3 TÜRKİYE'DE TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN KİRLETİCİLERE GETİRİLEN SINIRLAMALAR

2.11.1986 tarihinde yayımlanan Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, Türkiye'de her türlü faaliyet sonucu atmosfere yayılan emisyonları kontrol altında tutan, insanı ve çevresini hava alıcı ortamındaki kirlenmelerden doğacak tehlikelerden koruyacak düzenlemelerin tanımlandığı tek yönetmeliktir. Motorlu kara taşıtlarının egzoz gazındaki hava kirleticiler için emisyon sınır değerleri T.S.E 4236'ya uygun olmalıdır. T.S.E standardı olmayan konularda ise standart hazırlanıp yürürlüğe konuluncaya kadar AB sınır değerleri uygulanmaktadır. Türkiye'de 1995 öncesi sadece binek araçlarda sadece T.S.E 4236 karşılığı olan, ECE R 15.04 regülasyonu uygulanmaktaydı. Bu regülasyon herhangi bir yanma sonrası önlem alınmasını gerektirmemektedir. 1995'ten itibaren motor silindir hacmine bağlı olarak kademeli bir şekilde Faz 1 veya EEC 91/441 direktifine uyulmaya başlanmıştır. Bu direktif üç yollu katalitik konvertör kullanımını ve buharlaşma ile ilgili depo buharı geri kazanım sisteminin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır (Ayhaner, 2000).

Motorlu taşıtlardan özellikle, otomobillerden kaynaklanan emisyonların azaltılması için Avrupa Ülkelerinde ciddi anlamda ilk uygulama Faz 1 veya EEC91/441 direktifinin 1993 yılında uygulamaya konulması ile başlamıştır. Üç yollu katalitik konvertörün kullanımının zorunlu kılan bu uygulama ile egzoz gazlarındaki karbondioksit, hidrokarbon ve azot oksitleri %90 oranında azaltılmıştır. Ayrıca aktif karbon filtresi uygulaması başlatılmıştır. Faz 2 veya EEC 94/12 direktifi Avrupa'da 1996 yılında uygulamaya konulmuştur. Faz 1'e

aynı çift yönlü katalitik konvertör ve aktif karbon filtresi olmasına rağmen motor kontrol ünitesin de yapılan elektronik değişikliklerde 3 yollu katalitik konvertörün daha kısa sürede devreye girmesini sağlanarak egzoz emisyonunda iyileşmeler sağlanmıştır. Faz 2 ile birlikte yeni bir binek araçtan yayılan kirleticilerin miktarı 1970’li yıllardaki standartlarla karşılaştırıldığında %90 azaldığı görülmüştür. Artan araç sayısı Avrupa’da yeni önlemlerin alınmasını Çizelge 6.1’de olduğu gibi gündeme getirilmiştir. Bu çerçevede Faz 3 veya AB Komisyonu 98/69/EC direktifi oluşturulmuş ve 2001 yılı itibari ile üretilen tüm araçlar bu norma göre teknolojik gelişmeler çerçevesinde üretilmeye başlanılmıştır.

Türkiye de 2000 yılının başından itibaren üretilen tüm araçların Faz 1’e uygun olarak üretilmesi zorunlu olmuştur. 2001 yılının başından itibaren ise Faz 3 emisyon seviyesi tüm yeni araçlarda uygulanmaktadır. Böylece Türkiye Avrupa’nın uyduğu emisyon normlarından Faz 2 seviyesini atlayarak geçmiştir.

Çizelge 6.1 Faz 1, Faz 2 ve Faz 3 limit değerleri (Ayhaner, 2000).

Standart	Test Çevrimi	CO gr/km	HC+NO _x gr/km	HC gr/km	NO _x gr/km
Faz 1	ECE +EUDC	2.72	0.97	-----	-----
Faz 2	ECE+EUDC	2.20	0.50	-----	-----
Faz 3	NEDC	2.30	-----	0.3	0.15

Faz 3'e göre emisyon limit değerleri %50 azalacak olan izelge 6.2'de belirlenmiş değerlerin geçerli olduğu Faz 4 emisyon limit değerleri 2005 yılından itibaren tüm binek araçlarda zorunlu hale gelecektir. Türkiye'de üretilen araçlar 2000 yılı itibari ile Faz 1'e göre üretime girilmiş 2001 yılından itibaren ise gerek üretilen gerekse ithal edilen araçlar Faz 3 normunda trafiğe çıkacak şekilde düzenlenmiştir (Ayhaner, 2000).

Çizelge 6.2 Faz 4 emisyon limitleri(Ayhaner, 2000).

CO (gr/km)	HC (gr/km)	NO _x (gr/km)
1.0	0.1	0.08

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

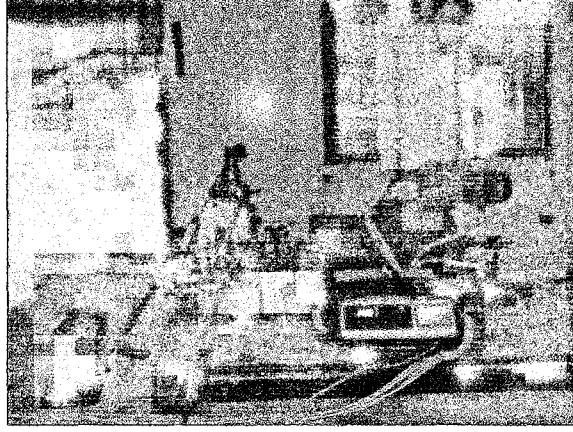
7.1 DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmada, buji ile ateşlemeli motorların işletme parametrelerindeki değişikliğin egzoz emisyonlarını ne oranda etkilediğinin araştırılması hedeflenmiştir. Ayrıca trafikte kullanılan taşıtların emisyon sınır değerlerinin dışına çıkmamasında etkin olan; motorun teknik yapısından kaynaklanan durumlar ile motor ayar ve bakımının egzoz emisyonlarına etkisini araştırmak amaçlanmıştır.

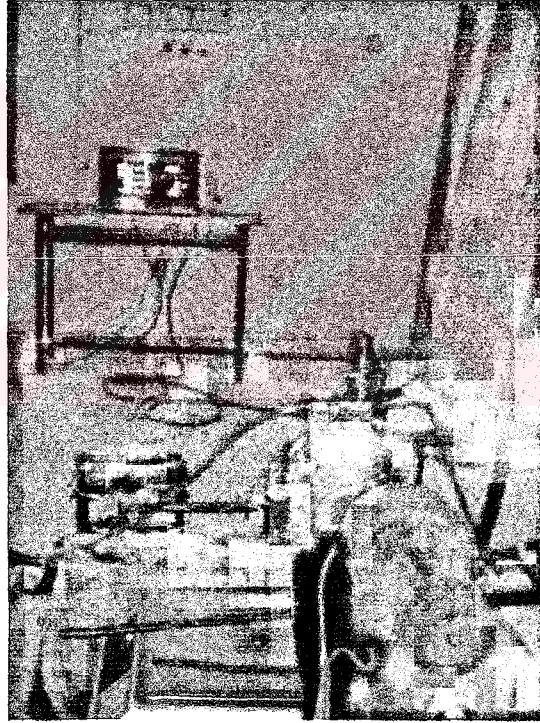
7.2 DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER

7.2.1 Deney Yerleri

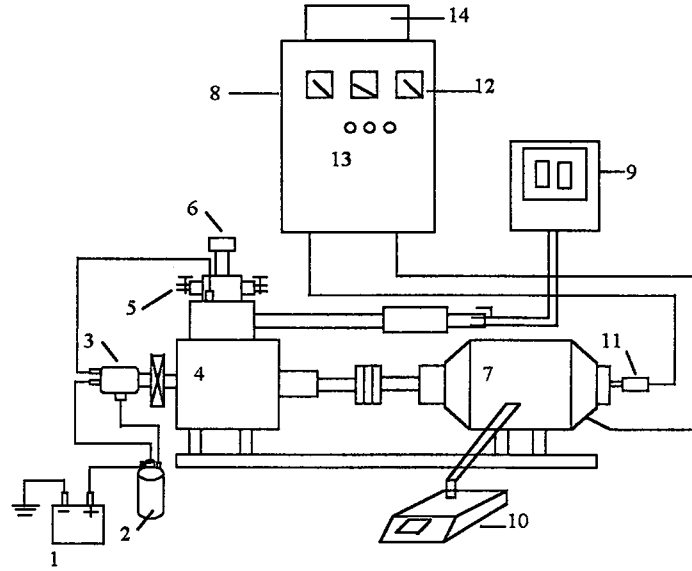
Deneyler Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarlarında ve Abant İzzet Baysal Üniversitesi Gerede Meslek Yüksek Okulu Otomotiv atölyesinde yapılmıştır. Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarı deney tesisatının genel görünüşü Şekil 7.1 ve 7.2’de, şematik görünüşü ise Şekil 7.3’de verilmiştir.



Şekil 7.1 Deney tesisatının belli kısmının yandan görünüşü.



Şekil 7.2 Deney tesisatının genel görünümü.



1. Akü, 2. Endüksiyon Bobini, 3. Distribütör, 4. Motor, 5. Silindir Kapağı, 6. Sıkıştırma Oranı Değiştirme Düzeneği, 7. Elektrikli Dinamometre, 8. Dinamometre Kontrol Paneli, 9. Gaz Analizör cihazı, 10. Dijital Terazî, 11. Devir Sensörü, 12. Voltmetre, Ampermetre, Takometre, 13. Yükleme Anahtarları, 14. 10 kW'lık Direnç.

Şekil 7.3 Deney tesisatının şematik görünüşü .

7.2.2 Deney Motoru ve Taşıt

Fakülte laboratuvarında yapılan deneylerde tek silindirli, 4 zamanlı Lombardini (LA250) marka bir motor kullanılmıştır. Motorun sıkıştırma oranı 4/1-10/1 değeri arasında değiştirilebilmektedir. Motora manyetolu ateşleme sistemi yerine distribütörlü ateşleme sistemi ilave edilerek, ateşleme avansının değiştirilebilmesi sağlanmıştır. Karbüratör ana memesi konik uçlu ayar vidası ile kontrol edilerek hava/yakıt oranının değiştirilebilmesi temin edilmiştir. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Motorun teknik özellikleri.

Markası	Lombardini LA250 (Hava ve Su Soğutmalı)
Silindir sayısı:	1
Motor Gücü:	6HP
Maksimum Motor Hızı :	3600 d/d
Silindir çapı:	72 mm
Strok :	62 mm
Sıkıştırma oranı:	4/1-10/1

Deneylerde, ikinci motor olarak karbüratörlü 1600 cm³ motor hacmine sahip Renault Fairway motoru kullanılmıştır. Buji tırnak aralığı, motor sıcaklığı ve LPG yakıtlı testler bu motor üzerinde yapılmıştır. Bu testler Abant İzzet Baysal Üniversitesi Gerede Meslek Yüksekokulu Otomotiv Atölyesinde yapılmıştır.

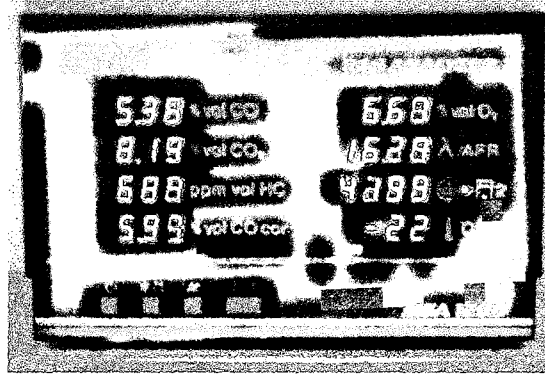
7.3 DENEYDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

7.3.1 Motor Deney Seti ve Dinamometresi

Deneylerde motorun yüklenmesi için Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Deney seti, motor momentini, hızını ve sıcaklığını ölçebilecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen devirde hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması mümkün olmaktadır.

7.3.2 Egzoz Gaz Analizörü

Deneylerde kullanılan egzoz gaz analizörü, Sun MGA-1200 marka olup, egzozdan çıkan CO, CO₂, HC ve O₂ değerlerini hacimsel olarak ölçebilmektedir. Şekil 7.5’de görülen cihaz yanmış gazların analiz edilmesi ile hava/yakıt oranı veya hava fazlalık katsayısını da belirleyebilmektedir.



Şekil 7.4 Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.

7.3.3 Yakıt Tüketim Ölçme Düzeneği

Yakıt tüketimi ölçme düzeneği hacimsel yönteme göre çalışan, 100 ml hacme sahiptir. Yakıt tüketim ölçme düzeneği Şekil 7.6'da görülmektedir.



Şekil 7.5 Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.

7.3.4 Kronometre

Yakıt tüketimi süresinin Charles Sernard marka bir kronometre kullanılmıştır. Kronometre 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilmektedir.

7.3.5 Ateşleme Avansı Ölçümünde Kullanılan Cihaz

Ateşleme avansının ölçümünde EQUUS 591 524 marka cihaz 0° - 60° avans ölçebilmektedir. Kadranı 1° aralıklarla taksimatlandırılmıştır.

7.3.6 Motor Sıcaklık Ölçme Cihazı

UNI-T M890C⁺ sıcaklık ölçüm cihazı -40°C ile 1000°C arasında binde bir hassasiyetinde ölçüm alabilen bir cihazdır.

7.3.6 Elektronik Terazi

Dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetinin ölçülmesinde kullanılan Densi marka Elektronik Dijital Terazinin (Model DS-1) ölçüm kapasitesi 30 kg'a kadar olup 2 gr hassasiyetinde ölçüm yapabilmektedir. Deney esnasında ölçülen kuvvet moment kolu ile çarpılarak motor momentleri belirlenmiştir.

7.4 DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneylere başlamadan önce motorun ayarları kontrol edilerek, motor çalışma sıcaklığına getirildikten sonra deneylere başlanmıştır.

7.4.1 Motor Deneyleri

Değişken sıkıştırma oranlı motorda yapılan deneyler önceden belirlenen parametre değişikliği gerçekleştirildikten sonra yapılmıştır. Bu motorda yapılan deneylerde sıkıştırma oranı 8/1'e ayarlanmıştır

Hava/yakıt oranının emisyonlara etkisinin incelenmesi deneyi dışındaki tüm çalışmalarda hava/yakıt oranı 14.5/1 (HFK=1) olacak şekilde, hava/yakıt oranı karbüratör üzerinden ayarlanabilen vida yardımıyla zaman zaman müdahale edilerek ayarlanmıştır. Ateşleme avansı, motor momentleri, HFK ve sıkıştırma oranının emisyonlara etkisi deneyleri, maksimum motor moment devri olan 2200 d/d'da yapılmıştır.

Motorun sıkıştırma oranı değiştirilerek, değişik sıkıştırma oranlarında egzoz emisyon değerleri cihazda kararlı hale geldikten sonra ölçümler alınmıştır.

Tam yük deneylerinde motor hava soğutmalı olması nedeni ile çok ısındı ve bir kez silindir kapak contasını yaktı. Daha sonraki deneylerde motor silindir kapağında bulunan yardımcı soğutma sisteminin su debisi artırılması ile motorun daha iyi soğutulması sağlandı.

Sadece motor momentinin egzoz emisyonlarına etkisi deneyinde gaz kelebek açıklığı miktarı değiştirilmiştir. Ayrıca hava/yakıt oranında değişme oluyorsa H/Y oranı 14.5/1 değerine tekrar getirildikten sonra emisyon ve motor momenti cihazlardan okunarak değerler alınmıştır.

Ateşleme avansının egzoz emisyonuna etkisi deneyinde, $GKA=1/1$, sabit 2200 d/d'da, ölçümler önceden belirlenen değişik ateşleme avans değerlerine ayarlanarak yapılmıştır.

4 silindirli bir motoru yükleyecek bir dinamometre temin edilemediğinden bazı ölçümler, yüksüz konumda taşıt motorunda yapılmıştır.

Taşıt motorunda (1600 cm^3 , Renault), buji tırnak aralığı değişiminin egzoz emisyonlarına etkisi araştırılmıştır. Araç sabit yerinde bekler durumda motor soğutma suyu sıcaklığı 90°C 'ye geldikten sonra hem LPG'li hem de benzinle çalışma için buji tırnak aralık mesafesi değiştirilerek değişik devirlerde egzoz emisyonlarını nasıl etkilediği araştırıldı. Bu ölçüm sırasında taşıt sabit olduğunda motor hararetinin çabuk yükseldiği tespit edildi. Bu durumu etkisizleştirmek için atölyede sabit kompresörden basınçlı hava tutularak motorun soğutma suyu sıcaklığı sabit değerde kalması sağlandı.

7.5 DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

7.5.1 Motor Momenti ve Gücü

Deney sırasında motor yükte çalışırken kuvvet değeri dinamometreye 0.20 m uzaklıktaki hassas teraziden okunmuştur.

Motor momenti aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır (Çelik, 1999) ;

$$M_e = F \times 9.81 \times 0.2 \quad (7.a)$$

Motor devri 1800 d/d'da dinamometreden okunan kuvvet $F=6.56$ kg olduğuna göre, 1800 d/d'daki motor momenti; (7.a)'daki eşitlikte yerine konularak $M_e=12.88$ Nm olarak tespit edilmiştir.

Motor gücü ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır (Çelik, 1999) ;

$$P_e = \frac{M_e \cdot n}{9549} \quad (7.b)$$

Örnek olarak motor gücü hesabında, motor devri 1800 d/d'da eşitlik (7.a)'ya göre hesaplanan motor momenti 12.88 Nm (7.b)'deki eşitlikte yerine yazılarak;

$$P_e = \frac{12.88 \cdot 1800}{9549} = 2.42 \text{ kW}$$

olarak hesaplanmıştır.

7.5.2 Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi

Yakıt tüketiminin ölçülmesinde hacimsel yöntem kullanılmıştır. Motorun deney setinin yakıt ölçme borusundaki 10 ml yakıtı tüketme süresi kronometre ile tespit edilerek, saatteki yakıt tüketimi kg/saat cinsinden hesaplanmıştır.

Ölçekli kap ve dijital tartı aleti kullanılarak deney ortamında yakıtın yoğunluğu 0.735 kg/litre olarak bulunmuştur.

Örneğin motor 1800 d/d ile çalışırken 10 ml yakıtı 28 saniyede tükettiğine göre;

$$10 \text{ ml yakıt} = 0.01 \text{ litre}$$

$$10 \text{ ml yakıt} = 0.01 \times 0.735 = 0.00735 \text{ kg}$$

Motorun saat deki yakıt tüketimi;

$$B = 0.00735 \times 3600 / 28 = 0.945 \text{ kg/h}$$

1800 d/d için hesaplanmıştır.

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır (Çelik, 1999) ;

$$be = \frac{B \cdot 1000}{Pe} \quad (7.c)$$

1800 d/d'a için hesaplanan saatlik yakıt tüketimi eşitlik (7.c)'de yerine yazılarak,

$$be = \frac{0.945 \cdot 1000}{2.42} = 390.45 \text{ g/kWh}$$

ölgül yakıt tüketimi miktarı belirlenmiştir.

BÖLÜM 8

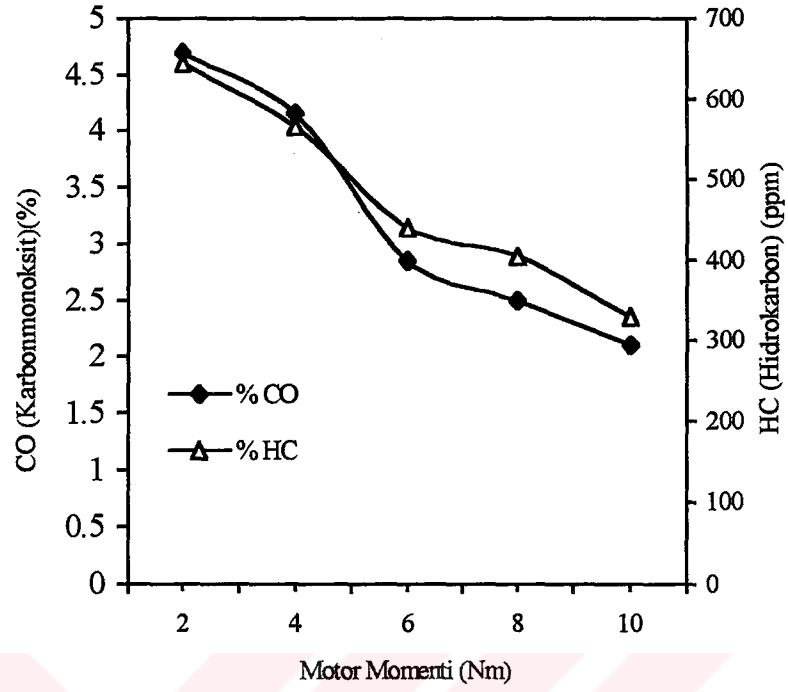
DENEY SONUÇLARI, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Sıkıştırma oranı değiştirilebilen motorda egzoz emisyonlarına etki eden parametreleri belirlemek amacı ile değişik yüklerde ve hızlarda önceden belirlenmiş parametre değişiklikleri yapılarak deneyler yapılmıştır. Deneylere ait sonuçlar Ek Açıklamalar A kısmında Çizelge A.1, Çizelge A.2, Çizelge A.3, Çizelge A.4, Çizelge A.5, Çizelge A.6, Çizelge A.7, Çizelge A.8, Çizelge A.9, Çizelge A.10, Çizelge A.11, Çizelge A.12, Çizelge A.13, Çizelge A.14, Çizelge A.15 ve Çizelge A.16'da, sırasıyla verilmiştir.

8.1 DENEY SONUÇLARI

8.1.1 Motor Momentinin Etkisi

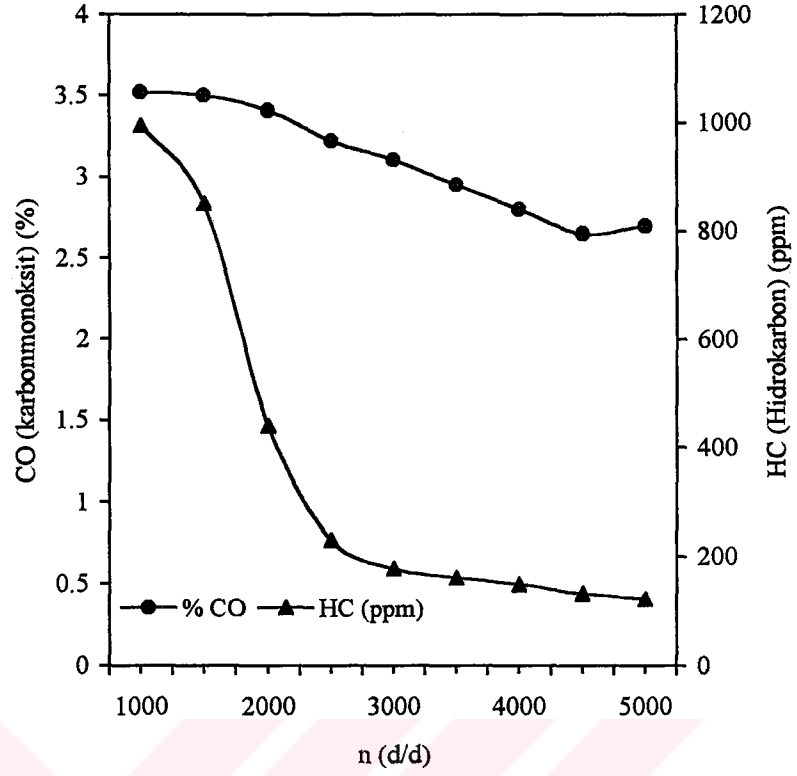
Sıkıştırma oranı (ϵ) 8/1'de, motor devri 2200 d/d'da iken, gaz kelebek ve dinamometre yük kolu yardımıyla motor momenti belirli değerlere değiştirilerek HC ve CO emisyonlarının değişimi incelenmiştir. Motor momentinin artışı ile birlikte CO ve HC emisyonlarında azalma meydana gelmiştir (Şekil 8.1). Gaz kelebek açıklığının artması ile silindir içinde basınç ve sıcaklık artarak yanma iyileşmekte ve emisyonlar azalmaktadır.



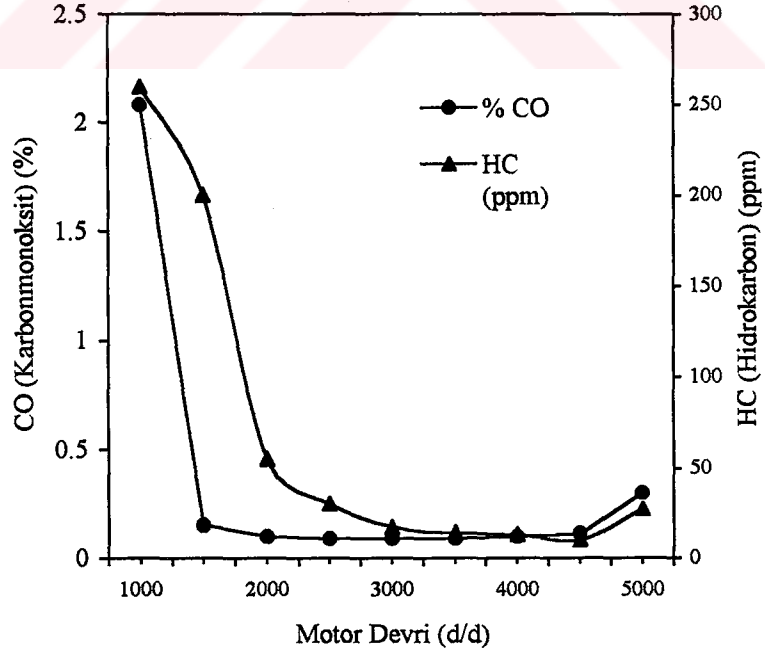
Şekil 8.1 Motor momenti değişiminin CO ve HC emisyonuna etkisi.

8.1.2 Motor Hızının Egzoz Emisyonlarına Etkisi

Bu deneysel çalışma, Renault Fairway motorunda, motor çalışma sıcaklığına getirildikten sonra yapıldı. Motor hızı, gaz kelebeği açıklığı değiştirilerek yükleme yapılmadan artırıldı. Şekil 8.2 ve 8.3’de motor hızı artıktıkça emisyonların azaldığı görülmektedir. Motor hızı artışı ile birlikte türbülansın da artması sonucu yanma veriminin iyileşmesi CO ve HC emisyonlarında azalma meydana getirmektedir. Ayrıca LPG’li çalışmada emisyon değerleri benzinli çalışmaya göre daha düşük çıkmıştır.



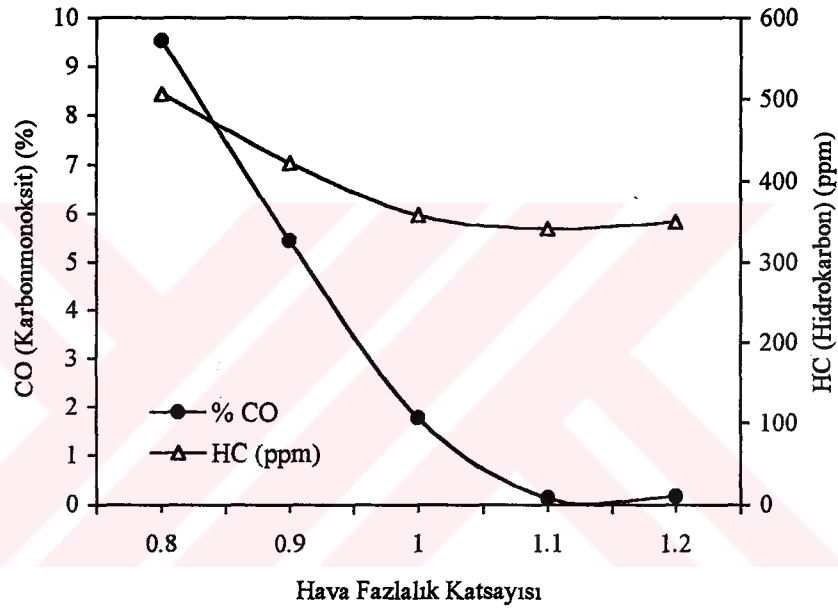
Şekil 8.2 Motor hızının HC ve CO emisyonuna etkisi (Benzinle çalışma).



Şekil 8.3 Motor hızının HC ve CO emisyonuna etkisi (LPG'li çalışma).

8.1.3 Hava Fazlalık Katsayısının Etkisi

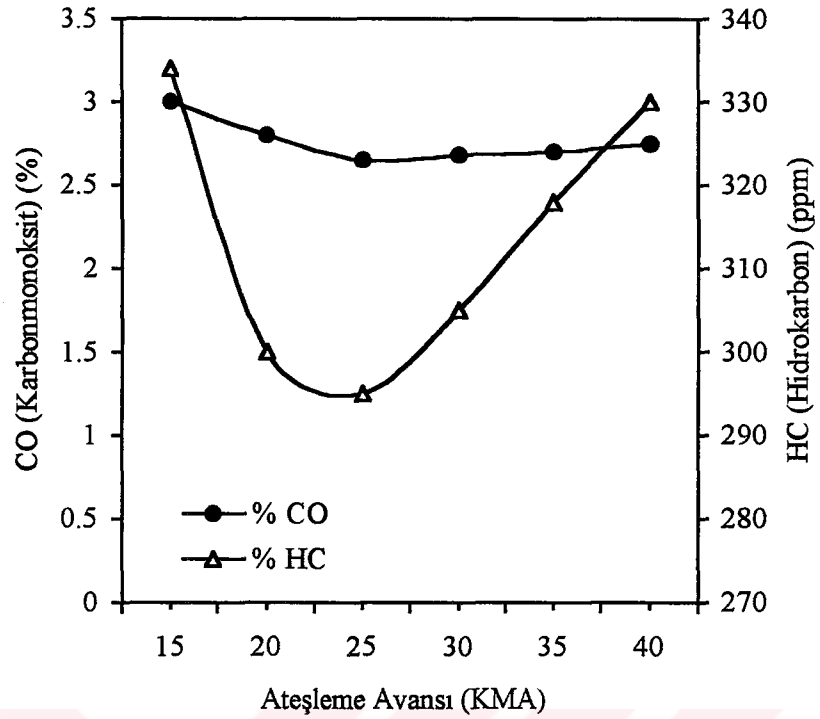
Sıkıştırma oranı (ϵ)=8/1, motor devri 2200 d/d da, G.K.A=1/1 ile sabit devir de, HFK(λ) değiştirilerek yapılan ölçümlerin sonuçları Şekil 8.4'de verilmiştir. HFK=0.8 den HFK=1.1 değerine kadar HC ve CO emisyonlarında azalma olduğu, HFK=1.1-1.2 değerleri arasında hava/yakıt oranının fakirleşmesi ile yanma kalitesinin kötüleşmesinden dolayı tekrar HC ve CO emisyonlarının arttığı görülmüştür.



Şekil 8.4 Hava fazlalık katsayısının (HFK)'nın 2200 d/d'da CO ve HC emisyonlarına etkisi.

8.1.4 Ateşleme Avansının Etkisi

Deneyler, tam gazda, motor devri 2200 d/d'da iken önceden belirlenen ateşleme avansları değerlerinde yapılmıştır. Ateşleme avansı 25° KMA'na kadar HC emisyonları azalmış, 25° KMA'dan sonra HC emisyonlarının tekrar arttığı görülmüştür. CO değerinin ateşleme avansından etkilenmediği tespit edilmiştir (Şekil 8.5).



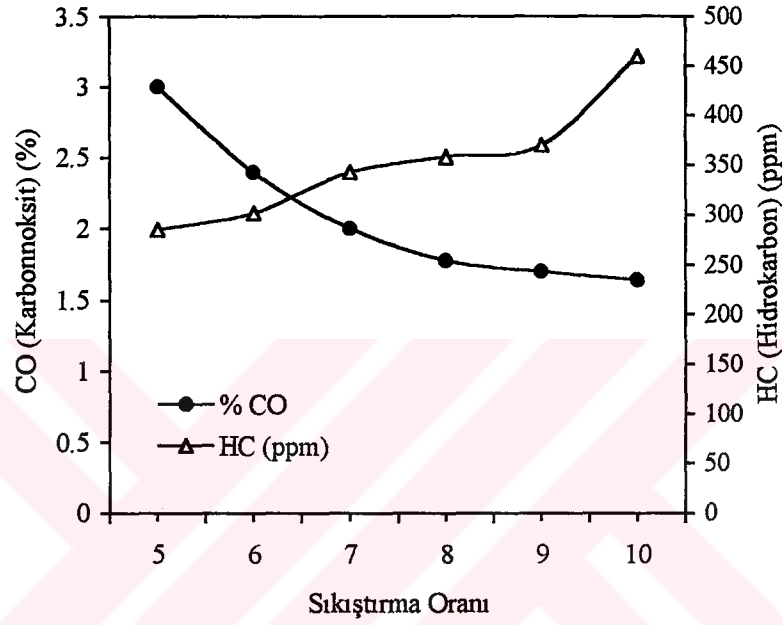
Şekil 8.5 Ateşleme avansının CO ve HC emisyonuna etkisi (2200 d/d).

Şekil 8.5'e bakıldığında ateşleme avansının HC emisyonu üzerinde CO emisyonuna göre daha etkili olduğu görülmektedir. İyi bir yanma için karışımın zamanında ateşlenmesi gerekmektedir. Yanmanın belli zamanda başlayıp, belirli bir süre içinde tamamlanması HC emisyonları açısından çok önemli olmaktadır.

8.1.5 Sıkıştırma Oranının Etkisi (E)

Sıkıştırma oranının egzoz emisyonlarına etkisi Şekil 8.6'da görülmektedir. Artan sıkıştırma oranı ile CO emisyonlarında bir miktar azalma gözlenmiştir. En büyük sıkıştırma oranında CO emisyonu %1.64 iken, en düşük sıkıştırma oranında bu değer % 2.99'a çıkmıştır. Artan sıkıştırma oranı yanma verimini artırdığından CO emisyonu azalmaktadır.

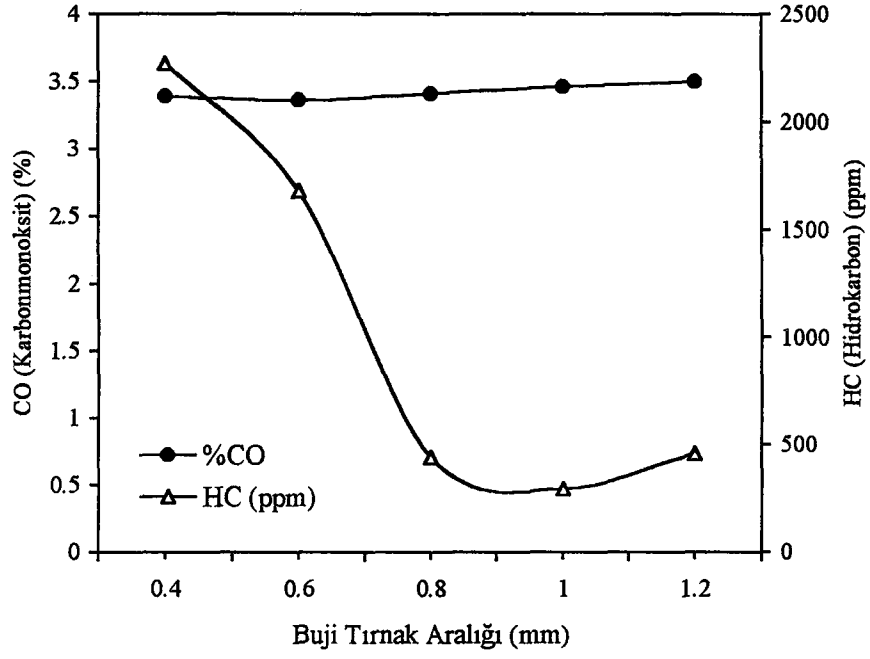
Sıkıştırma oranının artması HC emisyonlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Yüksek sıkıştırma oranlarında yanma odası yüzey/hacim oranının artmasıyla birlikte HC emisyonları da artmaktadır. Sıkıştırma oranı 5/1 de iken HC emisyonu 285 ppm iken, sıkıştırma oranı 10/1 olduğunda HC emisyonu 460 ppm'e yükselmiştir (Şekil 8.6).



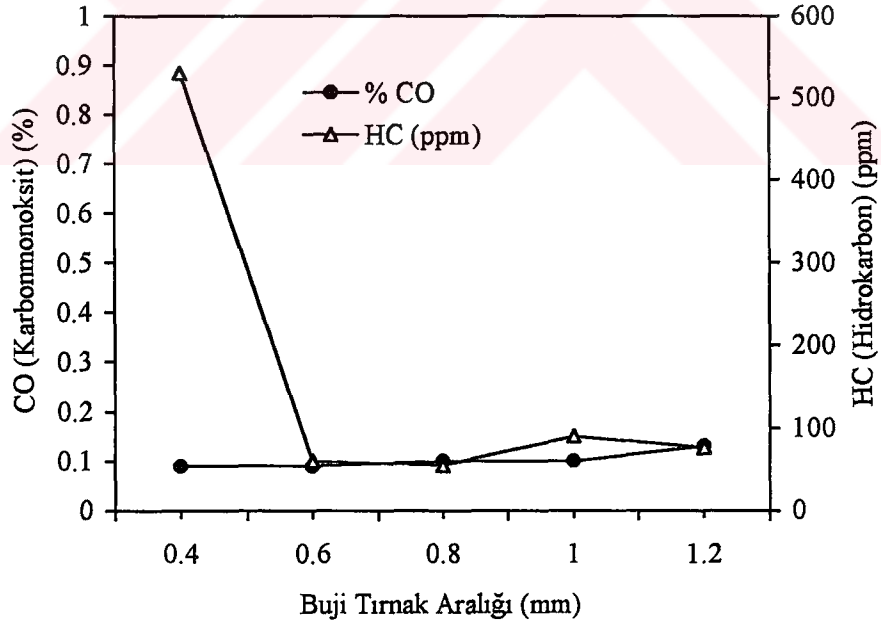
Şekil 8.6 Sıkıştırma oranının CO ve HC emisyonlarına etkisi (2200 d/d).

8.1.6 Buji Tırnak Aralığının Etkisi

Standart tırnak aralığı 0.80 mm olan Renault Fairway motorunda ölçüm için belli tırnak aralığı değerleri önceden ayarlayıp, motorda diğer parametreler değiştirilmeden deneyler yapılmıştır. Deneye başlamadan önce motor çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Ölçümler benzin ve LPG'li her iki çalışmada da gaz kelebek açıklığı değiştirilerek motorun devri önceden belirlenen motor devrine geldiğinde emisyon cihazındaki değerler kaydedilmiştir. Benzin ve LPG'li çalışmanın her ikisinde de CO emisyonunun buji tırnak aralığı değişiminden etkilenmediği görülmüştür. HC emisyonunun normal tırnak aralığından küçük değerlerde (0.40-0.60 mm tırnak aralıklarında) çok arttığı tespit edilmiştir (Şekil 8.7 ve Şekil 8.8).



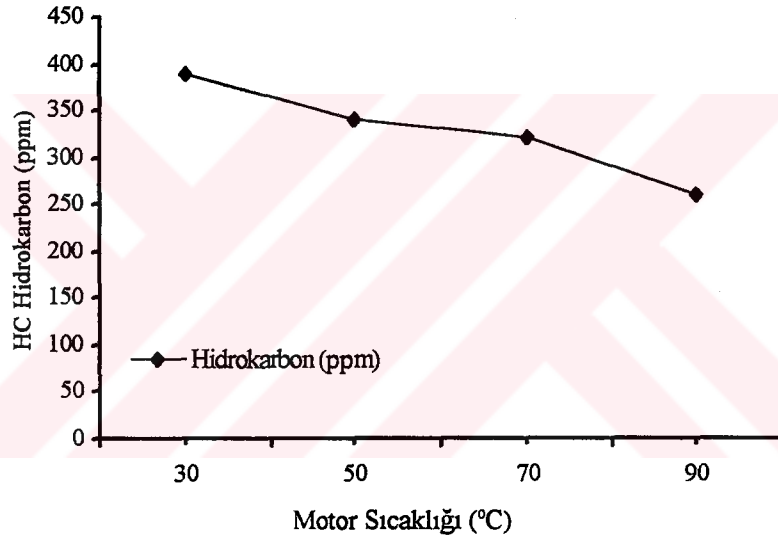
Şekil 8.7 Benzinle yapılan çalışmada buji tırnak aralığının egzoz emisyonlarına etkisi (2000 d/d).



Şekil 8.8 LPG ile yapılan çalışmada buji tırnak aralığının egzoz emisyonlarına etkisi (2000 d/d).

8.1.7 Motor Sıcaklığının Etkisi

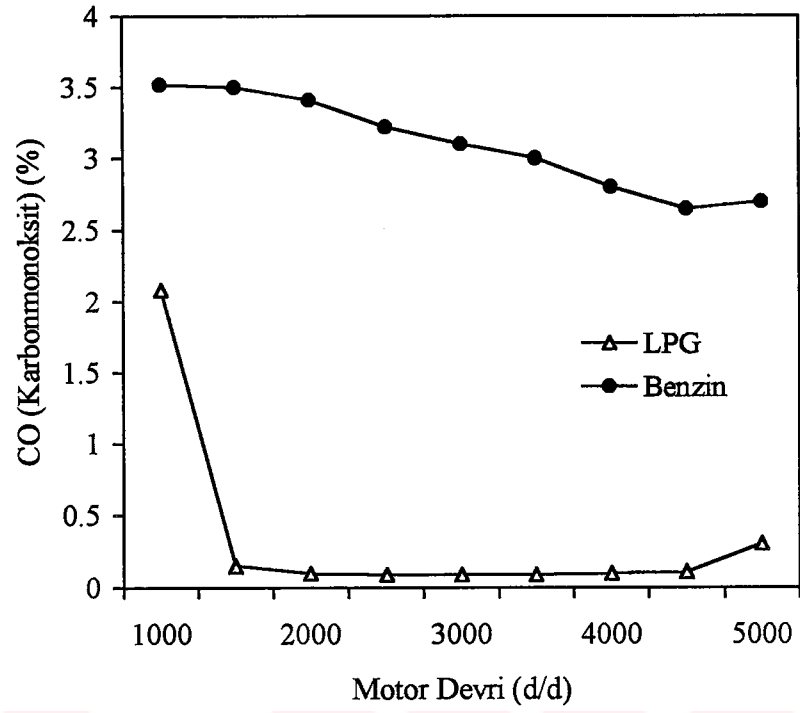
Motor sıcaklığının egzoz emisyonlarına etkisi deneyi Renault Fairway motorunda yapılmıştır. Motor sıcaklığı ölçüm değerleri önceden belirlendi. Hassas sıcaklık ölçüm aleti ile motor soğutma suyu sıcaklığı önceden belirlenen değerlere geldiğinde ölçümler alındı. Şekil 8.9’da görüldüğü gibi motor sıcaklığı arttıkça HC emisyonlarının azaldığı belirlenmiştir. Motor silindir içi sıcaklığının artması ve dolayısıyla yakıtın iyi buharlaşması neticesi HC emisyonları azalmaktadır. HC emisyonu 30 °C’e motor sıcaklığında 390 ppm değerinde iken, 90 °C’ de 260 ppm’e düşmüştür.



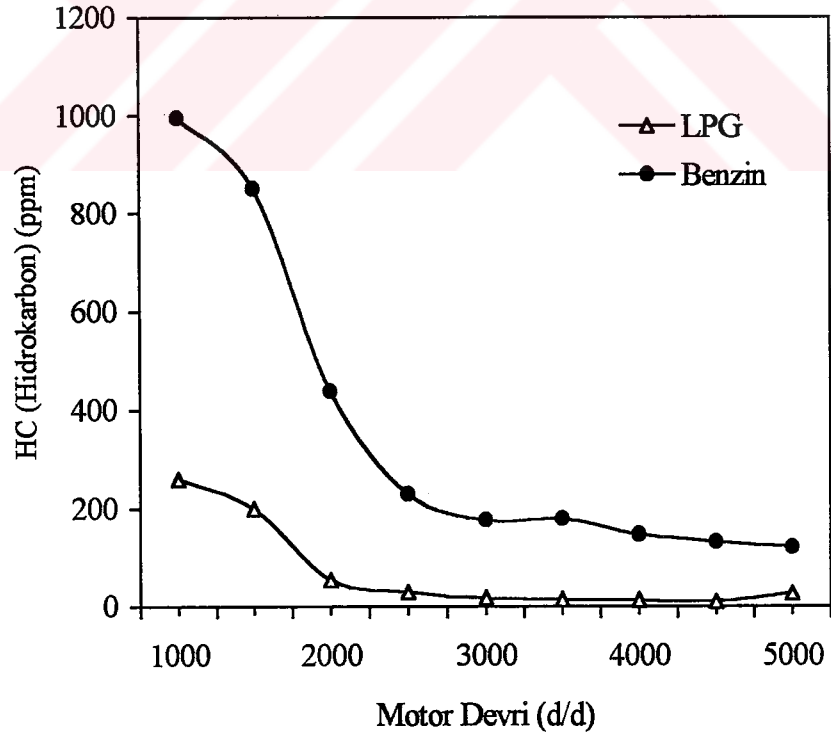
Şekil 8.9 Motor sıcaklığının HC emisyonuna etkisi (n=2000 d/d).

8.1.8 LPG Yakıtı Kullanımının Etkisi

LPG yakıtı daha iyi buharlaşması ve temiz yanması neticesinde, bezinle yapılan çalışmaya göre HC ve CO emisyonları yönünden daha düşük değerler verdiği tespit edilmiştir, Şekil 8.10 ve 8.11’de karşılaştırmalar görülmektedir.



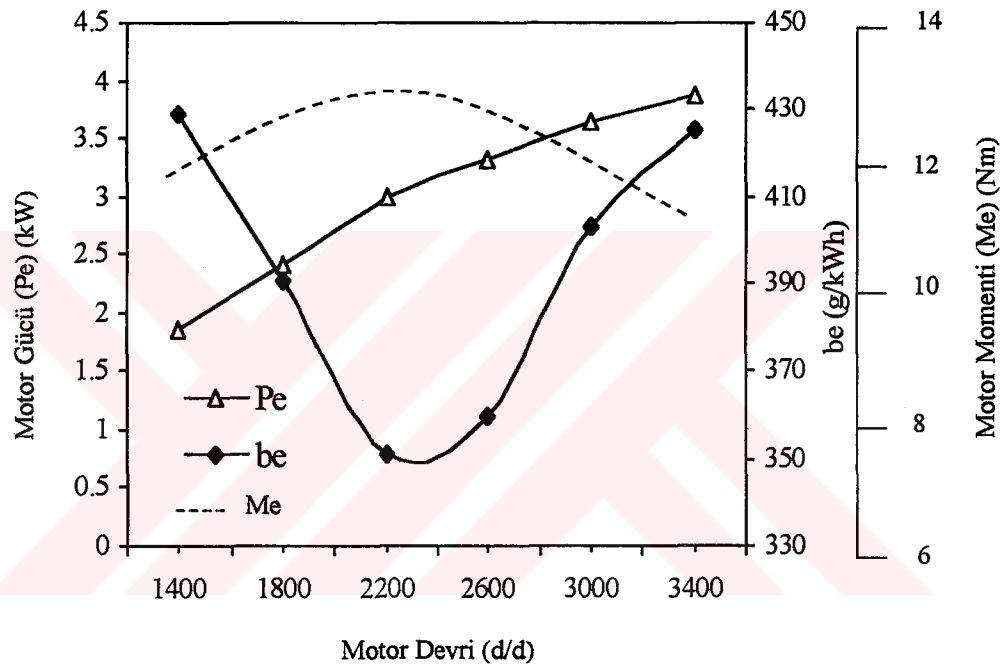
Şekil 8.10 LPG ve benzinle çalışmanın CO emisyonu yönünden karşılaştırılması.



Şekil 8.11 LPG ve benzinle çalışmanın HC emisyonu yönünden karşılaştırılması.

8.1.9 Özgöl Yakıt Tüketimi ve Motor Gücünün Belirlenmesi

Motorun genel durumu hakkında bilgi edinilmesi amacıyla bu test gerçekleştirilmiştir. İyi durumda olan bir motorda ölçülen emisyon sonuçlarının değerlendirilmesi daha anlamlı olmaktadır. Bu test; tam gaz kelebek açıklığında, HFK=1 de iken, değişik devirlerde yapılmıştır. Deney sonucunda, motorun katalogundaki değerlerine yakın değerler elde edilmiş ve motorun performansının iyi olduğu belirlenmiştir (Şekil 8.12).



Şekil 8.12 Deney motorunun motor gücü ve özgül yakıt tüketimi değişimleri.

8.2 SONUÇLAR

DSOM motorda, sabit yük ve hızda sıkıştırma oranı artıkça CO emisyonlarında azalma, HC emisyonlarında ise artış olduğu tespit edilmiştir.

Sabit devirde motorun yükü artırıldıkça basınç ve sıcaklık artışı ile birlikte HC ve CO emisyonlarının her ikisinin birden azaldığı görülmüştür.

Ateşleme avansı değiştirilerek yapılan deneylerde HC emisyonunun ateşleme avansı değişiminden etkilendiği tespit edilmiştir. Ateşleme avansı normalden daha fazla artırıldığında HC emisyonlarının arttığı belirlenmiştir.

HFK'nın egzoz emisyonlarına etkisi deneyinde HFK=1.1 değerine kadar HC ve CO emisyonlarının azaldığı, HFK=1.1 değeri ile HFK=1.2 değerleri arasında HC ve CO emisyonlarının karışımın fakirleşmesi nedeniyle tekrar artışa geçtiği görülmüştür.

Renault motorunda yapılan ölçümlerde buji tırnak aralığının normal değerinden az olması durumunda HC emisyonlarında önemli artışa neden olduğu belirlenmiştir.

LPG ile yapılan çalışmada, benzinli çalışmaya göre HC ve CO emisyonlarının önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

Renault motorunda yapılan deneyde motor soğutma suyu sıcaklığı artıkça HC emisyonunun düştüğü belirlenmiştir.

8.3 ÖNERİLER

Motor bakım ve ayarlarının periyodik olarak yaptırılması ile egzoz emisyonu değerleri daha aşağıya çekilebilir. Karbüratörlü motorlarda ateşleme avansı, buji tırnak aralığı, rölanti karışım ayarı gibi ayarların özenle yapılması emisyonların düşürülmesi bakımından çok önemlidir.

Motorların soğuk çalışmasını engelleyebilen ve soğutma suyunu motor çalışmadan önce zamanlayıcı bir sistemle sıcak tutabilen sistemlerin kullanılması halinde soğuk çalışmadaki zararlı emisyonlar azaltılabilir.

Fosil esash olmayan daha çevreci, etanol, metanol ve hidrojen gibi alternatif yakıtların kullanılması özendirilebilir.

Fakir karışimli yüksek sıkıştırma oranlı motora sahip taşıtların kullanılmasıyla HC ve CO emisyon değerlerinde önemli iyileşmeler sağlanabilir.

Emisyon seviyesi düşük olan elektronik kontrollü yakıt sistemine sahip motorlu taşıtların kullanımının yaygınlaştırılması ile çevre kirliliği daha da azaltılabilir.

Taşıtların değişik yol ve hız koşullarında çalışması durumunda emisyon seviyeleri de değişmektedir. Dolayısıyla bir aracın sadece relanti çalışmasındaki emisyon değerlerine bakılarak aracın emisyon bakımından iyi durumda olup olmadığını karar verilmemelidir.

Türkiye’de trafikte kullanılan araçlar için getirilen emisyon sınır değerleri Avrupa ülkelerine göre çok yüksektir. Bu değerlerin aşağı çekilmesi çevre kirliliğinin azalmasına katkıda bulunabilir. Çevre Bakanlığının denetimi altında yapılan trafikteki taşıtların egzoz emisyonunun periyodik kontrolü Avrupa ülkelerindeki standartlara göre yapılmalıdır.

Taşıtların çevre kirlenmesindeki büyük rolü dikkate alındığında, egzoz emisyonlarındaki küçük bir iyileşmenin çevre kirliliğinin azalmasında önemli katkıları olacağı unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- Aktaş, N.** (2000) *Benzinli Motorlarda LPG Kullanımının Güç ve Emisyon Açısından İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı, Ankara, 39 s.
- Anon.** (1994) *Automobil Emissions: An Overview* , EPA 400-F-92-007, Fact Sheet OMS p.51 (www.epa.gov/OMSWWW/05-autos.htm)
- Anon.** (2000) *LPG Otogaz Sempozyumu Sonuç Bildirgesi*, (16 Aralık 2000-İstanbul) TMMOB Makina Mühendisleri Odası, İstanbul.
- Arslan, E., Ergeneman, M. ve Soruşbay, C.** (1991) *Hidrojenin İçten Yanmalı Motorlarda Yakıt Olarak Kullanımı*, İTÜ Ulaştırma ve Ulaşım Araçları Uygulama ve Araştırma Merkezi-Araştırma Fonu Projesi Raporu, İstanbul.
- Arslan, E. ve Soruşbay, C.** (1989) *Hidrojenin Binek Otomobillerinde Kullanımı ve Depolama Yöntemleri, II. Otomotiv ve Yan Sanayii Sempozyumu*, Bursa.
- Arslan, H.** (1996) *Taşıt Egzoz Emisyonları ve İ.T.Ü. Motorlar ve Taşıtlar Laboratuvarlarında 1993-1995 Yılları Arasında Yapılan Ölçümlerin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı, İstanbul, 16 s.
- Arslan.R., Karamangil, M. İ. ve Avcı. A.** (1999) *Emisyon Ölçüm Cihazlarının Kullanımına Ait Genel Problemler ve Çözüm Önerileri, 6. Uluslar Arası Yanma Sempozyumu*, İstanbul, s. 389-394.
- Ayhaner, M.** (2000) *Modern Taşıt Teknolojinde Emisyon Azaltma Yöntemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı, Bursa, s. 28, 29, 30, 39, 40.

- Balki, M. K.** (2003) *Buji İle Ateşlemeli Motorlarda EGR(Egzoz Gazı Resirkülasyonu) Sistemlerinin Kullanılması*, Seminer Çalışması, Z. K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Zonguldak, s.16-19 .
- Bayındır, H., İlkılıç, C. ve Sarsılmaz, C.** (1997) Yerli Otomobillerde LPG Kullanımı. 1. *Uluslar arası Katılımlı Otomotiv Teknolojisi Kongresi*, Adana, s.92-93.
- Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A.** (1992), *Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği*, T.E.V. Yayınları-3, İstanbul/Ankara/Bursa, s. 59-92.
- Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A.** (1992), *Yanma Bilgisi* , T.E.V. Yayınları, İstanbul, 41 s.
- Bosh.** (1993) Yakıt Sistemleri El Kitabı, Printed in Gamany, 2. Agusgabe, Agust 1993, 53p.
- Bosch.** (1995) *Automotive Electiric/Eletronik Systems*, Bosh, 22 p.
- Büyüktür, A.R.** (1991) *Termodinamik*, Uludağ Üniversitesi Yayını, Cilt 2, Bursa, 511s.
- Crouse, H. W. and Anglin, D. L.** (1983) *Automotive Emission Control*. Thirt Edition, p. 35-42
- Çelik, M. B.** (1999) *Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, s.7.
- Çelik, H. A.** (1987) *Motorlarda Ve Motorlu Taşıtlarda Yakıt Ekonomisi*, Yüksek Lisans Tezi, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı, İstanbul.

- Çelik, H. A. ve Tekin. M.** (1989) Motorların (BAM) Relanti Çalışmalarında Yanma Verimi ve Yakıt Ekonomisine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi, *2. Uluslar Arası Yanma Sempozyumu*, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, s. 315-322, 319.
- Çelikten, İ.** (1993) Benzinli Motorlarda Fakir Karışımın Yakıt Tüketimi, Egzoz Emisyonları ve Performans Yönünden İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi*, Cilt:4, Sayı:1-2, s.115-122.
- ÇKV.** (1995) Ankara İli Çevre Koruma Vakfı, *Motorlu Kara Taşıtlarında Kaynakları Hava Kirliliğinin Önlenmesi Paneli*, 33 s.
- Dinler, N.** (2001) *Benzin Motorlarında Yakıt Olarak LPG Kullanılması ve Katalitik Konvektör Uygulamasının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Olan Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, s. 9-91-93.
- Dinler, N. ve Yücel, N.** (2002) Benzin ve LPG Kullanılarak İki Farklı Motorun Egzoz Emisyon Davranışlarının Deneysel İncelenmesi, *7. Uluslar Arası Yanma Sempozyumu*, Ankara, s.242-243.
- Durgun, O.** (1988) Motorlarda Petrol Yerine Kullanılabilecek Yakıtlar, *Mühendis ve Makine*, Cilt 29, Sayı 36, 25s.
- Ergemen, M. S.** (1996) Benzinli Motorlu Taşıtların LPG Kullanımına Dönüşümü, *Mühendis ve Makine*, Sayı 441.
- Gruder, D.** (1979) *Exhaust Emission and Fuel Combustion of on I.C. Engine Operating With Lean Mixture*. Institute of Mechanical Engineering, p.11.
- Heywood, J. B.** (1988) *Internal Combustion Engine Fundamentals*, Mc Graw-Hill Book Company, p. 840-841.

İşıksoluğu, M. A. (2001) *Benzin Motorlarında Yakıt Püskürtme Sistemleri*, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, s. 7-11.

İçingür, Y., Batmaz, İ. ve Murcak, A. (2002) Hidrojenin İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılma Olanaklarının İncelenmesi, *7. Uluslar Arası Yanma Sempozyumu*, 17-18 Temmuz, Ankara, s.148-158.

Keskin, A. (1997) *Buji Ateşlemeli Bir Motorun Doğal Gazlıya Dönüşümünün Performans ve Emisyonlara Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Kütahya, 2 s.

Kılıçarslan, G. ve Kolip, A. (2002) İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Enerji Olarak Kullanılabilecek, Alkol ve Hidrojenin İncelenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Temmuz 2002, Cilt 6, Sayı 2, 43 s.

Korkmaz, İ. (1996) *Benzin ve Metanol Yakıtlı Buji Ateşlemeli Motorlarda Performans Ve Emisyon Karakteristiklerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı, İstanbul, s.4

Kutlar, O. A., M, Ergeneman., H, Arslan. ve M, Mutlu. (1998) *Taşıt Egzozundan Çıkan Kirleticiler*, Birsan Yayınevi, İstanbul

K, Matsumoto., T, İnoe., K, Makansiski. and T, Okumara. (1978) *The Effects of Combustion Chamber Desing and Compression Ratio on Emission, Fuel Economy and Octain Number Requirement* SAE. p. 887-888.

M, Ciniviz., C, Haşımoğlu., C, Çınar. ve T, Topgül. (2002) *Dizel Motorlarındaki Emme Manifoldundaki (CO₂) Konsantrasyonu Egzoz Emisyonlarına Etkileri*, *7.Uluslar Arası Yanma Sempozyumu*, Ankara, 218s.

OSD. (1997) *Otomobil Sanayicileri Derneği, Çevre ve Otomotiv Sanayii*, 4 s.

- Safgönül, B., Ergeneman, H., Arslan, C. ve Soruşbay, C. (1995) *İçten Yamalı Motorlar*, Birsen Yayınevi, s.139-140.**
- Salman, S., Altıparmak, D., İçingür, Y. ve Koca, A. (1997) Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Çeşitli Parametrelerin Yanma Hızı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, 1. Uluslar Arası Katılımlı Otomotiv Teknolojisi Kongresi, 199 s.**
- Soruşbay, C. ve Arslan, E. (1988) Hidrojen Yakıtlı içten Yanmalı Motorlarda Yanma Performansı, *Mühendis ve Makina Dergisi*, Cilt 29, Sayı 339, 23 s.**
- Tekgüler, M. (1992) *Motorlu Araç Teknolojisi*, İstanbul, s.396-398.**
- Telli, Z. K. (1998) *Yakıtlar ve Yanma*, Palme Yayıncılık, Ankara, 3.Baskı, s.26-28.**
- Tofaş. (1997) *Seviye Motor Eğitimi*, Tofaş Oto Ticaret A.Ş. Teknik Eğitim Merkezi, Bursa, s.170-185.**
- Toyota. (1992) *Emisyon Kontrol Sistemleri*, Toyota Yayın No: Tr 0007 E20292,**
- TSE. (1991) Türk Standartları Enstitüsü, *İçten Yanmalı Motorlar Muayene ve Deney Esasları*, TSE-1231, Ankara.**
- TSE. (2000) Türk Standartları Enstitüsü, *Motorlu Taşıtlar*, TSE-ECE R-15, Ankara.**

EK AÇIKLAMALAR A
DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARINA AİT ÇİZELGELER

Çizelge A.1 Motor momentinin emisyonlara etkisi deney sonuçları n=2200 d/d,
 $\epsilon=8/1$, G.K.A= 1/1, HFK=1.

(F) Motor Momenti (Nm)	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)	HFK
2	4.70	11.00	645	3.52	1
4	4.15	12.00	565	2.78	1
6	2.85	13.05	440	2.31	1
8	2.50	13.25	405	2.04	1
10	2.10	13.55	329	1.85	1

Çizelge A.2 Hava Fazlalık Katsayısının emisyonlara etkisi deney sonuçları
 $n=2200\text{d/d}$, $\varepsilon=8/1$, $G.K.A= 1/1$.

HFK	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)
0.8	9.53	10.14	506	0.94
0.9	5.45	12.75	422	0.98
1	1.78	14.80	358	1.30
1.1	0.14	15.09	341	2.30
1.2	0.17	13.50	350	4.29

Çizelge A.3 Ateşleme avansının emisyonlara etkisi deney sonuçları $n=2200\text{ d/d}$,
 $\varepsilon=8/1$, $G.K.A= 1/1$.

A.A	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)	HFK
15 ⁰	3.00	13.92	334	1.02	1
20 ⁰	2.80	13.80	300	1.91	1
25 ⁰	2.65	13.75	295	1.70	1
30 ⁰	2.68	13.65	305	1.43	1
35 ⁰	2.70	13.60	318	2.00	1
40 ⁰	2.80	12.85	330	2.28	1

Çizelge A.4 Sıkıştırma oranının emisyonlara etkisi deney sonuçları GKA=1/1, HFK=1.

ε	N (d/d)	CO (%)	CO₂ (%)	HC (ppm)	O₂ (%)
10/1	2200	1.64	12.82	460	2.50
9/1	2200	1.70	14.45	370	1.50
8/1	2200	1.78	14.80	358	1.30
7/1	2200	2.00	14.85	343	1.08
6/1	2200	2.40	13.05	302	2.06
5/1	2200	2.99	13.50	285	1.85

Çizelge A.5 Buji tırnak aralığının emisyonlara etkisi deney sonuçları. Buji tırnak aralığı=0.40 mm, motor sıcaklığı=90 °C.

Motor Devri d/d)	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)	λ
1000	3.45	8.07	2400	5.20	1.10
1500	3.40	7.90	2300	4.87	1.04
2000	3.39	7.71	2270	4.82	1.03
2500	3.24	7.83	2042	4.40	0.94
3000	3.20	8.44	805	1.33	0.88
3500	3.13	9.18	428	0.84	0.86
4000	3.01	9.38	410	0.80	0.88
4500	3.12	9.35	350	0.80	0.87
5000	3.35	9.50	150	0.47	0.87

Çizelge A.6 Buji tırnak aralığının emisyonlara etkisi deney sonuçları. Buji tırnak aralığı=0.60 mm, motor sıcaklığı=90 °C.

Motor devri (d/d)	CO (%)	CO₂ (%)	HC (ppm)	O₂ (%)	λ
1000	3.60	9.08	1955	2.00	0.94
1500	3.38	7.92	1800	3.94	0.99
2000	3.36	8.30	1680	3.13	1.00
2500	3.15	8.15	1295	2.80	0.93
3000	3.00	8.18	765	1.90	0.87
3500	3.10	9.05	480	0.77	0.85
4000	3.15	8.92	350	0.69	0.85
4500	3.40	8.75	235	0.49	0.83
5000	3.65	8.70	235	0.47	0.83

Çizelge A.7 Buji tırnak aralığının emisyonlara etkisi deney sonuçları. Buji tırnak aralığı=0.80 mm, motor sıcaklığı=90 °C.

Motor devri (d/d)	CO (%)	CO₂ (%)	HC (ppm)	O₂ (%)	λ
1000	3.52	9.65	995	3.45	1.00
1500	3.50	9.07	850	3.07	1.00
2000	3.41	9.53	440	1.33	0.92
2500	3.22	9.13	230	0.93	0.88
3000	3.10	8.70	177	0.66	0.85
3500	2.95	9.25	160	0.39	0.85
4000	2.80	9.66	148	0.44	0.87
4500	2.65	9.90	132	0.44	0.87
5000	2.70	10.00	122	0.39	0.89

Çizelge A.8 Buji tırnak aralığının emisyonlara etkisi deney sonuçları. Buji tırnak aralığı=1.00 mm, motor sıcaklığı=90 °C.

Motor devri (d/d)	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)	λ
1000	3.69	9.25	491	2.73	1.00
1500	3.51	9.09	470	1.85	0.93
2000	3.46	9.37	295	1.08	0.90
2500	3.37	9.27	229	0.99	0.89
3000	3.23	8.95	180	0.74	0.85
3500	3.18	9.36	175	0.42	0.86
4000	3.17	9.16	157	0.47	0.85
4500	3.26	9.47	147	0.47	0.86
5000	3.37	9.51	139	0.44	0.87

Çizelge A.9 Buji tırnak aralığının emisyonlara etkisi deney sonuçları. Buji tırnak aralığı=1.20 mm, motor sıcaklığı=90 °C.

Motor devri(d/d)	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)	λ
1000	3.93	10.08	526	1.75	1.00
1500	3.90	9.60	522	1.39	0.93
2000	3.50	9.59	458	1.08	0.91
2500	3.76	9.20	199	0.98	0.88
3000	3.55	8.65	195	0.60	0.83
3500	3.40	9.27	190	0.43	0.86
4000	3.23	8.90	175	0.47	0.84
4500	3.34	8.91	161	0.49	0.84
5000	3.39	8.88	152	0.42	0.84

Çizelge A.10 LPG’li çalışmada BTA’nın emisyonlara etkisi deney sonuçları.
BTA=0.40 mm, motor sıcaklığı= 90 °C.

Motor devri (d/d)	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)	λ
1000	2.25	8.38	1600	2.50	1.03
1500	0.11	9.50	1400	3.20	1.11
2000	0.09	9.35	530	4.00	1.21
2500	0.09	9.80	200	3.00	1.17
3000	0.08	10.07	90	2.65	1.15
3500	0.08	10.46	20	1.99	1.11
4000	0.08	10.65	10	1.57	1.09
4500	0.08	10.83	9	1.23	1.07
5000	0.20	11.00	30	1.00	1.00

Çizelge A.11 LPG’li çalışmada BTA’nın emisyonlara etkisi deney sonuçları.
BTA=0.60 mm, motor sıcaklığı= 90 °C.

Motor devri (d/d)	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)	λ
1000	2.60	8.65	300	1.76	1.00
1500	0.30	10.50	240	1.60	1.06
2000	0.09	9.80	60	3.03	1.18
2500	0.09	10.00	27	2.90	1.16
3000	0.09	10.18	17	2.50	1.14
3500	0.09	10.41	11	2.00	1.11
4000	0.11	10.85	11	1.17	1.06
4500	0.11	10.93	9	0.90	1.04
5000	0.21	11.00	9	0.71	1.02

Çizelge A.12 LPG’li çalışmada BTA’nın emisyonlara etkisi deney sonuçları.
BTA=0.80 mm, motor sıcaklığı= 90 °C.

Motor devri (d/d)	CO (%)	CO₂ (%)	HC (ppm)	O₂ (%)	λ
1000	2.08	9.60	260	1.82	1.00
1500	0.15	10.25	200	2.00	1.11
2000	0.10	9.55	55	3.49	1.21
2500	0.09	9.60	30	3.40	1.20
3000	0.09	10.00	17	2.80	1.17
3500	0.09	10.20	14	2.26	1.13
4000	0.10	10.68	13	1.43	1.08
4500	0.11	10.78	10	1.25	1.06
5000	0.30	10.89	27	0.86	1.04

Çizelge A.13 LPG’li çalışmada BTA’nın emisyonlara etkisi deney sonuçları.
BTA=1.00 mm, motor sıcaklığı= 90 °C.

Motor devri (d/d)	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)	λ
1000	2.00	9.00	220	1.75	1.00
1500	0.25	10.56	170	1.50	1.06
2000	0.10	10.20	60	2.44	1.15
2500	0.10	10.00	35	2.93	1.17
3000	0.09	10.22	23	2.60	1.15
3500	0.10	10.45	19	2.12	1.12
4000	0.11	10.86	18	1.38	1.07
4500	0.11	10.90	18	1.26	1.06
5000	0.30	11.20	16	1.10	1.00

Çizelge A.14 LPG’li çalışmada BTA’nın emisyonlara etkisi deney sonuçları.
BTA=1.20 mm, motor sıcaklığı= 90 °C.

Motor devri (d/d)	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)	λ
1000	2.10	9.12	316	1.80	1.00
1500	0.15	10.14	220	2.20	1.10
2000	0.13	9.35	76	4.00	1.24
2500	0.10	9.50	35	3.40	1.21
3000	0.09	9.95	22	3.00	1.17
3500	0.09	10.15	17	2.45	1.14
4000	0.10	10.45	14	2.00	1.10
4500	0.11	10.73	12	1.43	1.07
5000	0.14	10.90	23	0.90	1.04

Çizelge A.15 Motor sıcaklığının emisyonlara etkisi. n=2000 d/d, G.K.A=0 (Boşta çalışma).

Motor Sıcaklığı (°C)	HFK	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)
30 ⁰	1.05	3.90	9.72	391	1.25
50 ⁰	1.05	4.00	9.25	340	1.19
70 ⁰	1.06	3.95	9.05	320	1.20
90 ⁰	1.07	3.80	9.00	260	1.50

Çizelge A.16 Motor gücü ve özgül yakıt tüketimi ölçüm sonuçları. G.K.A=1/1, HFK=1.

Motor Devri d/d	Motor Momenti (Nm)	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Motor Gücü (kW)
1400	12.67	432.17	1.85
1800	12.88	390.45	2.42
2200	13.02	351.17	2.99
2600	12.18	398.79	3.32
3000	11.62	402.73	3.65
3400	10.92	425.25	3.88

ÖZGEÇMİŞ

1965 Yılında Kırşehir’de doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Kırşehir’de tamamladı. 1986 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalında yüksek öğrenimine başladı. 1990 yılında mezun oldu. Aynı yıl Eskişehir Motor Anadolu Teknik ve Meslek Lisesine öğretmen olarak atandı. 1998 yılında Abant İzzet Baysal Üniversitesi Gerede Meslek Yüksekokulu Otomotiv Programı’na öğretim görevlisi olarak geçiş yaptı. 2001’de girdiği ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.