

**BENZİNLİ MOTORLARDA
YAKIT OLARAK LPG KULLANILMASI VE
KATALİTİK KONVERTÖR UYGULAMASININ
MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA
OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

114583

Nureddin DİNLER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ)**

114583

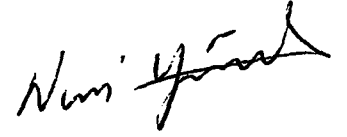
**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Ocak 2001

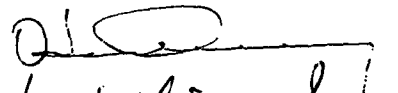
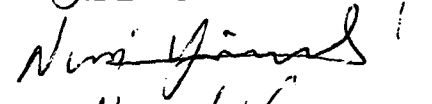
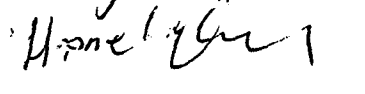
ANKARA

Nureddin DİNLER tarafından hazırlanan BENZİNLİ MOTORLARDA YAKIT OLARAK LPG KULLANILMASI VE KATALİTİK KONVERTÖR UYGULAMASININ MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

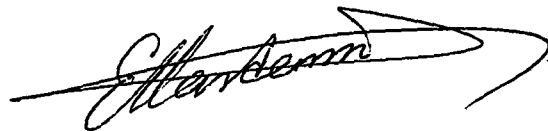


Prof.Dr. Nuri YÜCEL
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Ali DURMAZ 
Üye : Prof. Dr. Nuri YÜCEL 
Üye : Prof. Dr. Haşmet TÜRKÖĞÜLLÜ 
Üye :
Üye :

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	15
3. DENEY YAKITLARININ ÖZELLİKLERİ	24
3.1. Benzinin Karakteristik Özellikleri	24
3.1.1. Uçuculuk	24
3.1.1.1. Buhar basıncı	24
3.1.1.2. Damıtma eğrisi	25
3.1.1.3. Buhar-sıvı oranı	25
3.1.2. Vuruntuya karşı direnç	26
3.1.3. Zamk ve vernik oluşturmamak	27
3.1.4. Korozyon özelliği	28
3.2. LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)'nin Özellikleri	28
3.2.1. Buhar basıncı	28
3.2.2. Vuruntuya karşı direnç	30
3.2.3. Diğer özellikler	30
3.2.4. LPG'nin avantaj ve dezavantajları	31

3.2.4.1	LPG'nin araç kullanıcılarına göre avantaj ve dezavantajları	31
3.3.	İçten Yanmalı Motorlarda Yanma	32
3.3.1.	Silindir içindeki karışım	32
3.3.2	Yakıtın Isıl Değeri	33
3.3.3.	Adyabatik Alev Sıcaklığı	35
3.3.4.	Disosiyasyon	35
4.	LPG DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ VE ELEMANLARI	36
4.1.	LPG Dönüşüm Sistemleri	36
4.1.1.	Birinci nesil LPG dönüşüm sistemleri	36
4.1.2.	İkinci nesil LPG dönüşüm sistemleri	37
4.1.3.	Üçüncü nesil LPG dönüşüm sistemleri	38
4.2.	LPG Yakıt Dönüşüm Sisteminin Elemanları	38
4.2.1.	LPG deposu ve montajı	39
4.2.2.	Multivalf (Çokluvalf)	41
4.2.3.	LPG-Benzin yakıt seçme anahtarı	43
4.2.4.	LPG selenoid valfi	45
4.2.5.	Benzin selenoid valfi	47
4.2.6.	LPG buharlaştırıcı (Regülatör)	48
4.2.7.	Gaz ayar vanası	49
4.2.8.	Karıştırıcı (Mikser)	49
4.2.9.	İletim elemanları	52
4.2.9.1.	Bakır borular	52
4.2.9.2.	Hortumlar	52
5.	KATALİTİK KONVERTÖRLER	54
5.1.	Katalitik Konvertörlerin Yapısı	54
5.2.	Reaksiyonlar	56

5.3.	Katalitik Konvetörlü Sistemlerin Elemanları	58
5.4.	Katalitik Konvertörlerde Verim	59
5.5.	Katalitik Konvertörlerde Isı ve Kütle Transferi	61
6.	DENEYSEL APARATLAR VE HAZIRLANIŞLARI	63
6.1.	Deney Seti	63
6.1.1.	Motor	64
6.1.2.	Dinamometre	65
6.1.3.	Yakıt sistemi	66
6.1.3.1.	Benzin yakıt sistemi	66
6.1.3.2.	LPG yakıt sistemi	66
6.1.4.	Soğutma sistemi	67
6.1.5.	Katalitik konvertör	67
6.1.6.	Egzoz gazı analiz cihazları	68
6.1.7.	Avans ölçüm cihazı	68
6.1.8.	Yakıt tüketimi ölçme cihazları	68
6.2.	Çeşitli Motor Karakteristikleri ve Hesaplamaları	69
6.2.1.	Motor torku	69
6.2.2.	Mil gücü	69
6.2.3.	Mil özgül yakıt tüketimi	70
6.2.4.	Mil verimi	71
7.	DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	72
7.1.	Deney Yöntemi ve Ölçümler	72
7.2.	Deneysel Bulgular (Sonuçlar)	72
7.2.1.	Performans deneylerinin sonuçları	73
7.2.1.1.	Motor torku	73
7.2.1.2.	Mil gücü	77

7.2.1.3.	Mil özgül yakıt tüketimi	80
7.2.1.4.	Mil verimi	83
7.2.2.	Emisyon deneylerinin sonuçları	86
7.2.2.1.	Karbonmonoksit (CO) emisyonu	87
7.2.2.2.	Yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonu	91
7.2.2.3.	Azotoksit (NO _x) emisyonu	94
7.3.	Katalitik Konvertörün Dönüştürme Veriminin İncelenmesi	98
7.3.1.	Karbonmonoksit dönüştürme verimi	98
7.3.2.	Hidrokarbon dönüştürme verimi	100
7.3.3.	Azotoksit dönüştürme verimi	101
8.	SONUÇ	104
KAYNAKLAR		107
EKLER		110
ÖZGEÇMİŞ		123

**BENZİNLİ MOTORLARDA YAKIT OLARAK LPG KULLANILMASI
VE
KATALİTİK KONVERTÖR UYGULAMASININ MOTOR
PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA OLAN ETKİSİNİN
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Nureddin DİNLER

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Aralık 2000

ÖZET

Bu çalışmada, buji ateşlemeli motorlarda egzoz emisyonlarını azaltıcı çözümlerden alternatif yakıt (LPG) ve katalitik konvertör uygulamaları incelenmiştir. Deneylerde 4 zamanlı, 4 silindirli buji ateşlemeli Ford marka motor kullanılmıştır. Önce motora LPG dönüşümü yapılarak farklı ateşleme avansı değerlerinde motor performansı ve egzoz emisyonlarının davranışı incelenmiştir. Daha sonra egzoz sistemine katalitik konvertör monte edilerek LPG ve kurşunsuz benzin ile deneyler yapılmıştır. Katalitik konvertörün motor performansı ve egzoz emisyonlarının üzerine olan etkisi incelenmiş ve kıyaslanmıştır.

Motor performansını belirlemek için yapılan deneylerde, motor tam açık gaz keleşbeği konumunda hidrolik dinamometre ile yükelenerek kademeli olarak devir sayısı değiştirilerek yapılmıştır.

Egzoz emisyonlarının davranışını belirlemek için yapılan deneylerde ise, motor 40 dev/s (2400 dev/dak) sabit hızda tutularak motor yükü (%0 - %100 yük arasında) değiştirilerek yapılmıştır. Deneyler dört farklı ateşleme avansı değerinde kurşunsuz benzin ve LPG için ayrı ayrı tekrarlanmıştır.

LPG ile çalışmada motorun torku, mil gücü kurşunsuz benzin ile çalışmaya göre bir miktar daha düşüktür.

Egzoz sistemine katalitik konvertör monte edildikten sonra motor torku, mil gücü değerlerinde %5 civarında azalma olmaktadır. Mil özgül yakıt tüketiminde %5-10 artış olmakta, mil veriminde ise azalma olmaktadır.

Katalitik konvertörden sonra CO, HC emisyonları etkili bir şekilde azaltılırken; NOx emisyonu kapalı devre katalizör sistemi kullanılmadığından dolayı diğer gazlar kadar etkili dönüştürülememektedir.

Ayrıca, katalitik konvertörün dönüştürme verimi de incelenmiştir. Sonuçlar grafikler şeklinde sunulmuştur.

Bilim Kodu	: 625.05.03
Anahtar Kelimeler	: LPG, Katalitik konvertör, İçten yanmalı motor
Sayfa Adedi	: 119
Tez Yöneticisi	: Prof.Dr. Nuri YÜCEL

**APPLICATION OF CATALYTIC CONVERTER TO SI ENGINES,
WHICH ARE FUELLED BY GASOLINE AND LPG, AND ITS
EFFECTS TO ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST
EMISSIONS
(M.Sc. Thesis)**

Nureddin DİNLER

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
December 2000**

ABSTRACT

In this study, applications of alternative fuel (LPG) and catalytic converter, spark ignition engines emission-reducing solutions, were investigated. Experimental studies were conducted on a 4-cylinder, 4-stroke, Ford brand spark ignition engine. First, the engines converted to be fuelled with LPG and at different spark timing values, engine performance and exhaust emissions behavior were characterized. After the catalytic converter was mounted on the exhaust system, experiments were done for LPG and unleaded gasoline. Effects of catalytic converter on engine performance and exhaust emissions were characterized and compared with each other.

Experiments to characterize the performance of engine were performed on engine at wide-open throttle position. Engine speed was changed with loading by hydraulic dynamometer.

Experiments to characterize the behavior of exhaust emissions were performed on engine at steady speed (2400 rpm) and engine load was changed between 0% - 100% load. Experiments were performed for unleaded gasoline and LPG at for different spark timing values.

The engine operation with LPG, torque and brake power is less than the engine operation with unleaded gasoline.

After the installation of catalytic converter on exhaust system, a decrease about 5 % was measured in torque and brake power. There was an increase in brake specific fuel consumption about 5-10 %, and decrease in brake efficiency.

After the catalytic converter CO, HC emissions were reduced effectively; but NO_x emissions could not be converted efficiently because of the absence of closed loop catalytic converter system.

Furthermore, conversion efficiency of catalytic converter was determined. Results were presented as graphics.

Science Code	: 625.05.03
Keywords	: LPG, Catalytic converter, Internal combustion engine
Page Number	: 123
Adviser	: Prof. Dr. Nuri YÜCEL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarında beni yönlendiren ve emeğini esirgemeyen danışmanım Sayın Prof.Dr. Nuri YÜCEL'e, laboratuvar çalışmalarında her türlü yardımda bulunan Sayın Süleyman AKYOL'a ve Dr. Hüseyin TOPAL'a; LPG dönüşüm sistemi için Sayın Fatih DEMİREL'e (DEMTAŞ A.Ş.) teşekkür ederim. Çalışmalarım süresince emeği geçen Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma ve teknik personeline de ayrıca teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince verdikleri destekten ve sabırlarından dolayı aileme sonsuz teşekkürler.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Dünya’da LPG kullanan araçların ülkelere göre dağılımı	11
Çizelge 1.2. Avrupa ülkelerinde yaz ve kış aylarında LPG içerisindeki propan ve bütan oranları	12
Çizelge 2.1. Lindner et al.’in kullandıkları washcoat özellikleri	20
Çizelge 3.1. Benzin, propan ve bütanın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	30

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Buji ateşlemeli motorların emisyonlarının yakıt fazlalık katsayısı ile değişimi.....	9
Şekil 1.2. Türkiye’de kurşunlu ve kurşunsuz benzin tüketiminin yıllara göre değişimi.....	14
Şekil 2.1. (a) 2000 dev/dak’daki LPG ve benzin ile çalışma durumundaki motor çıkışı karbonmonoksit emisyonları (b) 4000 dev/dak’daki LPG ve benzin ile çalışma durumundaki motor çıkışı karbonmonoksit emisyonları.....	16
Şekil 2.2. (a) 2000 dev/dak’daki LPG ve benzin ile çalışma durumundaki motor çıkışı yanmamış hidrokarbon emisyonları (b) 4000 dev/dak’daki LPG ve benzin ile çalışma durumundaki motor çıkışı yanmamış hidrokarbon emisyonları	16
Şekil 2.3. (a) 2000 dev/dak’daki LPG ve benzin ile çalışma durumundaki motor çıkışı azotoksit emisyonları (b) 4000 dev/dak’daki LPG ve benzin ile çalışma durumundaki motor çıkışı azotoksit emisyonları	17
Şekil 2.4. (a) 2000 dev/dak’daki LPG ile çalışma durumundaki katalitik konvertörün dönüşüm verimleri (b) 2000 dev/dak’daki kurşunsuz benzin ile çalışma durumundaki katalitik konvertörün dönüşüm verimleri.....	18
Şekil 2.5. Çeşitli washcoat tiplerinin motor testi sonuçları (Pd/Rd: 5/1, 40g/ft ² , T _{giriş} =450°C, 100h, 870 °C)	20
Şekil 2.6. Katalizörlü taşıtlarda LPG ve benzin egzoz gazı emisyonlarının karşılaştırılması	21
Şekil 2.7. Katalitik konvertörsüz taşıtlarda benzin ve LPG emisyonlarının karşılaştırılması	22

Şekil 2.8.	Benzin ve LPG ile çalışmada tam gazdaki motor torku- motor devri grafiği	22
Şekil 2.9.	(a) Benzin ve LPG ile çalışmada tam gazdaki karbonmonoksit emisyonu - motor devri grafiği (b) Benzin ve LPG ile çalışmada tam gazdaki hidrokarbon - motor devri grafiği	23
Şekil 3.1.	Bazı yakıtlara ait damıtma eğrileri	25
Şekil 3.2.	Oktan sayısı – sıkıştırma oranı grafiği	27
Şekil 3.3.	Çeşitli LPG karışımlarının sıcaklık– buhar basıncı grafiği ...	29
Şekil 3.4.	Propan ve Bütanın buhar basıncı – sıcaklık grafiği	29
Şekil 4.1.	Birinci nesil LPG dönüşüm sisteminin şematik gösterimi ...	36
Şekil 4.2.	İkinci nesil LPG dönüşüm sisteminin şematik gösterimi	37
Şekil 4.3.	Üçüncü nesil LPG dönüşüm sisteminin şematik gösterimi ...	38
Şekil 4.4.	LPG deposu montaj resmi	40
Şekil 4.5.	Multivalfin LPG deposuna montajı ve ön görünüşü	41
Şekil 4.6.	Yakıt seçme anahtarı ve bağlantılarının şematik gösterimi ..	45
Şekil 4.7.	(a) LPG selenoid valfinin görünüşü (b) LPG selenoid valfinin kesit görünüşü	46
Şekil 4.8.	Benzin selenoid valfinin kesit görünüşü	47
Şekil 4.9.	LPG buharlaştırıcı elemanının kesit görünüşü	48
Şekil 4.10.	Set üstü karıştırıcının şematik görünüşü ve monte edilmiş şekli	50
Şekil 4.11.	Plaka altı karıştırıcının şematik görünüşü ve monte edilmiş şekli	50
Şekil 4.12.	Karışık sistem karıştırıcının şematik görünüşü ve monte edilmiş şekli	51
Şekil 4.13.	Çatallı sistem karıştırıcının şematik görünüşü ve monte edilmiş şekli	52

Şekil 5.1.	Üç yollu katalitik konvertörler (a) Monolitik dizayn, (b) peletli tip dizayn	56
Şekil 5.2.	Monolitik katalitik konvertörün yapısı	57
Şekil 5.3.	Kapalı devre katalitik konvertör sistemine sahip motorun basitleştirilmiş şeması	58
Şekil 5.4.	Üç yollu katalitik konvertörün hava/yakıt oranına bağlı olarak dönüştürme verimi	60
Şekil 5.5.	Üç yollu katalitik konvertörün sıcaklığa bağlı olarak dönüştürme verimi	61
Şekil 6.1.	Deney Seti	63
Şekil 7.1.	Kurşunsuz benzin ile çalışmada tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde motor torku değişimi	74
Şekil 7.2	LPG ile çalışmada tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde motor torkunun değişimi	74
Şekil 7.3.	Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra kurşunsuz benzin ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde devir sayısına bağlı olarak motor torkunun değişimi	75
Şekil 7.4.	Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra LPG ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde devir sayısına bağlı olarak motor torkunun değişimi.....	76
Şekil 7.5.	8° ateşleme avansında kurşunsuz benzin ve LPG ile çalışma durumlarında üç yollu katalitik konvertörün motor torku üzerine etkisi	76
Şekil 7.6.	Kurşunsuz benzin ile çalışmada tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde mil gücü grafiği	77

Şekil 7.7.	LPG ile çalışmada tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde mil gücü grafiği	78
Şekil 7.8.	Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra kurşunsuz benzin ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde devir sayısına bağlı olarak mil gücünün değişimi	79
Şekil 7.9.	Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra LPG ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde devir sayısına bağlı olarak mil gücünün değişimi	79
Şekil 7.10.	6° ateşleme avansında kurşunsuz benzin ve LPG ile çalışma durumlarında üç yollu katalitik konvertörün mil gücüne etkisi	80
Şekil 7.11.	Kurşunsuz benzin ile çalışmada tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde mil özgül yakıt tüketimi grafiği	81
Şekil 7.12.	LPG ile çalışmada tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde mil özgül yakıt tüketimi grafiği	81
Şekil 7.13.	Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra kurşunsuz benzin ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde devir sayısına bağlı olarak mil özgül yakıt tüketiminin değişimi...	82
Şekil 7.14.	Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra LPG ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde devir sayısına bağlı olarak mil özgül yakıt tüketiminin değişimi	83
Şekil 7.15.	Kurşunsuz benzin ile çalışmada tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde mil verimi	84

	grafiği	
Şekil 7.16.	LPG ile çalışmada tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde mil verimi grafiği	84
Şekil 7.17.	Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra kurşunsuz benzin ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde devir sayısına bağlı olarak mil veriminin değişimi	85
Şekil 7.18.	Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra LPG ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde devir sayısına bağlı olarak mil veriminin değişimi	85
Şekil 7.19.	Karbüratörlü motorda egzoz gazı içindeki kirletici konsantrasyonlarının ve hava fazlalık katsayısının sabit devir sayısında yüke göre değişimi	86
Şekil 7.20.	Kurşunsuz benzin ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında karbonmonoksit emisyonu konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi	87
Şekil 7.21.	LPG ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında karbonmonoksit emisyonu konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi	88
Şekil 7.22.	Kurşunsuz benzin ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında katalitik konvertör sonrasında karbonmonoksit emisyonu konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi	89
Şekil 7.23.	LPG ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında katalitik konvertör sonrasında karbonmonoksit emisyonu konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi	90

Şekil 7.24.	Kurşunsuz benzin ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında hidrokarbon emisyonu konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi	91
Şekil 7.25.	LPG ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında hidrokarbon emisyonu konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi	92
Şekil 7.26.	Kurşunsuz benzin ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında katalitik konvertör sonrasında yanmamış hidrokarbon emisyonlarının konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi	93
Şekil 7.27.	LPG ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında katalitik konvertör sonrasında yanmamış hidrokarbonların emisyonlarının konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi	94
Şekil 7.28.	Kurşunsuz benzin ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında azotoksit emisyonları konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi	95
Şekil 7.29.	LPG ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında azotoksit emisyonları konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi ...	96
Şekil 7.30.	Kurşunsuz benzin ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında katalitik konvertör sonrasında azotoksit emisyonlarının konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi	97
Şekil 7.31.	Kurşunsuz benzin ile çalışma durumunda motor yüküne bağlı olarak katalitik konvertörün CO dönüştürme verimi ...	98
Şekil 7.32.	LPG ile çalışma durumunda motor yüküne bağlı olarak katalitik konvertörün CO dönüştürme verimi	99
Şekil 7.33.	Kurşunsuz benzin ile çalışma durumunda motor yüküne bağlı olarak katalitik konvertörün HC dönüştürme verimi ..	100
Şekil 7.34.	LPG ile çalışma durumunda motor yüküne bağlı olarak katalitik konvertörün HC dönüştürme verimi	101

Şekil 7.35. Kurşunsuz benzin ile çalışma durumunda motor yüküne bağlı olarak katalitik konvertörün NO _x dönüştürme verimi...	102
Şekil 7.36. LPG ile çalışma durumunda motor yüküne bağlı olarak katalitik konvertörün NO _x dönüştürme verimi	103



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
BP	Mil gücü
bsfc	Mil özgül yakıt tüketimi
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
cpsi	İnç kareye düşen kanal sayısı
F	Kuvvet
HC	Hidrokarbonlar
$\dot{m}_f$	Kütleli yakıt debisi
m_f	Tüketilen LPG miktarı
$\dot{m}_{in}$	Konvertöre giren emisyon miktarı
$\dot{m}_{out}$	Konvertörden çıkan emisyon miktarı
N	Devir Sayısı
N ₂	Azot
NO _x	Azotoksitler
O ₂	Oksijen
Pd	Palladyum
Pt	Platin
Q _c	Yakıtın alt ısı değeri
r	Mesafe
Rh	Rodyum

T	Tork
t	Zaman
V_b	Hacimsel olarak tüketilen benzin miktarı

Yunan Harfleri

η_B	Mil verimi
η_{cat}	Katalitik konvertörün verimi
λ	Hava fazlalık katsayısı
ρ_f	Benzinin yoğunluğu

Kısaltmalar

ECU	Elektronik kontrol ünitesi
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
MECA	Emisyon Kontrolleri Üreticileri Birliği
PİGM	Petrol İşletmeleri Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Sanayi ve teknolojideki gelişmeler, sayıları hergün biraz daha artan endüstriyel kuruluşlar ve motorlu taşıtlar bir yandan insan yaşamını kolaylaştırırken, diğer yandan çevre kirliliğini de beraberinde getirmektedir. Kentsel hava kirliliğinin başlıca kaynakları buji ateşlemeli ve dizel motorlarıdır; yani içten yanmalı motorlardır (Çevre Vakfı, 1995; Heywood, 1988).

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 bir otomobile oranla %95 daha az HC ve CO yaymakta ve yaklaşık %90 daha az NO_x yaymaktadır (Chevron Inc., 1996).

Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, özel kanunlar ve standartlar egzoz gazının zehirli, zararlı etkileri ve dumanını sınırlandırmak için konulmuştur[Lukakin]. Amerika Birleşik Devletleri'nde Kaliforniya eyaletinde motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonların düzenlenmesine ilk olarak 1963 yılında başlanmıştır. 1970 Temiz Hava Yasası (U.S. Clean Air Act) ile emisyonları kısıtlayıcı kanunlar getirilmiş ve 1977, 1990 yıllarında geliştirilerek emisyonlara getirilen sınırlamalar aşağıya çekilmiştir. Bu yasanın amacı '... ulusun hava kaynaklarının kalitesini korumak ve düzenlemek...' olarak verilmiştir. Avrupa'da ise ilk uygulamalar 1972 yılında başlamıştır ve aynı Amerika Birleşik Devletleri'nde olduğu gibi emisyonlara getirilen sınırlamalar aşağıya çekilmektedir. Ülkemizde 1982 yılında Başbakanlık tarafından Otomotiv Emisyon Standartları hazırlama görevi Türk Standartları Enstitüsü'ne verilmiş ve 1984 yılı Mayıs ayında TSE tarafından 'TS 4236

sayılı Motorlu Karayolu Taşıtlarının Egzoz Gazındaki Hava Kirleticiler İçin Emisyon Sınır Değerleri' standardı yayınlanmıştır. Bu standartta CO, HC için emisyon sınır değerleri verilmiştir (De Nevers, 1995, Chevron Inc., 1996; Çevre Vakfı, 1995).

Egzoz emisyonunun bileşimi dizel ve benzin motorlarında farklıdır. Herhangi bir önlem alınmamış dizel motoru benzin motoruna kıyasla daha az çevre kirliliği yaratmaktadır. Ancak gerekli önlemler alındığında çevre kirliliği benzin motorlarında daha etkili bir şekilde azaltılabilmektedir. Bu nedenle taşıtlardaki çevre kirliliği önleme çalışmaları benzin motorlu taşıtlarda yoğunlaşmaktadır (Çevre Vakfı, 1995).

Hava kirliliği yönünden bakıldığında motorlardaki emisyonların ölçümü çok önemlidir. Egzoz gazı emisyonları görünür ve görünmez emisyonlar olarak ikiye ayrılabilir (Ganesan, 1996).

Motor egzozu gazında aşağıdaki bileşikler bulunur:

1. Karbon dioksit
2. Su buharı
3. Azotoksitler
4. Yanmamış hidrokarbonlar
5. Karbon monoksit
6. İs (Duman)

Bunlardan ilk beşi görünmez, sonuncusu ise görünür emisyon olarak tarif edilebilir. Görünmez emisyonlardan karbon dioksit ve su buharı diğerleri ile kıyaslandığında zararsız olarak kabul edilebilir (Ganesan, 1996).

1990 yılında Almanya'nın büyük şehirlerinde yapılan bir araştırmaya göre;

Toplam hava kirliliğinin;

Azotoksitlerde	(NO _x)	%63.5
Hidrokarbonlarda	(HC)	%47.1
Karbonmonoksitde	(CO)	%71.3
Karbondioksitde	(CO ₂)	%18,6

kadarı egzoz gazlarından oluşmaktadır.

Bir benzin motorundan çevreye yayılan kirleticiler motorun şu dört noktasından çıkmaktadır. Bunlar karbüratör, yakıt deposu havalandırması, karter havalandırması ve egzoztur.

Karbüratörden kaynaklanan hava kirleticiler; sıcak havalarda yakıtın kolay buharlaşan bileşenleri taşıt dururken veya kalkarken atmosfere yayılmaktadır. Karbüratördeki emisyon tamamen hidrokarbonlardan oluşur. Püskürtmeli benzin motorlarında veya dizel motorlarında bu emisyon oluşmaz. Motorun toplam HC emisyonlarının %5-10 kadarı karbüratördendir.

Yakıt deposu havalandırması ile ortama çıkan emisyonlar; karbüratörde olduğu gibi artan hava sıcaklığı ile kaçak buharlaşma kayıpları artmaktadır. Burada da emisyonlar tamamen hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Motorun toplam HC emisyonlarının %5-10 kadarı yakıt deposundandır.

Karter havalandırması ile çevreye yayılan emisyonlar; motor iş zamanı (genişleme zamanı) sırasında segmanlar ve silindir arasından kaçan gazlar kartere geçmekte ve karterdeki yağ buharı ile dışarı atılmaktadır. Buradaki emisyonların çoğunluğu HC'dır. Motorun toplam HC emisyonunun yaklaşık %20 kadarı karter havalandırmasından oluşmaktadır.

Egzoz gazları içindeki kirleticiler; silindirde yanma sonucunda oluşan egzoz gazı tam yanma ve eksik yanma ürünlerinden meydana gelmektedir. Motorun toplam emisyonundaki karbonmonoksit (CO), azotoksitler (NO_x), kurşun bileşikleri (Pb) vb. gibi emisyonların %100'ü, HC emisyonlarının %60-70'i egzoz gazından dolayı oluşmaktadır (Kutlar vd., 1998).

Önlem alınmamış tipik bir benzinli motordan çıkan kirleticilerin oranları motor optimum yük ve devirde çalışırken egzoz gazının %1'ini oluşturur.

Karbonmonoksit	(CO)	%0.85
Hidrokarbonlar	(HC)	%0.05
Azotoksitler	(NO _x)	%0.08
Partiküller		%0.005

Buji ateşlemeli motorların egzoz gazları azotoksitler (azot monoksit, NO, ve az miktarda azot dioksit, NO₂ - genel olarak NO_x olarak bilinir.), karbonmonoksit, CO, ve yanmamış veya kısmen yanmış hidrokarbonlardan oluşan organik bileşiklerden, HC, oluşmaktadır. Dizel motoru egzozundaki NO_x konsantrasyonları buji ateşlemeli motorlardakilerle kıyaslanabilecek seviyededir. Dizel hidrokarbon emisyonları önemli miktarda olsa da egzoz konsantrasyonları tipik buji ateşlemeli motorun emisyon seviyelerinden 5 katı kadar daha düşüktür. Egzozdaki hidrokarbonlar motorun çalıştırılması ve ısıtılması sırasında yoğunlaşarak beyaz duman da oluşturabilir. Egzoz gazındaki spesifik hidrokarbon bileşikleri dizel kokusunun kaynaklarıdır. Dizel motorları partikül (toz) emisyonlarının önemli kaynaklarıdır. Yakıt kütlelerinin %0,2-0,5'i arasında partikül emisyonu yayılmaktadır. Ayrıca, partiküllerin (toz zerrelere ~0,1µm çapında) üzerine hidrokarbon absorbe

edilmiştir. Dizel motorları, yüksek hava fazlalık katsayısı ile çalıştıkları için CO emisyonları önemli ölçüde oluşmaz (Heywood, 1988).

Egzoz gazıyla ortama bırakılan hava kirletici bu emisyonların olumsuz tesirleri aşağıda açıklanmıştır.

Karbonmonoksit (CO)

Karbonmonoksit motorda yalnızca motor egzoz gazında bulunmaktadır. Yakıt hava karışımında yeterli miktarda hava bulunamaması veya çevrimde yanmanın tamamlanması için zamanın yetersiz olması nedeniyle oluşan eksik yanmanın bir ürünüdür. Renksiz ve yanıcı bir gaz olan karbon monoksit, atmosferde bulunan en yaygın ve en zararlı hava kireticilerden birisidir (Ganesan, 1996; Gündüz, 1994).

Teorik olarak, benzinli motor egzozu motor 16:1'den daha büyük hava yakıt karışımları ile çalışıldığında CO yoktur. Ancak fakir karışımlarda dahi egzoz gazında bir miktar CO vardır. EPA insan kaynaklı CO emisyonlarının yaklaşık %75'inin benzinli motorlardan kaynaklandığını tahmin etmektedir (Ganesan, 1996; Chevron Inc., 1996).

CO yüzdesi motor hızı arttıkça karışım fakirleştiği için düşer. Otomobillerde CO yüzdesi en fazla zengin karışımlarda %5 ve stokiometrik karışım civarında ise %1 kadar olmaktadır. Karbon monoksitin tamamen indirgenmesi mümkün değildir ve egzozta %0.5 CO bulunması kabul edilebilir bir sonuçtur (Ganesan, 1996).

Karbonmonoksit emisyonları rölantide ve frenleme sırasında motor devri en düşük değerine ulaştığında da yüksek olmaktadır (Ganesan, 1996).

Havadaki karbonmonoksit konsantrasyonu 100 ppm'in üzerine çıktığında insanlar için çok tehlikeli ve öldürücü bir gazdır. İnsan üzerindeki öldürücü etkisi kanda bulunan hemoglobin ile reaksiyona girmesidir. Hemoglobin, akciğerden oksijeni alıp hücrelere taşıyan ve hücrelerden de karbondioksiti akciğerlere taşıyan kandaki maddedir. Karbon monoksit kanda hemoglobin ile birleşerek kalıcı bileşik oluştururlar. Bu da kandaki oksijen miktarını azaltarak yorulma, baş dönmesi, baş ağrısı, çalışma veriminin düşmesi, nefes darlığına hatta ölüme kadar götüren sonuçlar doğurabilir (Gündüz,1994; Çevre Vakfı, 1995).

Azot Oksitler (NO_x)

Egzoz gazındaki NO_x konsantrasyonu motor tasarımı ve çalışma şartlarından etkilenmektedir. Hava/yakıt oranı ve ateşleme avansı NO_x emisyonlarını etkileyen başlıca iki faktördür. Maksimum NO_x hava/yakıt oranlarının 14:1 ve 16:1 oranları arasında oluşmaktadır. Fakir ve zengin hava/yakıt karışımlarında yanma sıcaklığı düşük olduğu için NO_x emisyonları daha düşüktür.

Ateşleme avansını artırmak yanma sıcaklığını artıracak ve daha yüksek egzoz sıcaklıkları olması sonucunu doğuracaktır. Bunun neticesinde egzoztaki NO_x konsantrasyonları yüksek olacaktır (Ganesan,1996).

Azotoksitler (NO , NO_2 , N_2O_2 vb. bileşikler) de karbonmonoksit gibi kanda hemoglobinle birleşmektedirler. Fakat azotoksitler akciğerlerde nemle birleşerek nitrik asit oluştururlar ve zamanla birikim özelliği bulunduğu için özellikle solunum rahatsızlığı bulunan insanlarda ciddi rahatsızlıklara sebep olmaktadır. Güneş ışığı altında HC'la birleşerek smog (fotokimyasal sis) oluşumunda rol oynamaktadırlar. Bunların yanında NO 'nun felç yapıcı ve yer seviyesi ozon oluşumunda yer alma özelliği, NO_2 'nin ise tahriş edici özelliği vardır (Çevre Vakfı , 1995; Kutlar vd., 1998; Gündüz,1994).

Ozon, yer seviyesi ve stratosferik ozon olarak ikiye ayrılır. Stratosferdeki ozon katmanı Dünya'yı Güneş'in zararlı mor ötesi ışınlarından korur. Stratosferik ozonun oluşum mekanizması yer seviyesi ozon oluşumundan farklıdır. Yer seviyesi ozonun kısaca oluşum mekanizması şöyledir: NO_2 güneş ışığının etkisiyle NO ve tek atomlu oksijene ayrışır. Tek atomlu oksijen oldukça reaktif bir gazdır ve çok sayıda farklı reaksiyona girebilir. Bunlardan birisi de ozon (O_3) oluşumudur (Chevron Inc., 1996; Pulkrabek, 1997).



Daha yeni dikkat çeken bir diğer azot oksijen bileşiği ise N_2O 'dur. N_2O renksiz bir gazdır, 'gülme gazı' olarak da bilinir. Bu gazların çevredeki artışları sera etkisine sebep olmaktadır. Sera etkisinin sonucu ise global ısınma ve mevsimlerde değişimlerdir. N_2O kaynakları kesin olarak bilinmemeye birlikte NO_x kontrol teknolojilerinin NO'ı NH_3 ile indirgenmesinden kaynaklandığı kanısı vardır. Diğer bir görüş ise katalitik konvertör kullanan araçların ortamdaki N_2O 'nun yarısını ürettikleridir. N_2O ise üzerinde durulması gereken bir gazdır çünkü sera etkisinde CO_2 'e göre etkinliği 200-300 kat daha fazladır. The Seattle Times'ın Associated Press'e dayanarak verdiği bir haberde EPA, katalitik konvertörlerin smog oluşturan nitrojen ve oksijeni ayırıp, sera etkisi yapan N_2O oluşturabilen bileşikler ürettikleri belirtilmektedir. Şu anda N_2O hakkında bir düzenleme yoktur çünkü 1970 ABD'de Temiz Hava Yasası yazıldığında smog'un kontrolü gündemdeydi. Sera etkisi ise sonraki yıllarda ortaya konulmuştur. N_2O 'nun sera etkisi ise birkaç yıl önce ortaya konulmuştur. (DeNevers, 1995; Vesilind et al., 1990; Chevron Inc., 1996).

EPA benzinli motorların NO_x emisyonlarının %24'ünü yaydığını tahmin etmektedir (Chevron Inc., 1996).

Yanmamış Hidrokarbonlar (HC)

Yanmamış hidrokarbon emisyonları eksik yanma ürünüdür. Hidrokarbon emisyonlarının yapısı motor tasarımı ve çalışma şartlarıyla yakından ilişkilidir. İki önemli tasarım değişkeni, ateşleme sistemi tasarımı ve yanma odası tasarımıdır. Çalışma şartlarındaki değişkenler ise hava/yakıt oranı, hız, yük ve çalışma şeklidir. Motora yapılan bakım da önemli bir faktördür (Ganesan, 1996).

Bazı hidrokarbonlar (parafinler, olefinler) solunum yollarında mukozayı (iç deriyi) tahriş edici, gözde yanma ve sulanma gibi rahatsızlık verici özellikleri varken, bazı hidrokarbonların (aromatlar) kanser yapıcı özellikleri vardır. Güneş ışığının etkisi ile azotoksitlerle birleşerek smog (fotokimyasal sis) oluştururlar. Bu sis tabakası ise yaşayan varlıklar için zararlı olmaktadır (Çevre Vakfı, 1995; Kutlar vd., 1998).

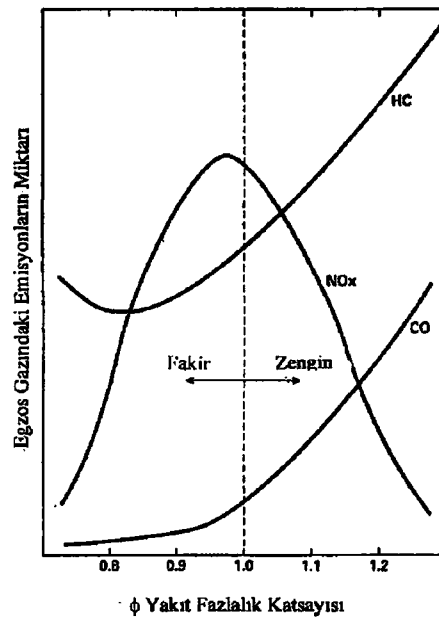
Duman (İs)

Duman özellikle dizel motorlardaki görünür emisyon olarak tanımlanabilir. Partiküller, özellikle dizel yakıtında görülürler. İs ve duman olarak bilinirler. Solunum sistemini etkileyerek solunum rahatsızlıklarına sebep olurlar (Ganesan, 1996; Çevre Vakfı, 1995; Kutlar vd., 1998).

Kurşun Bileşikleri

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 kurşuntetraetil ($Pb(C_2H_5)_4$) olarak katılırlar. Bu bileşikler doku, kan dolaşımı ve sinir sisteminde tahribat yaratmaktadırlar. Kurşun emisyonlarının tehlikesinin farkına varılmasıyla birlikte 1970'ler ve 1980'lerde kademeli olarak kurşun bileşikleri kaldırılmaya başlanmıştır (Çevre Vakfı, 1995; Kutlar vd., 1998; Pulkrabek, 1997).

Genel olarak, buji ateşlemeli motorlarda emisyonlar, yakıt fazlalık katsayısına bağlıdır. Şekil 1.1'de buji ateşlemeli bir motorun emisyonlarının yakıt fazlalık katsayısına bağlı olarak değişim gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Buji ateşlemeli motorların emisyonlarının yakıt fazlalık katsayısı ile değişimi (Heywood, 1988)

Motorlu taşıtların egzozundan çıkan emisyonların azaltılması için LPG, doğalgaz, metil ve etil alkol gibi alternatif yakıtların denenmesi ve kullanılması yanında egzoz gazı resirkülasyonu (EGR), termik reaktörler, dizel motorlu araçlarda partikül filtresi ve katalitik konvertör gibi konularda çalışmalar yapılmaktadır.

Ülkemizde çoğunlukla mutfaklarda, ayrıca ısınma, aydınlatma ve sanayide kullanılan sıvılaştırılmış petrol gazı artan benzin fiyatlarıyla birlikte ithal edilen LPG dönüşüm kitleriyle otomobillerde kullanılmaya başlanmıştır. LPG dönüşümü yapılan taşıtların sayısı her geçen gün artmaktadır.

Çoğu devlet enerji politikaları ve sıvılaştırılmış petrol gazını destekleyen mali teşvikler bu yakıtı kullanımını artırmıştır. Dünyada LPG dönüşümü yapılan en fazla taşıt 1.200.000 adetle İtalya'da bulunmaktadır. İkinci sırada ise Hollanda bulunmaktadır. Hollanda'da LPG kullanımı 1955 yılından itibaren teşvik edilmektedir. Japonya'da şehirlerdeki taksilerin çoğunluğunda, Güney Kore'deki ve Tayland'da taksilerde LPG kullanılmaktadır. Avustralya'da, Belçika'da ise hükümetler tarafından taşıtlarda LPG kullanımını özendirici kararlar alınmıştır (MMO, 1999; Örucü, 1999; Menrad et al., 1985).

Egzoz gazlarının silindiri terk etmesinden sonra gaz kirleticilerin temizlenmesi işlemi termal veya katalitik olabilir. Bu işlemler için termal reaktörler ve katalitik konvertörler kullanılmaktadır. 1970'li yılların başında kullanılan termik reaktörler bugün kullanılmamaktadır. Termal reaktörler yerlerini katalitik konvertörlere bırakmışlardır (Heywood, 1988; Kutlar vd., 1998).

Çizelge1.1. Dünya’da LPG kullanan araçların ülkelere göre dağılımı (MMO, 1999)

ÜLKE	LPG Kullanan Araç Sayısı
İtalya	1 200 000
Hollanda	800 000
ABD	500 000
Japonya	350 000
Meksika	240 000
Avustralya	200 000
Güney Kore	160 000
Kanada	140 000
Tayland	80 000
Yeni Zelanda	50 000
Türkiye	40 000
Endonezya	20 000
Cezayir	20 000
Diğer Ülkeler	650 000

LPG’nin karışımı rafineride elde edilmiş olmasına veya doğal gazdan elde edilmesine bağlı olarak değişmektedir. Otomotiv yakıtı olarak LPG’nin karışımı ülkeden ülkeye değişmektedir. Propanın LPG içindeki karışım yüzdesi %100-%50 arasında değişmektedir (Karim and Wierzba, 1983).

Çizelge 1.2. Avrupa ülkelerinde yaz ve kış aylarında LPG içerisindeki propan ve bütan oranları (MMO, 1999)

Ülke Adı	Propan/ Bütan Oranları (%)	
	Yaz	Kış
Belçika	30/70	50/50
Almanya	Propan	Propan
Danimarka	30/70	70/30
İngiltere	Propan	Propan
Avusturya	20/80	80/20
Hollanda	30/70	70/30
İsveç	Propan	50/50
İsviçre	Propan	Propan
Türkiye	30/70	50/50

Katalitik konvertör bir taşıttaki en önemli emisyon kontrol cihazıdır. Benzinli taşıtlarda katalitik konvertörler 1975 yılından itibaren kullanılmaktadır. İlk katalizörler oksijen katalizörleridir. Adında da anlaşılacağı gibi bunlar egzozdaki karbonmonoksit ve uçucu organik bileşiklerini oksitleyerek oksijen ve su buharına dönüştürmek için dizayn edilmişlerdir. Oksidasyon katalizörlerinin düzgün çalışabilmeleri için egzozta fazla oksijene ihtiyaç vardır, bu ise motor fakir çalıştırılarak veya motor ile katalizör arasına hava verilerek sağlanır. Üç yollu katalitik konvertörler, 1980'lerde gündeme gelmişlerdir ve artık çoğunlukla da bu konvertörler kullanılmaktadırlar. CO, HC ve NO_x emisyonlarını aynı anda oksidasyon ve indirgeme reaksiyonlarına sokmasından dolayı üç yollu katalitik konvertör olarak adlandırılırlar. Üç yollu katalitik konvertörlerin oksidasyon fonksiyonu yukarıda anlatıldığı gibidir, ayrıca azotoksitleri indirgeyerek azot (N₂) ve oksijene (O₂) dönüştürmektedir. Oksidasyon reaksiyonları için gereken fazla oksijen indirgeme reaksiyonlarıyla elde edildiğinden dolayı üç yollu katalitik konvertörler, hava

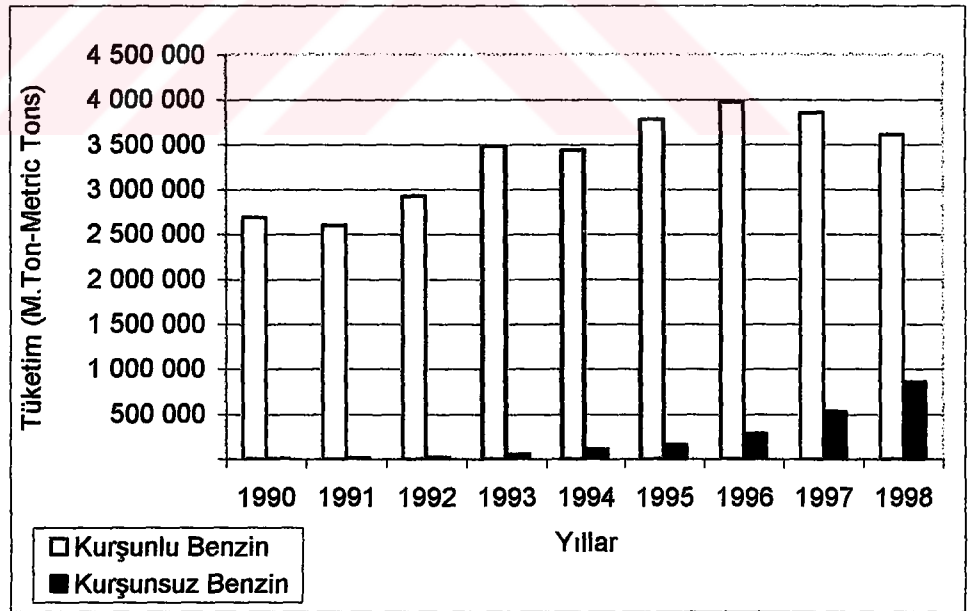
yakıt oranı stokiometrik orana yakın olduğunda en iyi performansı vermektedirler (Chevron Inc., 1996).

Katalizör kullanmadan hidrokarbonları oksitleyebilmek için sıcaklıklar 600°C'nin üzerinde olmalıdır. Karbonmonoksiti oksitleyebilmek için sıcaklıkların 700°C'nin üzerinde olması gerekmektedir. Egzozdaki karbon monoksit ve hidrokarbonların katalitik oksidasyonu 250°C kadar düşük sıcaklıklarda yapılabilmektedir. Böylece, bu kirleticilerin katalitik temizleme etkinliği termal oksidasyonla olduğundan daha geniş sıcaklık aralığında olmaktadır. Egzoz gazından azotoksitleri temizlemek için bilinen en tatmin edici tek metot katalitik prosesleri içermektedir (Heywood, 1988).

Katalitik konvertör kullanan benzinli motorlarda yakıt olarak kurşunsuz benzin kullanılmaktadır. Kurşun içeren benzin içindeki kurşun katalitik konvertörün aktif katalizör yüzeyini kaplamakta yani sıvamaktadır. Bu olaya katalitik konvertörde kurşun zehirlenmesi denilmektedir. Bunun neticesinde katalitik konvertör görevini yapamaz hale gelmektedir. Ancak Amerika Birleşik Devletleri'nin önemli benzin şirketlerinden Chevron'a göre yapılan çalışmalarda 1971 öncesi taşıt motorlarının kurşun içeren benzine göre tasarlandığı ve orjinal egzoz valfi oturma yüzeylerinin sertleştirilmediği veya metal alaşımları kullanılmadığı görülmüştür. Ancak son yıllarda üretilen araçlarda böyle bir durum olmadığı bildirilmektedir. Yine de, subap yuvalarının aşınması olabileceği kuşkusuna karşı motor üreticisine sorularak yakıt deposuna kurşunsuz benzinin kurşun ihtiyacını karşılayan ilave katkı (lead substitute aftermarket additive) katılması tavsiye edilmektedir. Emisyon Kontrolleri Üreticileri Birliği (MECA) ise, kurşunsuz benzin kullanıldığında subap yuvası aşınması olduğu ve daha çok benzen emisyonları yaydığının iddia edilerek kurşun içeren benzinin kullanımına devam edilmesi gerektiğini savunan grupların olduğunu ancak kurşunsuz benzin kullanan ülkelerin bu

iddiaları red ettiğini belirtmektedirler. Subap yuvalarının aşınmasından korunmak için kurşunsuz benzin için formüle edilmiş subap yuvası koruyucularını tavsiye etmektedir. Bunlar içinden fosfor temelli olanların katalizörlü taşıtlar için uygun olmadığı da belirtilmektedir. 1971 yılı öncesinde üretilen veya subap yuvaları sertleştirilmemiş olan motorlarda kurşunsuz benzin kullanımında dikkatli olunmalıdır (Chevron Inc., 1990; MECA, 1998).

Petrol İşleri Genel Müdürlüğü'nün istatistiksel sonuçlarına göre Türkiye'de kurşunlu ve kurşunsuz benzin tüketiminin yıllara bağlı olarak tüketimi aşağıda grafik olarak verilmiştir. Yeni üretilen ve ithal edilen araçların büyük bir kısmı, katalitik konvertörle donatılmış olduğu için, her geçen gün kurşunsuz benzin tüketimi artmaktadır.

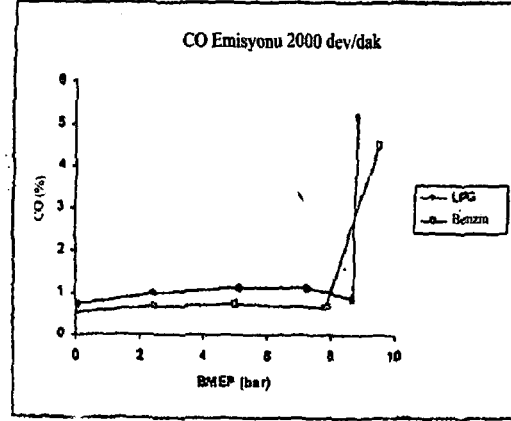


Şekil 1.2. Türkiye'de kurşunlu ve kurşunsuz benzin tüketiminin yıllara göre değişimi (PIGM, 2000)

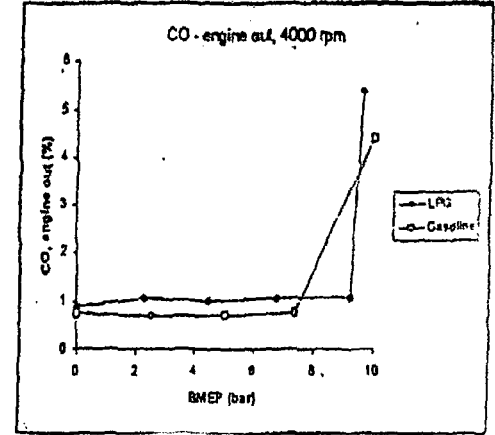
2. LİTERATÜR TARAMASI

İçten yanmalı motorlardan kaynaklanan emisyonların azaltılması, alternatif yakıtların ve katalitik konvertörlerin kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Smith, Timoney ve Lynch (1997) yaptıkları araştırmada 1.4 litre, 4 silindirli çok noktadan yakıt püskürtmeli bir motor kullanmışlardır. Bu motora LPG dönüşüm kiti monte edilmiş; emisyon ve verimdeki değişimler incelenmiştir. Emisyonlardaki değişimleri incelerken katalitik konvertörden önce ve sonra örnek alınmıştır. Ortalama mil etkin basıncında (BMEP), LPG ile çalışmada benzinliye nazaran yaklaşık %5'lik bir azalma var iken tam yükte ise mil ısı veriminde %8'lik bir artış elde edilmiştir. Bu deneylerde ateşleme zamanı LPG ile çalışma için optimize edilmemiştir. Emisyonların durumu ise, yapılan çalışmada 2000 ve 4000dev/dak'daki değerler için grafik olarak verilmiştir. Şekil 2.1(a) ve Şekil 2.1(b)'de sırası ile 2000 ve 4000dev/dak'da mil ortalama etkin basıncına karşılık gelen karbonmonoksit (CO) emisyonları verilmiştir. Bu devirlerde LPG ile çalışmada, sırasıyla, %17 ve %19 daha yüksek değerler elde edilmiştir. Ancak grafik olarak verilmemesine karşılık 3000 dev/dak'da yapılan deneylerde %9 daha düşük değerin elde edildiği belirtilmiştir. Yanmamış hidrokarbonlar (HC) için ise, Şekil 2.2(a) ve Şekil 2.2(b)'de sırasıyla 2000 ve 4000dev/dak'da eldedilen sonuçlar verilmiştir. LPG ile çalışmada ortalama olarak %32 daha az yanmamış hidrokarbon emisyonu ortaya çıkmaktadır.

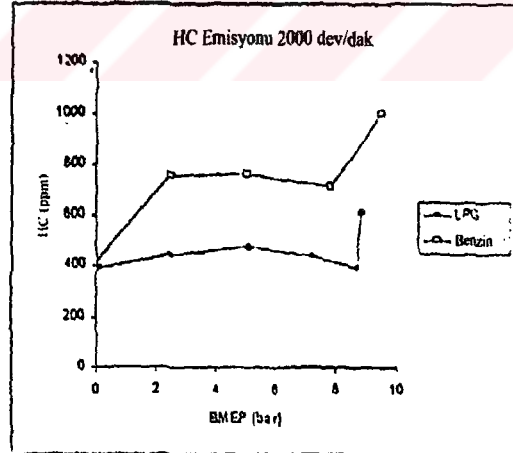


(a)

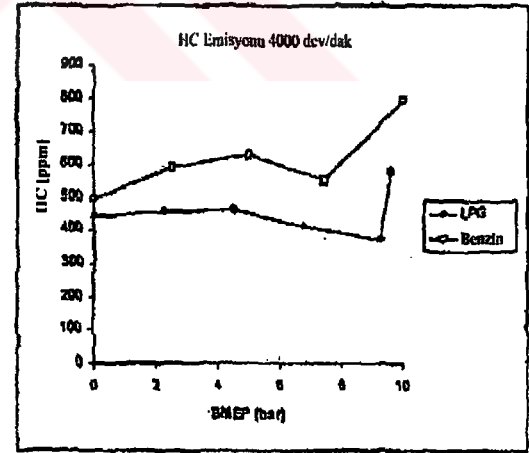


(b)

Şekil 2.1. (a) 2000 dev/dak'daki LPG ve benzin ile çalışma durumundaki motor çıkışı karbon monoksit emisyonları
(b) 4000 dev/dak'daki LPG ve benzin ile çalışma durumundaki motor çıkışı karbon monoksit emisyonları (Smith et al.,1997)



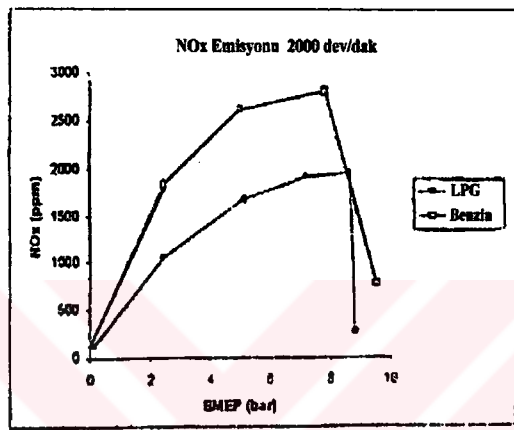
(a)



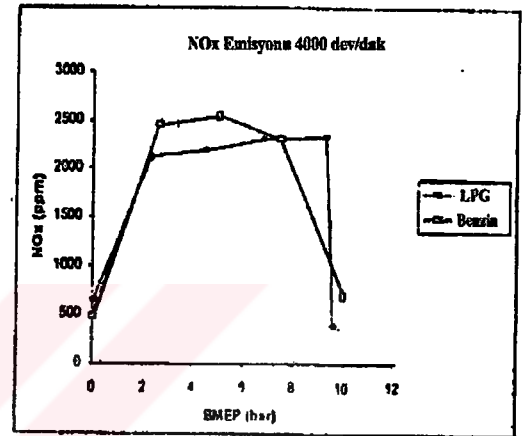
(b)

Şekil2.2. (a) 2000 dev/dak'daki LPG ve benzin ile çalışma durumundaki motor çıkışı yanmamış hidrokarbon emisyonları
(b) 4000 dev/dak'daki LPG ve benzin ile çalışma durumundaki motor çıkışı yanmamış hidrokarbon emisyonları (Smith et al.,1997)

Azotoksit (NO_x) emisyonlarında ise düşük devirde çalışırken yakıt olarak LPG kullanıldığında ortalama %29 daha düşük değer elde edilirken (Şekil 2.3(a)), 4000dev/dak'da azotoksit emisyonları yaklaşık aynıdır. Bu devirde LPG ile çalışmada NO_x emisyonları %2 daha düşüktür (Şekil 2.3(b)).



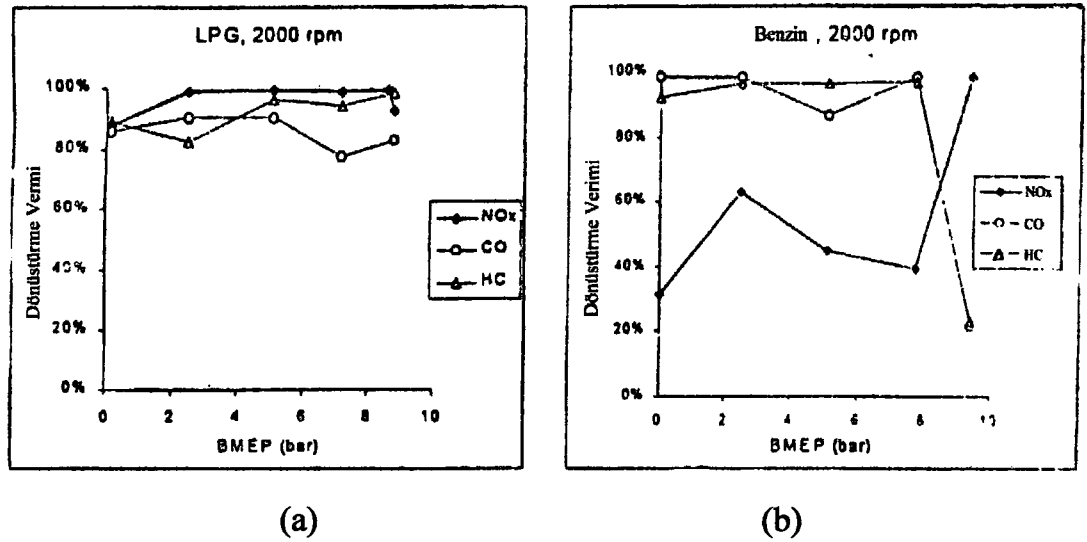
(a)



(b)

Şekil 2.3 (a) 2000 dev/dak'daki LPG ve benzin ile çalışma durumundaki motor çıkışı azotoksit emisyonları
(b) 4000 dev/dak'daki LPG ve benzin ile çalışma durumundaki motor çıkışı azotoksit emisyonları (Smith et al.,1997)

Bu çalışmada da egzoz gazındaki emisyonları azaltmak için katalitik konvertör kullanılmıştır. 2000 dev/dak'da katalitik konvertörün dönüştürme verimi ise, LPG için Şekil 2.4(a)'da kurşunsuz benzin için ise Şekil 2.4(b)'de verilmiştir. Ancak bu çalışmada kapalı sistem yakıt kontrol sistemi kullanılmıştır. Kapalı sistemlerde yakıt hava oranı Lambda (λ) sensörü ile kontrol edilmekte ve yakıt hava oranının $\lambda=1$ şeklinde çalışması sağlanmaktadır.



Şekil 2.4. (a) 2000 dev/dak'daki LPG ile çalışma durumundaki katalitik konvertörün dönüşüm verimleri
(b) 2000 dev/dak'daki kurşunsuz benzin ile çalışma durumundaki katalitik konvertörün dönüşüm verimleri (Smith et al.,1997)

Meretei, Banyavari, Borsi ve Tamasi (1996) yaptıkları çalışmada ülkeleri olan Macaristan'da ülke genelinde kullanımda bulunan 73 otomobile üç yollu katalitik konvertör takmışlardır. Katalitik konvertör takılan taşıtların motorları karbüratörlüdür ve bu motorlarda kapalı devre yakıt kontrol sistemi bulunmamaktadır. Bu durum ise deneylerimizde kullandığımız motorun durumu ile aynıdır.

Meretei et al.(1996), yaptıkları çalışmada, katalitik konvertör takıldıktan sonra otomobillerde şasi dinamometresinde yapılan seyir çevrimleri sonucunda egzoz basıncının artmasından dolayı güç kaybının %3 civarında olduğu söylenmektedir. Kullanılan katalitik konvertörlerin tipine, taşıtların teknik durumuna bağlı olarak ve yapılan deneylere göre zararlı emisyonlardaki azalmalar şöyle verilmiştir.

Karbonmonoksit CO : %40-70
 Hidrokarbonlar HC : %50-80
 Azotoksitler NO_x : %30-70

Bu üç zararlı emisyonların ortalama azalma miktarı yaklaşık yüzde olarak %50 civarındadır. Ayrıca üç yollu katalitik konvertörlerin çok verimli bir şekilde aldehytler ve çok zincirli aromatik emisyonlarını azalttığını da görmüşlerdir.

Sonuç olarak kapalı devre kontrol sistemi olmadan üç yollu katalitik konvertörlerin taşıtların önemli bir kısmı için uygun olduğu, ayrıca NO_x emisyonun %30-70 azaltılması sebebiyle ozon oluşma riski azalmış olacağından üç yollu katalitik konvertörlerin oksidasyon katalizörlerine tercih edilmesi gerekliliği vurgulanmıştır (Meretei et al.,1996).

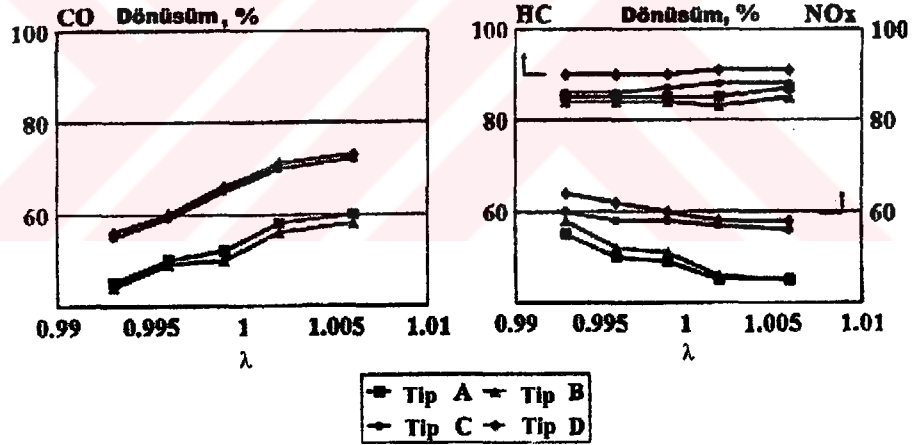
Lindner et al.,1996, yaptıkları çalışmada çeşitli washcoatlar (katalitik konvertörün kaplama olan kısmı) üzerinde çalışma yapmışlardır. Deneylerde kullanılan katalitik konvertörlerin hücre yoğunluğu (cell density) 400 cpsi'dir. Araştırmacılar deneylerini dört grupta toplamışlardır: 1. Model gaz deneyleri, 2. Motor deneyleri, 3. Taşıt deneyleri, 4. Oksijen depolama deneyleridir.

Motor deneyleri, motor test yatağında elektronik yakıt enjeksiyon sistemi bulunan bir motor üzerinde yapılmıştır. Motor deneylerinde kullanılan dört katalitik konvertörün özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Değerli metal olarak Pd/Rh içeren 4 farklı washcoat ile yapılan motor deneylerinin sonucu Şekil 2.5'de verilmiştir (Lindner et al., 1996).

Çizelge 2.1. Lindner vd.'nin kullandıkları washcoat özellikleri (Lindner et al., 1996)

Kaplama tipi (Washcoat)	Stabilizer içeriği	Modifiye Al_2O_3 içeriği	Pd/R h	Yalnızca Pd	Pt/Rd	Üç metal	DL	SL
A	Düşük	Düşük	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Evet
B	Düşük	Yüksek	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Evet
C	Yüksek	Düşük	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Evet
D	Yüksek	Yüksek	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Evet

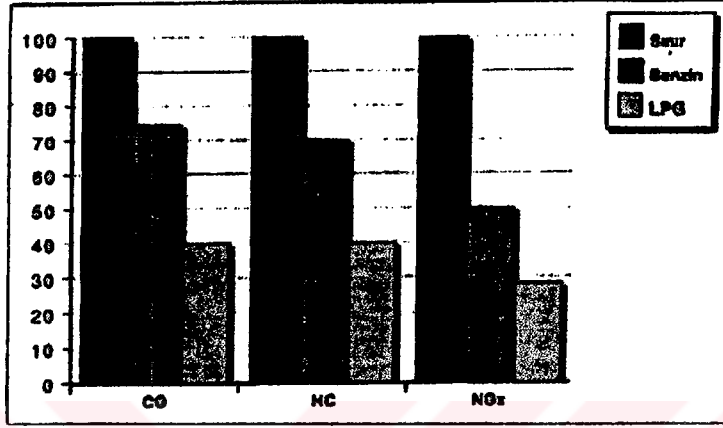
DL: Çift Katman SL: Tek Katman



Şekil 2.5. Çeşitli washcoat tiplerinin motor testi sonuçları (Pd/Rd: 5/1, 40g/ft², T_{giriş} = 450°C, 100h, 870 °C) (Lindner et al., 1996)

Hollanda'da yapılan bir araştırmaya göre katalizörlü ve üçüncü kuşak LPG dönüşüm kiti ile dönüşümü yapılmış taşıtlardaki deney sonuçları grafik olarak Şekil 2.6'da verilmiştir. Bu çalışmada kapalı devre üçüncü kuşak dönüşüm kitinin kullanılması ile emisyon değerleri daha düşük seviyelere indirilmiştir. Şekil 2.7'de emisyonlar için sınır değerleri 100 olarak verilmiştir. Benzin ve

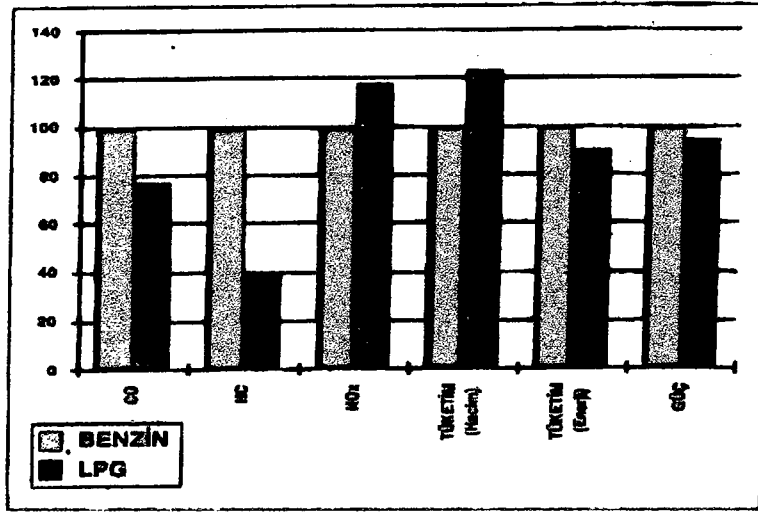
LPG emisyonları ise bu değere göre oranlanarak verilmiştir (van der Waide and Rele,1991, Ergeneman ve Soruşbay,1996).



Şekil 2.6. Katalizörlü taşıtlarda LPG ve benzin egzoz gazı emisyonlarının karşılaştırılması (van der Waide and Rele,1991)

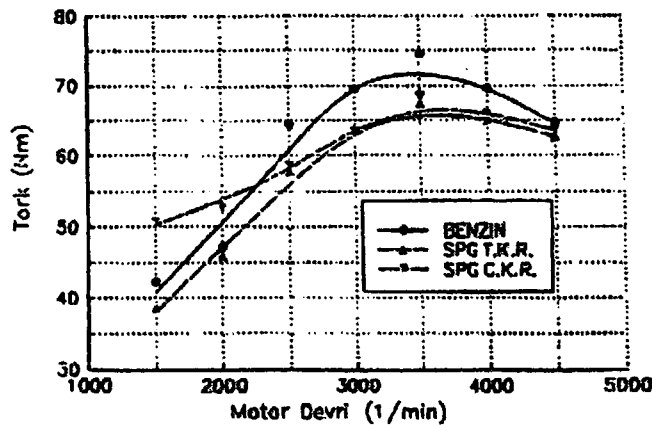
Menrad et al.,1985, Ergeneman ve Soruşbay,1996, tarafından katalitik konvertörü olmayan oniki adet taşıt üzerinde yakıt olarak benzin ve LPG kullanılarak yapılan deney sonuçları ise Şekil 2.7’de verilmiştir. LPG kullanımında azotoksit emisyonları ve yakıt tüketimi daha yüksektir, ayrıca güçte yaklaşık %5’lik bir azalma vardır.

Şekil 2.7’de benzinle çalışma sonucunda ortaya çıkan emisyonlar, yakıt tüketimi ve güç değerleri 100 olarak verilmiştir. Buna karşılık olarak LPG ile çalışma durumunda ise egzoz emisyonları, yakıt tüketimi ve güç değerleri benzinle çalışmaya göre kıyaslanarak verilmiştir.

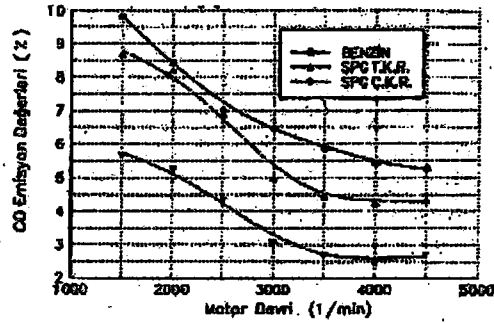


Şekil 2.7. Katalitik konvertörsüz taşıtlarda benzin ve LPG emisyonlarının karşılaştırılması (Menrad et al.,1985)

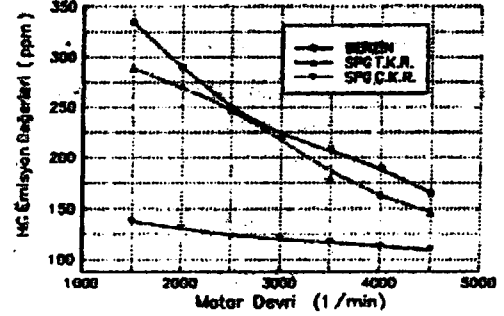
İçingür ve Haksever (1998), yaptıkları çalışmada karbüratörlü bir motorda LPG dönüşümü yapmışlardır. Dönüşümde birinci kuşak LPG dönüşüm kiti kullanmışlardır. Tek kademeli ve çift kademeli regülatör kullanarak motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmaya ait motor torku, CO ve HC emisyonlarının motor devrine göre değişimi Şekil 2.8 ve Şekil 2.9’da verilmiştir (İçingür ve Haksever,1998).



Şekil 2.8 Benzin ve LPG ile çalışmada tam gazdaki motor torku-motor devri grafiği (İçingür ve Haksever,1998)



(a)



(b)

Şekil 2.9 (a) Benzin ve LPG ile çalışmada tam gazdaki karbonmonoksit emisyonu - motor devri grafiği

(b) Benzin ve LPG ile çalışmada tam gazdaki hidrokarbon - motor devri grafiği (İçingür ve Haksever,1998)

Deneylerin sonucunda LPG ile çalışmada motor torkunda benzinle çalışmaya kıyasla %10 daha düşük değerler elde edilirken, CO ve HC emisyonları da benzinle çalışmaya kıyasla daha düşüktür. Emisyonlar açısından iki kademeli regülatöre sahip LPG dönüşüm kiti daha iyi sonuç vermektedir (İçingür ve Haksever,1998).

Karim ve Wierzba, 1983, yaptıkları çalışmada buji ateşlemeli ve dizel motorlarında alternatif yakıt olarak propan ve metanı kıyaslamışlardır. Bu çalışmada ateşleme avansı üzerinde durulmakla beraber propan ve metan karışımlarının vurutuya karşı dirençleri üzerinde çalışılmıştır. Propan kullanıldığında daha az yanmamış hidrokarbon ve daha az karbonmonoksit emisyonları yayılırken, önemli miktarda azotoksit emisyonları da yayılmaktadır (Karim and Wierzba, 1983).

3. DENEY YAKITLARININ ÖZELLİKLERİ

3.1. Benzinin Karakteristik Özellikleri

3.1.1. Uçuculuk

Uçuculuk yakıtın sıcaklığa bağlı olarak buharlaşma eğiliminin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Benzinde uçuculuk, en basit anlamda benzinin buharlaşmaya karşı eğilimidir. Uçuculuk özelliğinin önemli olmasının sebebi, yanma odasında benzinin gaz fazında buhar olarak yanmasıdır. Az uçucu olan yakıtlar kolayca buharlaşamadıkları için emme manifolduna yapışarak silindirlere dengeli ve homojen olmayan karışım girmesine neden olarak motorun performansını düşürür (Safgönül vd., 1995).

Benzinin uçuculuğunun ölçüsü için üç özellik vardır: buhar basıncı, damıtma eğrisi ve buhar-sıvı oranıdır (Chevron Co.,1996).

3.1.1.1. Buhar basıncı

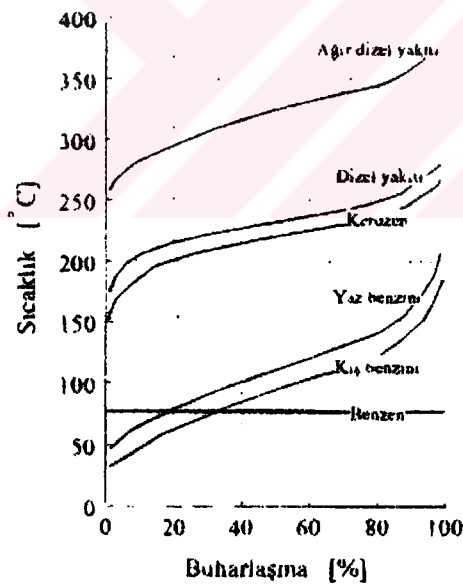
Buhar basıncı belli sıcaklıkta buharlaşma ortamının sıvı buharına doyması sonucu buharlaşmanın devam etmediği kısmi basınçtır (Safgönül vd., 1995). Buhar basıncı başlı başına motorun ilk çalışması ve motor ısınana kadar düzgün olarak çalışması için en önemli özelliktir (Chevron Co.,1996).

Soğuk iklimlerde, benzin kolayca buharlaşak şekilde hazırlanır. Böylece, motorun kolay ilk çalışması ve motor ısınana kadar düzgün olarak çalışması sağlanır. Sıcak iklimlerde ise, buhar tıkaçının oluşmaması ve buharlaşmayı önlemek için benzin daha kolay buharlaşmayacak şekilde hazırlanır (Safgönül vd., 1995).

Buhar tıkaçı, yakıtın çok uçucu olması durumunda yakıtın yakıt deposu ve karbüratör arasında yerel sıcaklıkların artışı sebebiyle borularda buhar habbelerinin oluşmasından dolayı yakıtın karbüratöre ulaşamaması durumudur (Safgönül vd., 1995).

3.1.1.2. Damıtma eğrisi

Benzin, kaynama noktaları birbirinden farklı hidrokarbonlardan oluşur. Bundan dolayı, benzin farklı sıcaklıklarda kaynar veya damıtılır. Benzinin damıtma eğrisi, belirli şartlar altında artan sıcaklıkla benzinin hacimce buharlaşmasını gösteren eğridir (Chevron Co.,1996). Bazı yakıtlara ait damıtma eğrileri Şekil 3.1’de verilmiştir (Safgönül vd., 1995).



Şekil 3.1. Bazı yakıtlara ait damıtma eğrileri (Safgönül vd., 1995)

3.1.1.3. Buhar - sıvı oranı

Buhar-sıvı oranı buhar tıkaçına etki eden özelliktir. Buhar tıkaçına sıcaklık ve basınç da etki etmektedir. Karbüratörlü motorlar için atmosferik şartlarda bir

hacim sıvıyla dengede olan yirmi hacim buharın ($V/L=20$) olduğu sıcaklık buhar tıkaçının oluşmaması için en uygun sıcaklıktır (Chevron Co.,1996).

3.1.2. Vuruntuya karşı direnç

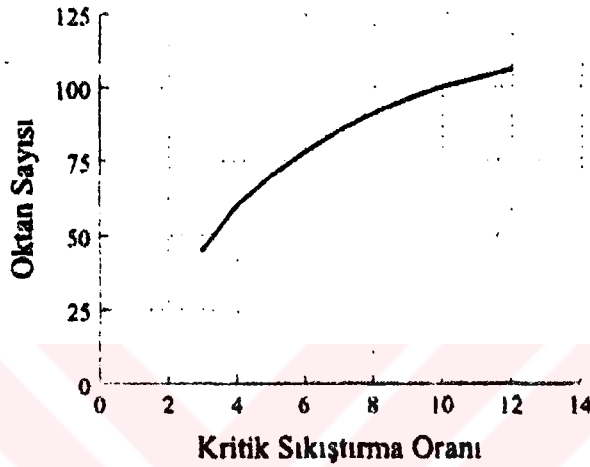
Silindir içerisinde sıkıştırma strokunda, buji ateşlemesi haricinde, artan basınç ve sıcaklık nedeniyle kendi kendine tutuşma olmaktadır. Bu olaya vuruntu denir. Kendi kendine tutuşmanın sonucunda her yöne hareket eden basınç dalgaları yayılır ve bu basınç dalgaları duyulur bir ses ortaya çıkarır. Vuruntudan dolayı yerel sıcaklık artışları da ortaya çıkmaktadır. Ani basınç artışı olduğundan dolayı uzun süreli vuruntulu çalışma devam ederse ve yeterli soğutma uygulanamazsa vuruntuya maruz kalan piston, piston kafası, segmanlar sübaplarda termik ve mekanik tahribat oluşur (Safgönül vd., 1995; Borat vd., 1992b).

Vuruntu oluşumuna etki eden çalışma parametreleri şöyledir: Sıkıştırma oranı, giriş ve egzoz basıncı, ateşleme avansı, motor hızı, emme havası sıcaklığı, silindir geometrisi, yakıt cinsi ve kalitesi, soğutucu akışkan sıcaklığıdır (Borat vd., 1992b).

Oktan sayısı benzinin vuruntuya karşı direncinin bir ölçüsüdür. Oktan sayısını ölçmek için iki yöntem vardır: 1. Motor metodu, 2. Araştırma metodu. Bu yöntemlerle elde edilen oktan sayılarına motor oktan sayısı ve araştırma oktan sayısı adı verilir. Bu deneylerin şartları birbirlerinden farklı olduğu için elde edilen oktan sayıları da farklıdır. Oktan sayısı ve sıkıştırma oranı arasındaki ilişki Şekil 3.2 ile verilmiştir (Safgönül vd., 1995).

Oktan sayısı, sıkıştırma oranı değiştirilebilen standart ölçüm motorları ile ölçülmektedir. Bu amaç için çok kullanılan motor CFR (Cooperative Fuel

Research) motorudur (Ferguson, 1986). Ayrıca BASF ve Ricardo motorları da oktan sayısı ölçümünde kullanılmaktadır (Safgönül vd., 1995; Yücel vd., 1999).



Şekil 3.2. Oktan sayısı – sıkıştırma oranı grafiği (Safgönül vd., 1995)

Vuruntuya karşı direnci artırmak için benzine kurşuntetraetil ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$), demirpentakarboksit ($\text{Fe}(\text{CO})_5$) gibi katkı maddeleri katılmaktadır. Benzine, kurşunsuz benzin hariç, litre başına 150 mg'a kadar kurşuntetraetil ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$) ilave edilmektedir (Safgönül vd., 1995).

Vuruntuya karşı direnci yüksek olan yakıt daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalışabilir, böylece motor ısı verimi ve motor gücü artar (Ganesan, 1996).

3.1.3. Zamk ve vernik oluşturmamak

Hidrokarbonların oksijenle temasları sonucunda zamk veya vernik oluşumu görülebilir. Bu atıklar zamanla oluşurlar ve motor için tehlikelidirler. Subapların yapışmasına ve yakıt sisteminin tıkanmasına, neden olabilirler. Zamk ve vernik oluşumu benzinin artan oksijen konsantrasyonuyla, sıcaklığın artmasıyla, güneş ışığının etkisiyle ve metallerle temas etmesiyle artmaktadır.

Bundan dolayı, benzinin zatk ve vernik içeriğine sınırlamalar getirilmiştir (Borat vd., 1992; Ganesan, 1996).

3.1.4. Korozyon özelliği

Yakıtın içerisindeki hidrokarbonlar serbest kükürt bulundurabilirler. Kükürt korozyona neden olan elementlerden birisidir. Yakıt borularında, karbüratörde, yakıt pompasında korozyona neden olabilir. Bunun için, yakıtta kükürt içeriği az olmalıdır (Ganesan, 1996, Safgönül vd., 1995).

Ayrıca kükürt, oksijenle birleşerek kükürtdioksit oluşturarak asit yağmurlarına neden olurlar. Kükürtün düşük alevlenme sıcaklığı olması nedeniyle benzinin alevlenme sıcaklığını düşürür ve vurutuya sebep olur (Ganesan, 1996).

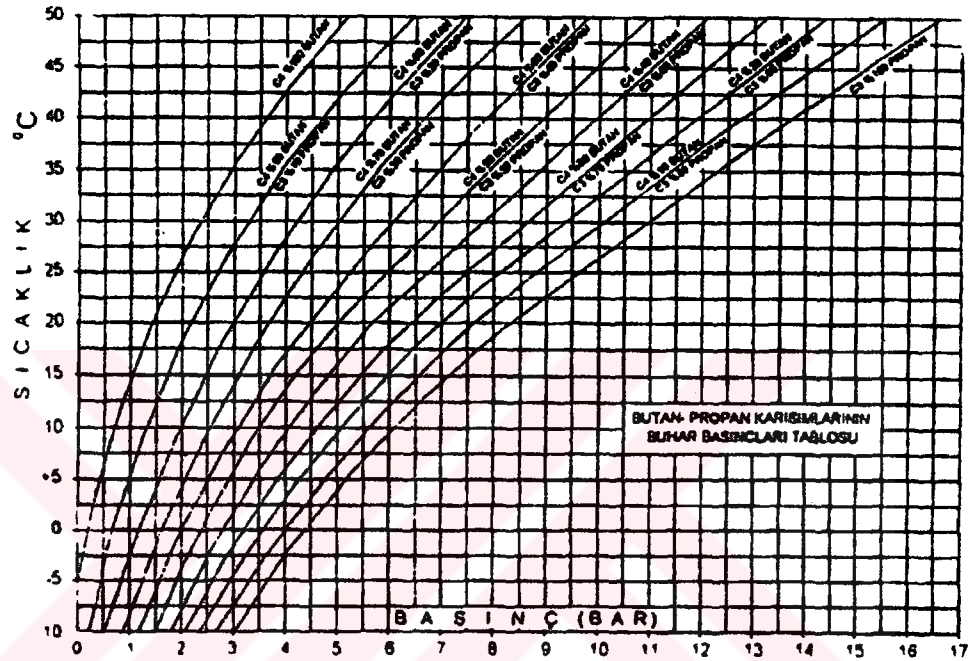
3.2 LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)'nin Özellikleri

Sıvılaştırılmış petrol gazının benzine göre farklı özellikleri vardır. Ülkemizde taşıtlarda kullanılmak için özel karışım yoktur. Ülkemizde kullanılan LPG'de %30 propan, %70 bütan vardır (MMO, 1999).

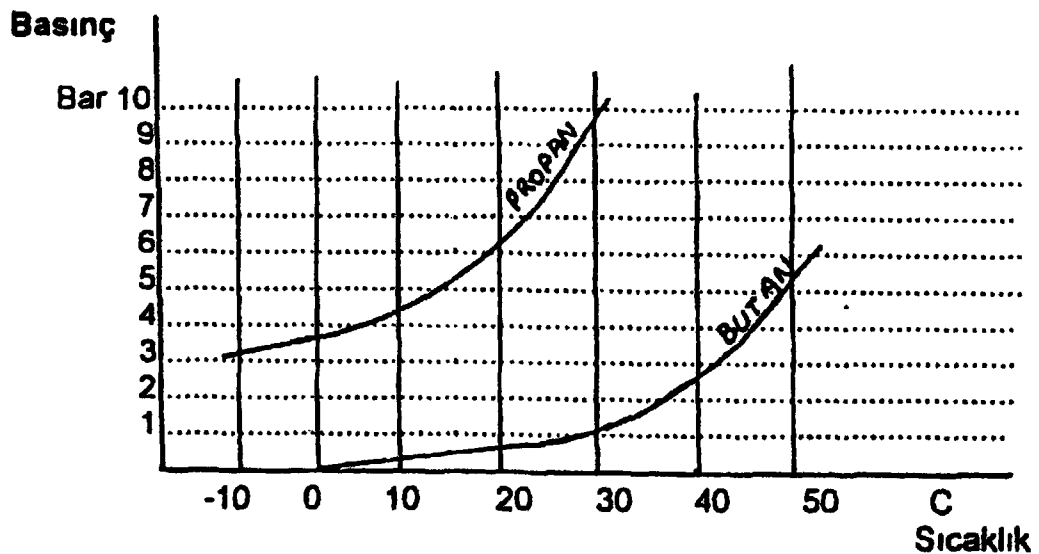
3.2.1. Buhar basıncı

Sıvılaştırılmış petrol gazının belirleyici özelliklerinden birisi buhar basıncıdır. Çeşitli propan ve bütan karışımlarının buhar basınçlarının grafiği Şekil 3.3'de verilmiştir. Şekil 3.4'de de propan ve bütan için ayrı ayrı olarak buhar basıncı grafiği verilmiştir.

Soğuk iklimlerde kolay ilk çalışmayı sağlamak amacıyla LPG karışımındaki propan oranı artırılmalıdır. Böylece, LPG'nin daha kolay gaz fazına geçmesi kolaylaştırılmış olur (Lovato, 1999; MMO, 1999).



Şekil 3.3. Çeşitli LPG karışımlarının sıcaklık– buhar basıncı grafiği (MMO, 1999)



Şekil 3.4. Propan ve Bütanın buhar basıncı – sıcaklık grafiği (Lovato, 1999).

3.2.2. Vuruntuya karşı direnç

LPG'nin vuruntuya karşı direnci karışımdaki propan ve bütan miktarına bağlı olarak oktan sayısı değişmektedir. Ancak, gerek propanın gerekse bütanın oktan sayısı benzinden yüksek olduğu için LPG'nin oktan sayısı benzinden daha yüksektir. Bu nedenle alternatif yakıt olarak kullanıldığında motorun sıkıştırma oranı değişmediğinden vuruntusuz olarak çalışır (Lovato, 1999; MMO, 1999).

3.2.3. Diğer özellikler

Benzin ve LPG karışımını oluşturan propan ve bütanın bazı özellikleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Benzin, propan ve bütanın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (Karel, 1997; MMO, 1999)

Yakıt Özellikler	Benzin	Propan	Bütan
Stokiyometrik A/F Oranı	14,6:1	15,1:1	15,0:1
NŞA Fiziksel Hali	Sıvı	Gaz	Gaz
15°C'de Yoğunluk (kg/lt)	0,73-0,78	0,508	0,584
Alt Isıl Değeri (Mj/kg)	44,0	46,4	45,6
Buharlaştırma Gizli Isısı (kj/kg)	300	426	385
NŞA Stokiyometrik Orandaki Karışımı yakmak İçin Gereken Tutuşma Enerjisi (Mj)	1,0	0,3	0,3
Kaynama Noktası	30-225	-43	-0,5
Araştırma Oktan Sayısı (RON)	96-98	111	103
Motor Oktan Sayısı (MON)	85-87	97	89

3.2.4. LPG'nin avantaj ve dezavantajları

LPG kullanımının avantaj ve dezavantajları aşağıda olduğu gibi sıralanabilir.

LPG'nin avantajları:

- Yüksek oktan sayısı
- Yakıt silindirlere daha homojen dağılır
- Daha verimli yanma
- Fakir karışımla yanma için uygun
- Daha az kirletici emisyon
- Yağlayıcılar üzerine etkisi azdır. Daha uzun süreli yağ kullanımı
- Yanma odasında daha az kalıntı bırakır

LPG'nin dezavantajları:

- Yakıt tankı daha ağırdır
- Daha az motor gücü
- Yakıt deposu yer kaplar
- Yakıt katkısı kullanılamamaktadır
- Buharlaştırıcı/ basınç regülatöründe kalıntı bırakır

3.2.4.1. LPG'nin araç kullanıcılarına göre avantaj ve dezavantajları

LPG'nin araç sürücülerine göre avantajları:

- Daha iyi sürüş
- Daha düşük yakıt ücreti
- Daha iyi çevresel özellikler
- Daha az servis masrafı (yağ, buji kabloları vs.)

LPG'nin araç sürücülerine göre dezavantajları:

- Yüksek yatırım masrafı
- Daha fazla hacimsel tüketim

- Daha düşük güç eldesi
- Yoğun güvenlik önlemleri (Menrad et al., 1985).

3.3. İçten Yanmalı Motorlarda Yanma

Benzin ve dizel motorlarda yanmanın fiziki farklı olduğu halde kimyasal reaksiyonların mekanizmaları aynıdır. Motorlarda kullanılan yakıtların hava ile yanması sonucu CO₂, H₂O, O₂, N₂, CO, H₂, O, H, NO gibi ürünler ortaya çıkmaktadır. Bu ürünlerin egzoz gazı içindeki miktarları yanmanın tam veya eksik yanmaya bağlı olarak değişmektedir (Safgönül vd., 1995).

3.3.1. Silindir içindeki karışım

Tam yanmanın ilk şartı ortamda yeterli miktarda havanın bulunmasıdır. Yakıt C, H, O, N, S gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Benzinin içinde yalnızca karbon (C) ve hidrojen (H₂) bulunduğu kabul edilirse 1kg. benzinin tam yanması için gerekli olan hava teorik olarak yaklaşık 14.6 kg. olarak bulunur. Yanma için silindirlerin içine giren gerçek hava miktarı teorik hava miktarından fazla veya eksik olabilir. Gerçek hava miktarı teorik hava miktarına eşitse, silindir içerisindeki karışıma stokiometrik karışım adı verilir.

Yanmaya katılan gerçek hava miktarının teorik hava miktarından ne kadar saptığını belirlemek için hava fazlalık katsayısı (λ) terimi kullanılır.

$$\lambda = \frac{\text{Yanmaya katılan gerçek hava miktarı}}{\text{Tam yanma için gerekli hava miktarı}} \quad (3.1)$$

Yanmaya katılan hava miktarı teorik hava miktarına eşitse $\lambda=1$ olur. $\lambda=1$ durumundaki karışıma stokiometrik karışım adı verilir.

Yanmaya katılan hava miktarı teorik hava miktarından az ise $\lambda < 1$ olacaktır. Yakıt hava karışımında yakıt miktarı daha fazla olacağından dolayı buna zengin karışım adı verilir.

Yanmaya katılan hava miktarı teorik hava miktarından fazla ise $\lambda > 1$ olacaktır. Yakıt hava karışımında yakıt miktarı daha az olacağından dolayı buna fakir karışım adı verilir (Safgönül vd., 1995).

3.3.2 Yakıtın Isıl Değeri

Bir gazın T sıcaklığındaki özgül iç enerjisi e ve entalpisi h aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir.

$$e(T) = \int_0^T c_v(T) dt + e_0 \quad (3.2)$$

ve

$$h(T) = \int_0^T c_p(T) dt + h_0 \quad (3.3)$$

Burada e_0 ve h_0 mutlak sıfırdaki iç eözgül iç enerji ve entalpileridir. Mutlak sıfırdaki özgül iç enerji (e_0) ve entalpi (h_0) değerleri elementle için sıfır, bileşikler için oluşum ısıdır.

Özgül ısılar c_p ve c_v değerleri sıcaklıkla değişmekle birlikte bunların değerleri, katsayıları deneylerle belirlenmiş polinomlar şeklinde verilmektedir.

İç enerji ve entalpi,

$$e = u(T) + e_0 \quad (3.4)$$

$$h = h(T) + h_0 \quad (3.5)$$

şeklinde sıcaklığa bağlı ve sabit kısımlardan oluşmaktadır. Çeşitli bileşenlerden oluşan karışımlar için

$$e = \sum m_i * e_i \quad (3.6)$$

$$h = \sum m_i * h_i \quad (3.7)$$

şeklinde yazılabilir. Burada m_i 1kg karışım içindeki i 'inci bileşenin kütlesidir.

Bir gaz karışımın yanması sonucu ortaya çıkan net ısı ve ürünlerin sıcaklığı bulunabilir. Yanma başlangıcında gaz karışımı reaktant, yanma sonu gaz karışımı ise ürün olarak isimlendirilmektedir. Reaktantlar R, ürünler Ü alt indisi ile gösterilecek olursa, n_R, n_U reaktant ve ürün bileşenlerinin toplam sayıları olmak üzere,

$$h_R = \sum_{i=1}^{n_R} m_i * (h_i(T) + h_{io})_R = h_R(T) + h_{oR} \quad (3.7)$$

$$h_U = \sum_{i=1}^{n_U} m_i * (h_i(T) + h_{io})_U = h_U(T) + h_{oU} \quad (3.8)$$

olur.

$$\Delta h = Q_p = \sum m_{iU} * (h_i)_U - \sum m_{iR} * (h_i)_R \quad (3.9)$$

Her sıcaklıktaki Δh farkına gerçekleşen reaksiyonun sabit basınçtaki reaksiyon ısısı (Q_p) adı verilir. Ürün ve reaktantların entalpileri sıcaklığa bağlı olarak değiştiği için reaksiyon ısısı da sıcaklığa bağlıdır (Safgönül vd., 1995).

3.3.3. Adyabatik Alev Sıcaklığı

Yanmada reaksiyona giren reaktantların reaksiyonu sonunda ortaya çıkan Q_p ısısı ürünlere verilerek bunların sıcaklığını artırmaktadır. Erişilen T_U denge sıcaklığında ürünlerin kazanmış oldukları entalpi, reaksiyon öncesinde reaktantların T_R sıcaklığındaki entalpilerine eşit olacaktır. Yanma süresince dışarıya ısı kaybı olmadığı kabul edilirse T_U sıcaklığına adyabatik alev sıcaklığı denilmektedir (Safgönül vd., 1995).

3.3.4 Disosiyasyon

Buraya kadar reaksiyonların yönünün tek ve ileri doğru olduğu ve ürünlerin sonsuz sürede oluşarak reaksiyonun dengeye geldiği kabul edilmiştir. Ancak gerçek kim reaksiyonlar sonlu hızda meydana gelmekte ve bu süre içinde ürünlerin bir kısmı parçalanarak (*Disosiyasyon*) tekrar reaktantlara dönüşmektedir (Safgönül vd., 1995).

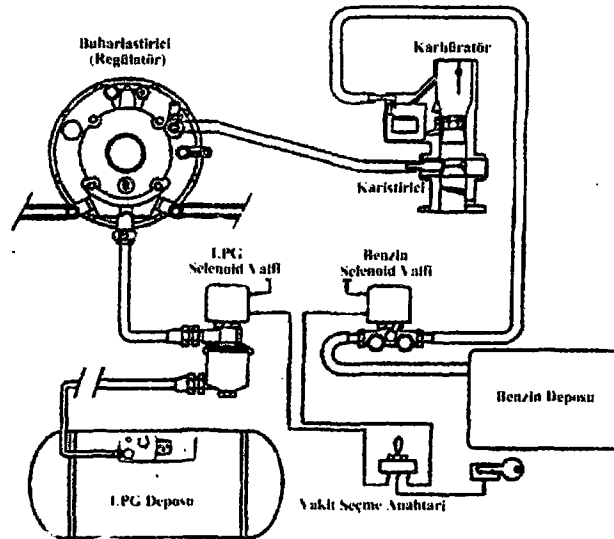
4. LPG DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ VE ELEMANLARI

4.1. LPG Dönüşüm Sistemleri

Benzinli motorların aynı zamanda LPG ile çalışmalarını sağlayacak dönüşüm sistemleri birinci, ikinci ve üçüncü nesil dönüşüm sistemleri olmak üzere üç grupta toplanmaktadır.

4.1.1. Birinci nesil LPG dönüşüm sistemleri

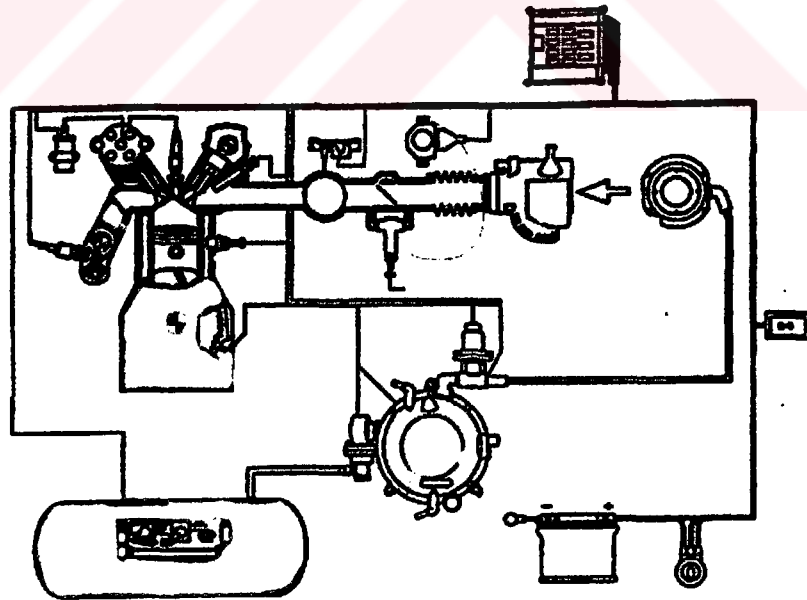
Birinci nesil LPG dönüşüm sistemleri en basit olan sistemlerdir. Bu sistemlerde açık devreli LPG donanımı kullanılmaktadır. Yakıt deposundan sıvı halde alınan yakıt, bir regülatör ve buharlaştırıcı yardımıyla emme manifoldunda yer alan bir gaz karıştırıcıya gönderilerek hava ile karıştırıldıktan sonra silindirlere yollanmaktadır. Bu sistem karbüratörlü benzin motorlarının dönüşümünde kullanılmaktadır. Birinci nesil LPG sistemleri regülatörün diyaframı ayarlamak için aldığı sinyale göre vakumlu veya elektronik olarak ikiye ayrılmaktadır (MMO,1999).



Şekil 4.1. Birinci nesil LPG dönüşüm sisteminin şematik gösterimi (MMO,1999)

4.1.2. İkinci nesil LPG dönüşüm sistemleri

İkinci nesil LPG dönüşüm sistemleri kapalı devreli LPG donanımı kullanırlar. Kapalı devre sistemlerinde egzoz gazı içinde bulunan oksijen miktarı ölçülerek, elektronik kontrol ünitesi yardımıyla yakıt miktarı regülatörde uygun şekilde düzeltilmektedir. Böylece hava fazlalık katsayısı stokiometrik değerde tutulabilmekte ve egzoz sisteminde katalitik konvertör yardımıyla düşürülen emisyon şartları sağlanabilmektedir. Orjinalinde yakıt enjeksiyon sistemi bulunan taşıtlara uygulanan bu dönüşüm sisteminde ek olarak bir lambda (λ) sensörü , devir sayısı, gaz keleşi konumu, motor sıcaklığı gibi motor parametreleri için sinyalleri değerdendiren bir elektronik kontrol ünitesi ve gaz debisini değıştiren debi ayar valfi bulunmaktadır (MMO,1999).



Şekil 4.2. İkinci nesil LPG dönüşüm sisteminin şematik gösterimi (MMO,1999)

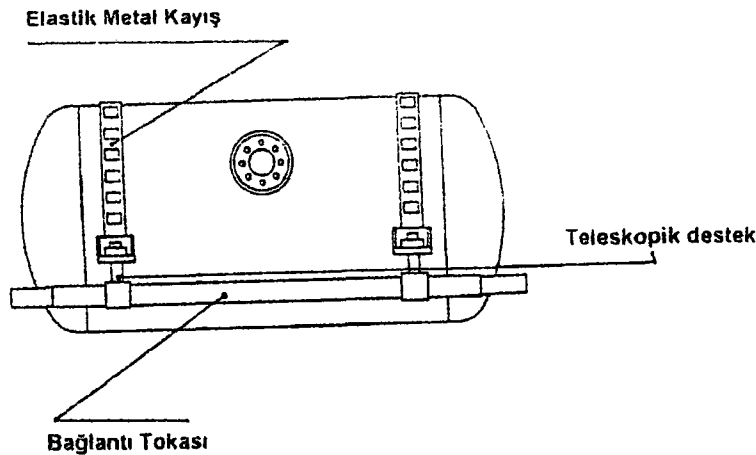
1. LPG deposu
2. Multivalf (Çokluvalf)
3. LPG - Benzin yakıt seçme anahtarı
4. LPG selenoid vanası
5. Benzin selenoid vanası
6. LPG buharlaştırıcı (regülatör, basınç düşürücü, vaporizer)
7. Gaz Ayar Vanası
8. Karıştırıcı (Mikser)
9. İletim Elemanları

4.2.1. LPG deposu ve montajı

LPG deposu maksimum 115 atmosfer basınçta ve dış etkenlere mukavemetli yapılmış basınçlı kaptır. LPG tankları silindirik ve stepne tipinde olmak üzere iki çeşittir. Bunlar da kendi aralarında ikiye ayrılırlar: A tipi tanklar, B tipi tanklar. A tipi tanklar 17 atmosfer işletme basıncında çalışırlar, 30 atmosfer test basıncı ile test edilirler. B tipi tanklar 17 atmosfer işletme basıncında çalışırlar, 45 atmosfer test basıncı ile test edilirler. Depoların muayeneleri sırasında depolarda şişme, sızıntı, akma veya esneme belirtileri olmamalıdır. LPG depoları TS ve Avrupa standartlarına uygun olarak üretilmelidirler. Bütün üreticilerin depoları satılmadan önce 45 barlık bir basınçta tabi tutulur. Her 100 depoluk üretim partisinden rastgele seçilen bir tanesi teste tabi tutulur. LPG tankları 10 yıldan fazla kullanılamaz ve 10 yılını dolduran depolar yenisi ile değiştirilmelidir. Eski depolar imha edilmelidir. LPG depoları taşıtlara uygun şekilde farklı uzunluk ve çapta üretilmektedirler (MMO, 1999; Lovato, 1999).

LPG depoları, sıvı LPG ile %100 oranında doldurulmaması gerektiğidir. Depoda az miktarda LPG içerdiğinde bile iç basınç LPG karışımının buhar basıncına eşittir. Bu ise, karışımın yapısına (bütan/propan oranına) ve sıcaklığa bağlıdır. Her durumda, basınç değerleri deponun mukavemeti ile karşılaştırıldığında çok küçüktür. Depo tamamen sıvı LPG ile doldurulduğunda basınç çok yüksek değerlere ulaşabilir. Deponun sıvı LPG ile doldurulması sırasında depo kapasitesinin %80'ini aşmaması gerekmektedir. Depo üzerinde bulunan multivalf depo kapasitesi %80'i geçtiğinde dolumu kesmelidir. Her zaman depo içinde %20 genleşme payı kalmalıdır. (MMO, 1999).

LPG deposu, binek araçlarda bagaja yerleştirilirler. Depolar kolayca sökülemeyecek şekilde montajı yapılmalıdır. Montajda dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta ise, multivalfin tank üzerine monte edilmesidir. Multivalf üzerindeki göstergenin ve diğer elemanların yatay konuma paralel olması sağlandıktan sonra, depo kayışı gerdirilerek sabitlenir. Yatay konumda monte edilmeyen bir tank multivalf üzerinde bulunan gaz emme borusundan gazı ya hiç emmez ya da emme borusu tankın dibine vuracağından LPG içinde bulunabilecek yabancı maddelerin emilmesine neden olabilir (MMO, 1999).

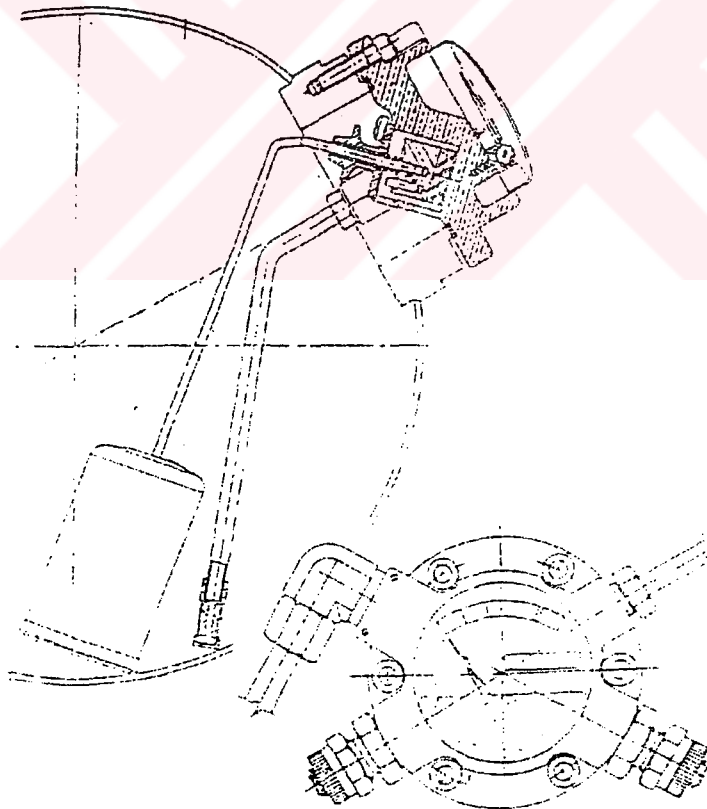


Şekil 4.4. LPG deposu montaj resmi (MMO, 1999)

4.2.2. Multivalf (Çokluvalf)

Multivalf, LPG dönüşüm sisteminde yakıt deposu üzerine takılan, dolum yapma, yakıtın geri alınması ve seviye gösterimini sağlayan parçadır (Lovato, 1999).

LPG tankına gaz dolum işlemi, dolum limitini ayarlama, deponun seviyesini gösterme, LPG'yi motora gönderme, aşırı akışı kontrol etme ve herhangi bir nedenden dolayı motora giden borular delinirse gaz akışını keserek emniyeti sağlamak multivalfin görevleridir.



Şekil 4.5. Multivalfin LPG deposuna montajı ve ön görünüşü

Multivalfler kendi aralarında A tipi ve B tipi olmak üzere ikiye ayrılırlar: A tipi multivalflerde 25 atmosferik tahliye valfi bulunur, B tipi multivalflerde tahliye valfi bulunmaz.

Doldurma: Yakıt alma sırasında, yakıt pompasından geçen LPG multivalften geçer. İyi bir multivalf, uzun bir dolum süresini engellemek için LPG'nin geçişine fazla direnç göstermemelidir.

Dolum Limiti: Mevcut standartlar ve güvenlik nedenleriyle depo fazla doldurulmamalıdır. Maksimum dolum miktarı deponun %80'idir.kalan %20'lik bölümde sıcaklıktaki bir artışla birlikte içerideki sıvının bütün hacmi doldurmadan genleşebilmesine imkan sağlanır. Depoda gaz haldeki LPG için küçük de olsa bir hacim bırakıldığı sürece basıncın tehlikeli seviyelere yükselme olasılığı yoktur. Doldurma işlemini doğru noktada kesebilmek için şamandıra bağlı olan ve maksimum seviyeye ulaşıldığında LPG akışını kesen bir cihazla donatılmıştır.

Seviyeölçer: İki mıknatıs yardımıyla depodaki LPG seviyesini ölçmek mümkündür. Mıknatıslardan birisi tankın içinde olup, şamandıraya bağlı cihazlarla birleşiktir; diğeri ise deponun dışında olup göstergeye bağlıdır. Kadran genellikle dörde ayrılmıştır ve bir bölme de rezerv için mevcuttur. Deponun konumu yüzünden okumanın zor olacağı veya müşterinin arzu ettiği durumlarda multivalf uygun elektronik dönüştürücülere bağlanabilir. Bu dönüştürücüler, gerekli elektronik devrelere bağlanır ve yakıt seviyesini sürücüye uyarı ışıkları veya başka analog sistemlerle gösterirler.

LPG Emme İşlemi: Deponun dibine doğru dönük bir emme borusu sayesinde sıvı LPG'nin depodan çekilmesini sağlar. Multivalf her durumda motorun ihtiyaç duyacağı LPG akışını yük kaybına neden olmadan sağlayabilmelidir.

Kesme: Multivalfin üzerinde emme ve doldurma borularını bloke etmeye yarayan iki vana vardır. Bunlar genel olarak açık durumdadır. Ancak bakım işlemi sırasında veya kaza vb. durumlarında kapatılabilir. Multivalfe erişim güç olduğunda, emme borusunu kolayca kapatabilmek için bir uzaktan kumanda sistemi monte edilmelidir.

Aşırı Akım: Multivalfin içinde ve LPG emme borusu üzerine yerleştirilen ‘aşırı akım vanası’ belirli bir kalibrasyon değerinin üzerine çıktığında akışı durdurmaya yarar. Gerçekte aşırı akım vanası bir kaza sonucu motora giden LPG borusu kırılacak olursa gaz kaçaklarını durdurur.

Gaz seviyesini gösterebilmek için bir şamandırası, bir de gazın emilmesi için gaz emme borusu bulunmaktadır. Montaj sırasında hiçbir şekilde şamandıra çubuğu ile oynanmamalıdır.

Multivalfin motajında en önemli hususlardan birisi de yatay konuma paralel olmasıdır. Multivalfin doğru olarak çalışabilmesi için, multivalfte bulunan çap ve ölçülendirmenin LPG deposu ile aynı olması gerekmektedir (MMO,1999; Lovato, 1999).

4.2.3. LPG-Benzin yakıt seçme anahtarı

Yakıt seçme anahtarı sürücü tarafından motorun benzinle veya LPG ile çalışmasını sağlayacak seçenekleri bulunan bir elektrik anahtarıdır (MMO,1999; Lovato, 1999).

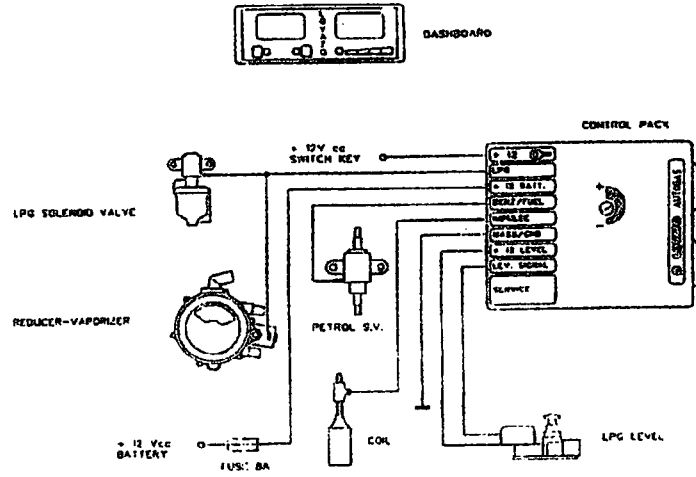
Aracın benzinden LPG'ye, LPG'den benzine geçişini sağlamak, LPG deposunda bulunan seviyeyi göstermek, gerektiğinde benzin veya LPG

selenoid valfinin kapalı konumda kalmasını sağlamak yakıt seçme anahtarının görevleridir.

Yakıt seçici anahtarların jikleli, yarı elektronik ve tam elektronik olmak üzere üç çeşidi vardır. Bu tiplere ait devre şemaları kendi kit kutularının içinde bulunur.

Yakıt seçme anahtarında ‘Benzin-LPG-Bekleme’ konumlarını içeren üç pozisyonlu anahtar ile bunların led lambaları ile LPG deposundaki yakıt seviyesini gösteren ışıklı göstergeye sahiptir. Bu elektronik anahtarın içerisinde yeralan bir devre, motorun ihtiyacı olan gaz miktarını ayarlamak üzere buharlaştırıcı (regülatör) üzerindeki elektro valfe (selenoid valfe) komut göndermeyi sağlamaktadır. Bu devre motor devrini aracın endüksiyon bobininden aldığı sinyale göre algılayıp elektro valfe komut göndermektedir.

Yakıt seçici anahtar benzin konumunda iken kırmızı led lambası yanmakta ve benzin selenoid valfi açık, LPG selenoid valfi ise kapalı konumdadır. Yakıt seçici anahtar LPG konumunda iken göstergenin yeşil led lambası yanmakta ve LPG selenoid valfi açık, benzin selenoid valfi kapalı konumdadır. Elektronik yakıt seçici anahtarda benzin ve LPG seçenekleri arasında bir bekleme konumu olup, benzinden LPG’ye geçerken kullanılmaktadır. Bekleme konumunda hem benzin hem de LPG selenoid valfleri kapalı konumdadır. Böylece her iki selenoid valf kapalı iken aracın karbüratöründeki benzinin tüketilmesi sağlanmakta ve motor durmak üzere iken anahtar sürücü tarafından LPG’ye geçirilmekte ve aracın LPG ile çalışması sağlanmaktadır.



Şekil 4.6. Yakıt seçme anahtarı ve bağlantılarının şematik gösterimi (MMO,1999)

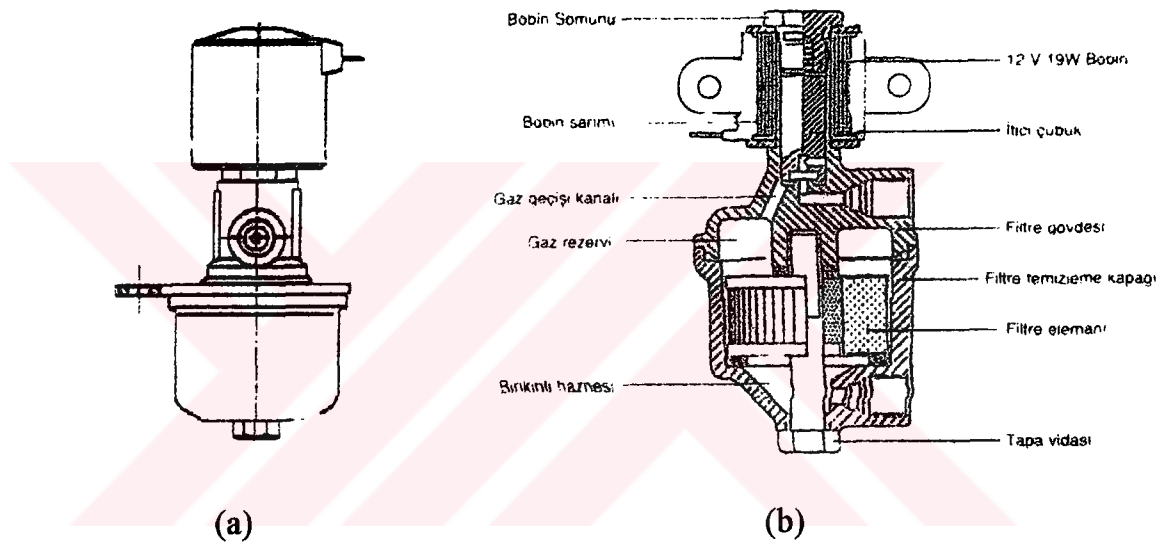
Elektronik yakıt seçici anahtarın bir diğer önemli görevi ise kontak anahtarı açıkken motor 5 saniye içinde çalışmazsa otomatik olarak LPG valflerini kapar.

Anahtar üzerinde LPG deposundaki yakıt seviyesini gösteren 5 adet led lamba bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi kırmızı, diğerleri ise yeşil renktedir. Kırmızı led, rezervde yakıt kaldığını gösterir (yaklaşık 5 litre); yeşil ledler ise depodaki LPG miktarını 1/4 ve katları olarak gösterir (MMO,1999; Lovato, 1999).

4.2.4. LPG selenoid valfi

LPG deposu ve buharlaştırıcı arasına monte edilmiş elektromanyetik kumandalı bir valftir. Bu valfin görevi, motor çalışmadığı veya motor benzin ile çalıştırıldığında LPG akışını kesmektir (MMO, 1999).

Sıvı halde depodan gelen LPG selenoid valfin birikinti haznesine (dekontasyon odasına) girer. Buradan sıvı LPG filtreden geçerek gaz rezervinin bulunduğu kısma geçer ve buradan gaz geçiş kanalı vasıtasıyla selenoidin valfin üst kısmına geçer. Aracın anahtarı kontakta olmadığı veya motor benzinle çalıştırıldığında bobinin aktivitesi durur ve valf çekiş yapamaz. Ayrıca itici çubuk (yay) aracılığı ile bastırılarak LPG'nin buharlaştırıcıya doğru akışı keser (Lovato, 1999).

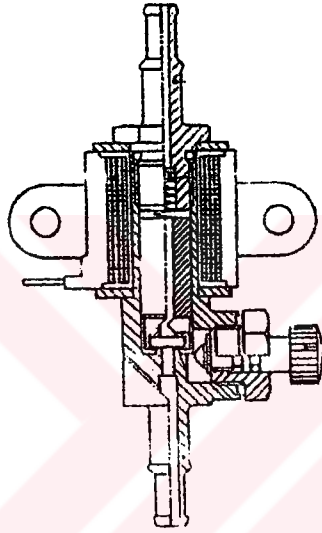


Şekil 4.7. (a) LPG selenoid valfinin görünüşü
(b) LPG selenoid valfinin kesit görünüşü (MMO,1999)

LPG selenoid valfinin yük kaybı 1 kg/cm^2 'dir. Valf 130 kg/saat 'lik geçirme kabiliyetine sahiptir. Çalışma ortamı sıcaklığı -29°C ile $+90^\circ\text{C}$ arasındadır. LPG selenoid valfi, buharlaştırıcı üzerine monte edildiği gibi, buharlaştırıcıya en yakın noktadan aracın gövdesine monte edilir. Montajda valfin dik olarak monte edilmesine dikkat edilmelidir (MMO, 1999).

4.2.5. Benzin selenoid valfi

Benzin otomatığı ve karbüratör arasına monte edilen elektromanyetik valftir. Bu valfin görevi, LPG ile çalışmada karbüratöre benzin akışını kesmektir (MMO, 1999).



Şekil 4.8. Benzin selenoid valfinin kesit görünüşü (MMO,1999)

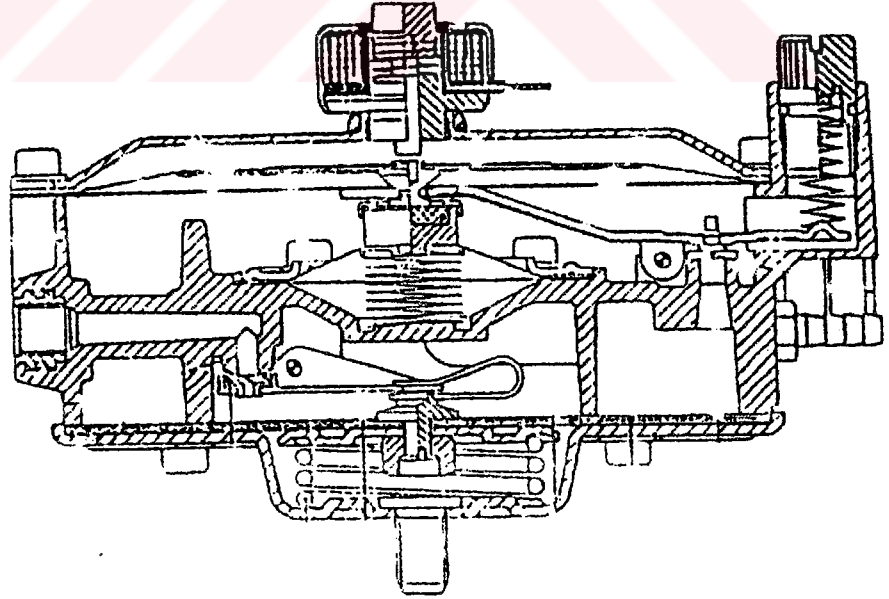
Benzin otomatığından gönderilen benzin, selenoid valfine girer. Selenoid valften doğrudan geçer. Kontak anahtarı açık olmadığında veya yakıt seçme anahtarı 'LPG' konumunda olduğunda yay ile itilen valf benzin akışını keser. Yakıt seçme anahtarı 'benzin' konumuna getirildiğinde bobinin elektromanyetik alan oluşturur ve bu güç ile valfin açılması ve benzinin geçişi sağlanır. Benzin selenoid valfi yalnızca karbüratörlü motorlara monte edilir (Lovato, 1999).

4.2.6. LPG buharlaştırıcı (Regülatör)

Buharlaştırıcı, yüksek basınçta gelen sıvı LPG'yi motor soğutma suyunun sıcaklığını kullanarak gaz haline dönüştürür, motorun ihtiyacına göre LPG ayarlamasını yapar.

Elektronik ve pnömatik (vakumlu) olmak üzere iki çeşidi vardır. Elektronik tiplerde buharlaştırıcıdan karbüratöre gaz akışı kontak ile birlikte çalışır.

Buharlaştırıcı karbüratöre en yakın noktaya dikey pozisyonda monte edilir. Elektronik tiplerde buharlaştırıcı 12 Voltluk elektrikle çalışır. Bir kablo aracılığı ile yakıt seçme anahtarından komut alır.



Şekil 4.9. LPG buharlaştırıcı elemanının kesit görünüşü (MMO,1999)

4.2.7. Gaz ayar vanası

Motorun 3500dev/dak ve üstünde olan devirlerde ihtiyacı olan LPG'yi sağlamak için ayarlanabilen düz veya çatal bir ayardır. Buharlaştırıcı ile karıştırıcı arasına monte edilir. Gaz ayar vanası motor yüksek devirlere getirilerek vana kapalı konumdan tam açık konuma doğru getirilirken motorun ihtiyacı olan gaz miktarına ulaşıldığında vana sabitlenir, böylece motora ideal gaz akışı sağlanmış olur (MMO, 1999).

4.2.8. Karıştırıcı (Mikser)

Karıştırıcı, LPG ve hava karışımını homojen bir şekilde sağlayan LPG dönüşüm sistemi parçasıdır. Karıştırıcının görevi çalışan motora, her çalışma durumunda emilen hava miktarı ile orantılı gaz vermeyi sağlamaktır (MMO, 1999).

Karbüratörlü motorlarda en sağlıklı ve en verimli karıştırıcı montajı noktası karbüratörün en üst noktasıdır (MMO, 1999).

Her motordaki farklı tipteki karbüratörler için farklı tipte karıştırıcılar vardır. Bunlar iki grupta toplanırlar.

1. Grup

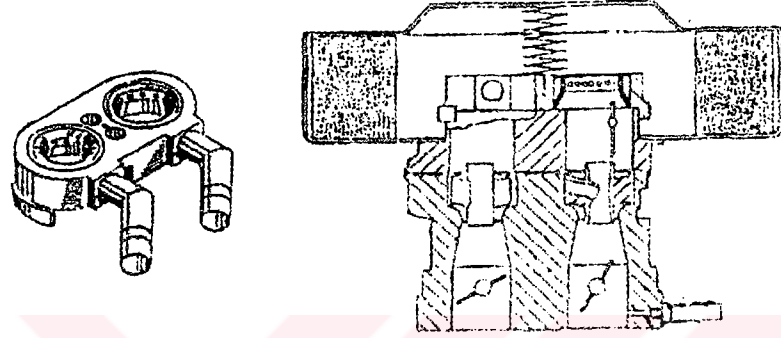
- a. Set üstü plaka karıştırıcılar
- b. Plaka altı karıştırıcılar

2. Grup

- a. Karışık sistemler
- b. Çatallı sistemler

4.2.8.1a. Set üstü karıştırıcılar

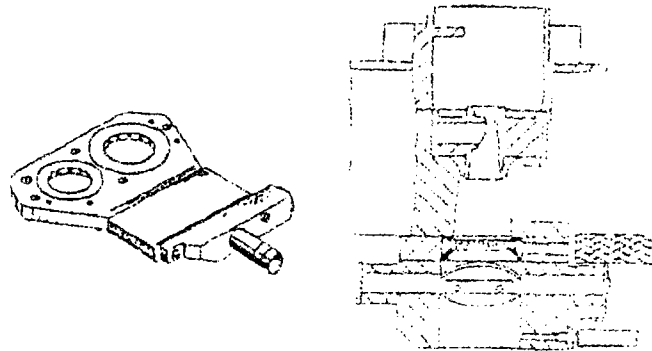
Bu tip karıştırıcılar karbüratörün üstünde bulunan karıştırıcılardır. Hava filtresi ile karbüratör arasına monte edilirler (MMO, 1999).



Şekil 4.10. Set üstü karıştırıcının şematik görünüşü ve monte edilmiş şekli (MMO,1999)

4.2.8.1.b. Plaka altı karıştırıcılar

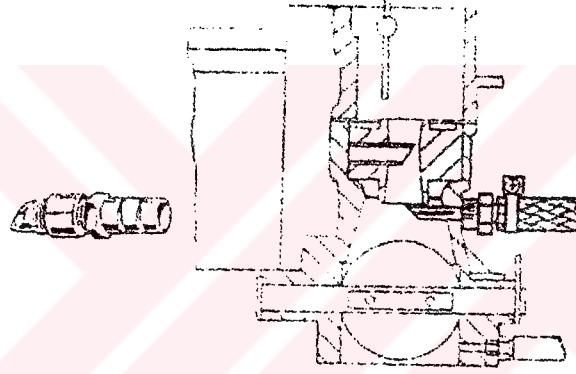
İki parçaya ayrılabilen karbüratörlerde gaz kelebeğinin üzerine monte edilirler. Bu tip karıştırıcılar hava-benzin karışımının daha iyi olmasını sağlarlar (MMO, 1999).



Şekil 4.11. Plaka altı karıştırıcının şematik görünüşü ve monte edilmiş şekli (MMO,1999)

4.2.8.2.a. Karışık sistemler

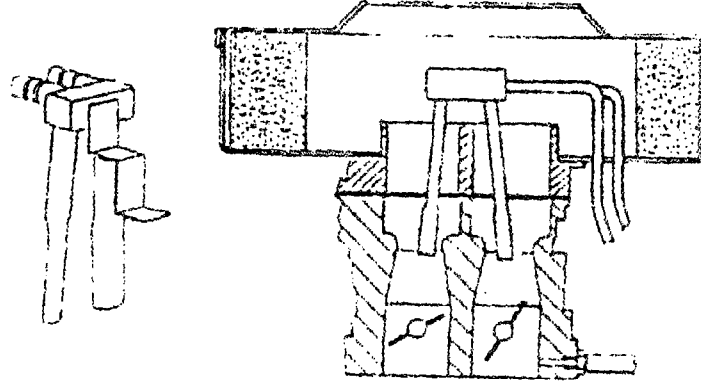
Bu tip karıştırıcı sistemler karbüratörü delen bir rekor olarak tarif edilebilir. Doğru uygulanırlarsa iyi sonuçlar verirler. Her tür karbüratör için uygun değildir. Montajında uzmanlık gerektirir; doğru monte edilemeyen karıştırıcılarla hem iyi sonuçlar alınamaz; hem de karbüratör deforme edilmiş olur (MMO, 1999).



Şekil 4.12. Karışık sistem karıştırıcının şematik görünüşü ve monte edilmiş şekli (MMO,1999)

4.2.8.2.b. Çatallı sistemler

Karışık sistemlere nazaran daha kolay bir çözümdür. Her türlü karbüratöre uygulanabilir. Karıştırıcı sisteminin çalışabilmesi için kelebek valflerinin başlangıç konumlarının yeniden ayarlanması gerekir; aksi halde sistem çalışmaz (MMO, 1999).



Şekil 4.13. Çatallı sistem karıştırıcının şematik görünüşü ve monte edilmiş şekli (MMO,1999)

4.2.9. İletim Elemanları

4.2.9.1. Bakır borular

Bakır borunun görevi LPG deposundaki sıvı LPG'yi LPG selenoid valfine oradan da buharlaştırıcıya iletmektir. Bakır boru mutlaka 45 bar basınca dayanıklı olmalıdır. Egzostan en az 25 cm. uzaktan ve taşıtın altına yere sürtmesi sırasında zarar görmeyecek şekilde monte edilmesine dikkat edilmelidir.

4.2.9.2. Hortumlar

Çelik zırlı örgülü hortum ve sıcağa ve basınca dayanıklı su hortumları olarak iki çeşittir.

Çelik zırlı örgülü hortum buharlaştırıcı ile karıştırıcı arasındaki LPG akışını sağlar. Bu hortum hidkarbon geçirimlerine ve yağlı malzemelere karşı dayanıklı olmalıdır. 20-90°C sıcaklığa dayanıklı olmalıdır.

Sıcaklığa ve basınca dayanıklı su hortumunun görevi motor soğutma suyunu buharlaştırıcıya getirmek götürmektir. Kauçuk lastik malzemeden yapılmıştır. 20-90°C sıcaklığa ve en az 30 bar basınca dayanabilen mukavemette olmalıdır.

LPG dönüşüm kiti monte edildikten sonra sızdırmazlığa karşı dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir.



5. KATALİTİK KONVERTÖRLER

Buji ateşlemeli motorlarda egzoz gazı sıcaklığı rölantide 300-400 °C, yüksek güçte çalışmada 900 °C civarında değişmektedir. En çok 400-600 °C arasındadır. Buji ateşlemeli motorlar çoğunlukla yakıt hava oranları 0.9-1.2 arasında çalışmaktadır. Böylece egzoz gazı fakir karışımda bir miktar oksijen veya zengin karışımda önemli miktarda karbonmonoksit (CO) içerir. Bunun tersine, dizel motorları püskürtülen yakıt miktarı ile kontrol edildiği için daima fakir karışımla çalışırlar.

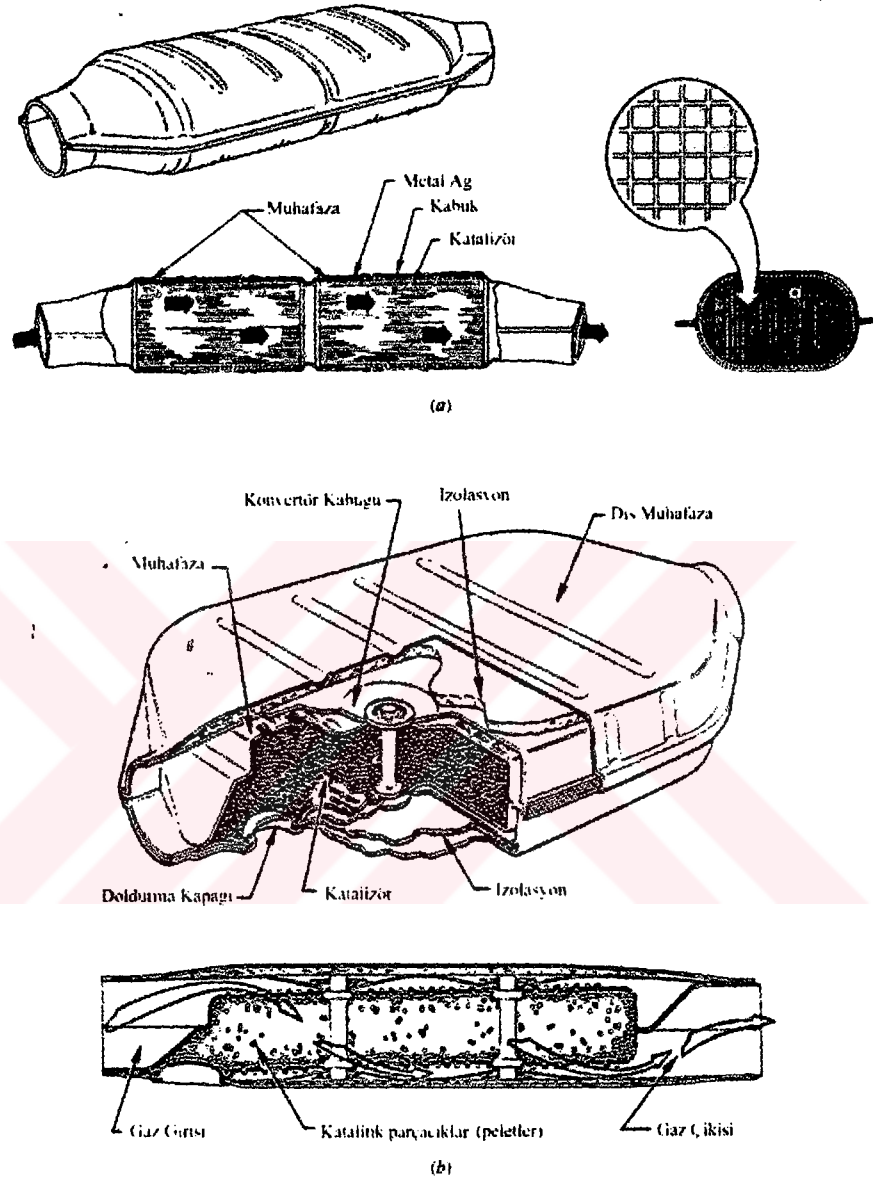
Egzoz gazlarının silindiri terk etmesinden sonra gaz kirleticilerin temizlenmesi termal veya katalitik olabilir. Katalizör kullanmadan hidrokarbonları oksitlemek için sıcaklıklar 600 °C'nin üzerinde olmalıdır. Karbonmonoksiti oksitleyebilmek için sıcaklıkların 700 °C'nin üzerinde olması gerekmektedir. Egzozdaki karbonmonoksit ve hidrokarbonların katalitik oksidasyonu 250 °C kadar düşük sıcaklıklarda mümkün olmaktadır. Böylece, bu kirleticilerin temizleme etkinliği termal oksidasyonda olduğundan daha geniş sıcaklık aralığında oluşmaktadır. Egzoz gazından azotoksitleri temizlemek için tek tatmin edici yöntem katalitik prosesleri içermektedir. NO'nin (azotmonoksit) egzoz gazındaki CO, HC veya H₂ kullanılarak indirgenerek N₂ üretimi için katalitik işlem tercih edilmektedir. Buji ateşlemeli motorlarda katalitik konvertörler yaygın şekilde kullanılmaktadır (Heywood, 1988).

5.1. Katalitik Konvertörlerin Yapısı

Katalitik konvertörler, özel olarak dizayn edilmiş metal muhafaza içinde aktif katalitik malzeme içeren, susturucuya benzer şekilde içinden egzoz gazı geçen parçalardır. Katalitik konvertörlerde petek şeklinde, yüzey alanı çok geniş, seramikten (magnesium-alüminyum silikat) veya metalden yapılmış

(monolith) taşıyıcı eleman bulunmaktadır. Petek yapıdaki kanal sayısı 30-60 kanal/cm² kadardır. Bu taşıyıcının yüzeyi 20 µm kalınlığında gözenekli (poroz) tabakayla, washcoat, kaplıdır. Tipik bir monolith, 1mm uzunluktaki kare kesitli geçiş kanallardan oluşur, bu kanallar 0,1-0,15 mm kalınlığındaki ince gözenekli duvarlarla ayrılır. Bu kanalların sayısı 400-600 adet/inç²'dir. Bu sayı metal taşıyıcılarda 1200 adet/inç² olabilmektedir. Washcoat monolith ağırlığının %5-15'i kadardır. Esas olarak Al₂O₃'den oluşmaktadır ve yüzey alanı 100-120 m²/g'dır. Böylece yüzey alanı 1 litre hacimde 20000 m² kadar ulaşabilmektedir. Gözenekli ara tabaka üzerinde ise platin (Pt), palladyum (Pd), rodyum (Rh) gibi değerli (soy) metallere oluşan katalizör malzemesi kaplanmıştır. Bu metaller egzoz gazları ile reaksiyona girmeyip sadece normal egzoz şartlarında oluşmayacak reaksiyonların oluşması için katalizör görevi görürler. Ortalama olarak bu metallerin bir katalitik konvertör başına miktarları 1-2 g'dır. Pt, Pd CO ve HC'nin oksidasyonunda, Rh ise NO_x'in indirgenmesinde rol alırlar. Bu metaller egzoz gazları ile reaksiyona girmeyip sadece normal egzoz şartlarında, düşük sıcaklık ve kısa zaman içinde oluşmayacak reaksiyonların oluşması için aracılık ederler (Heywood, 1988; Koltsakis and Stamelenos, 1997; Kutlar vd.; 1998).

Genel olarak katalizör aktif elementleri olarak platin (Pt) ve rodyum (Rd) kullanılmaktadır. Platin yerine, tamamen veya kısmen, palladyum kullanımına doğru yönelme vardır. Katalizör maliyetlerinde düşüş sağlamak için palladyum tercih edilmektedir (Koltsakis and Stamelenos, 1997).

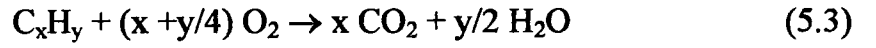


Şekil 5.1. Üç yollu katalitik konvertörler (a) Monolitik dizayn, (b) peletli tip dizayn (Heywood, 1988)

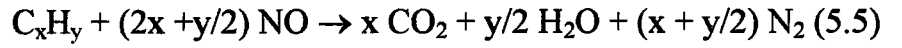
5.2 Reaksiyonlar

Üç yollu katalitik konvertörde CO ve HC oksidasyonu ile CO_2 ve H_2O , NO_x 'in indirgenmesi ile N_2 oluşumunda çok sayıda reaksiyon olmakla beraber bunların başlıcaları şöyledir (Kutlar vd., 1998).

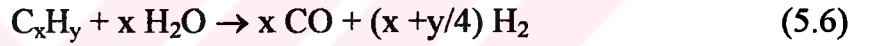
Oksidasyon reaksiyonları:



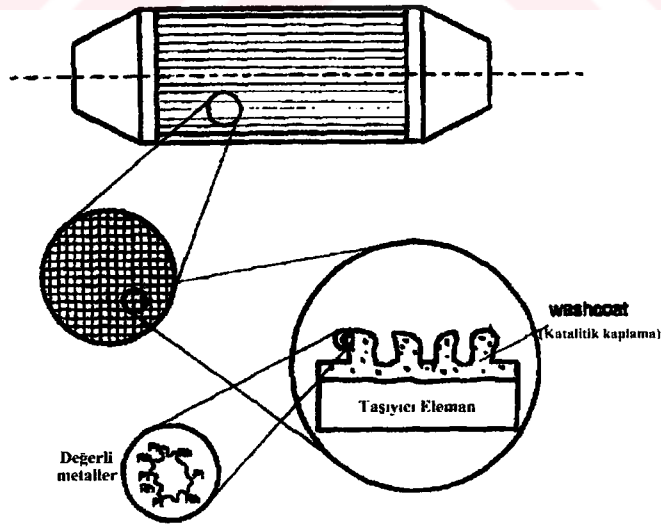
NOx indirgenmesi:



Buhar Reforming (Steam Reforming):



Su gaz değişimi:

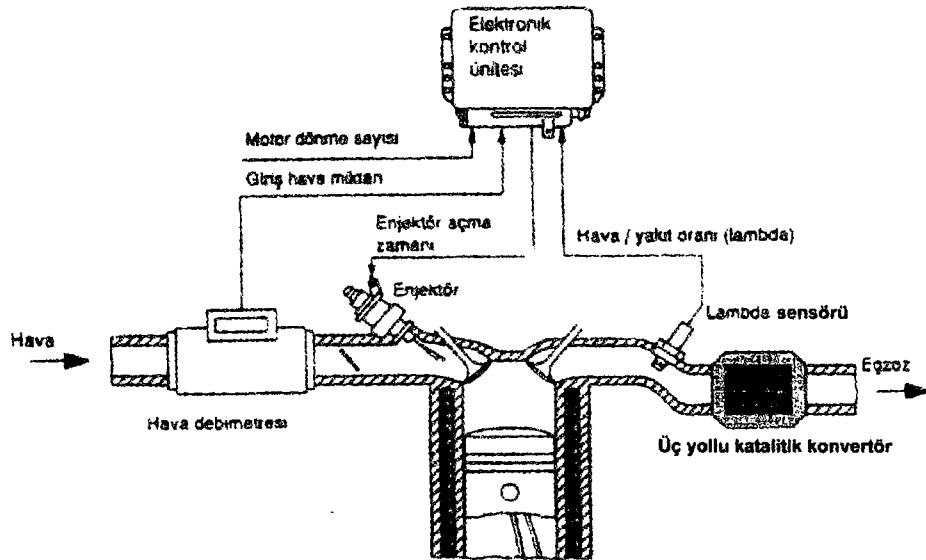


Şekil 5.2. Monolitik katalitik konvertörün yapısı (Koltsakis and Stameletos, 1997)

5.3. Katalitik Konvertörlü Sistemlerin Elemanları

Üç yollu katalitik konvertörleri kullanan motorların önemli bir parçası da lambda (λ) sensörüdür. λ -sensörü egzoz gazları içindeki oksijen miktarına göre bağlı olarak bir çıkış gerilimi üretmektedir. Bu gerilim dar tolerans aralığında $\lambda > 1$ için 0, $\lambda < 1$ için ise 800mV (milivolt) mertebelerindedir. Çıkış gerilimi yakıt sisteminin elektronik kontrol ünitesine (ECU) iletilir ve ECU'da $\lambda = 1$ olacak şekilde püskürtülen yakıt miktarı ayarlanır. Bu şekilde λ -sensörü, ECU ile donatılmış sistemlere kapalı devre katalitik konvertör sistemleri denmektedir. Bu sistemin basit karbüratörlü araçlara uygulanması mümkün değildir. Gelişmiş özel karbüratörlü, tek veya çok noktadan enjeksiyonlu motorlara uygulanabilmektedir (Kutlar vd., 1998).

Deneylerde karbüratörlü motor kullanıldığı için açık devre katalitik konvertör sistemi olarak adlandırılan sistem kullanılmıştır. Bu sistemde motorun egzoz sistemine yalnızca üç yollu katalitik konvertör bağlantısı yapılmıştır. λ -sensörü, ECU gibi cihazlar bulunmamaktadır.



Şekil 5.3. Kapalı devre katalitik konvertör sistemine sahip motorun basitleştirilmiş şeması (Kutlar vd., 1998)

5.4. Katalitik Konvertörlerde Verim

Katalitik konvertörlerde dönüştürme verimi aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$\eta_{cat} = \frac{\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out}}{\dot{m}_{in}} \quad (5.7)$$

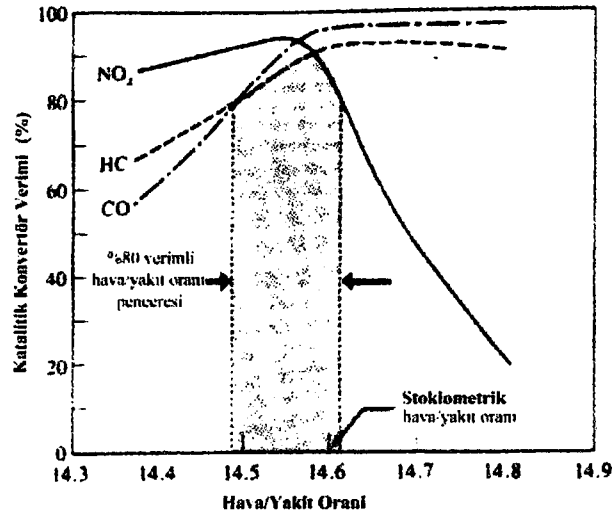
η_{cat} : Katalitik konvertörün verimi

$\dot{m}_{in}$: Konvertöre giren emisyon miktarı

$\dot{m}_{out}$: Konvertörden çıkan emisyon miktarı

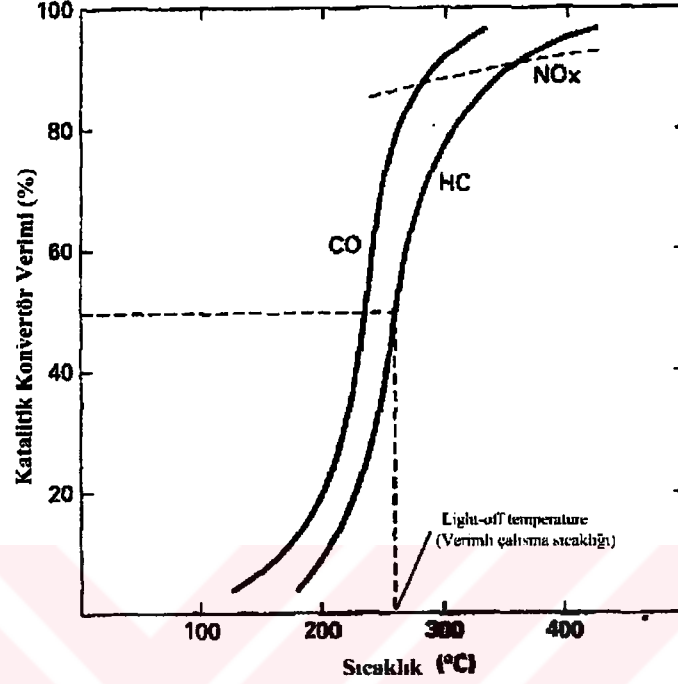
Burada emisyon olarak HC, CO ve NO_x ayrı ayrı hesaplanır.

Üç yollu katalitik konvertörlerin NO_x, HC ve CO için dönüşüm verimleri hava/yakıt oranının fonksiyonu şeklindedir. Katalitik konvertörün dönüştürme veriminin hava/yakıt oranına bağlı olarak grafiği Şekil 5.4’de verilmiştir. Hava/yakıt oranının stokiometrik orana yakın olduğu dar bir pencerede bu üç kirletici için yüksek dönüştürme verimi elde edilmektedir.



Şekil 5.4. Üç yollu katalitik konvertörün hava/yakıt oranına bağlı olarak dönüştürme verimi (Heywood, 1988)

Katalitik konvertörün verimini etkileyen parametrelerden birisi de sıcaklıktır. Katalitik konvertörün verimli çalışabilmesi için katalitik konvertör içindeki sıcaklığın 400 °C ve daha üzerinde olması gerekmektedir. Motor ilk çalıştırıldığında katalitik konvertör de soğuk olmakta ve katalitik konvertör verimsiz olmaktadır. Katalitik konvertörün %50 verime ulaştığı sıcaklığa verimli çalışma sıcaklığı (light-off temperature) denmektedir. Katalitik konvertörlerin hızlı bir şekilde bu sıcaklığa ulaşarak verimli olarak çalışabilmesi için çeşitli uygulamalar geliştirilmektedir. Şekil 5.5’de grafik olarak gösterilmektedir (Pulkrabek, 1997).



Şekil 5.5. Üç yollu katalitik konvertörün sıcaklığa bağlı olarak dönüştürme verimi (Pulkrabek, 1997)

5.5 Katalitik Konvertörde Isı ve Kütle Transferi

Egzoz borusundaki egzoz gazının akışı türbülanslı olmasına rağmen, katalitik konvertörün monolith kanallarında akış laminardır ($20 < Re < 300$). Akışın türbülanslıdan laminar hale geçmesi monolith girişinden birkaç milimetre sonra olmaktadır.

Konvertör içerisindeki ana ısı transferi taşınım ile ısı geçişi şeklinde olmaktadır. Isı transferi egzoz gazı ve katalizör malzeme arasında olmaktadır. Isı ilave olarak bazı egzoz gazı bileşenlerinin (CO, HC) katalitik kaplama (washcoat) üzerindeki egzotermik reaksiyonları ile ortaya çıkmaktadır. Elektrik ısıtmalı katalizörlerde elektrik enerjisi taşıyıcı elemanın ısınması sırasında sıcaklığın hızlı olarak artması sağlar. Yüksek çalışma sıcaklıklarında taşıyıcı elemanın

diğer duvarlara ışıma ile ısı transferi görülebilirse de yapılan çalışmalarda (Lee and Aris, 1977), ışıma ısı transferinin ikincil önemde olduğu ortaya çıkmıştır. Konvertörden çevreye olan ısı kaybı, konvertör muhafazasından taşınım ve ışıınım yoluyla oluşmaktadır (Koltsakis and Stameletos, 1997).

Katalitik konvertörlerin çeşitli motorlara uygulaması,katalizörlerin daha verimli hale getirilebilmesi için çok sayıdaki araştırmacı bu konular üzerinde çalışmalar yapmaktadırlar.



diğer duvarlara ısıma ile ısı transferi görülebilirse de yapılan çalışmalarda (Lee and Aris, 1977), ısıma ısı transferinin ikincil önemde olduğu ortaya çıkmıştır. Konvertörden çevreye olan ısı kaybı, konvertör muhafazasından taşınım ve ışıınım yoluyla oluşmaktadır (Koltsakis and Stameletos, 1997).

Katalitik konvertörlerin çeşitli motorlara uygulaması,katalizörlerin daha verimli hale getirilebilmesi için çok sayıdaki araştırmacı bu konular üzerinde çalışmalar yapmaktadırlar.



6.1.1. Motor

Deney motoru, FORD marka, 2260 serisi, 2264E model, 1600 cm³ hacimli, 4 zamanlı, 4 silindirli sıralı tipte benzinli bir motordur. Motor deneylere başlanmadan önce katalogunda bulunan değerlere göre ayarlanmıştır, bakımı yapılmıştır.

LPG dönüşümü yapıldığında, tek boğazlı karbüratörle uyumlu olarak çalışacak bir karıştırıcı bulunamadığı için karışık tip karıştırıcı olarak nitelendirilen sistemin takılması için karbüratörde delik açılarak buraya LPG bağlantısı yapılmıştır. Bu işlem uzman bir LPG dönüşüm servisinde yapılmıştır. Motorun teknik özellikleri aşağıdadır:

Marka	: Ford
Model	: 2264E
Tipi	: Sıralı dört silindirli (yanma odası pistonun üzerinde)
Silindir Çapı	: 80.98 mm
Strok	: 77.62 mm
Motor Hacmi	: 1599 cm ³
Sıkıştırma Oranı	: 9.1
Çalışma Aralığı	: 1500 – 4000 rpm
Yağlama Sistemi	: Basınçlı yağlamalı
Soğutma Sistemi	: Su soğutmalı (yağ ve su soğutması motor test yatağında bulunan ısı değiştiricileri ile yapılmaktadır.)
Yakıt Sistemi	: Karbüratörlü (Ford aşağı akışlı tek boğazlı karbüratör)
Ateşleme Sistemi	: Buji ateşlemeli, mekanik tipte ateşleme sistemine sahip

6.1.2. Dinamometre

Bir motorun gerçek çevrimini analiz edebilmek için, o motorun hızını ve yükünü kontrol edebilen bir dinamometreye bağlanması gerekir. Yakıt miktarı, hava debisi, silindir basıncı-silindir hacmi, soğutma sıcaklığı, yağ sıcaklığı gibi parametreleri ölçmek için de gerekli cihazlar motora bağlanmalıdır.

Dinametreler ister hidrolik olsun, isterse elektrik dinamometresi olsun hız ve torku gösteren aparatları vardır. Kontrol panelinden operatör dinamometrenin hızını ve torkunu ayarlayabilir. Hız kontrolü seçildiğinde, dinamometre o hızı sabit tutabilecek herhangi bir yükü uygular. Tork kontrolü seçildiğinde, dinamometre sabit bir yük uygular.

Elektrikli dinamometrelerde, motordan absorbe edilen güç elektriğe dönüştürülür ve ısıtıcı dirençlerle ısı olarak tüketilir. Hidrolik dinamometrelerde absorbe edilen güç dinamometre içindeki suyu pompalamak için kullanılırken, akışkan sürtünmesinden dolayı, enerji ısı olarak tüketilir. Hidrolik dinamometreler, elektrikli dinamometreler gibi motoru çalıştıramazlar (Ferguson, 1986).

Hidrolik dinamometrelere su freni de denilmektedir. Hidrolik dinamometre, basit olarak, yataklanmış bir dış muhafaza ve bir rotordan oluşmaktadır. Muhafaza ve rotor üzerinde aksi yönlerde karşılıklı kanaklar vardır. Bu kanatlar arasında sürekli olarak suyun dolaşması sağlanır. Tork, dinamometre içindeki suyun momentum değişiminden ve kesme kuvvetlerinden elde edilmektedir (Iynkaran and Tandy, 1989).

Test düzeneğinde Froude marka, DPX-2 model olan hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Tork değerleri dinamometreye bağlı kalibrasyonu yapılmış bir

teraziden doğrudan okunmaktadır. Hidrolik dinamometrenin rotoru bir kaplinle motorun krank miline bağlıdır. Hidrolik dinamometrenin kontrolü üzerinde bulunan ayar tekerleğinden yapılmaktadır. Böylece, suyun rotor ve dış muhafaza arasında kesme kuvvetine maruz kaldığı alan azaltılmakta veya artırılmaktadır.

6.1.3. Yakıt sistemi

6.1.3.1. Benzin yakıt sistemi

Benzin yakıt sisteminde taşıt üzerinde kullanılan tüm elemanlar aynen kullanılmaktadır. Yakıt sisteminde ilave olarak benzin tüketimini ölçmek için cam pipet kullanılmaktadır. Yakıt sistemi elemanlarından karbüratörde LPG bağlantısı için bir delik açılmıştır.

6.1.3.2. LPG yakıt sistemi

LPG yakıt sisteminde LOVATO marka, 1. nesil, elektronik tip (buharlaştırıcıdaki ayarlama işi elektronik olarak yapıldığından dolayı bu adı almaktadır) LPG dönüşüm kiti kullanılmıştır. LPG dönüşüm sisteminin elemanlarının tanıtım Bölüm 4'te detaylı olarak anlatılmıştır. Tüketilen LPG miktarını hassas olarak ölçebilmek amacıyla LPG deposu yerine 2.5kg'lık tüpler (piknik tüpü) kullanılmıştır. Tüpler her değiştirildiğinde LPG yakıt sistemindeki tüm bağlantı noktaları kaçaklara karşı kontrol edilmiştir. Yakıt tüketimi ise tüpün altına yerleştirilen hassas terazi ile yapılmıştır.

6.1.4. Soğutma sistemi

Motor soğutma sistemi, bir adet soğutma kulesi ve iki adet ısı değiştiricisinden oluşmaktadır. Motorun etkili bir şekilde soğutulması bu şekilde sağlanmaktadır. Motor gerekli şekilde soğutulduğu halde motor sabit olduğu için tam yük ve yüksek devirlerde egzoz manifoldu aşırı derecede ısınmaktadır. Bunu bir miktar olsun giderebilmek amacıyla soğutma fanı takılmıştır.

6.1.5. Katalitik konvertör

Deneylerde TOFAŞ marka 131 1.6 SPI model araçlarda kullanılan Pd-Rh değerli metal yüklemeli üç yollu katalitik konvertör kullanılmıştır. Bu katalitik konvertöre ait fabrika teknik verileri aşağıdadır:

-Seramik monolith (taşıyıcı matris) ölçü ve özellikleri

Çap	: 80.2 mm*169.7 mm (oval)
Boy	: 127 mm
Hacim	: 1.508 dm ³
Gaz geçiş kanal sayısı	: 62 adet/cm ² (400 cpsi)
Kanallar arası duvar kalınlıkları	: 0.15 mm (0.006 inç)
Toplam aktif yüzey alanı	: 20.2 m ² (minimum)
Ağırlık	: 0.808 kg
Malzeme	: Al ₂ O ₃ (%35.4), SiO ₂ (%49.7), MgO (%13.5)

-Washcoat

JM-239

-Değerli metal yüklemesi

Yükleme oranı : Palladyum/Rodyum (5/1)

Palladyum (Pd) : 1.47 g/dm³ (41.67 g/ft³)
 Rodyum (Rd) : 0.29 g/dm³ (8.33 g/ft³)
 Toplam Yükleme yoğunluğu : 1.47 + 0.29 = 1.76 g/dm³ (50 g/ft³)

6.1.6. Egzoz gazı analiz cihazları

Deneylerde , egzoz gazındaki emisyonların ölçülebilmesi için iki adet ölçüm cihazı kullanılmıştır. Böylece emisyonlar ve değişimleri ölçülmüştür. CO ve HC emisyonları SUN marka MGA 1200 model gaz analiz cihazı ile egzoz gazı içindeki karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂), yanmamış hidrokarbon (HC), oksijen (O₂) miktarı cihazın ön panelinden dijital olarak okunabilmektedir. Ayrıca hava fazlalık katsayısı (λ) veya hava yakıt oranı (AFR) okunabilmektedir. Cihaza ilave aparatlar ile motor devir sayısı ve motor yağı sıcaklığı okunabilmektedir. Gaz analiz cihazına bağlı olan yazıcı vasıtasıyla ölçüm anındaki değerler kağıt üzerine aktarılabilir. Egzoz gazındaki azotoksit (NO_x) emisyonları ETS marka Enerak 80 model NO_x ölçüm cihazı kullanılmıştır. NO_x emisyonu değerleri cihaz üzerinden dijital olarak okunabilmektedir.

6.1.7. Avans ölçüm cihazı

Ateşleme avansını ayarlamak için Optilux marka avans tabancası kullanılmıştır. Bu avans tabancası üzerinden motor devir sayısı, dwell açısı, oto elektrik tesisatı gerilimi de okunabilmektedir.

6.1.8. Yakıt tüketimi ölçme cihazları

Benzin yakıt tüketimini ölçmek için kalibrasyonlu bir cam pipet kullanılmıştır. Bu ölçüm hacimsel temelde iken LPG tüketimi kütleli temeldedir. LPG

tüketimini ölçmek için SETRA marka 12000L model 12500 g'a kadar 1/10 g hassasiyetinde ölçüm yapan dijital terazi kullanılmıştır.

6.2. Çeşitli Motor Karakteristikleri ve Hesaplamaları

6.2.1. Motor torku

Tork, motorun iş yapabilme yeteneğinin ölçüsüdür. Tork, dinamometreler vasıtasıyla ölçülür. Tork, belirli bir mesafeden bir kuvvetin oluşturduğu moment olarak da tarif edilebilir. Motor torku motorun çalışması sırasında krank milinin uyguladığı döndürme momenti olarak da tarif edilebilir. Torkun birimi Newton.metre (Nm)'dir.

$$T = F \cdot r \quad (6.1)$$

T : Tork (Nm)

F : Kuvvet (N)

r : Mesafe (m)

Deneylerde hidrolik dinamometre kullanıldığı için tork değerleri dinamometre üzerinden doğrudan okunmuştur.

6.2.2. Mil gücü

Motorun krank milinden alınan güce mil gücü veya fren gücü adı verilir. Mil gücü, indike güçten daha düşüktür. İndike güç, silindirde elde edilen güçtür. Pistonun ve biyelin ötelenme hareketi ile krank miline iletilerek milde dönel bir güç elde edilir. Bu gücün bir kısmı sürtünmelere, pompalama işine vs. harcanır. Harcanan bu güce sürtünme gücü denir. Mil çıkışında elde edilen güce mil gücü adı verilir. Başka bir deyişle, indike güç mil gücü ve sürtünme

gücünün toplamıdır. Mil gücü, işin hangi oranda yapıldığının ölçüsüdür (Iynkaran and Tandy, 1989; Ferguson, 1986).

Mil gücü aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$BP = 2 * \pi * T * N / 1000 \quad (6.2)$$

BP : Mil (fren) gücü (kW)

T : Tork (Nm)

N : Devir Sayısı (dev/s)

6.2.3. Mil özgül yakıt tüketimi

Mil özgül yakıt tüketimi, motordan birim güç elde etmek için gerekli olan yakıt miktarı olarak tanımlanabilir.

Mil özgül yakıt tüketimi verimin bir ifadesidir. Mil özgül yakıt tüketimi şu şekilde hesaplanabilir.

$$bsfc = (\dot{m}_f / BP) * 3600 \quad (6.3)$$

bsfc : Mil özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

$\dot{m}_f$: Kütleli yakıt debisi (g/s)

BP : Mil gücü (kW)

$\dot{m}_f$, benzin ve LPG için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Benzin için,

$$\dot{m}_f = (\rho_f * V_{fb}) / t \quad (6.4)$$

ρ_f : Benzinin yoğunluğu (g/cm³)

V_{fb} : Tüketilen benzin miktarı (cm³)

t : Zaman (s)

LPG için,

$$m_f = (m_f)/t \quad (6.5)$$

m_f : Tüketilen LPG miktarı (g)

t : Zaman (s)

Benzin için deneylerde $V_f = 40 \text{ cm}^3$ alınırken, LPG için $m_f = 30 \text{ g}$ alınmıştır.

6.2.4. Mil verimi

Mil verimi, krank milinden alınan gücün (mil gücü) silindirlerde yakıtın yakılmasıyla ortaya çıkan toplam enerjiye oranıdır.

$$\eta_B = \frac{BP}{Q_c * m_f} * 100 \quad (6.6)$$

η_B : Mil verimi (%)

m_f : Kütleli yakıt debisi (g/s)

Q_c : Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

m_f , 6.2.3'de mil özgül yakıt tüketiminde anlatıldığı şekilde hesaplanmıştır.

7. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1. Deney Yöntemi ve Ölçümler

Deneyler her iki yakıt için iki farklı grupta yapılmıştır. Birinci grup deneylerde motor tam açık gaz keleşi konumunda çalıştırılmış ve hidrolik dinamometre ile frenlenerek 64-20 dev/s aralığında 4 dev/s aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Bu grup deneylerde motor torku, yakıt tüketim miktarı ve zamanı ölçülmüştür. İkinci grup deneylerde motor 40 dev/s sabit motor devrinde çalıştırılmış ve %100 - %0 (yüksüz) konuma kadar %20 yük aralıklarında ölçümler yapılmıştır. Bu grup deneylerde egzoz emisyonları üç yollu katalitik konvertörün öncesinde ve sonrasında ölçülmüştür. Bu deneylerin sonucunda, motorun performans ve egzoz emisyonları grafikleri çıkarılmıştır. Her ateşleme avansı değerinde bu deneyler kurşunsuz benzin ve LPG için tekrar edilmiştir.

Deneylerde kurşunsuz benzin ve LPG ile çalışma durumlarında ve üç yollu katalitik konvertör öncesinde ve sonrasında kaydedilen ve hesaplanan değerler eklerde her ateşleme avansı için ayrı ayrı verilmektedir.

7.2. Deneyisel Bulgular (Sonuçlar)

Bu bölümde deneyler sonrasında elde edilen motor performansı ve egzoz emisyonları konsantrasyonlarına ait sonuçlar şekillerde grafik olarak sunulmaktadır. Bu grafikler detaylı olarak irdelenmektedir.

7.2.1. Performans Deneylerinin Sonuçları

Motorun kurşunsuz benzin, LPG ile çalıştırılmasında; üç yollu katalitik konvertör takılmadan önce ve takıldıktan sonra elde edilen ölçümlerin sonucunda ortaya çıkan grafikler aşağıda verilmektedir.

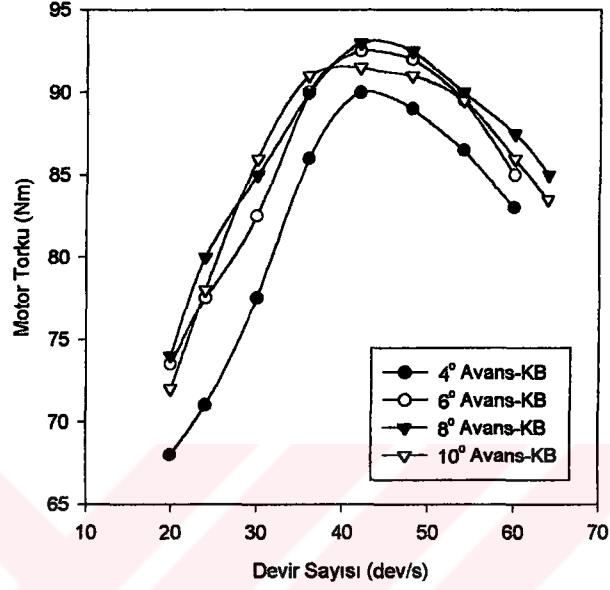
7.2.1.1. Motor torku

Motor torku ve mil gücü motor hızının bir fonksiyonudur. Düşük hızlardan yüksek hızlara doğru motor hızının artmasıyla tork da artmaktadır. Tork bir maksimum noktasından geçtikten sonra azalmaktadır. Torkun azalmasının sebebi yüksek hızlarda doğru oranda karışım sağlayamaması ve volumetrik verimin devir sayısı arttıkça azalmasıdır (Pulkrabek, 1997).

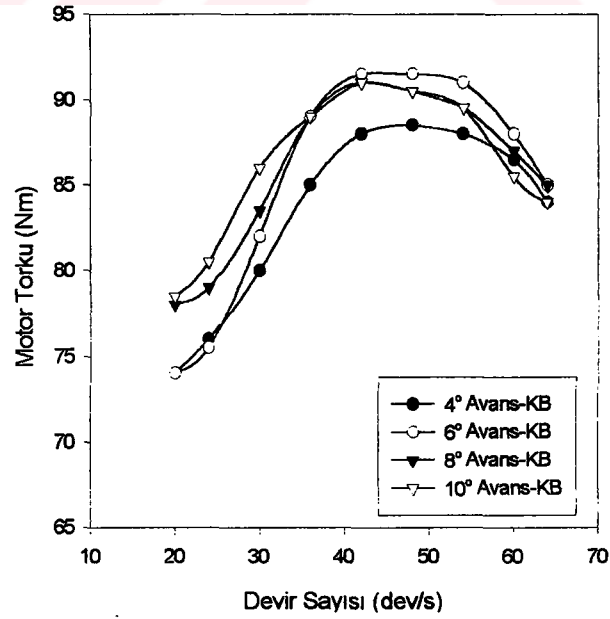
Artan ateşleme avansı ile birlikte motorun mil etkin basıncı artacak ve dolayısıyla motor torku da artacaktır. Yapılan deneylerden, kurşunsuz benzin ile yapılan deneylerde tork değerleri 4° ateşleme avansının düşük hızlarında azalmaktadır. $6^\circ, 8^\circ$ ve 10° ateşleme avansı değerleri birbirlerine yakın değerler almaktadır. Bunun sebebi, düşük ateşleme avansı değerlerinde buji ateşlemesi piston üst ölü noktaya (ÜÖN) az bir mesafede iken olmaktadır. Yanma olayı tam olarak olmadığından motor torku da azalmaktadır. Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’de kurşunsuz benzin ve LPG ile çalışmada tam açık gaz keleşbeği konumunda motor torkunun devir sayısı ile değişimi $4^\circ, 6^\circ, 8^\circ$ ve 10° ateşleme avansı değerlerinde verilmektedir.

Şekil 7.2’de verilen LPG ile çalışmada motor torku grafiği incelendiğinde yine 4° ateşleme avansında elde edilen değerler diğer ateşleme avanslarındaki değerlerden daha düşüktür. Bunun sebebi, düşük ateşleme avansında piston

ÜÖN'ya az bir mesafede iken buji ateşlemesi olmakta ve tam yanma olmadığından dolayı tork da azalma olmaktadır şeklinde açıklanabilir.



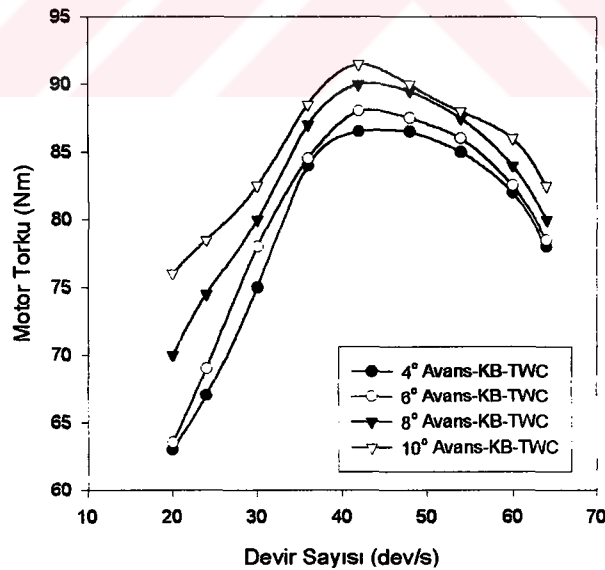
Şekil 7.1. Kurşunsuz benzin ile çalışmada tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde motor torku değişimi



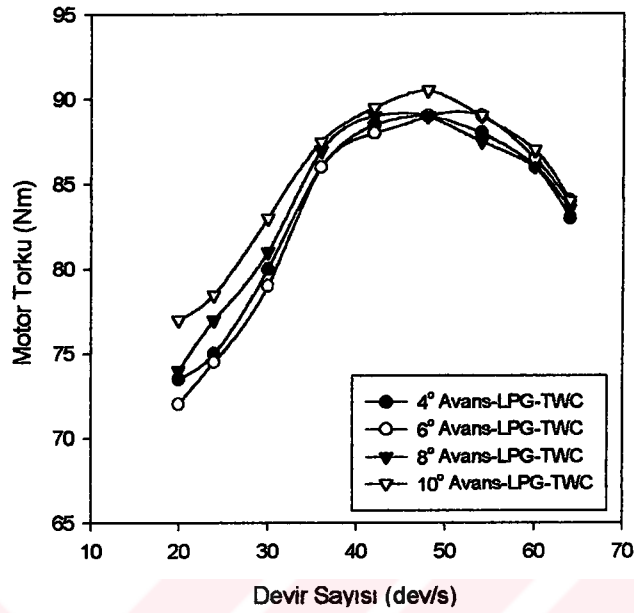
Şekil 7.2. LPG ile çalışmada tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde motor torkunun değişimi

Motor torkuna ait grafikler incelendiğinde yakıt olarak LPG kullanıldığında maksimum tork değerlerinde bir azalma görülmektedir. Bunun sebebi, LPG'nin gaz yakıt olarak karbüratöre girmesi ve dolayısıyla motorun volümetrik veriminin düşmesidir.

Egzoz sistemine üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra yapılan deneylerde ölçülen tork değerleri Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'de verilmiştir. Şekil 7.3'de kurşunsuz benzin ile çalışmada, Şekil 7.4'de ise LPG ile çalışmada tam gaz açık gaz kelebeği konumunda motor torkunun devir sayısına bağlı olarak değişimi verilmektedir. Motor torkunda üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra azalma olmaktadır. Bu durum ise katalitik konvertörün egzoz sisteminde ilave bir direnç oluşturması sonucunda motora ilave yük getirmesi sonucunda motorda iş kaybına sebep olması olarak açıklanabilir.

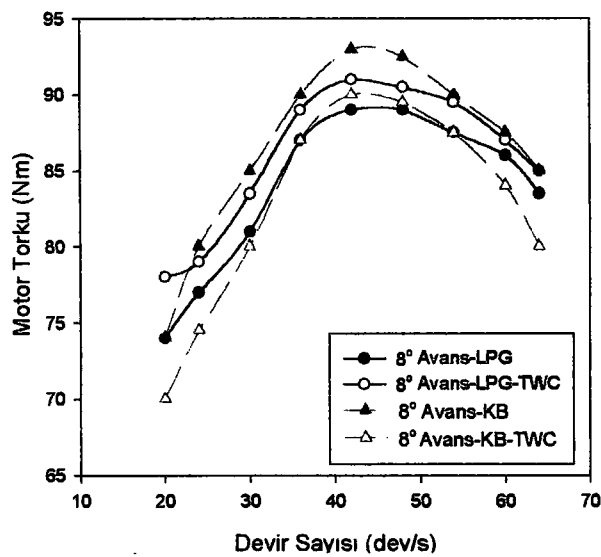


Şekil 7.3. Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra kurşunsuz benzin ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde devir sayısına bağlı olarak motor torkunun değişimi



Şekil 7.4. Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra LPG ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde devir sayısına bağlı olarak motor torkunun değişimi

Şekil 7.5’de üç yollu katalitik konvertörün takılmasından sonraki motor torkundaki değişim 8° ateşleme avansı için verilmektedir.

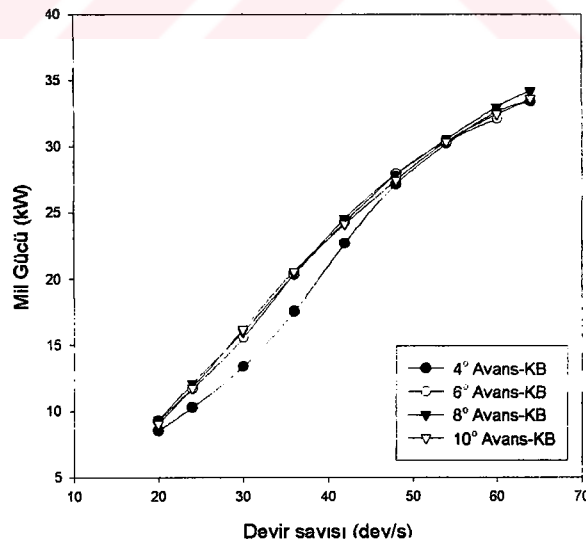


Şekil 7.5. 8° ateşleme avansında kurşunsuz benzin ve LPG ile çalışma durumlarında üç yollu katalitik konvertörün motor torku üzerine etkisi

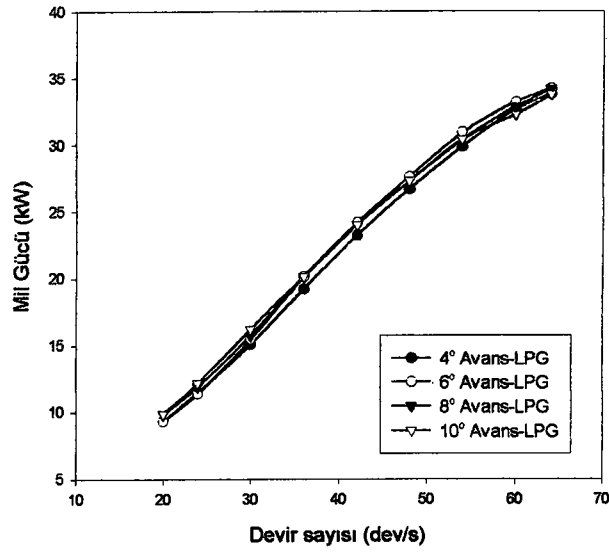
7.2.1.2. Mil gücü

Mil gücü, artan devir sayısına bağlı olarak artar. Maksimum mil gücüne maksimum motor torku değerinden daha sonra ulaşılır [Kutlar vd., 1998].

Deney motorunun hesaplanan mil gücü değerleri beklenen davranışı vermektedir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre motor çalışma aralığı (1500-4000 dev/dak) içerisinde mil gücü artış göstermektedir. Ancak güç, torka da bağlıdır. Bundan dolayı LPG ile çalışmada kurşunsuz benzine nazaran mil gücü %3-4 civarında daha düşüktür. Yüksek devirlerde, LPG ile çalışma durumunda motor torku kurşunsuz benzin ile çalışmaya oranla daha yüksek olduğu için LPG ile çalışma durumunda mil gücü daha yüksek elde edilmektedir. Kurşunsuz benzin ve LPG ile çalışmada tam açık gaz keleşi konumunda elde edilen mil gücü değerleri farklı ateşleme avansları için Şekil 7.6 ve Şekil 7.7’de verilmiştir.

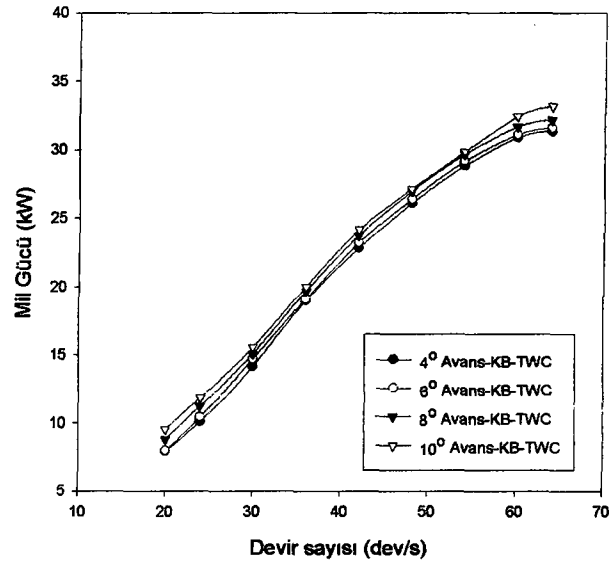


Şekil 7.6. Kurşunsuz benzin ile çalışmada tam açık gaz keleşi konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde mil gücü grafiğı

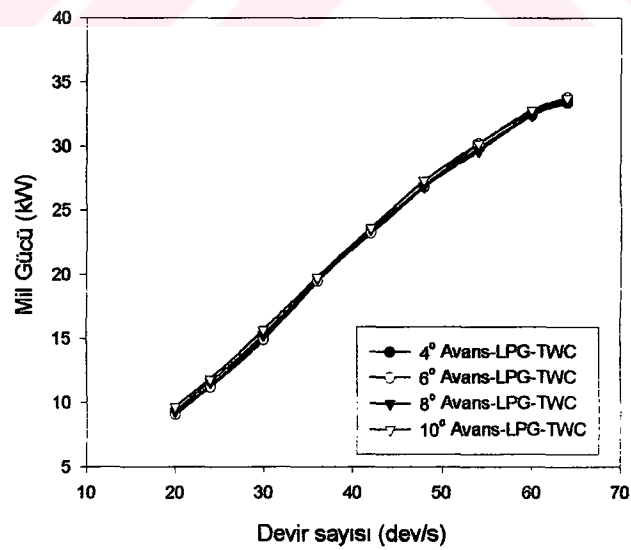


Şekil 7.7. LPG ile çalışmada tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde mil gücü grafiği

Üç yollu katalitik konvertörün egzoz bağlantısının yapılmasından sonra yapılan deneylerden elde edilen mil gücü grafikleri Şekil 7.8 ve Şekil 7.9’da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde katalitik konvertör takıldıktan sonra yaklaşık %5 oranında mil gücünde bir azalma olduğu görülmektedir.

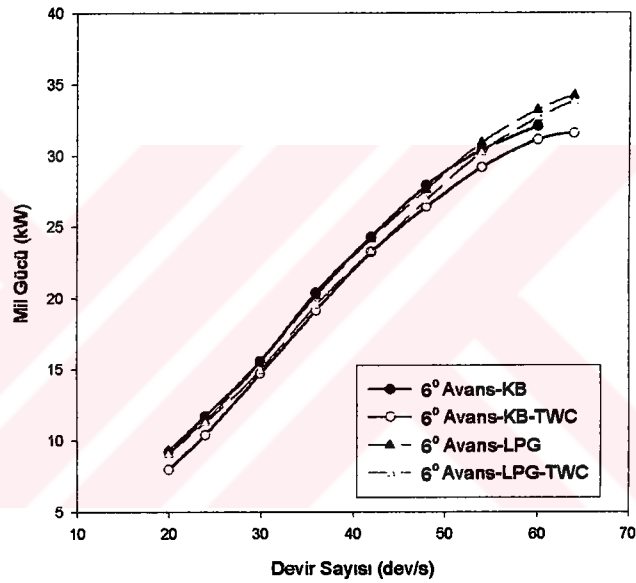


Şekil 7.8. Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra kurşunsuz benzin ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde devir sayısına bağlı olarak mil gücünün değişimi



Şekil 7.9. Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra LPG ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde devir sayısına bağlı olarak mil gücünün değişimi

Yakıt olarak kurşunsuz benzin ve LPG kullanıldığında elde edilen mil gücü ve katalitik konvertörün mil gücüne etkisi Şekil 7.10'da verilmiştir. Bu grafikte mil gücünün nasıl değiştiği daha açık olarak görülmektedir. Katalitik konvertör takıldıktan sonra gerek benzin ve gerekse LPG kullanıldığında elde edilen mil gücündeki düşüş katalitik konvertörün oluşturduğu ek dirençten dolayıdır.

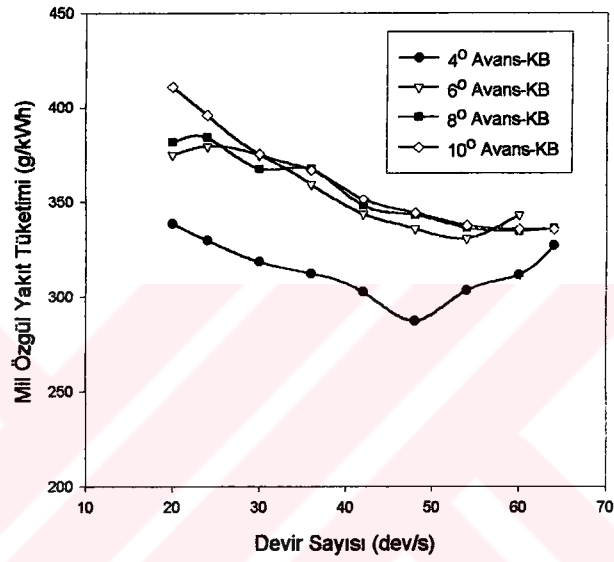


Şekil 7.10. 6° ateşleme avansında kurşunsuz benzin ve LPG ile çalışma durumlarında üç yollu katalitik konvertörün mil gücüne etkisi

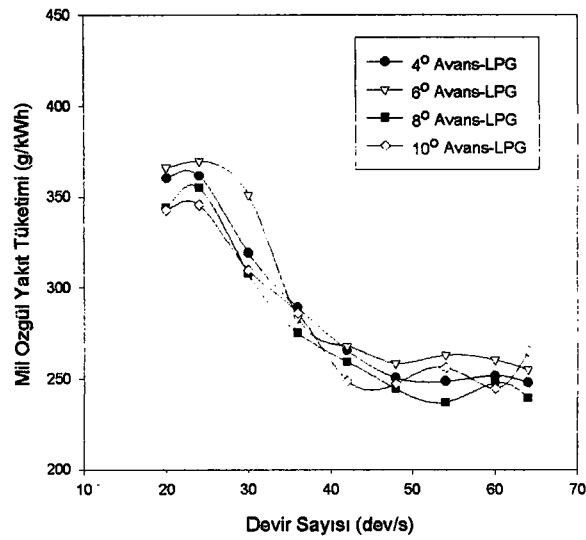
7.2.1.3. Mil özgül yakıt tüketimi

Mil özgül yakıt tüketimi, motorlarda kullanılan yakıtın kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüşürken bu enerjinin ne kadarının krank milindeki güce dönüştürdüğünü gösteren değerdir. Mil özgül yakıt tüketimi, motorun mil verimini belirleyen bir özelliktir (Kutlar vd., 1998).

Şekil 7.11 ve Şekil 7.12’de kurşunsuz benzin ve LPG ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansları için mil özgül yakıt tüketiminin motor hızıyla değişimi grafik olarak verilmektedir.



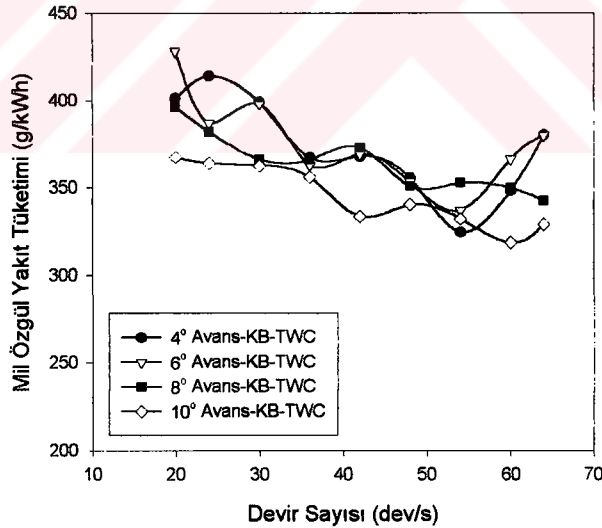
Şekil 7.11. Kurşunsuz benzin ile çalışmada tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde mil özgül yakıt tüketimi grafiği



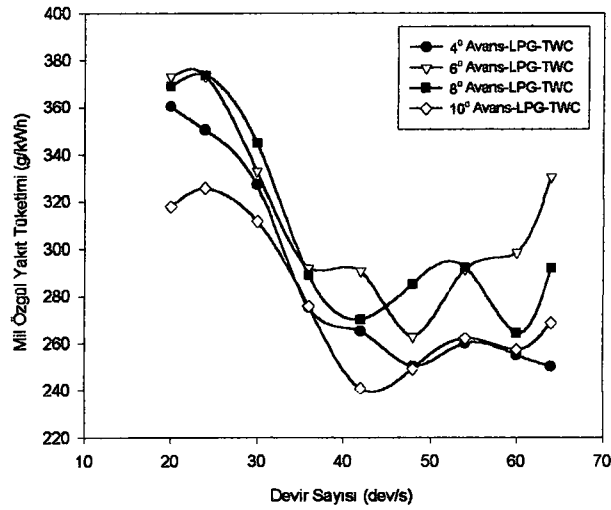
Şekil 7.12. LPG ile çalışmada tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde mil özgül yakıt tüketimi grafiği

Mil özgül yakıt tüketimi artan devir sayısı ile birlikte azalmakta, bir minimumdan geçtikten sonra ,artan devir sayısı ile artan sürtünme kuvvetleri ve soğutucuya olan ısı transferinin azalmasından dolayı, tekrar artmaktadır. Mil özgül yakıt tüketimi grafikleri incelendiğinde, motorun LPG ile çalışmasında kütleli olarak daha az yakıt tükettiği görülmektedir. Bunun sebebi, LPG'nin alt ısı değeri benzininkinden daha yüksek olmasıdır. LPG'nin yanması sonucunda daha fazla ısı enerjisi ortaya çıkmakta ve krank milinden 1 kWh'lik enerji almak için daha az yakıt tüketilmektedir.

Şekil 7.13 ve Şekil 7.14'de üç yollu katalitik konvertör takılmasından sonra elde edilen mil özgül yakıt tüketimi grafikleri verilmektedir.



Şekil 7.13. Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra kurşunsuz benzin ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde devir sayısına bağlı olarak mil özgül yakıt tüketiminin değişimi

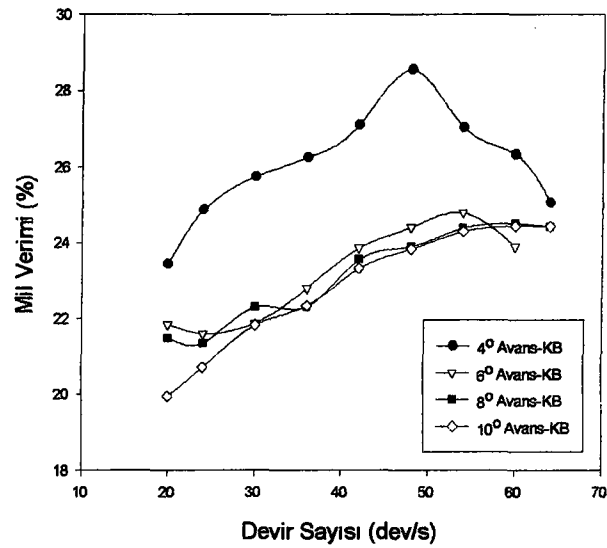


Şekil 7.14. Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra LPG ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde devir sayısına bağlı olarak mil özgül yakıt tüketiminin değişimi

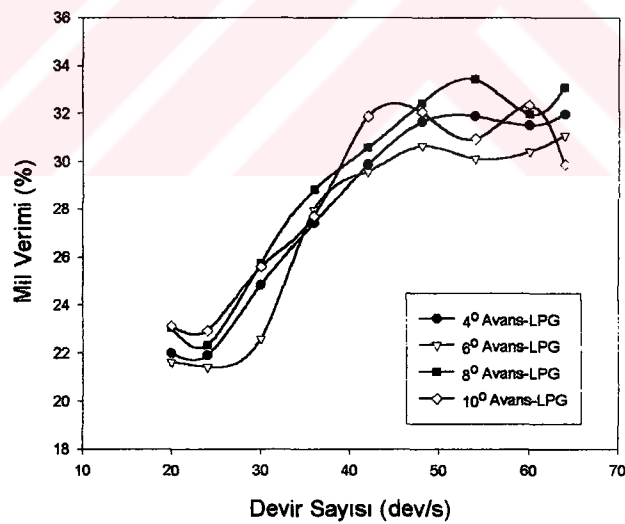
Şekil 7.13 ve Şekil 7.14 incelendiğinde üç yollu katalitik konvertörün takılmasından sonra yakıt tüketiminde artış olduğu görülmektedir.

7.2.1.4. Mil verimi

Mil veriminin kurşunsuz benzin ve LPG için grafikleri aşağıda verilmektedir. Motorun LPG ile çalıştırılmasında mil verimi daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, mil özgül yakıt tüketiminde olduğu gibi LPG'nin ısı değeri daha yüksek olması ve LPG'nin gaz yakıt olmasından dolayı daha homojen bir karışım oluşturması ve daha verimli yanması olarak özetlenebilir.



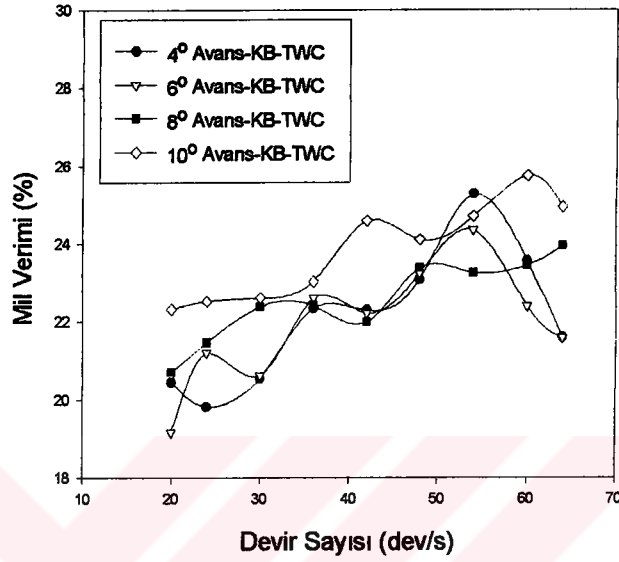
Şekil 7.15. Kurşunsuz benzin ile çalışmada tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde mil verimi grafiği



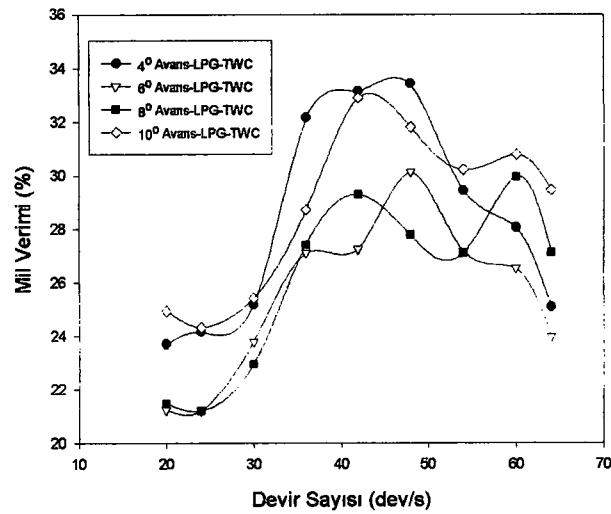
Şekil 7.16. LPG ile çalışmada tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde mil verimi grafiği

Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra mil verimlerinde bir miktar azalma görülmektedir. Katalitik konvertör takıldıktan sonra elde edilen mil verimi grafikleri aşağıda verilmiştir. Katalitik konvertörün motor torku, mil

gücü, özgül yakıt tüketiminde olduğu gibi az da olsa motor performansını üzerine olumsuz denebilecek etkisi mil veriminde de görülmektedir.



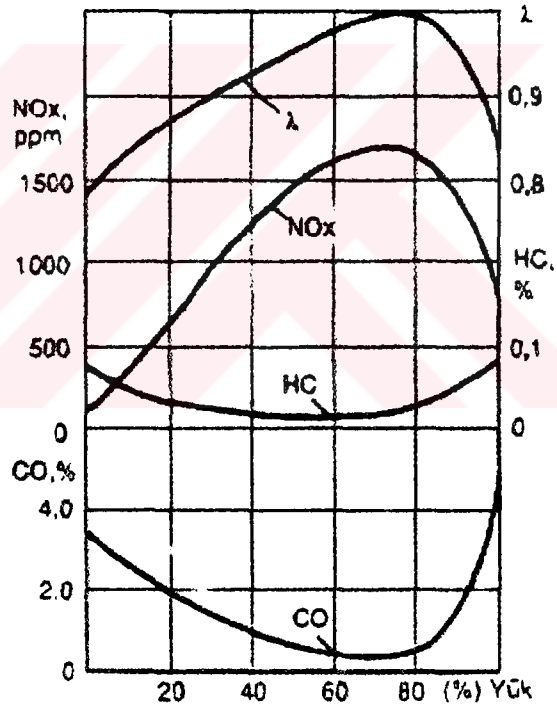
Şekil 7.17. Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra kurşunsuz benzin ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde devir sayısına bağlı olarak mil veriminin değişimi



Şekil 7.18. Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra LPG ile çalışma durumunda tam açık gaz kelebeği konumunda farklı ateşleme avansı değerlerinde devir sayısına bağlı olarak mil veriminin değişimi

7.2.2. Emisyon deneylerinin sonuçları

Emisyon deneylerinde ölçümler egzoz gazları katalitik konvertöre girmeden önce ve katalitik konvertörün çıkışında ölçülmüştür. Emisyon deneylerinde elde edilen sonuçlar ateşleme avansına bağlı olarak verilmektedir. Karbüratörlü bir motora ait egzoz emisyonlarının ve hava fazlalık katsayısının değişimi Şekil 7.19'da verilmiştir.

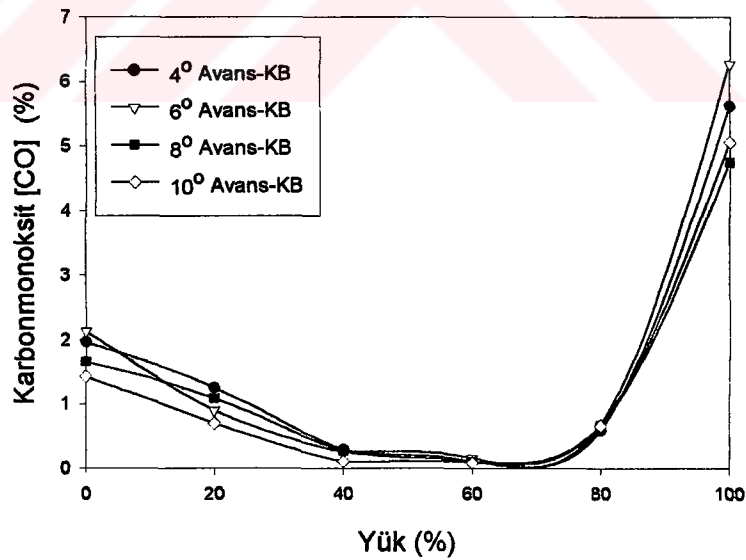


Şekil 7.19. Karbüratörlü motorda egzoz gazı içindeki kirletici konsantrasyonlarının ve hava fazlalık katsayısının sabit devir sayısında yüke göre değişimi (Kutlar vd., 1998)

7.2.2.1. Karbonmonoksit (CO) emisyonu

Karbonmonoksit emisyonlarını katalitik konvertörden önce ve sonra gösteren grafikler aşağıdaki şekillerde farklı ateşleme avanslarında kurşunsuz benzin ve LPG için ayrı ayrı verilmektedir.

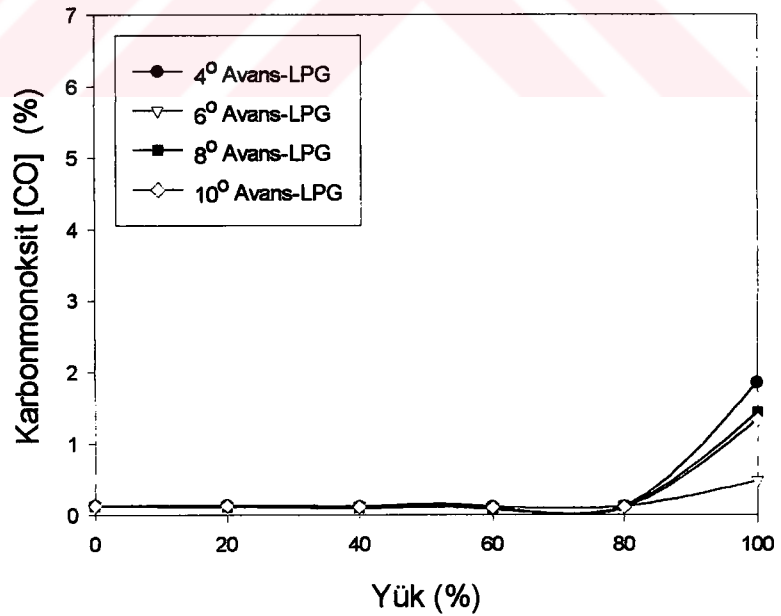
Kurşunsuz benzin ile yapılan deneylerde katalitik konvertör öncesinde ölçülen CO emisyonu konsantrasyonları Şekil 7.20’de verilmektedir. Bu grafik incelendiğinde karbonmonoksit emisyonu konsantrasyonları eğrilerinin Şekil 7.19’da verilen grafiktekine benzer olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, karbüratörün rölantide zengin karışıma ($\lambda < 1$) göre ayarlanmış olmasıdır. Karbüratörün yapısından dolayı, motor yükü arttıkça yakıt hava karışımı fakirleşmekte, %80 yükten sonra tekrar zenginleşmeye başlamaktadır.



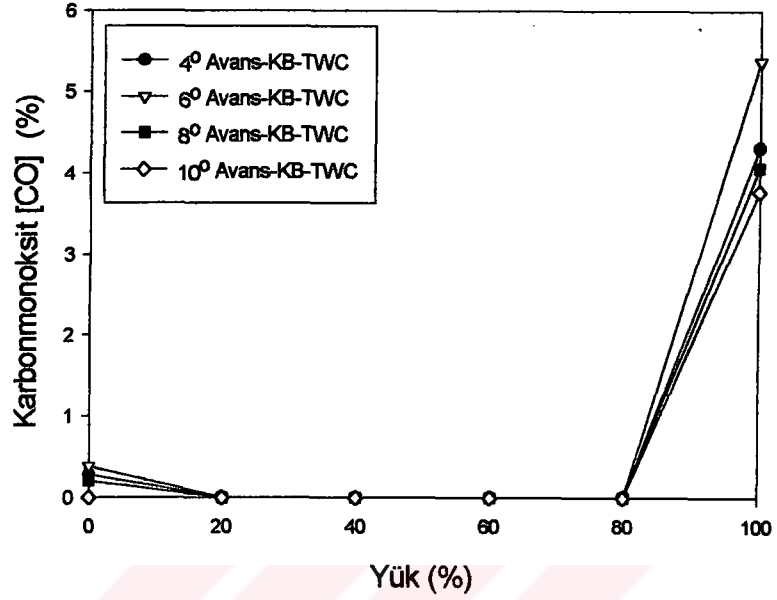
Şekil 7.20. Kurşunsuz benzin ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında karbonmonoksit emisyonu konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi

Şekil 7.20 incelendiğinde yüksüz durumda zengin karışım olduğu için %1.5-2 civarında olan konsantrasyonlar artan yük ile birlikte azalmaktadır. %80 yüke ulaşıldığında ise karışım zenginleşmeye başlamaktadır. %100 yükte karışımın tamamen zenginleşmiş olmasından dolayı tam yanma için gerekli olan oksijen stokiometrik orandan daha az olduğu için CO emisyonu konsantrasyonları artmaktadır.

Yakıt olarak LPG kullanıldığında ise CO emisyonlarının grafiği Şekil 7.21’de verilmektedir. Bu şekil incelendiğinde CO emisyonu konsantrasyonlarının kurşunsuz benzine göre daha düşük olduğu görülmektedir. LPG karbüratörde hava ile karışımında gaz fazında olduğu için daha homojen bir karışım sağlanmaktadır. Yanma daha verimli olmakta ve emisyonlarda azalma görülmektedir.

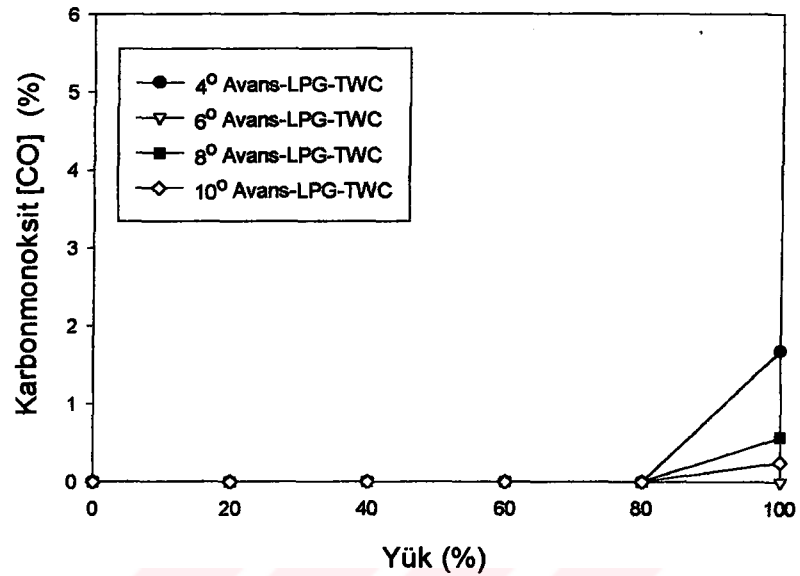


Şekil 7.21. LPG ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında karbonmonoksit emisyonu konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi



Şekil 7.22. Kurşunsuz benzin ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında katalitik konvertör sonrasında karbonmonoksit emisyonu konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi

Kurşunsuz benzin ile yapılan deneylerde katalitik konvertörün çıkışında ölçülen egzoz gazlarından CO emisyonu konsantrasyonları Şekil 7.22 ile verilmektedir. Bu şekildeki grafikte tam yükte çalışmada hava yakıt karışımı zengin olduğu için egzoz içinde fazla oksijen bulunmamaktadır. Bundan dolayı tam yükte CO emisyonu konsantrasyonları yaklaşık %1 azalmaktadır. %20, %40, %60, %80 yükte CO emisyonu konsantrasyonları %0 olarak ölçülmüştür. Bu yüklerde motor hava fazlalığı ile çalışmakta ve fazla oksijen katalitik konvertörün dönüştürme verimini artırmaktadır. Yüksüz durumda (%0 yük) durumunda ise yakıt hava karışımının zenginleşmesinden dolayı egzoz gazında bulunan oksijen miktarı azalmakta ve katalitik konvertörde ara yüklerde olduğu gibi %100 dönüştürme olmamaktadır. Ancak konsantrasyon değerleri %0-0.5 aralığında değişmektedir.



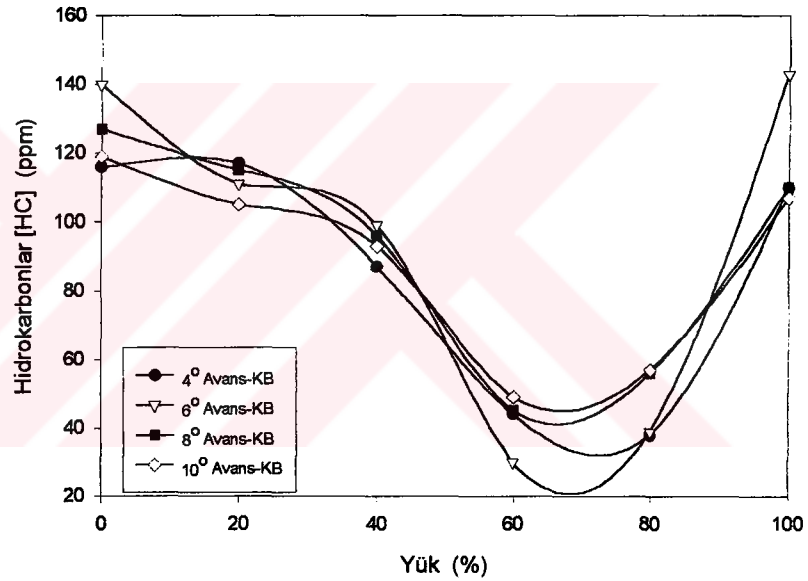
Şekil 7.23. LPG ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında katalitik konvertör sonrasında karbonmonoksit emisyonu konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi

LPG ile yapılan deneylerden üç yollu katalitik konvertör sonrasında ölçülen CO emisyonu konsantrasyonlarının farklı ateşleme avanslarına bağlı olarak değişim Şekil 7.23 ile verilmektedir. Şekil 7.23, Şekil 7.21 ile kıyaslandığında %0-%80 aralığında düşük olan CO emisyonu konsantrasyonları tamamen CO₂'e dönüştürülmektedir. Ancak %100 yükte etkili bir dönüşümden söz edilememektedir. Bunun sebebi ise bu yükte hava fazlalığının olmaması olarak verilebilir. Katalitik konvertör takıldıktan sonra tam yükte 4° ateşleme avansı hariç diğer ateşleme avansı değerlerinde %1'den daha az CO emisyonu elde edilmektedir.

7.2.2.2. Yanmamış Hidrokarbon (HC) emisyonu

40 dev/s sabit hızda yapılan emisyon deneylerinden elde edilen HC emisyonu konsantrasyonları aşağıda grafikler halinde verilmektedir.

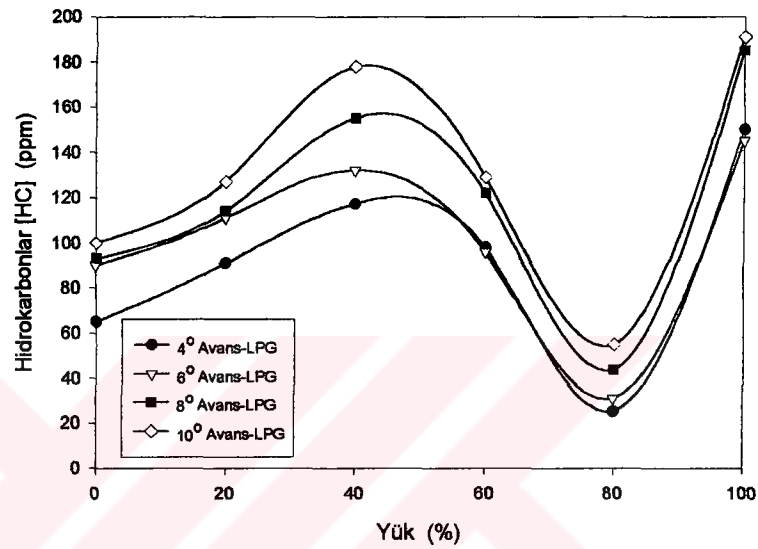
Kurşunsuz benzin kullanılarak motorun çalıştırılması sırasında yapılan emisyon deneyinin sonuçları Şekil 7.24'de verilmektedir.



Şekil 7.24. Kurşunsuz benzin ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında hidrokarbon emisyonu konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi

Yanmamış hidrokarbon emisyonu konsantrasyonu için Şekil 7.24 incelendiğinde motorun emisyon davranışı literatür ile uyushmaktadır (Şekil 7.19). Motor yüksüz (%0 yük) konumda çalışırken hava fazlalık katsayısına bağlı olarak emisyonlar yüksek olmaktadır. Artan motor yükü ile beraber HC emisyonun konsantrasyonu azalmakta fakat hava fazlalık katsayısının azalmaya başlamasıyla birlikte %80 yükten sonra tekrar artış göstermektedir.

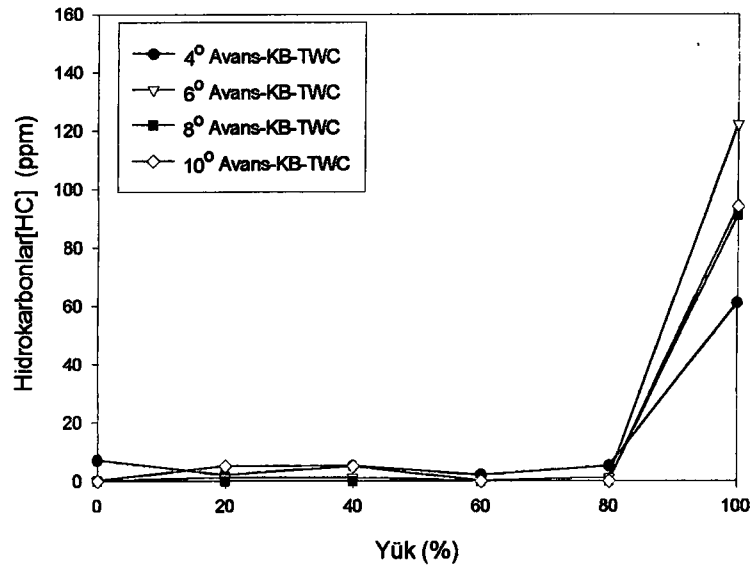
Motorun LPG ile çalışması sırasında yapılan deneyin sonuçları aşağıda verilmektedir.



Şekil 7.25. LPG ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında hidrokarbon emisyonu konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi

LPG ile çalışma sırasında HC emisyonlarının konsantrasyonları dalgalanmaktadır. Yüksüz durumdan yük arttıkça HC konsantrasyonları artmakta %40 yükten sonra tekrar azalmakta ve %80 yükten sonra tekrar artmaktadır. 10° ateşleme avansında HC konsantrasyonu diğer ateşleme avanslarına nazaran yüksektir. Ateşleme avansı arttıkça HC emisyonu konsantrasyonu da artmaktadır.

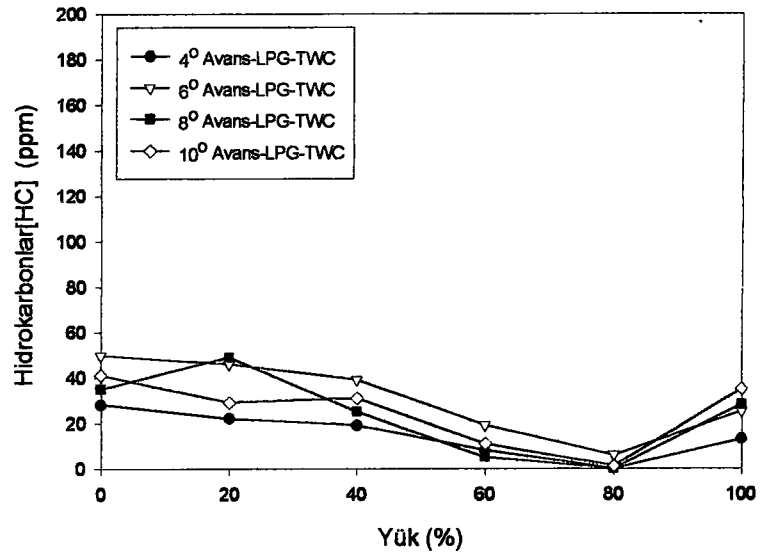
Şekil 7.26'da kurşunsuz benzin ile çalışması sırasında egzoz gazlarının katalitik konvertörden geçtikten sonra ölçülen değerleri grafik olarak sunulmaktadır.



Şekil 7.26. Kurşunsuz benzin ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında katalitik konvertör sonrasında yanmamış hidrokarbon emisyonlarının konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi

Katalitik konvertör sonrasında ölçülen emisyon değerleri tam yükte zengin karışım olmasından ve katalitik konvertör öncesinde ikincil hava verilmemesinden dolayı etkili bir dönüşüm yapılamamaktadır. Yüksüz konumdan %80 yüke kadar ise etkili bir dönüştürme yapılmaktadır. Bu aralıkta HC emisyonlarının konsantrasyonu 0-10 ppm arasında değişmektedir.

LPG ile yapılan deneylerde üç yollu katalitik konvertör sonrasında ölçülen HC emisyonları konsantrasyonları aşağıda grafik olarak verilmektedir.



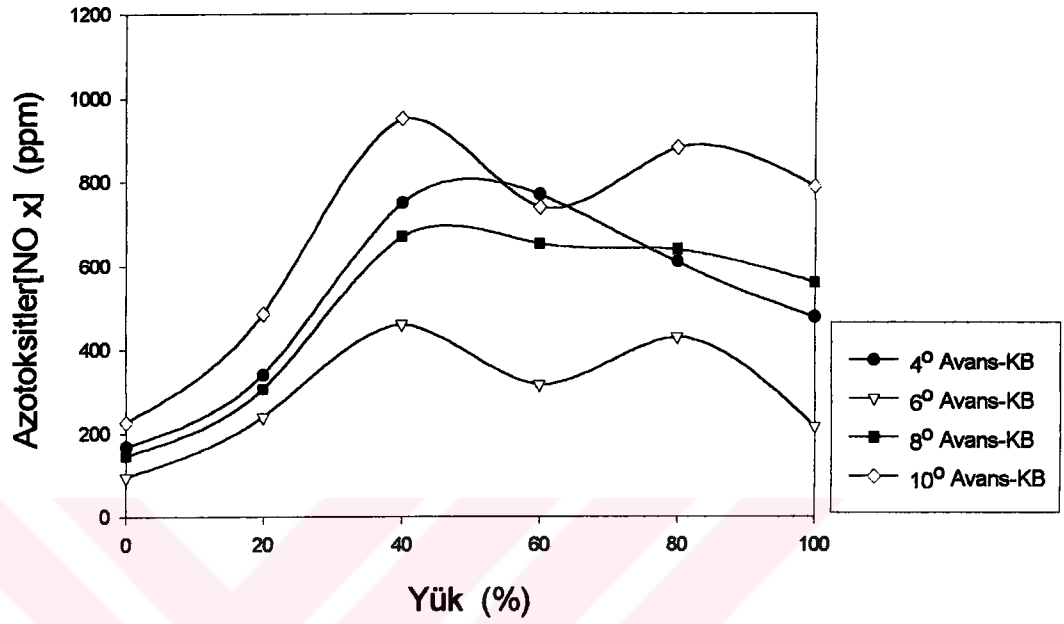
Şekil 7.27. LPG ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında katalitik konvertör sonrasında yanmamış hidrokarbonların emisyonlarının konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi

Motorun LPG ile çalıştırılmasında yapılan deneylerde katalitik konvertörden sonra ölçülen egzoz gazı içinde bulunan yanmamış hidrokarbon emisyonları konsantrasyonlarında azalma olmaktadır. Bu azalma kurşunsuz benzine kıyasla daha az olmaktadır. HC konsantrasyonları yüksüz durumdan %80 yüke doğru azalmakta %80 yükten sonra tekrar artmaktadır.

7.2.2.3. Azotoksit (NO_x) emisyonları

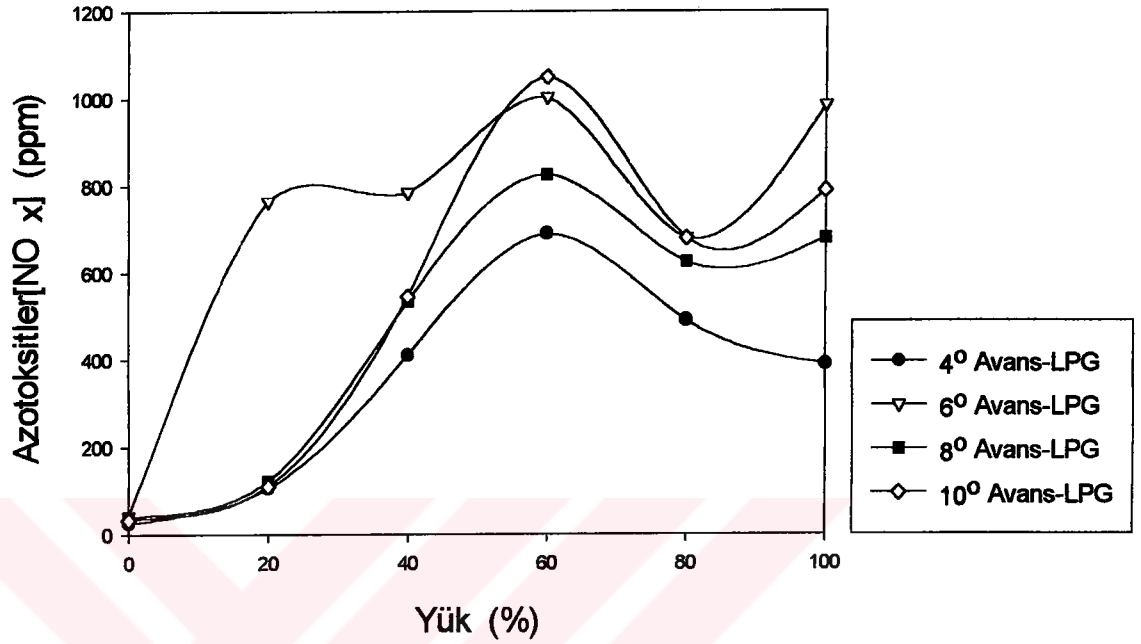
Deney motorunun benzin ve LPG ile çalıştırılmasında ölçülen azotoksit emisyonlarının konsantrasyonları ile ilgili grafikler aşağıda verilmektedir.

Şekil 7.28'de motor 40 dev/s sabit hız ile çalışırken motorun egzoz gazı içinde bulunan azotoksit emisyonlarının konsantrasyonları farklı ateşleme avansları için verilmiştir.



Şekil 7.28. Kurşunsuz benzin ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında azotoksit emisyonları konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi

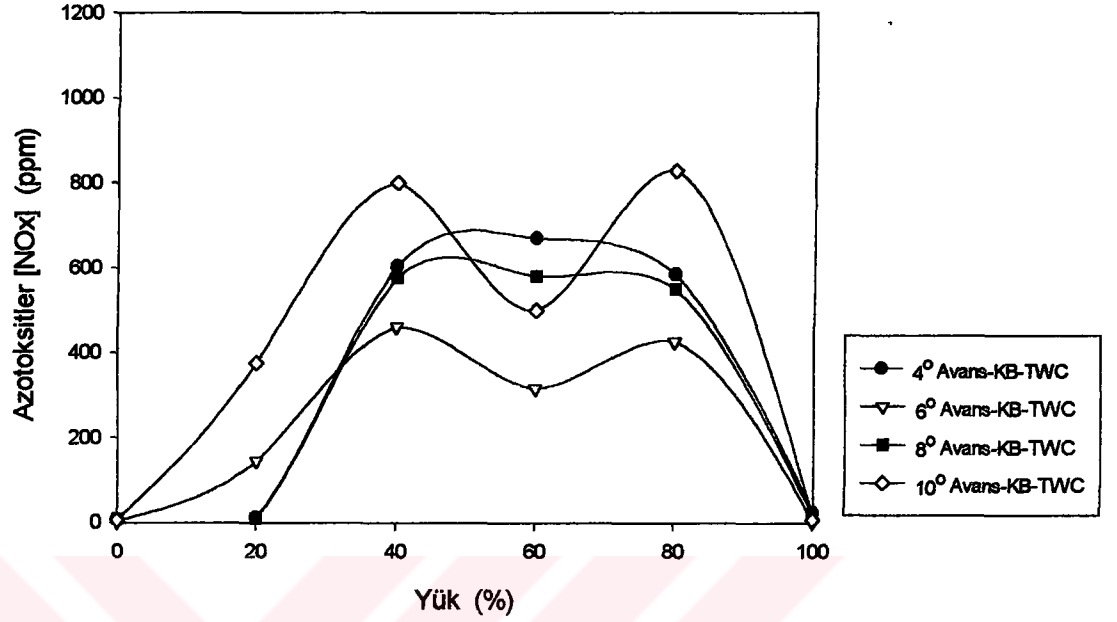
Azotoksit emisyonlarının konsantrasyonları incelendiğinde motor yüksüz konumda çalışırken minimum olan konsantrasyon değerleri motor yüküne bağlı olarak artmaktadır. Ancak 6° ve 10° ateşleme avansları değerlerinde NO_x emisyonları konsantrasyonları %60 yük değerinde azalma gösterebilir ve tekrar artmakta motor %100 yüklü iken azalmaktadır. NO_x emisyonları silindir içerisindeki yakma havasında bulunan azotun sıcaklığın etkisi ile oksijen ile bileşik oluşturmasıyla oluşmaktadır. Bu emisyonların oluşum miktarları hava fazlalık katsayısı ile doğrudan ilişkilidir. Yüksüz ve tam yüklü konumda motor çalışırken zengin karışımdan dolayı hava fazlalık katsayısı 1'den küçüktür ($\lambda < 1$). Motor yükü ile hava fazlalık katsayısı artmakta maksimuma ulaştıktan sonra tekrar azalmaktadır. Hava fazlalığı olduğu zaman silindir içindeki sıcaklık artmakta ve sıcaklık artışıyla birlikte NO_x emisyonları artmaktadır.



Şekil 7.29. LPG ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında azotoksit emisyonları konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi

Şekil 7.29 incelendiğinde LPG ile çalışmada NO_x konsantrasyonlarının kurşunsuz benzine göre daha yüksek konsantrasyonlara ulaştıkları görülmektedir. 4° ateşleme avansında ise NO_x konsantrasyonları daha düşük seviyelerdedir. NO_x emisyonlarının oluşumu hava fazlalık katsayısına bağlı olduğu için hava fazlalık katsayısının değişiminden etkilenmektedir.

Katalitik konvertörün NO_x emisyonları konsantrasyonuna olan etkisi aşağıda verilmektedir. Şekil 7.30'da kurşunsuz benzin, Şekil 7.31'de LPG ile çalışmasında NO_x emisyonları konsantrasyonları verilmektedir.



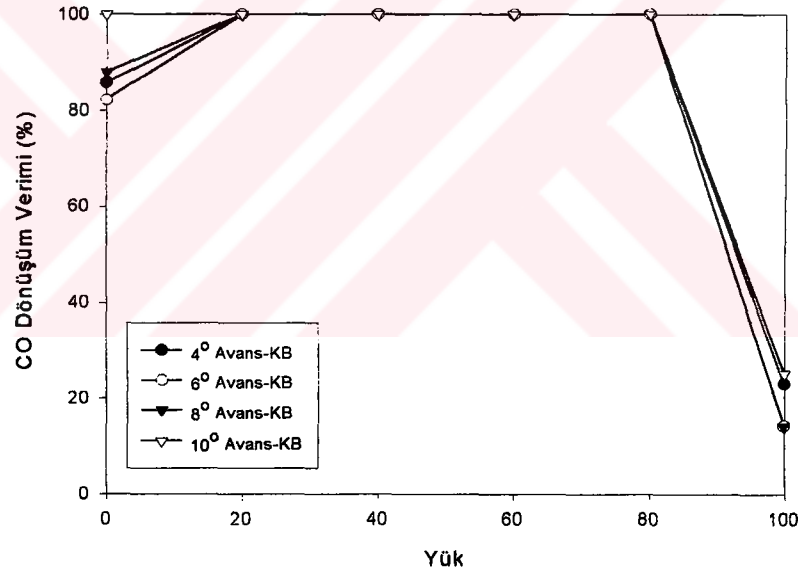
Şekil 7.30. Kurşunsuz benzin ile çalışmada farklı ateşleme avanslarında katalitik konvertör sonrasında azotoksit emisyonlarının konsantrasyonunun motor yükü ile değişimi

Katalitik konvertör sonrasında ölçülen NO_x emisyonları konsantrasyonları yüksüz, %20 yük ve %100 yük konumlarında etkili bir dönüşüm yapıldığı söylenebilir. Diğer yüklerde NO_x emisyonları konsantrasyonlarının etkili bir şekilde azaltılamadığı görülmektedir.

7.3. Katalitik Konvertörün Dönüştürme Veriminin İncelenmesi

7.3.1. Karbonmonoksit dönüştürme verimi

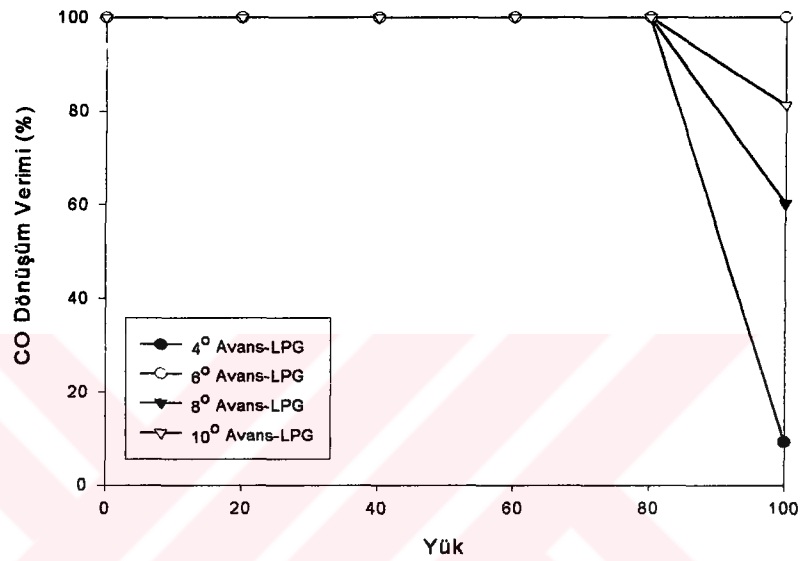
Katalitik konvertörün karbonmonoksiti dönüştürme oranları hava fazlalık katsayısına bağlıdır. Katalitik konvertörün motor yüküne bağlı olarak karbonmonoksiti dönüştürme verimleri aşağıda şekillerde verilmektedir. 40 dev/s sabit hızda değişen motor yüklerine bağlı olarak katalitik konvertörün karbonmonoksit dönüştürme verimi Şekil 7.31 ile verilmektedir.



Şekil 7.31. Kurşunsuz benzin ile çalışma durumunda motor yüküne bağlı olarak katalitik konvertörün CO dönüştürme verimi

Şekil 7.31 incelendiğinde %100 yük ile çalışırken dönüştürme verimi %20 civarında iken %20, %40, %60, %80 yüklerde CO dönüştürme verimi %100'dür. Bunun sebebi ise, bu yüklerde hava fazlalık katsayısının birden büyük ($\lambda > 1$) olmasından dolayı egzoz gazında fazla hava bulunmasıdır. Bu hava ise CO'nun oksitlenmesi için gerekli oksijeni içermektedir.

Şekil 7.32’de yakıt olarak LPG kullanıldığında motor yüküne bağlı olarak CO dönüştürme grafiği verilmektedir.



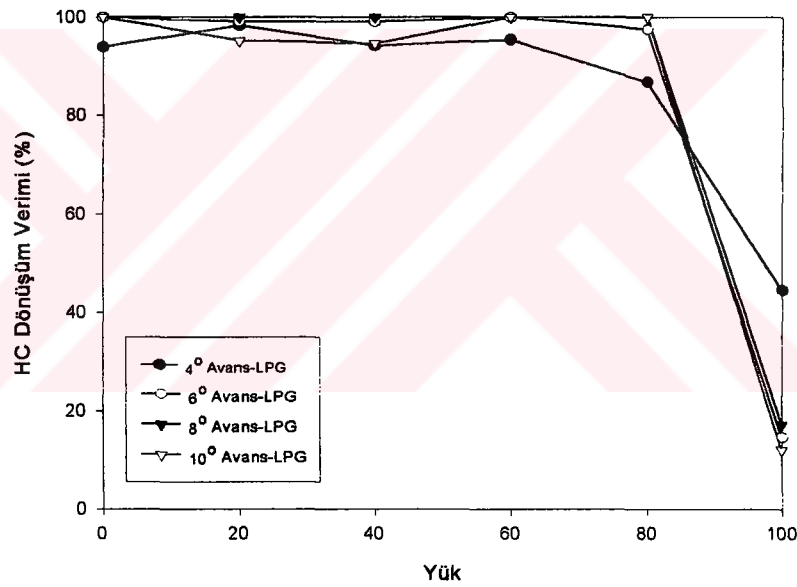
Şekil 7.32. LPG ile çalışma durumunda motor yüküne bağlı olarak katalitik konvertörün CO dönüştürme verimi

Yukarıdaki grafik incelendiğinde motorun kurşunsuz benzinle çalışması durumundakine benzer bir grafik elde edilmektedir. Burada da hava fazlalık katsayısının etkisinden söz edilebilir.

Motor tam yüklü olduğu konumda karbüratörde hava yakıt oranı tam olarak ayarlanamamaktadır. Karbüratörün yapısından dolayı karışım zenginleşmektedir. Bunun sonucunda silindirlerin içerisinde tam yanma sağlanamamakta ve egzoz emisyonları artmaktadır. Zengin karışımdan dolayı motor egzoz gazları içerisinde fazla hava olmayacağından dolayı katalitik konvertörde tam yükte tatmin edici bir dönüşüm elde edilememektedir.

7.3.2. Hidrokarbon Dönüştürme Verimi

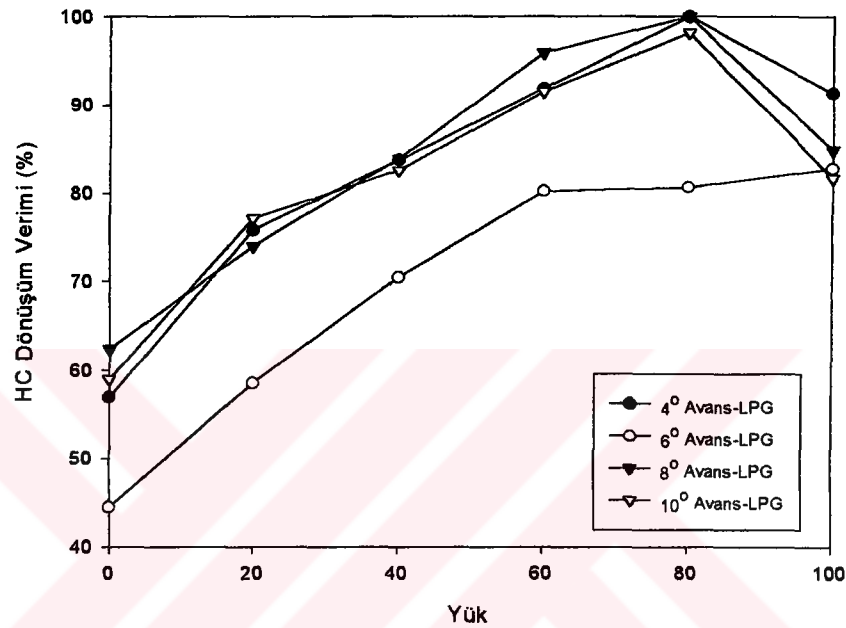
Katalitik konvertörde silindirlerde tam olarak yanmamış hidrokarbonlar reaksiyona sokularak su buharı ve karbondioksite dönüştürülmektedir. Yakıt olarak kurşunsuz benzin kullanıldığında yanmamış hidrokarbonların katalitik konvertörde dönüşüm verimleri aşağıda grafik olarak verilmektedir.



Şekil 7.33. Kurşunsuz benzin ile çalışma durumunda motor yüküne bağlı olarak katalitik konvertörün HC dönüştürme verimi

Şekil 7.33 incelendiğinde tam yük hariç diğer yüklerde ortalama HC dönüşüm verimi %90 civarındadır. Yanmamış hidrokarbonların bu verimlerle dönüştürülmesi yine hava fazlalık katsayısına bağlıdır. Oksidasyon işlemi için gerekli olan oksijen hava fazlalığından sağlanmaktadır.

Şekil 7.34’de LPG ile çalışma durumunda motor yüküne bağlı olarak katalitik konvertörün HC dönüştürme verimi verilmektedir.



Şekil 7.34. LPG ile çalışma durumunda motor yüküne bağlı olarak katalitik konvertörün HC dönüştürme verimi

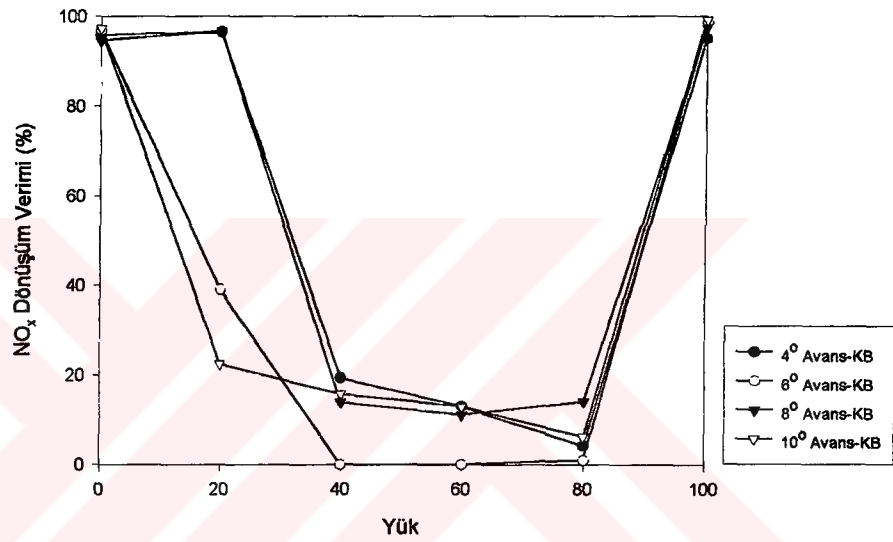
LPG ile çalışmada egzoz gazları içindeki HC’ların katalitik konvertörde dönüşümü kurşunsuz benzin ile çalışmaya benzememektedir. Yukarıdaki şekil incelendiğinde artan motor yüküyle birlikte HC dönüştürme verimi de artmakta (%80 yüke kadar) daha sonra azalmaktadır.

7.3.3. Azotoksit (NO_x) dönüştürme verimi

Azotoksitlerin büyük bölümü yanma sırasında havadaki azotun yüksek sıcaklıkta oksijen ile tepkimeye girmesi sonucunda oluşmaktadırlar.

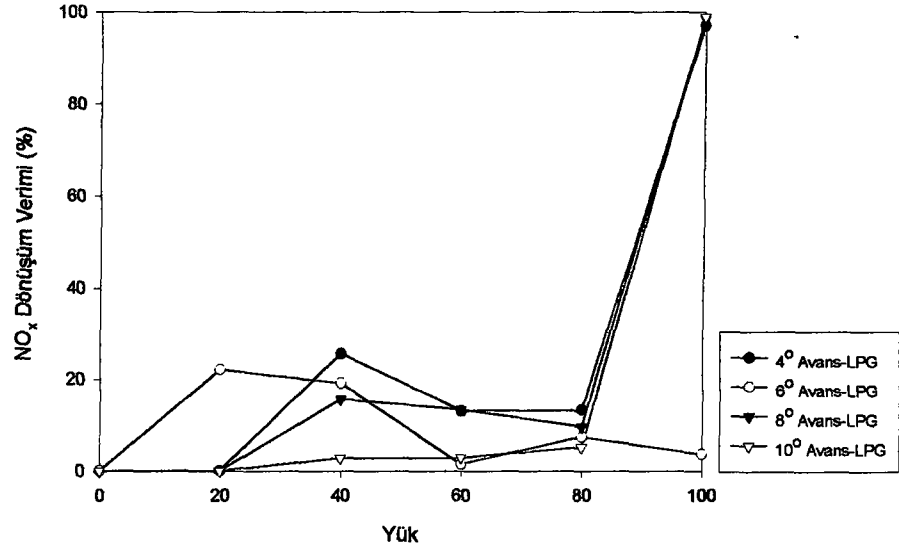
Azotoksitler fotokimyasal sis (smog) oluşumunda rol aldıkları için zararlı egzoz emisyonları içine girmektedirler.

Motor kurşunsuz benzinli çalıştırıldığında katalitik konvertör öncesinde ve sonrasında ölçülen değerlerden hesaplanan NO_x dönüştürme verimi grafik olarak aşağıda verilmektedir.



Şekil 7.35. Kurşunsuz benzin ile çalışma durumunda motor yüküne bağlı olarak katalitik konvertörün NO_x dönüştürme verimi

NO_x dönüştürme veriminin motorun orta yüklerde çalışması sırasında ortalama %20 civarındadır. Bu dönüşüm verimi, kapalı devre (λ -sensörü kontrollü) sistemlerle donatılmış motorlarla kıyaslandığında çok daha düşüktür.



Şekil 7.36. LPG ile çalışma durumunda motor yüküne bağlı olarak katalitik konvertörün NO_x dönüştürme verimi

LPG ile çalışmada elde edilen NO_x dönüştürme verimi grafikleri incelendiğinde dönüştürme veriminin kurşunsuz benzinle çalışmaya kıyasla daha kötü olduğu görülmektedir. Azotoksit emisyonlarının oluşumunda sıcaklığın ve havanın önemli etkisi vardır. Hava fazlalığının stokiometrik orandan daha yüksek olduğu durumlarda silindir içerisinde sıcaklık artmaktadır. Bu da NO_x emisyonlarının artışına sebep olmaktadır. Sıcaklık yeterince düşmeden katalitik konvertöre girdiği için azotoksit emisyonlarında azalma olmamaktadır. LPG'nin alt ısı değeri benzinden daha yüksek olduğu için azotoksit emisyonlarının konsantrasyonları da daha yüksek olmakta ve sıcaklık ve hava fazlalığından dolayı katalitik konvertörde etkili bir dönüşüm elde edilememektedir.

8. SONUÇ

Bu çalışmada, içten yanmalı motorlardan yayılan hava kirletici egzoz emisyonlarını azaltmak için iki uygulama incelenmiştir.

Benzinle çalışan içten yanmalı motor LPG ile çalışabilecek şekilde dönüşümü yapılmıştır. Ateşleme avansı değerleri değiştirilerek (4° , 6° , 8° , 10° avans), motor performans parametrelerinin (motor torku, mil gücü, mil verimi, özgül yakıt tüketimi) ve egzoz emisyonlarının (CO , HC , NO_x) davranışları incelenmiştir.

Ayrıca, motorun egzoz sitemine üç yollu katalitik konvertör takılmıştır ve aynı deneyler tekrarlanmıştır. Deneylerde üç yollu katalitik konvertörün zarar görmemesi için kurşunsuz benzin kullanılmıştır.

Motor performans parametreleri incelendiğinde, LPG gaz yakıt olduğundan dolayı motorun hava emme kapasitesinde bir azalma olduğundan dolayı volümetrik verim düşmektedir. Bunun sonucunda ise LPG ile çalışmada kurşunsuz benzinle çalışmaya kıyasla daha düşük motor torku ve mil gücü değerleri elde edilmektedir. Ancak, LPG'nin alt ısı değeri kurşunsuz benzinden daha yüksek olmasından ve LPG'nin silindir içinde daha homojen karışım oluşturmamasından dolayı LPG ile çalışmada mil verimi daha yüksek olmaktadır. Yine LPG'nin alt ısı değeri kurşunsuz benzinden daha yüksek olmasından dolayı özgül yakıt tüketimi daha düşüktür.

Egzoz emisyonları incelendiğinde LPG gaz yakıt olarak silindire girdiğinden dolayı yanma tam yanmaya yakın olmakta ve daha az hava kirletici egzoz emisyonu ortaya çıkmaktadır. Karbonmonoksit ve hidrokarbon emisyonları daha az oluşmaktadır. Kurşunsuz benzin ile çalışmada CO ve HC

emisyonlarının değerleri hava fazlalık katsayısının değişimine bağlı olarak değişmektedir. LPG ile çalışmada ise HC emisyonlarında orta yuklerde bir dalgalanma olmaktadır. CO ve HC emisyonları incelendiğinde LPG'nin daha az kirletici emisyon yaydığı görülmektedir. Fakat LPG'nin alt ısı değerinin yuksek olmasından dolayı silindir içindeki sıcaklık artmaktadır. Sıcaklığa bağlı olarak NO_x emisyonları artmaktadır. Bundan dolayı kurşunsuz benzin ve LPG arasında belirgin bir fark yoktur.

Egzoz sistemine üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra yapılan deneylerin sonuçları incelendiğinde motor performansı parametreleri (motor torku, mil gücü, mil verimi ve özgül yakıt tüketimi) %3-5 kadar olumsuz yönde etkilenmektedirler. Bunun sebebi ise, katalitik konvertörün egzoz gazları önünde bir direnç oluşturarak motora ilave bir yük getirmesidir.

Egzoz emisyonları yönünden katalitik konvertörün CO ve HC dönüştürme verimine bakıldığında tam yük hariç motor diğer yüklerinde etkili bir dönüşüm elde edilmektedir. Bunun sebebi, motorun karbüratörlü olmasıdır. Karbüratörün alışma prensibi gereği motor tam yükte çalışırken zengin karışım oluşurmaktadır ve silindirlere fazla hava girmediğinden dolayı katalitik konvertör etkili bir şekilde dönüşüm yapamamaktadır. NO_x emisyonları incelendiğinde ise CO ve HC gibi yüksek dönüştürme verimlerine ulaşılamamaktadır. Üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra egzoz emisyonlarında azalma olmakta ve konvertör sonrasında düşük değerler elde edilmektedir.

Bundan sonraki çalışmalara yol göstermesi amacıyla, etanol, metanol, doğal gaz vb. gibi alternatif yakıtlar, kapalı devre katalitik konvertör sistemi ve farklı değerli metal katalizörlere sahip katalitik konvertörler denenerek egzoz

emisyollarında azalma sağlanırken, motor performansında değişiklik olmamasını sağlayacak sistemlerin araştırılmasının gerektiği düşünölmektedir.



KAYNAKLAR

- Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., 1992a, Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği, **Teknik Eğitim Vakfı Yayınları**, İstanbul, Ankara, Bursa.
- Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., 1992b, İçten yanmalı Motorlar Cilt 1, **Teknik Eğitim Vakfı Yayınları**, İstanbul, Ankara, Bursa.
- Chevron Inc., 1990, Use of Unleaded Gasoline in Cars Designed for Leaded Gasoline, **Chevron Products Company**, Chevron USA Inc., USA.
- Chevron Inc., 1996, Motor Gasolines Technical Review (FTR-1), **Chevron Products Company**, Chevron USA Inc., USA.
- Çevre Vakfı, 1995, Motorlu Kara Taşıtlarından Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Önlenmesi Paneli, **Ankara Valiliği Çevre Koruma Vakfı Yayınları**, No:5, Ankara.
- De Nevers, N., 1995, Air Pollution Control Engineering, **McGraw-Hill**, New York.
- Ergeneman, M., Soruşbay C., 1996, Benzin motorlu taşıtların LPG kullanımına dönüşümü, **Mühendis ve Makina**, 37, 441, 25-30, Ankara.
- Ferguson, C.R., 1986, Internal Combustion Engines, Applied Thermosciences, **John Wiley and Sons Inc.**, New York, USA.
- Ganesan, V., 1996, Internal Combustion Engines, **McGraw-Hill Inc.**, New York, USA.
- Gündüz, T., 1994, Çevre Sorunları, **Bilge Yayıncılık Terc. ve Dağıtım**, Ankara.
- Heywood, J.B., 1988, Internal Combustion Engine Fundamentals, **McGraw-Hill**, New York, USA.
- Ichihara, S., Onoda, H., Garr, G.T., Psaras, D., Engler, B.H., Lox, E.S., Ostgathe, K., Ohata, T., Tsuchinati, K., 1994, Recent trends in the application of tri-metal emission control catalysts, **SAE paper**, No: 940935.

- Iynkaran, K., Tandy, D.J., 1989, Applied Thermofluids and Pollution Control, **Prentice Hall**, Singapore.
- İçingür, Y., Haksever, R., 1998, Benzinli motorlarda sıvılaştırılmış petrol gazı kullanımı-performans emisyonlara etkisinin deneysel analizi, **Politeknik Dergisi**, 1, 3-4, 69-76, Ankara.
- Karel, A., 1997, Benzin motorlu taşıtlarda LPG dönüşümünün getirdikleri, Çevre ve Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı, **TMMOB Makina Mühendisleri Odası**, Yayın no: 192, 471-481, Ankara.
- Karim, G.A., Wierzba, I., 1983, Comparative study of methane and propane as fuels for spark ignition and compression ignition engines, **SAE paper**, No: 831196, 3.676-3.688.
- Kolatsakis, G.C., Stamatelos, A.M., 1997, Catalytic automotive exhaust aftertreatment, **Progress in Energy and Combustion Science**, 23, 1-39.
- Kutlar, O.A., Ergeneman, M., Arslan, H., Mutlu, M., 1998, Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler, **Birsen Yayınevi**, İstanbul.
- Lindner, D., van Yperen, R., Lox, E.S., Ostgathe, K., Kreuzer, T., 1996, Reduction of exhaust gas emissions by using Pd-based three-way catalysts, **SAE paper**, No: 960602.
- Lovato SpA, 1999, Otogaz SPG Sistem El Kitabı, **Lovato Autogas**, Vicenza, İtalya.
- MECA, 1998, The Case for Banning Lead in Gasoline, **The Manufacturers of Emission Controls Association**, Washington DC, USA.
- Menrad, H., Wegener, R., Loeck, H., 1985, An LPG-optimized engine-vehicle design, **SAE paper**, No: 852071.
- Meretei, T., Banyavari, P., Borsi, Z., Tamasi, A., 1996, Catalyzer small-scale field-test in Hungary, **SAE paper**, No: 960236, 45-58.
- MMO, 1999, Araçlarda LPG Dönüşümü Mühendis El Kitabı, **TMMOB Makina Mühendisleri Odası**, Yayın no: 217, Ankara.

- Örücü, K., 1999, Araçlarda alternatif yakıt olarak LPG kullanımı, LPG ve Uygulamaları Konferansı Bildiriler Kitabı, **TMMOB Makina Mühendisleri Odası**, Yayın no: 217, İstanbul.
- PİGM, 2000, World wide web sayfası, istatistikler, **T.C. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü**, <http://www.pigm.gov.tr>
- Pulkrabek, W.W., 1997, Engineering Fundamentals of The Internal Combustion Engine, **Prentice Hall**, New Jersey, USA.
- Reddy, K.P., Duggal, S.K., 1996, Ceramic catalytic converters for motorcycles and scooters, **SAE paper**, No: 962472.
- Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H.E., Soruşbay, C., 1995, İçten Yanmalı Motorlar, **Birsan Yayınevi**, İstanbul.
- Smith, W.J., Timoney, D.J., Lynch, D.P., 1997, Emissions and efficiency comparison of gasoline and LPG fuels in a 1.4 litre passenger car engine, **SAE paper**, No: 972970,1-10.
- Telli, Z. K., 1998, Yakıtlar ve Yanma, **Palme Yayıncılık**, Ankara.
- Van der Waide, J., Rele, R., 1991, Dedvelopment of light and heavy duty engine technology for CNG and LPG, **The European Conference on New Fuels and Clean Air**, Antwerp, Netherlands.
- Vesilind, P.A., Peirce, J.J., Weiner, R.F., 1990, Environmental Pollution and Control, **Butterworth-Heinemann**, USA.
- Yücel, N., Doğan, M., Dinler, N., 1999, Ricardo motoru kullanılarak yakıtların oktan sayısının belirlenmesi, **Mühendis ve Makina**, 40, 477, 33-38, Ankara.



Ek-1
Motor Performans Parametrelerinin Değerleri

Kurşunsuz benzinle çalışmada 4° ateşleme avansı değerinde devir sayısına
bağlı olarak hesaplanan değerler

Devir Sayısı (dev/sn)	Tork (Nm)	Mil Gücü (kW)	Mil Verimi (%)	Mil Özgül YakıtTüketimi (g/kWh)
60	83	31,29	23,5	348,99
54	86,5	29,35	23,7	346,01
48	89	26,84	24,02	341,36
42	90	23,75	23,65	346,79
36	86	19,45	23,23	353,06
30	77,5	14,61	21,89	374,68
24	71	10,71	20,6	398,16
20	68	8,54	20,73	395,65

Kurşunsuz benzinle çalışmada 6° ateşleme avansı değerinde devir sayısına
bağlı olarak hesaplanan değerler

Devir Sayısı (dev/sn)	Tork (Nm)	Mil Gücü (kW)	Mil Verimi (%)	Mil Özgül YakıtTüketimi (g/kWh)
60	85	32,04	23,9	343,13
54	89,5	30,37	24,79	330,8
48	92	27,9	24,41	335,89
42	92,5	24,28	23,87	343,56
36	90	20,36	22,81	359,49
30	82,5	15,55	21,87	374,96
24	77,5	11,69	21,6	379,7
20	73,5	9,24	21,85	375,25

Kurşunsuz benzinle çalışmada 8° ateşleme avansı değerinde devir sayısına bağlı olarak hesaplanan değerler

Devir Sayısı (dev/sn)	Tork (Nm)	Mil Gücü (kW)	Mil Verimi (%)	Mil Özgül YakıtTüketimi (g/kWh)
64	85	34,18	24,41	335,92
60	87,5	32,99	24,5	334,65
54	90	30,54	24,39	336,23
48	92,5	27,9	23,9	343,1
42	93	24,54	23,57	347,93
36	90	20,36	22,3	367,68
30	85	16,02	22,3	367,77
24	80	12,06	21,35	384,02
20	74	9,3	21,48	381,85

Benzinle çalışmada 10° ateşleme avansı değerinde devir sayısına bağlı olarak hesaplanan değerler

Devir Sayısı (dev/sn)	Tork (Nm)	Mil Gücü (kW)	Mil Verimi (%)	Mil Özgül YakıtTüketimi (g/kWh)
64	83,5	33,58	24,43	335,73
60	86	32,42	24,44	335,51
54	89,5	30,37	24,3	337,48
48	91	27,44	23,84	344,03
42	91,5	24,15	23,33	351,48
36	91	20,58	22,34	367,09
30	86	16,21	21,83	375,59
24	78	11,76	20,72	395,84
20	72	9,05	19,95	411,03

LPG ile çalışmada 4° ateşleme avansı değerinde devir sayısına bağlı olarak hesaplanan değerler

Devir Sayısı (dev/sn)	Tork (Nm)	Mil Gücü (kW)	Mil Verimi (%)	Mil Özgül YakıtTüketimi (g/kWh)
60	86	32,42	31,022	255,27
54	87,5	29,687	30,366	260,78
48	89	26,841	30,899	256,29
42	87,5	23,09	29,95	264,41
36	85,5	19,339	27,084	292,38
30	78	14,702	22,121	357,98
24	70	10,555	20,936	378,25
20	69	8,6705	20,376	388,64

LPG ile çalışmada 6° ateşleme avansı değerinde devir sayısına bağlı olarak hesaplanan değerler

Devir Sayısı (dev/sn)	Tork (Nm)	Mil Gücü (kW)	Mil Verimi (%)	Mil Özgül YakıtTüketimi (g/kWh)
64	85	34,18	31,077	254,82
60	88	33,174	30,406	260,44
54	91	30,875	30,109	263,01
48	91,5	27,595	30,654	258,33
42	91,5	24,146	29,567	267,84
36	89	20,131	27,957	283,26
30	82	15,456	22,564	350,95
24	75,5	11,385	21,412	369,84
20	74	9,2988	21,614	366,38

LPG ile çalışmada 8° ateşleme avansı değerinde devir sayısına bağlı olarak hesaplanan değerler

Devir Sayısı (dev/sn)	Tork (Nm)	Mil Gücü (kW)	Mil Verimi (%)	Mil Özgül YakıtTüketimi (g/kWh)
64	85	34,18	33,082	239,38
60	87	32,797	31,96	247,78
54	89,5	30,366	33,421	236,95
48	90,5	27,293	32,421	244,26
42	91	24,014	30,567	259,07
36	89	20,131	28,798	274,98
30	83,5	15,739	25,735	307,71
24	79	11,913	22,309	354,97
20	78	9,8015	23,027	343,91

LPG ile çalışmada 10° ateşleme avansı değerinde devir sayısına bağlı olarak hesaplanan değerler

Devir Sayısı (dev/sn)	Tork (Nm)	Mil Gücü (kW)	Mil Verimi (%)	Mil Özgül YakıtTüketimi (g/kWh)
64	84	33,777	29,869	265,12
60	85,5	32,232	32,355	244,76
54	89,5	30,366	30,927	256,06
48	90,5	27,293	32,04	247,16
42	91	24,014	31,853	248,62
36	89	20,131	27,691	285,98
30	86	16,21	25,591	309,45
24	80,5	12,139	22,919	345,52
20	78,5	9,8643	23,109	342,68

Katalitik konvertör monte edildikten sonra kurşunsuz benzinle çalışmada
4° ateşleme avansı değerinde devir sayısına bağlı olarak hesaplanan değerler

Devir Sayısı (dev/sn)	Tork (Nm)	Mil Gücü (kW)	Mil Verimi (%)	Mil Özgül YakıtTüketimi (g/kWh)
64	78	31,36	21,6	379,79
60	82	30,91	23,56	348,17
54	85	28,84	25,28	324,36
48	86,5	26,09	23,08	355,27
42	86,5	22,83	22,29	367,82
36	84	19	22,34	367,11
30	75	14,14	20,55	399,01
24	67	10,1	19,81	413,99
20	63	7,92	20,44	401,11

Katalitik konvertör monte edildikten sonra kurşunsuz benzinle çalışmada
6° ateşleme avansı değerinde devir sayısına bağlı olarak hesaplanan değerler

Devir Sayısı (dev/sn)	Tork (Nm)	Mil Gücü (kW)	Mil Verimi (%)	Mil Özgül YakıtTüketimi (g/kWh)
64	78,5	31,57	21,59	379,70
60	82,5	31,1	22,4	366,17
54	86	29,18	24,36	336,67
48	87,5	26,39	23,23	352,99
42	88	23,22	22,22	369,14
36	84,5	19,11	22,61	362,73
30	78	14,7	20,61	397,90
24	69	10,4	21,21	386,83
20	63,5	7,98	19,16	428,07

Katalitik konvertör monte edildikten sonra kurşunsuz benzin'e çalışmada
8° ateşleme avansı değerinde devir sayısına bağlı olarak hesaplanan değerler

Devir Sayısı (dev/sn)	Tork (Nm)	Mil Gücü (kW)	Mil Verimi (%)	Mil Özgül YakıtTüketimi (g/kWh)
64	80	32,17	23,95	342,46
60	84	31,67	23,45	349,59
54	87,5	29,69	23,25	352,61
48	89,5	26,99	23,38	350,71
42	90	23,75	21,99	372,93
36	87	19,68	22,41	365,85
30	80	15,08	22,38	366,36
24	74,5	11,23	21,47	382,07
20	70	8,8	20,7	395,94

Katalitik konvertör monte edildikten sonra kurşunsuz benzinle çalışmada
10° ateşleme avansı değerinde devir sayısına bağlı olarak hesaplanan değerler

Devir Sayısı (dev/sn)	Tork (Nm)	Mil Gücü (kW)	Mil Verimi (%)	Mil Özgül YakıtTüketimi (g/kWh)
64	82,5	33,17	24,94	328,88
60	86	32,42	25,75	318,44
54	88	29,86	24,7	331,92
48	90	27,14	24,11	340,12
42	91,5	24,15	24,59	333,41
36	88,5	20,02	23,03	355,97
30	82,5	15,55	22,61	362,65
24	78,5	11,84	22,52	364,07
20	76	9,55	22,32	367,48

**Katalitik konvertör monte edildikten sonra LPG ile çalışmada
4° ateşleme avansı değerinde devir sayısına bağlı olarak hesaplanan değerler**

Devir Sayısı (dev/sn)	Tork (Nm)	Mil Gücü (kW)	Mil Verimi (%)	Mil Özgül YakıtTüketimi (g/kWh)
64	83	33,38	25,07	250,05
60	86	32,42	28,06	255,04
54	88	29,86	29,44	260,05
48	89	26,84	33,42	250,06
42	88,5	23,35	33,15	265,05
36	86	19,45	32,15	275,05
30	80	15,08	25,15	327,08
24	75	11,31	24,16	350,25
20	73,5	9,24	23,69	360,43

**Katalitik konvertör monte edildikten sonra LPG ile çalışmada
6° ateşleme avansı değerinde devir sayısına bağlı olarak hesaplanan değerler**

Devir Sayısı (dev/sn)	Tork (Nm)	Mil Gücü (kW)	Mil Verimi (%)	Mil Özgül YakıtTüketimi (g/kWh)
64	84	33,78	23,97	330,31
60	86,5	32,61	26,54	298,38
54	89	30,20	27,17	291,49
48	89	26,84	30,13	262,82
42	88	23,22	27,26	290,49
36	86	19,45	27,13	291,91
30	79	14,89	23,78	333,00
24	74,5	11,23	21,21	373,35
20	72	9,05	21,24	372,91

Katalitik konvertör monte edildikten sonra LPG ile çalışmada
8° ateşleme avansı değerinde devir sayısına bağlı olarak hesaplanan değerler

Devir Sayısı (dev/sn)	Tork (Nm)	Mil Gücü (kW)	Mil Verimi (%)	Mil Özgül YakıtTüketimi (g/kWh)
64	83,5	33,58	27,13	291,88
60	86	32,42	29,95	264,38
54	87,5	29,69	27,10	292,20
48	89	26,84	27,79	284,96
42	89	23,49	29,31	270,18
36	87	19,68	27,42	288,86
30	81	15,27	22,95	345,06
24	77	11,61	21,20	373,56
20	74	9,30	21,46	368,94

Katalitik konvertör monte edildikten sonra LPG ile çalışmada
10° ateşleme avansı değerinde devir sayısına bağlı olarak hesaplanan değerler

Devir Sayısı (dev/sn)	Tork (Nm)	Mil Gücü (kW)	Mil Verimi (%)	Mil Özgül YakıtTüketimi (g/kWh)
64	84	33,78	29,47	268,69
60	87	32,80	30,78	257,26
54	89	30,20	30,22	262,02
48	90,5	27,29	31,80	249,03
42	89,5	23,62	32,90	240,67
36	87,5	19,79	28,72	275,74
30	83	15,64	25,41	311,66
24	78,5	11,84	24,31	325,73
20	77	9,68	24,91	317,91

Ek-2
Egzoz Emisyonlarının Değerleri

Kurşunsuz benzin ile çalışmada 4° ateşleme avansı değerinde 40 dev/s sabit hızda katalitik konvertörden önce ve sonra ölçülen egzoz emisyonlarının motor yüküne bağlı olarak ölçülen değerleri

	bTWC	aTWC	bTWC	aTWC	bTWC	aTWC
Yük	CO	CO	HC	HC	NOx	NOx
(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
100	5,62	4,32	110	61	477	24
80	0,59	0	38	5	610	585
60	0,12	0	44	2	770	670
40	0,29	0	87	5	750	605
20	1,26	0	117	2	340	12
0	1,96	0,28	116	7	167	7

Kurşunsuz benzin ile çalışmada 6° ateşleme avansı değerinde 40 dev/s sabit hızda katalitik konvertörden önce ve sonra ölçülen egzoz emisyonlarının motor yüküne bağlı olarak ölçülen değerleri

	bTWC	aTWC	bTWC	aTWC	bTWC	aTWC
Yük	CO	CO	HC	HC	NOx	NOx
(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
100	6,28	5,38	143	122	216	3
80	0,66	0	39	1	430	426
60	0,16	0	30	0	316	316
40	0,26	0	99	1	460	460
20	0,9	0	111	1	238	145
0	2,13	0,38	140	0	95	3

Kurşunsuz benzin ile çalışmada 8° ateşleme avansı değerinde 40 dev/s sabit hızda katalitik konvertörden önce ve sonra ölçülen egzoz emisyonlarının motor yüküne bağlı olarak ölçülen değerleri

	bTWC	aTWC	bTWC	aTWC	bTWC	aTWC
Yük	CO	CO	HC	HC	NO _x	NO _x
(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
100	4,75	4,07	110	91	560	14
80	0,66	0	56	0	640	550
60	0,11	0	45	0	653	580
40	0,27	0	96	0	670	577
20	1,09	0	115	0	305	10
0	1,66	0,2	127	0	146	8

Kurşunsuz benzin ile çalışmada 10° ateşleme avansı değerinde 40 dev/s sabit hızda katalitik konvertörden önce ve sonra ölçülen egzoz emisyonlarının motor yüküne bağlı olarak ölçülen değerleri

	bTWC	aTWC	bTWC	aTWC	bTWC	aTWC
Yük	CO	CO	HC	HC	NO _x	NO _x
(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
100	5,06	3,78	107	94	790	7
80	0,66	0	57	0	882	828
60	0,09	0	49	0	740	500
40	0,11	0	93	5	950	800
20	0,7	0	105	5	485	376
0	1,43	0	119	0	225	6

LPG ile çalışmada 4° ateşleme avansı değerinde 40 dev/s sabit hızda katalitik konvertörden önce ve sonra ölçülen egzoz emisyonlarının motor yüküne bağlı olarak ölçülen değerleri

	bTWC	aTWC	bTWC	aTWC	bTWC	aTWC
Yük	CO	CO	HC	HC	NO _x	NO _x
(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
100	1,85	1,68	150	13,04	390	11
80	0,11	0	25	0	490	425
60	0,11	0	98	8	690	600
40	0,11	0	117	19	410	305
20	0,13	0	91	22	105	105
0	0,13	0	65	28	25	46

LPG ile çalışmada 6° ateşleme avansı değerinde 40 dev/s sabit hızda katalitik konvertörden önce ve sonra ölçülen egzoz emisyonlarının motor yüküne bağlı olarak ölçülen değerleri

	bTWC	aTWC	bTWC	aTWC	bTWC	aTWC
Yük	CO	CO	HC	HC	NO _x	NO _x
(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
100	0,48	0	145	25	985	950
80	0,12	0	31	6	680	630
60	0,11	0	96	19	1004	990
40	0,12	0	132	39	785	635
20	0,13	0	111	46	765	177
0	0,13	0	90	50	42	67

LPG ile çalışmada 8° ateşleme avansı değerinde 40 dev/s sabit hızda katalitik konvertörden önce ve sonra ölçülen egzoz emisyonlarının motor yüküne bağlı olarak ölçülen değerleri

	bTWC	aTWC	bTWC	aTWC	bTWC	aTWC
Yük	CO	CO	HC	HC	NO _x	NO _x
(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
100	1,43	0,57	185	28	680	10
80	0,12	0	44	0	625	565
60	0,08	0	122	5	826	716
40	0,09	0	155	25	533	450
20	0,11	0	114	49	121	133
0	0,12	0	93	35	38	66

LPG ile çalışmada 10° ateşleme avansı değerinde 40 dev/s sabit hızda katalitik konvertörden önce ve sonra ölçülen egzoz emisyonlarının motor yüküne bağlı olarak ölçülen değerleri

	bTWC	aTWC	bTWC	aTWC	bTWC	ATWC
Yük	CO	CO	HC	HC	NO _x	NO _x
(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
100	1,33	0,25	191	35	790	8
80	0,11	0	55	1	680	645
60	0,1	0	129	11	1050	1020
40	0,11	0	178	31	545	530
20	0,13	0	127	29	110	110
0	0,13	0	100	41	33	33

ÖZGEÇMİŞ

Nureddin DİNLER, 1976 yılında Ankara’da doğdu. 1993 yılında Ankara Atatürk Anadolu Lisesi’ni bitirdi. Lisans öğrenimini Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde, 1997 yılında Bölüm birincisi olarak tamamladı. Aynı yıl Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Mart 1998’den itibaren Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı; halen aynı göreve devam etmektedir.

