

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İÇTEN YANMALI BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA
SOĞUK ÇALIŞMA EMİSYONLARI**

707288

101288

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Müh. Canan CİMŞİT

Anabilim Dalı : Makine Müh.

Danışman : Prof. Dr. Zafer DÜLGER

EYLÜL 2000

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KURULU

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İÇTEN YANMALI BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA
SOĞUK ÇALIŞMA EMİSYONLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Canan CİMŞİT

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 Haziran 2000

Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Eylül 2000

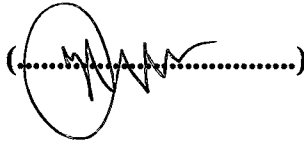
Tez Danışmanı

Prof. Dr. Zafer DÜLGER



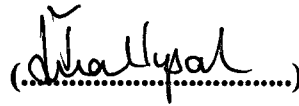
Üye

Prof. Dr. H. Şinasi ONUR



Üye

Yrd. Doç. Dr. Ünal UYSAL



Eylül - 2000

İÇTEN YANMALI BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA SOĞUK ÇALIŞMA EMİSYONLARI

Canan CİMŞİT

Anahtar Kelimeler : Soğuk Çalışma, Emisyonlar, Yakıt Tüketimi.

Özet : Motor çalıştırma ve ısınma esnasında HC ve CO emisyonlarındaki artış, motor içinde sürtünme kayıplarından, artan güç-çekiş kayıplarından, doğru çalışma için esas olan zenginleşmiş yakıt karışımından, ısınma ve sürüş gibi sebeplerden doğan yakıt tüketimi artışı ile birlikte gerçekleşir. Petrolle çalışan araçlar egzozların çoğunu soğuk çalışmayı izleyen motor çalışmasının ilk 2-3 dakikasında yayarlar. Bu soğuk çalışma sırasındaki yüksek motor egzozu ayrıca iki faktöre daha bağlıdır. Yetersiz yanma ve çevre sıcaklığında etkisiz katalitik dönüştürücü. Katalitik dönüştürücüler, otomobillerde yayılan egzoz borusundaki hidrokarbonlar (HC), karbonmonoksit (CO), nitrojenoksit (NO_x) azaltımındaki en önemli araçtır. 1981' den beri çok kullanılan gelişmiş 3 yollu katalik dönüştürücüler NO_x ' i azaltırken aynı anda yanmamış HC ve CO' i okside ederler. Geçmişte otomobil üreticileri, kıvılcım tutuşturmalı motorlarda yayılan atıkları azaltmak için katalitik konvertörleri çok kullanmışlardır. Yeni sıkı egzoz düzenlemelerine uymak için mevcut katalitik dönüştürücü teknolojisinde değişiklik gerekecektir.

Sonuç olarak egzoz emisyonları için düzenleyici standartların gelecek yıllarda giderek daha sıkı olması beklenmektedir ve bu düzenlemeleri karşılamak amacıyla soğuk çalışma emisyonlarını azaltmak için gerekli olacak bazı teknolojiler anlatılmıştır.

COLD START EMISSIONS IN INTERNAL COMBUSTION AND SPARK PLUG IGNITED ENGINES

Canan CİMŞİT

Kew Words : Cold Start, Emissions, Fuel Consumption

Abstract : During the starting and warming of engine, the increase in HC and CO emissions is dependent on the increase in fuel consumption due to the friction losses inside the engine, increasing power-traction losses, the enriched fuel mixture required for correct operation and warming and driving. Petrol consuming vehicles emit most of their exhaust fumes in the first 2-3 minutes following the engine operation after cold start. The high level of engine exhaust during this cold start also depends on two other factors. Insufficient combustion and catalytic converter which is ineffective at ambient temperature. Catalytic converters are the most significant means of reducing the hydrocarbons (HC), carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NO_x) in the exhaust fumes emitted by the vehicles. The advanced 3-way catalytic converters widely used since 1981 reduce NO_x while oxidising unused HC and CO. In the past car producers have widely used catalytic converters in order to reduce the wastes emitted by spark-ignition engines. In order to meet the new strict exhaust regulations, changes must be made in the existing catalytic converter technology.

In conclusion the regulatory standards for exhaust emissions are expected to become stricter in the future and some technologies are discussed which may be used to reduce the cold start emissions in order to meet these requirements.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada soğuk çalışma şartları altında meydana gelen yakıt tüketimi ve CO, HC ve NO_x gibi egzoz emisyonlarındaki artış tayin edilmiştir. Burada emisyon seviyelerini azaltma ve yeni sıkı emisyon düzenlemelerine uymak için ne tür teknolojilerin geliştirildiği yapılan örnek deneylerle anlatılmıştır.

Bana bu konuda çalışma olanağı veren değerli hocam Prof. Dr. Zafer DÜLGER'e (KOÜ) yardımlarını gördüğüm Sayın Prof. Dr. Ertuğrul Aslan' a (İ.T.Ü.M.F.) teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xv
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Hava Kirliliğinin Tarihçesi	1
1.2. Hava Kirliliği Nedir?	2
1.3. Kirletici Maddeler Neden ve Nasıl Oluşurlar?	3
1.3.1. Karbonmonoksit (CO)	5
1.3.2. Azotoksitler (NO _x)	6
1.3.3. Hidrokarbonlar (HC)	7
1.3.4. Partiküller (is)	7
1.3.5. Kükürtdioksit (SO ₂)	8
1.3.6. Kurşun ve kurşunlu bileşikler (Pb)	9
1.3.7. Aldehitler (R.CHO)	9
1.4. Kirleticiler İçin Ölçü Birimleri	10
1.5. Sürüş Şartları ve Egzoz Gazları	10
1.5.1. Hava-yakıt oranı ve egzoz gazlarının üretilmesi arasındaki ilişki	10
1.5.2. Motor ısınması	11
1.5.3. Rölanti	12
1.5.4. Sabit hızda çalışma	12
1.5.5. Düşük ve orta hızlar (100 km/h veya 62 mil/h hızın altında)	13
1.5.6. Yüksek hızlar (100 km/h veya 62 mil/h hızın üstünde	13

1.5.7. Hızlanma	14
1.5.8. Motor freni (hız kesme)	14
1.5.9. Ağır yük	15

BÖLÜM 2. MOTORLU TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN KİRLLETİCİ EMİSYONUNA GETİRİLEN SINIRLAMALAR

16

2.1. Taşıtların Egzoz Emisyonu Kontrolünde Temel Hedefler, Test ve Ölçüm Yöntemleri	17
2.1.1. Yeni taşıtların tip testi	18
2.1.1.1. Taşıt egzoz emisyonunun bir seyir çevrimi boyunca ölçülmesi ve getirilen sınırlamalar	18
2.1.2. Trafikteki taşıtların egzoz emisyonlarının Periyodik Kontrolü	27
2.2. Türkiye’de Taşıtlardan Kaynaklanan Kirleticiler Getirilen Sınırlamalar	28
2.3. 1993 Yılında Başlayarak İ.T.Ü. Makine Fakültesi Otomotiv Ana Bilim Dalı Laboratuvarında Yapılan Egzoz Emisyonu Ölçümlerine Ait Örnekler	29
2.3.1. ECE 15.04 veya eşdeğeri TS 4236 ve TS 5648 standartlarına göre yerli taşıtlara ait bazı özellikler	30
ait bazı özellikler	30
2.3.2. Benzin motorlu taşıtlarda katalizatörün etkisini etkisini gösteren örnek sonuçları	30
2.4. Euro III ve Euro IV Emisyon Standartları	31

BÖLÜM 3. FARKLI ORTAM SICAKLIĞI ŞARTLARINDA SOĞUK ÇALIŞTIRMA EMİSYONLARININ ARAŞTIRILMASI

35

3.1. Soğuk Çalışma Emisyonlarının Araştırılması	37
3.2. Test İşlemi	38
3.3. Test Sonuçları	39
3.3.1. Egzoz emisyonları	39
3.3.2. Yakıt tüketimi	44

3.4. Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Emisyonları Azaltma Teknolojileri	46
--------------------------------------------------------------------------------	----

BÖLÜM 4. KATALİTİK KONVEKTÖRLER (KATALİZATÖRLER)48

BÖLÜM 5. V6 MOTORLARININ ULEV'DE SOĞUK ÇALIŞMA

EMİSYONLARINI AZALTMA TEKNOLOJİLERİ	53
5.1. Düzenlemelerle Gerekli Olan Soğuk Emisyon Azalma Derecesi	54
5.2. Değerlendirilmiş Sistemlerin İncelenmesi	55
5.3. İkincil Hava Enjeksiyonunun Kullanımı	57
5.3.1. Enjeksiyon pozisyonu	57
5.3.2. Gelişmiş hava/yakıt oranı kontrolü	60
5.4. Benzin Özelliklerini Etkileri	62
5.5. EHC Kullanımı Metodları	64
5.5.1. EHC'nin etkileri	64
5.5.2. Farklı EHC güç sistemlerinin etkileri	68
5.6. EHC Kullanarak HC Emisyonlarının Azaltılması	69

BÖLÜM 6. ELEKTRİKLİ MOTOR ISITICILARININ KULLANILMASIYLA AZALTILMIŞ SOĞUK

ÇALIŞMA EMİSYONLARI	71
6.1. Motor Isıtıcıları	71
6.2. Motor Isıtıcılarının Çevresel Faydaları	72
6.2.1. Motor ısıtıcılarının soğuk çalışma emisyonlarının azaltılması	72
6.2.2. Azaltılmış yakıt tüketimi ve CO ₂ emisyonları	73
6.3. Elektrik Besleme Üzerine Etkiler	74
6.3.1. Bataryada şarj imali	75
6.4. Motor Isıtıcı Kullanımının Faydaları	75

BÖLÜM 7. OTOMOBİLLERDE SOĞUK ÇALIŞMA EMİSYONUNU AZALTMAK İÇİN ELEKTRİKLE ÇALIŞAN KİMYASAL ISITMALI KATALİTİK KONVEKTÖR	76
7.1. Katalitik Konvektörler Teknolojisindeki Değişiklikler	76
7.2. Hızlı Katalist Çalışmasını Elde Etmekte Kullanılan Yöntemler	77
7.3. Katalitik Konvektörleri Isıtmak İçin Yeni Bir Yöntem	79
7.4. EICHC'nin Bir Otomobile Uygulanması	81
7.4.1. Deney test düzeneği	82
7.4.2. Kısmi oksidasyon ürünleri	83
7.4.3. Katalitik konvektör sütunlarındaki çözülen ısı ölçümleri	84
7.4.4. Deney prosedürü	85
7.4.5. EHC ünitesi elektriksel olarak önceden seçilen sıcaklığa kadar ısıtılmasından sonra yapılan kimyasal enjeksiyon	86
7.4.6. Çalışmaya ulaşmak için gerekli zaman ve enerji	88
7.5. Çeşitli Organik Kimyasalların EICHC'de Kullanımının Fizibilitesi	90
7.6. EICHC Kullanmanın Faydaları	92
SONUÇLAR	93
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ	95

SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

λ	: Hava fazlalık katsayısı (lambda)
AET	: Avrupa Ekonomik Topluluğu
APEHC	: Alternatör-Powered Electrically Heated Catalyst
AT	: Avrupa Topluluğu
BHC	: Burner-Heated Catalyst
C	: Karbon
CAA	: Clean Air Act Stage 1
CFR	: Code of Federal Regulations
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
CVS	: Constant Volume Sample
DGT	: Düşük Güçlü Taşıt
ECE	: Economic Commission for Europe
ECE - R	: Economic Commission for Europe - Regulation
EC	: European Commission
EGI	: Exhaust Gas Ignition
EHC	: Electrically Heated Catalyst
EICHC	: Electrically Initiated Chemically Heated Catalyst
EPA	: Environmental Protection Agency US
EU	: European Union
EUDC	: Extra Urban Driving Cycle
EURO 93	: Euro 93
EURO 96	: Euro 96
FID	: Flame Ionization Detector
FTP	: Federal Test Procedure
HCHO	: Formaldehit
H ₂	: Hidrojen
H ₂ O	: Su
H ₂ SO ₄	: Sülfirik asit
HC	: Hidrokarbonlar

HFK	:	Hava Fazlalık Katsayısı
H/Y	:	Hava/Yakıt oranı
İ.T.Ü.	:	İstanbul Teknik Üniversitesi
LEV	:	Low Emission Vehicle
LDT	:	Light Duty Truck
LDV	:	Light Duty Vehicle
LOC	:	Light - of Catalyzt
MPI	:	Multi Point Injection
N₂	:	Azot
NO_x	:	Azotoksit
O₂	:	Oksijen
Pb	:	Kurşun
Pb(C₂H₅)₄	:	Kurşuntetraetil
Pd	:	Palladyum
ppm	:	Milyonda
Pt	:	Platin
R	:	Regulation
R.CHO	:	Aldehitler
Rd	:	Radyum
S	:	Kükürt
SO₂	:	Kükürtdioksit
SI	:	Spark Ignition Engines
SPI	:	Single Point Injection
TSE	:	Türk Standartları Enstitüsü
TWC	:	Three - Way Catalist
UDC	:	Urban Driving Cycle
ULEV	:	Ultra Low Emission Vehicle
ZEV	:	Zero Emission Vehicle

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Benzin ve dizel motorlarında HFK'nın (lambda) egzozdaki kirletici konsantrasyonlarına etkisi	4
Şekil 1.2.	Egzoz gazlarının değişik komponentlerinin konsantrasyonları hava-yakıt oranı ile ilişkisi	11
Şekil 1.3.	Motorun ısınması	12
Şekil 1.4.	Rölanti	12
Şekil 1.5.	Düşük ve orta hızlar	13
Şekil 1.6.	Yüksek hızlar	13
Şekil 1.7.	Hızlanma	14
Şekil 1.8.	Motor freni	14
Şekil 1.9.	Ağır yük	15
Şekil 2.1.	Taşıtın yol şartlarındaki hareketini modelleyen tambur ve egzoz emisyonu ölçüm düzeneği	19
Şekil 2.2.	FTP 75 (Federal Test Procedure) test çevrimi	20
Şekil 2.3.	ECE 15.00 şehir içi çevrimi	23
Şekil 2.4.	EURO 93 test çevrimi (şehir içi çevrimi X4+otoyol çevrimi)	25
Şekil 2.5.	Avrupa (Euro I, Euro II) yolcu arabası egzoz emisyon limit değerleri ve SI motorlar için yeni limit 2000/2005 (Euro III, Euro IV)	32
Şekil 2.6.	Euro III ve Euro IV için Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi	33
Şekil 3.1.	ECE (UDC+EUDC) sürüş test çevrimi Avrupa Emisyonu	38
Şekil 3.2.	İlaveten üç safhaya ayrılmış (49 sn, 66 sn, 89 sn) UDC çevriminin 1. safhası	38
Şekil 3.3.	ECE (UDC) çevriminin dört safhasındaki HC, CO ve NO _x emisyonları (g/km), 3 tip (A,B,C) araçları için ortalama sonuçlar	39
Şekil 3.4.	Farklı şartlandırma sıcaklıklarında tüm UDC çevriminde özel safhalardaki emisyon katkıları, 3 tip (A,B,C) araç için ortalama sonuçları	40
Şekil 3.5.	Farklı şartlandırma sıcaklıklarında UDC çevrimi sırasında B tipi araçta ortalama HC, CO ve NO _x emisyonları	41

Şekil 3.6.	Farklı şartlandırma sıcaklıklarında UDC çevriminin 1.safhasında (195 sn) B tipi araçta ortalama HC, CO ve NO _x Emisyonları.....	41
Şekil 3.7.	UDC çevrimi 1. Safhaya ilaveten üç safhaya 40 sn, 66 sn, 89 sn'e bölünmüş HC, CO ve NO _x emisyonları	42
Şekil 3.8.	Farklı iklimlendirme sıcaklıklarında UDC çevrimi sırasında A ve B tipi araçlarda ortalama HC, CO ve NO _x emisyonları	43
Şekil 3.9.	Farklı iklimlendirme sıcaklıklarında UDC çevriminin 1. safhasında A ve B tipi araçlarda ortalama HC, CO ve NO _x emisyonları	43
Şekil 3.10.	Farklı yakıt besleme tiplerine sahip araçlarda HC, CO ve NO _x emisyonları : SPI ve MPI (-2°C ve 22 °C İklimlendirme sıcaklıklarında)	44
Şekil 3.11.	Farklı iklimlendirme sıcaklıklarında dört EC (UDC) çevriminin dört safhası boyunca yakıt tüketimi, Üç tip (A,B,C) arabanın ortalama değerleri	45
Şekil 3.12.	Araba -5 °C' de iklimlendirme sıcaklığı için UDC çevrimi sırasında B tipi araçta yakıt sarfiyatı	46
Şekil 4.1.	Katalitik konvektörün (katalizatörün) işlevi	48
Şekil 4.2.	Katalitik konvektörün (katalizatörün) iç yapısı	49
Şekil 4.3.	Hava fazlalık katsayısının katalizatörün dönüşüm verimine etkisi	51
Şekil 4.4.	Elektronik kontrol üniteli, üç yollu katalitik konvektörlü, lambda vericili ve benzin püskürtme sistemli bir motorun basitleştirilmiş prensip şeması	52
Şekil 5.1.	FTP çevriminde HC emisyonları	54
Şekil 5.2.	EC safha 2000 Test çevriminde HC emisyonları	55
Şekil 5.3.	Araç A egzoz sistemi	56
Şekil 5.4.	Araç B egzoz sistemi	56
Şekil 5.5.	İkincil hava enjeksiyonu ve ekzotermik reaksiyon yeri	57
Şekil 5.6.	Farklı ikincil hava enjeksiyon pozisyonlu kuyruk borusu HC emisyonları	58
Şekil 5.7.	Farklı ikincil hava enjeksiyon pozisyonlu motor-çıkış HC emisyonları	58
Şekil 5.8.	Farklı ikincil hava enjeksiyon pozisyonlu EHC yatak sıcaklığı	59
Şekil 5.9.	Farklı ikincil hava enjeksiyon pozisyonlu HC Katalist artışı %' si	60

Şekil 5.10. HC emisyonları (ilk 30 sn)	61
Şekil 5.11. Farklı Hava/Yakıt oranlı egzoz gaz sıcaklığı HC emisyonları	61
Şekil 5.12. Farklı Hava/Yakıt oranlı motor-çıkış HC emisyonları	62
Şekil 5.13. EHC giriş gazı sıcaklığı (Avrupa Gazı-Kaliforniya Safha 2 Yeni Formülle Benzin)	62
Şekil 5.14. Yakıt özelliklerinin egzoz gazı sıcaklığı üzerindeki etkisi	63
Şekil 5.15. Damıtma özelliklerinin gaz sıcaklığına etkisi	64
Şekil 5.16. Alternatörden güç alan EHC'nin Açık/Kapalı konumunun HC emisyonları üzerindeki etkisi	64
Şekil 5.17. EHC'nin Açık/Kapalı konumu için EHC giriş sıcaklığı	65
Şekil 5.18. İkincil havanın EHC giriş sıcaklığı üzerindeki etkisi	66
Şekil 5.19. EHC Açık/Kapalı statüsü için gaz hacmi	66
Şekil 5.20. Gaz hacminin ekzotermik reaksiyonlara etkisi	67
Şekil 5.21. HC emisyonlarında EHC güç kaynağı metodu etkisi	68
Şekil 6.1. Sürüş çevriminde toplam emisyon yüzdesi olarak soğuk çalıştırma emisyonları	72
Şekil 6.2. Motor ısıtıcı ve ısıtıcısız 20 °C ve -2 °C'de emisyonlar (Katalitik konverterli altı otomobil için bilgi)	73
Şekil 7.1. EICHHC, iki aşamalı ısıtma prosesi	79
Şekil 7.2. Hava akımına dakikada 50 ml enjekte edilen organik kimyasalların ısınma oranlarının karşılaştırılması	80
Şekil 7.3. EICHHC sisteminin bir aracın egzozu	81
Şekil 7.4. EICHHC sistemi için deney cihazı	82
Şekil 7.5. EHC'de ve ana katalitik konvektörlerdeki birleşik ısı ölçücüsü yerleşimi	85
Şekil 7.6. Birleşik elektriksel ve kimyasal ısıtma yaklaşım sıcaklık-zamanlı profiller	86
Şekil 7.7. EICHHC yaklaşımı kullanılarak bir EHC katalizörlü sütun komponentinde 400 °C' ye ulaşmak için gerekli zaman ve enerji	88
Şekil 7.8 (a)EICHHC kullanarak çeşitli kimyasalların katalitik oksidasyon davranışı değerlendirmede kullanılan test aparatı	90
Şekil 7.8(b)Seramik sütundaki ısı ölçücü yerleşimleri	90

Şekil 7.9. EICHHC yaklaşımında kullanma amaçlı çeşitli organik kimyasalların termal tepkimesi	91
-----------------------------------------------------------------------------------------------------	----



TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Dizel motoru egzoz gazlarındaki partiküllerin bileşimi	8
Tablo 2.1.	ABD' de 49 eyalette (EPA) uygulanan egzoz emisyonu sınır değerlerinin 1975-1981 yılları ve ötesi olmak üzere değişimi (FTP 75 çevrimi)	21
Tablo 2.2.	ABD' nin Kaliforniya eyaletinde binek taşıtlar için uygulanan ve geleceğe yönelik olarak planlanan egzoz emisyonu sınır değerleri (FTP 75 çevrimi)	21
Tablo 2.3.	Kaliforniya eyaletinde sınır değerlere uygun olarak trafiğe çıkacak yeni model taşıtların % olarak her yıla ait payları	22
Tablo 2.4.	Avrupa Topluluğu ülkelerinde binek taşıtlar için uygulanan egzoz emisyonu sınır değerleri gelişimi	26
Tablo 2.5.	Türkiye' de ki motorlu taşıtların egzoz emisyonları için 1995 yılından başlayarak getirilen sınır değerler	29
Tablo 2.6.	Yerli imalat benzinli (karbüratörlü – püskürtmeli) motorlu taşıtların Avrupa şehir içi çevrimi boyunca yaydıkları egzoz emisyonu miktarları (Parantez içindeki değerler ECE 15.04'e göre sınır değerlerdir)	30
Tablo 2.7.	Püskürtme sistemli benzin motoruna sahip ithal iki taşıtların katalizatörsüz ve katalizatörlü motoruna ait egzoz ölçüm değerleri. Parantez içindeki değerler ECE 15.04'e göre sınır değerlerdir	30
Tablo 2.8.	Biri benzin püskürtmeli, katalizatörlü diğeri dizel motorlu iki taşıtların EURO 93 standartlarındaki sınır değerler verilmiştir	31
Tablo 2.9.	Üç emisyon test çevrimi arasındaki ana farklar.....	34
Tablo 3.1.	Araç Özellikleri	37
Tablo 7.1.	EICHHC' e uygun organik kimyasallar	80

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artış yanında, kişi başına enerji tüketimindeki hızlı artış, son yıllarda çevre kirliliği açısından önemli sorunlar yaratmaya başlamıştır. Hava kirliliği, çevre kirliliği içerisindeki bir kaç ana unsurlardan bir tanesi üstelik de en önemlisidir. Hava kirliliğinin bir sorun olarak algılandığı günlerden bu yana çeşitli evrelerden geçilmiştir. Tehlikeli etkilere sanayileşmiş ülkelerde bu yüzyılın ilk yarısında görüldüğü halde, bu deneyimden ileriye dönük olarak yararlanılamamış veya bir takım ekonomik nedenler öne sürülerek sorun gözardı edilmiştir.

1.1. Hava Kirliliğinin Tarihçesi

Hava kirliliğinin insan ve çevre sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri ilk olarak enerji tüketiminin yoğun olduğu bölgelerde gözlenmiştir. Özellikle 19. yüzyıl başında sanayi devrimi ile Avrupa’ da kömür üretiminin yapıldığı ve sanayinin odaklandığı dar bölgelerde hava kirliliği insan ve çevre sağlığını etkilemeye başlamıştır. Ancak hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin bilimsel olarak incelenmesinin tarihçesi 1910’ lu yıllarda başlar. İlk kez bu dönemde karbonmonoksit ve diğer kirleticilerin kent havasını zehirlediği ve insanlarda sağlık bozukluklarına yol açtığı saptanmıştır.

1930’ da Belçika’ da Meuse vadisinde üç günlük yoğun bir sisin sonucunda hastalanan yüzlerce insandan 60’ ı ölmüştür. Bir yıl sonra 1931’ de İngiltere’ nin sanayi bölgelerinden Manchester’ de dokuz günlük yoğun bir sisin ardından ölü sayısı 600’ e yaklaşmıştır. 1948’ de ABD’ nin Pennsylvania eyaletinde, küçük bir sanayi kenti olan Donora’ da dört günlük bir sisten sonra 14000 kişi hastalanmış, bu insanlardan 20’ si kaybedilmiştir. Bu olayda hastalanmış olan grup, uzun dönemde izlendiğinde, bu grupta erken ölüm sıklığının diğer bölge sakinlerine göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Londra' da 1956 yılı ocak ayında, uzun bir sis olayına bağlanan ancak beklenen sayıyı çok fazla aşan ölümlerden hemen sonra Britanya parlamentosundan temiz hava yasası geçirilerek, linyit kömürünün yakılması sınırlandırılmıştır. Bugün ise kirli geçen bir günün ardında ölenlerin içinde, ölüm raporunda bronşit veya kalp krizi yazanların kaçının kaybında kirli havanın payının olduğu pek düşünülmemektedir. İnsanın en önde gelen gereksinimi olan havanın kirlenmesi ve bu kirliliğin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin önlenmesinin, çağdaş halk sağlığında önemli bir yer tutması gerektiği açıktır.

1.2. Hava Kirliliği Nedir ?

Hava kirliliği, havanın yapısının doğal bileşiminde bulunan ana maddelerin değişmesi ya da yabancı maddelerin girmesi sonucu, insan sağlığı ve huzurunu etkileyecek, hayvan, bitki ve insan yapılarına zarar verecek şekilde bozulması biçiminde tanımlanabilir. Bu bozulma, kum, toz, uçan kül, kurum, is, duman, buğu, tütsü, sis, pus, buhar, gaz, veya koku gibi çok çeşitli bileşenlerin çevre atmosferindeki varlığı dolayısıyla ortaya çıkabilir. Ancak bu tanımlama içerisinde yer alan bütün bileşenlerin kirlenici olarak etkileri bunların hava içindeki oranlarına ve etki sürelerine bağlıdır.

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

Bu yakıtlar temelde hidrojen (H_2) ve karbondan (C) oluşmuşlardır. Yanma olayı yakıtın oksijenle birleşmesi gibi düşünülebilir. Yakıtın yanması, yakıtın içindeki yanabilen elemanlar ile havanın oksijeni arasında yüksek hızla oluşan kimyasal

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

Bu reaksiyonlar sonucu ısı ve ışık açığa çıkar ki buna **yanma** denir. Bu maddelerden su buharı (H_2O) zararlı değildir ve kirletici bir özellik taşımamaktadır. Azot (N_2) ise reaksiyona girmemekte ve alındığı gibi havaya geri verilmektedir. Karbondioksit (CO_2) doğrudan insan ve çevre sağlığı üzerinde zararlı etkilere sahip değildir. Ancak yanma sonucu atmosfere en çok salınan ve sera etkisi yaratan bir gazdır. Bu gaz atmosferde çok miktarda biriktiği zaman, güneşten dünyaya gelen enerjinin tekrar uzaya yansımaya engel olur. Bunun sonucunda dünyanın sıcaklığının giderek artacağı ve bu artışın olumsuz iklim değişikliklerine (aşırı ısınma ve kuraklık, buzulların erimesi ve deniz seviyelerinin yükselmesi vb.) neden olacağı savı ileri sürülmektedir. Bu nedenle enerji santrallerinin verimliliği artırılarak yakıt tüketimi düşürülmekte ve ayrıca taşıtların yakıt tüketimlerine de sınırlar getirilerek CO_2 üretiminin kısıtlanmasına çalışılmaktadır (Ergeneman ve diğ. 1998).

1.3. Kirletici Maddeler Neden ve Nasıl Oluşurlar ?

Yakıtın bileşiminde karbon (C) ve hidrojen (H) bulunduğu kabul edilirse 1 kg yakıtın yanması için gerekli miktardaki oksijen ve hava, tam yanma denklemlerinden bulunur. Örneğin, 1 kg benzinin tam yanması için, yani bütün karbonun CO_2 ' ye ve bütün hidrojenin H_2O ' ya dönüşmesi için, bu denklemlerden yaklaşık 14.6 kg hava gerektiği ortaya çıkar. Yanmaya katılan gerçek hava miktarı ise bu teorik değerden az veya çok olabilir. Eğer yanmaya katılan gerçek hava miktarı, teorik hava miktarına eşitse bu karışıma **stokiyometrik karışım** denir.

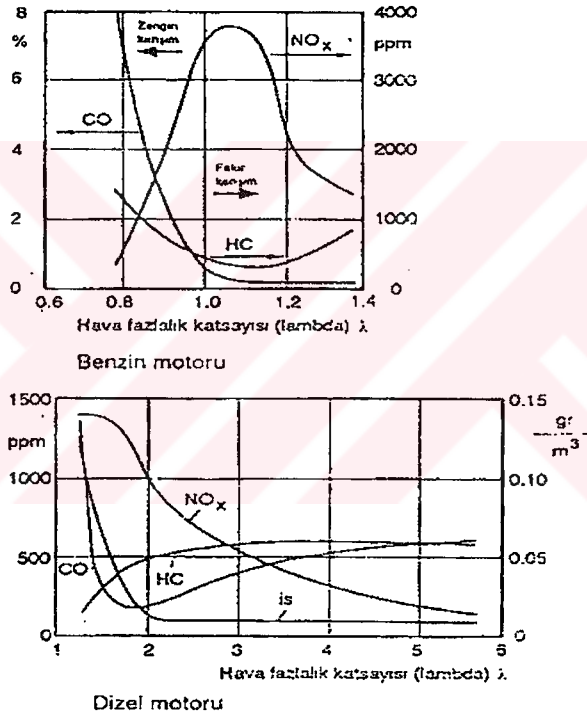
Yanmaya katılan gerçek hava miktarının, teorik havadan ne kadar saptığını belirtmek için Hava Fazlalık Katsayısı (HFK) terimi kullanılır. HFK yanmaya katılan gerçek hava miktarının, teorik hava miktarına oranına denir ve Yunanca λ (lambda) harfi ile gösterilir.

Yanmaya katılan gerçek hava miktarı

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

$$\lambda = \frac{\text{Yanmaya katılan gerçek hava miktarı}}{\text{Tam yanma için gerekli hava miktarı}} \quad (1.1)$$

Kolayca görüleceği gibi, yanmaya katılan hava miktarı teorik olana eşitse HFK=1 ($\lambda=1$) olacaktır. Bu aynı zamanda stokiyometrik karışımdır. $\lambda < 1$, yani HFK 1' den küçük ise gerçek hava miktarı teorik olarak gerekenden az olacaktır. Karışım içinde yakıt miktarı fazla olduğu için buna **zengin karışım** denir. $\lambda > 1$, yani HFK 1' den büyük ise, hava gerekenden fazla yakıt ise az olduğu için buna **fakir karışım** denir.



Şekil 1.1. Benzin ve dizel motorlarında HFK' nın (lambda) egzozdaki kirletici konsantrasyonlarına etkisi.

Yanmaya katılan hava gerekenden çok (fakir yakıt - hava karışımı) veya az (zengin yakıt - hava karışımı) olabilir. Örneğin 1 kg benzinin tam olarak yanması için gerekli olan hava miktarı, yaklaşık, 14.6 kg' dır. Benzinli bir motorun karbüratöründe benzin ile hava karıştırılırken gerekenden daha çok benzin karıştırılıyorsa fazla olan kısmın tam yanamayacak ve yanma sonucu CO₂ ve H₂O yanında CO (karbonmonoksit) ve HC (yanmamış yakıt molekülleri - hidrokarbonlar) oluşacaktır. Yanmaya katılan hava

gereken miktarda olsa bile yanma odasında yakıt ile havanın iyi karışmaması nedeniyle zengin ve fakir karışım bölgeleri oluşabilir ve gene tam yanma gerçekleşmeyebilir. Her türlü ideal yanma koşulları sağlansa bile yanmanın kimyası gereği, bir miktar kirletici denilen tür bileşen (özellikle CO ve NO_x - azotoksitler) oluşacaktır. Ayrıca hidrokarbon yakıtlar içerisinde bulunan farklı oranlardaki kükürt ve yakıtta çeşitli nedenlerle eklenen katkı maddelere de yanma sonucunda kirletici madde olarak ortaya çıkmaktadır.

Bütün bu nedenlerle yanma sonucunda aşağıda verilmiş olan başlıca kirleticiler ortaya çıkmaktadır :

- 1 - Karbonmonoksit (CO)
- 2 - Azotoksitler (NO_x)
- 3 - Yanmamış hidrokarbonlar (yanmamış yakıt molekülleri) (HC)
- 4 - İs (yanmamış karbon taneciği) ve partiküller (metaller, sıvı yağ ve yakıt tanecikleri)
- 5 - Kükürtdioksitler (SO₂)
- 6 - Kurşun bileşenleri
- 7 - Aldehitler (R.CHO)

1.3.1. Karbonmonoksit (CO)

Kokusuz ve renksiz bir gaz olan CO çok zehirlidir. Bu gazın kandaki oksijeni taşıma görevine sahip olan hemoglobine bağlanma yeteneği oksijene oranla 200 kere daha fazladır. Bu nedenle CO ortamında bulunan bir kişinin solunum yoluyla aldığı CO, kandaki normal hemoglobini bozar, vücut hücrelerinin oksijen alma olanağını engelleyerek zehirlenmeye ve boğulmaya neden olur. Yani CO solunması, akciğerlerden vücut dökularına oksijen taşınmasını bozar. Belli bir düzeyde kalp yetmezliği olan kişilerde tehlike daha da büyümektedir. Kalp hastalığı olanlar için kritik sınır kandaki karboksihemoglobin oranınının %4' e ulaşmaktadır.

Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin (O_2) yetersiz olmasıdır. 1 kg benzin veya dizel yakıtın tam yanması için yaklaşık 14.6 kg hava gereklidir. Eğer HFK 1' den küçük ise yani yakıt-hava karışımı içinde gerekenden daha az hava var ise yanma yetersiz oksijen ortamı içinde olacak ve yakıtın karbonunun tümü CO_2 ' ye dönüşmeyerek CO kalacaktır. Motorda silindir içinin tümü ele alındığından oksijen genel olarak yetersiz olabileceği gibi, karışımın tam homojen (silindir içinde her yerde aynı yakıt/hava oranı) olmaması durumunda silindir içinde belirli bir konumda yerel olarak da yetersiz olabilir. Buradan da anlaşılacağı gibi CO oluşumu büyük ölçüde hava fazlalık katsayısına (HFK) bağlıdır.

1.3.2. Azotoksitler (NO_x)

Azotoksitlerde de (NO , NO_2 , N_2O_2 vb. bileşiklerin tümü birden NO_x olarak tanımlanmaktadır) CO gibi kandaki hemoglobin ile birleşmektedir. Ancak azot oksitlerin en önemli zehirleyici etkisi ciğerlerde nemle birleşerek nitrik asit oluşturmasıdır. Oluşan asit miktarının konsantrasyonunun azlığı nedeniyle etkisi de az olmaktadır. Ancak zamanla birikim özelliği bulunduğu için özellikle solunum hastalığı bulunan kişiler için tehlike yaratmaktadır.

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

Azotoksitler içinde NO renksiz, kokusuz bir gazdır. NO_2 ise kırmızı-kahverengi renkli, kötü kokulu, tahriş edici bir gazdır. Yanma ürünleri arasında genellikle NO bulunmasına rağmen, atmosfere atıldıktan sonra bir kısmı NO_2 ' ye dönüşmektedir. NO gazının ayrıca felç yapıcı özellikleri bulunmaktadır.

Normal şartlar altında havanın içindeki azot (N_2) yanma sonucu reaksiyona girmez. Ancak motor içindeki yanmada ulaşılan yüksek sıcaklıklarda ($1600\text{ }^\circ\text{C}$ ' nin üstünde) havanın içerisindeki azotun oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler

meydana gelmektedir. Azotoksitler içerisinde ana eleman olarak genellikle NO bulunmaktadır. Egzoz gazlarının daha sonra atmosfere atılması sonucu oksijen ile temasında NO' nun bir kısmı NO₂ ve öteki NO_x' lere dönüşmektedir. Sonuç olarak, azot oksit oluşumunu silindir içi sıcaklığı büyük ölçüde etkilediği, sıcaklık arttıkça azotoksitin hızla arttığı anlaşılmaktadır.

Azot oksit oluşumunu etkileyen bir diğer parametre de HFK' dır. Yine HFK=1.1 civarında (yani azot ile birleşecek oksijenin bulunması durumu) azotoksit oluşumu fazla olmaktadır. Ancak HFK 1.1' den büyük olursa, yani daha fakir karışım halinde, silindir içi sıcaklık, reaksiyona giren gaz miktarının azalması ile düşecek ve NO_x emisyonunda hızlı bir azalma gözlenecektir.

1.3.3. Hidrokarbonlar (HC)

Egzoz gazları içerisindeki hidrokarbon bulunması yakıtın tam olarak yakılamadığını gösterir. Hidrokarbon oluşumunun ana nedeni sıcaklıkların veya oksijenin yetersiz olması sonucunda (HFK 1' den küçük - zengin karışım) yanmanın tamamlanmasıdır. Bu durum;

- 1 -Silindir içinde bazı bölgelerde yakıt-hava karışım oranının çok zengin veya çok fakir olması sonucu oksidasyon reaksiyonlarının yavaşlaması ve yanmanın tamamlanamaması
- 2 - Silindir içerisindeki soğuk cidarlara (silindir, silindir kafası ve piston yüzeyi) ısı kayıpları nedeniyle bu bölgeye ulaşan alevin anında sönmesi
- 3 - Piston-silindir arası gibi dar bölgelerde alevin ilerleyemeyerek sönmesi nedeniyle oluşmaktadır.

1.3.4. Partiküller (İs)

İçten yanmalı motorlar tarafından üretilen katı taneciklerin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. İs yanmamış karbon partikülleridir ve özellikle dizel motorlarında oluşmaktadır. İs, zararlı bileşenleri bünyesinde taşıyarak ve solunum sisteminde

birikerek insan sağlığına zararlı olmaktadır. Dizel motorları egzozdan atılan partiküller karbon-hidrojen zincirinden oluşmakta olup bünyelerinde yanmamış hidrokarbonları, oksitlenmiş hirdokarbonları, polinükleer aromatikleri, ve kükürt-dioksit, azotoksit ve sülfirik asit gibi inorganik bileşenleri bulundurmaktadırlar.

Tablo 1.1. Dizel motoru egzoz gazlarındaki partiküllerin bileşimi.

Partikül Bileşeni	Dizel egzoz gazındaki partikül emisyonu içeriği (ağırlık %)
Katı parçacıklar	66-82
Sıvı yakıt ve organik bileşenleri	11-15
Motor yağı ve organik bileşenleri	9-11
Kükürt bileşenleri ve su	1-11

Dizel motorunda silindir içinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içindeki H₂ molekülleri, hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte (oksijenle birleşmekte) ve geriye kalan C yeterli O₂ bulunmadığından yanamayıp is partikülleri halinde dışarı atılmaktadır. İis oluşumunun başlıca nedeni dizel yakıtının silindir içinde yeterli hava bulamaması veya zamanında hızla hava ile karışamaması ve buharlaşmamasıdır.

Bu nedenle dizel motorları her zaman tam yanma için gerekenden daha fazla hava ile çalıştırılır. Hava miktarı genellikle 1 kg yakıt için 20 kg' ın altına düşürülmez (Şekil 1.1 dizel motoru).

Karbon taneciklerinden oluşan isin doğrudan insan sağlığına bir etkisi henüz tam anlaşılammıştır. Ancak is partikülleri, yanma odası içerisindeki kanserojen ve tahriş edici etkisi olan yakıt ve yağ moleküllerini de hapsederek insan sağlığını doğrudan tehdit eden bir hale dönüşürler.

1.3.5. Kükürtdioksit (SO₂)

Renksiz, sert kokulu bir gaz olan SO₂ solunum yolları, akciğer ve karaciğer hastalıklarına neden olmaktadır. Ayrıca su buharı ile birleşerek oluşturduğu sülfirik asidin insan sağlığı ve bitki örtüsü üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Yakıt içerisinde bulunan kükürt miktarına bağlı olarak, özellikle dizel motorlarında, yanma sonucu kükürtün hava ile birleşmesi ile SO₂ oluşmaktadır. Atmosferdeki su buharının

etkisi ile kükürt dioksit sülfirik aside (H_2SO_4) dönüşür ve insan sağlığını olumsuz yönde etkiler.

1.3.6. Kurşun ve kurşunlu bileşikler (Pb)

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

Benzin motorlarında, vurutuyu önlemek amacıyla yani yakıtın oktan sayısını artırmak için katkı maddesi olarak benzine eklenen kurşuntetraetil $Pb(C_2H_5)_4$, yanma sonucunda egzoz gazları içerisinde kurşun ve kurşun bromür gibi bileşenlerin oluşmasına neden olmaktadır.

Süper benzinin oktan sayısının daha yüksek olması gerektiği için yakıtta daha çok kurşun bileşimi katılmakta ve bu da süper benzinle çalışan motorlarda kurşun emisyonunun artmasına neden olmaktadır. Burada sözü edilen oktan sayısının artışı, benzinin ısı değerini arttırmamakta, fakat yakıtın yüksek sıcaklık ve basınçlar da kendi kendine tutuşma (vuruntu olayı) eğilimini azaltmaktadır. Yani süper benzin daha zor tutuşur. Oktan sayısının artmasıyla birlikte benzin motorlarının sıkıştırma oranı artırılabilir ve bu da motorun verimini iyileştirmekte, yakıt tüketimini düşürmektedir.

1.3.7. Aldehitler (R.CHO)

Aldehitler hidrokarbonların kısmi oksidasyonu sonucu oluşan ürünlerdir. Özellikle düşük sıcaklıklardaki reaksiyonlarla aldehitler oluşurlar. Aldehitler genellikle formaldehit (HC.HO) ve akrolein (C_2H_3CHO)' den oluşmaktadır. Dizel egzozundaki

kötü kokulu, gözleri ve solunum sistemini tahriş edici etkinin önemli kaynağı formaldehittir.

1.4. Kirleticiler İçin Ölçü Birimleri

Kirleticinin atmosfer, baca ve egzoz gazı içindeki miktarı kirleticinin cinsine göre:

- 1 - Yüzde (%), (örnek : %2 CO),
- 2 - Milyonda (ppm), (örnek 300 ppm HC)
- 3 - Birim hacimdeki kütleli miktar (mg/m^3), (örnek : 150 mg CO)

şeklinde tanımlanır. Ppm (parts per million) milyondaki kısım anlamına gelmektedir ve hacimsel halde 1 m^3 havadaki cm^3 olarak bileşen miktarını göstermektedir. Bir kirleticinin miktarı % veya ppm ile ifade edilebilir. İki ayrı birim kullanılmasının nedeni şudur: Ölçüm yapılan yerlerde (örneğin atmosfer havası veya boşta çalışan benzin motorunun egzoz gazı içinde) kirletici konsantrasyonu arasında büyük farklar olabilir. Her koşul ve bileşen için aynı birim kullanılırsa, konsantrasyonlar kullanışsız olan (çok büyük veya çok küçük) sayılarla belirtmek zorunda kalınır. Rölantide (boşta) çalışan bir benzin motoru için CO miktarı % 2 olsun. Bunu ppm olarak ifade edersek 20000 ppm olacaktır. Aynı şekilde atmosfer havasındaki CO' in konsantrasyona 25 ppm ise ve bunu yüzde olarak ifade etmek istersek ölçümü % 0.0025 gibi kullanışsız bir sayı ile belirtilmiş olacaktır. Bu nedenle konsantrasyon göreceli olarak yüksekse %, düşükse ppm kullanılır. Partiküller (katı ve sıvılar) ise genelde ağırlıksal olarak mg/m^3 olarak ifade edilirler.

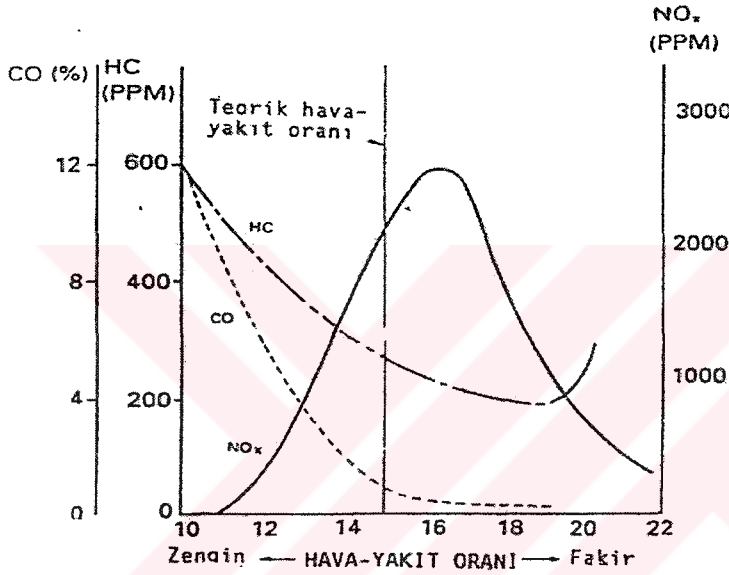
1.5. Sürüş Şartları ve Egzoz Gazları

1.5.1. Hava - yakıt oranı ve egzoz gazlarının üretilmesi arasındaki ilişki

Şekil 1.2, hava-yakıt oranı ile egzoz gazlarının üretimi arasındaki ilişkiyi özetlemektedir; bu grafikte motor devri ve yükün sabit kaldığı kabul edilmiştir. Bu grafikten görülebileceği gibi hava-yakıt karışımı teorik hava-yakıt oranına göre çok

az fakirleştirildiği zaman NO_x konsantrasyonu yükselirken CO ve HC konsantrasyonları azalmaktadır (Toyota Step 2-Bölüm 4 1992).

Hava-yakıt karışımı teorik hava-yakıt oranından daha zengin ise, CO ve HC konsantrasyonlarının her ikisi birden yükselirken NO_x konsantrasyonu azalmaktadır. Bu hava-yakıt oranının duruma bağlı olarak bu tip egzoz gazlarını yayan benzinli motorlarda, hava kirliliğine neden olan bu üç gazın da hepsinin aynı zamanda azaltılmasının çok zor olduğu açıkça görülmektedir.

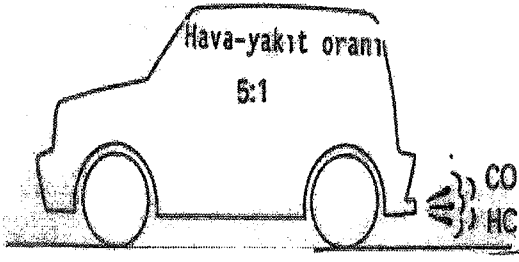


Şekil 1.2. Egzoz gazlarının değişik komponentlerinin konsantrasyonları hava-yakıt oranı ile ilişkisi.

Değişik sürüş şartları altında, Şekil 1.2'de görüldüğü gibi egzoz gazlarının değişik komponentlerinin konsantrasyonları hava-yakıt oranı ile ilişkilidir. Şekilde aşağıda açıklanan çeşitli sürüş koşulları ve havayı kirleten egzoz gazları esas alınmıştır.

1.5.2. Motorun ısınması

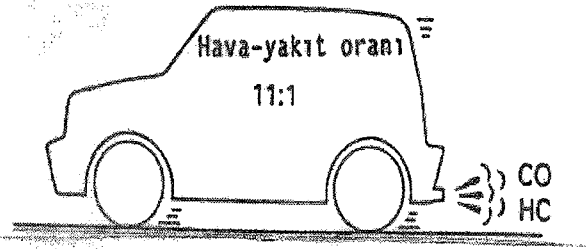
Soğuk bir motorun ilk çalıştırılmasından, soğutma suyunun normal çalışma sıcaklığına (70 - 80 °C veya 158 °F - 176 °F) ulaşmasına kadar geçen süre "motorun ısınma" süresidir. Motor (emme manifoldu) yeteri kadar ısınmamış olduğundan, benzin gerektiği gibi buharlaşamaz dolayısıyla hava-yakıt karışımı çok zengindir. (5:1). Motorun ısınması esnasında büyük miktarda CO ve HC üretimi olur.



Şekil 1.3. Motorun ısınması.

1.5.3. Rölanti

Motor rölantide çalışırken, yanma odası içinde sıcaklık düşer dolayısıyla benzin gerektiği gibi buharlaşamaz. Eğer bunun önüne geçmek için karbüratör karışımı daha zengin hale getirmek amacıyla daha fazla yakıt gönderecek şekilde tasarlanmamış ise, bu durumda yanma düzensizleşir. Normal olarak, bu gibi durumlarda, sağlanan bu ekstra yakıt hava-yakıt oranının daha zengin olmasına neden olur. (11:1). Böylece yanma sıcaklığındaki düşmeye bağlı olarak NO_x konsantrasyonu hemen hemen 0 olacak kadar düşerken, CO ve HC konsantrasyonları tamamlanamayan yanma dolayısıyla artarlar.



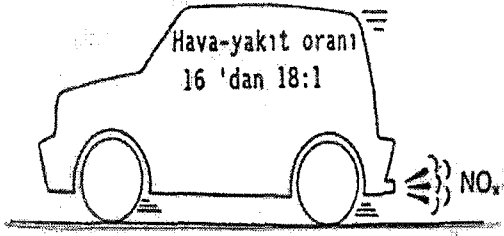
Şekil 1.4. Rölanti.

1.5.4. Sabit hızda çalışma

Düşük hız hava-yakıt oranları yüksek hava-yakıt oranlarından farklı olduğu için, egzoz gazında bulunan havayı kirleten kimyasal maddelerin konsantrasyonları da aracın hızına bağlı olarak farklılıklar gösterir.

1.5.5. Düşük ve orta hızlar (100 km/h veya 62 mil/h hızın altında)

Düşük ve orta hızlarda, hava-yakıt karışımı benzin için verilen teorik hava - yakıt oranına nazaran çok az daha fakirdir. Her motor farklıdır ancak mevcut olan en çok kullanılan motor tiplerinde, bu değer 16 -18:1 arasındadır. Bu orandaki karışımın fakirliğine bağlı olarak, yanma odası içinde sıcaklık yükselerek daha fazla NO_x üretilmesine neden olunur.

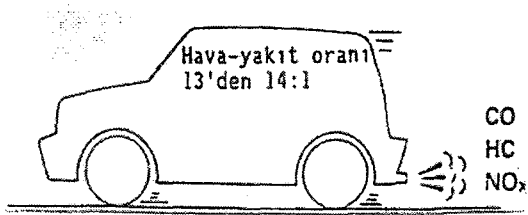


Şekil 1.5. Düşük ve orta hızlar.

1.5.6. Yüksek hızlar (100km/h veya 62 mil/h hızın üstünde)

Araç 100 km/h veya 62 mil/h hızın üstündeki hızlara ulaştığı zaman, motor yüksek bir güç vererek çalışmaktadır ve hava - yakıt oranı bu yüzden daha zengindir. (12-14:1)

Bir önceki (sayfada) gösterildiği gibi CO ve HC konsantrasyonları yükselir ancak oksijenin yeterli olmaması nedeniyle ve düşük yanma sıcaklığına bağlı olarak NO_x konsantrasyonu düşer.



Şekil 1.6. Yüksek hızlar.

1.5.7. Hızlanma

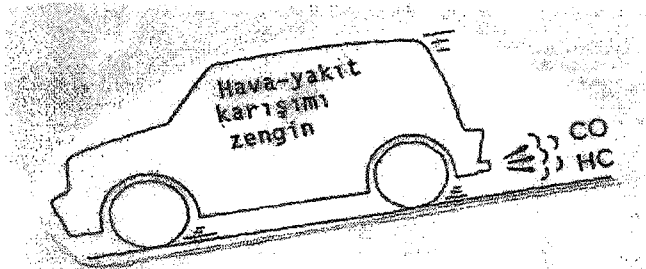
Gaz pedalına basıldığı zaman gaz kelebeği açılır ve emme manifoldu içerisine emilen havanın miktarı artar. Doğal olarak yakıtın da miktarı artar dolayısıyla hava-yakıt karışımı zenginleşir. (8:1), ve CO ve HC konsantrasyonları artar. Bundan başka, motor devri arttıkça, yanmanın da hızı artar ve yanma odası içinde sıcaklık dolayısıyla NO_x konsantrasyonu da yükselir.



Şekil 1.7. Hızlanma.

1.5.8. Motor freni (hız kesme)

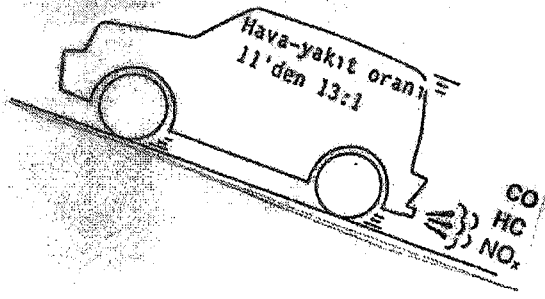
Motor freni esnasında, gaz kelebeği tamamiyle kapalı durumdadır ancak motor devri yüksektir ve yanma odası ile emme manifoldu içindeki vakum bu yüzden kuvvetlidir. Bu vakum alev yayılmasının hızını azaltarak alevin yanma odası içine tamamen yayılmadan sönmeye neden olur. Böylece yanmamış HC gazı açığa çıkar ve yanmamış bu HC gazı egzozdan atmosfere atılır. Ek olarak, güçlü vakum çok kısa bir zamanda yakıtın manifold iç cidarına iyice yapışmasına neden olarak hava - yakıt karışımını zenginleştirir. Bu CO ve HC konsantrasyonlarını artırır ancak yanma odası sıcaklığı düştüğünden NO_x konsantrasyonu hemen hemen 0 olacak kadar düşer.



Şekil 1.8. Motor freni.

1.5.9. Ağır yük

Araç dik bir yokuşu tırmanırken, motora gelen yük ağırlaşır. Gaz kelebeği tamamıyla açılır ve hava-yakıt olabileceği en zengin değerine çıkar (11-13:1). Böylece CO ve HC konsantrasyonları yükselir ve NO_x konsantrasyonu düşer.



Şekil 1.9. Ağır yük.

BÖLÜM 2

MOTORLU TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN KİRLLETİCİ EMİSYONUNA GETİRİLEN SINIRLAMALAR

Hava kirliliğine karşı ilk yasal önlemler 19. yüzyılda alınmaya başlanmıştır. Bunun ilk örneği, 15 Ekim 1810' da Fransa' da çıkartılan bir yasadır. İngiltere' de de, 1821' de buhar makinalarının sağlığa zararlı etkilerini, 1857' de de hava kirlenmesini önlemek amacıyla bir yasa çıkartılmıştır.

Hava kirliliğinin insan ve çevre sağlığı üzerinde etkileri 20. yüzyılın başında incelenmeye başlamasına rağmen bu konu ile ilgili geniş kapsamlı bilimsel araştırmalar enerji tüketim yoğunluğu ve coğrafi konumu dolayısıyla ABD' nin Los Angeles şehrinde İkinci Dünya Savaşı sonlarında başlamıştır. 1943 senesinde Los Angeles şehrinde bitki yapraklarında kuruma ve yanık lekeleri, göz ve boğazda yanma hisleri, görüş mesafesinin azalması ve gerilme uygulanan lastik malzemelerde yırtılmalar gözlemlenmiştir. Benzer olumsuzluklar 1947' de de görülünce kirlenmeye karşı ilk önlem olarak çelik endüstrisi ve rafineri gibi kaynakların partikül emisyonlarının kontrolüne yönelmiştir. 1952 yılında ise kirletici kaynaklar tarafından atmosfere atılmamasına rağmen şehir atmosferinde ozon (O₃) konsantrasyonunun normalin üzerinde olduğu ve bununda HC ve NO_x' lerin güneş ışığı etkisiyle oluşturduğu belirlenmiştir. HC ve NO_x emisyonları bilindiği gibi yoğun olarak taşıt egzozlarından kaynaklanmaktadır.

Taşıt egzoz emisyonlarının azaltılmasına yönelik ilk çalışma 1960 senesinde Los Angeles şehrinde de bulunduğu Kaliforniya eyaletinde başlamıştır.

1961 yılında taşıt motorlarında, yağın bulunduğu karter ile silindir altında bulunan hacimde biriken yakıt ve yağ buharının atmosfere atılmayıp (karter havalandırması) tekrar emme kanalına gönderilmesiyle ilgili çalışmalar başlamış (pozitif karter havalandırması) ve 1963 yılında Kaliforniya eyaletinde trafiğe yeni çıkacak bütün taşıtlara uygulanması zorunlu hale getirilmiştir.

1966 yılında ikinci basamak önlem olarak motorlu taşıtların egzozlarından çıkan CO ve HC emisyonlarına sınır değerler belirlenmiş ve trafiğe yeni çıkacak taşıtlarda bu sınır değerlerin altında olmaları zorunlu tutulmuştur. Bu uygulama 1968 yılına kadar sürdürülmüştür.

Taşıt üreticileri bu sınır değeri sağlamak amacıyla hava fazlalık katsayısını 1-1.05 değerleri arasında ayarlayarak CO ve HC emisyonlarını düşürmüşlerdir. Ancak daha sonraları bu şehir atmosferinde yapılan ölçümler NO_x ve O₃ emisyonlarında anormal artış olduğunu göstermiştir. Bilindiği gibi HFK' nın 1-1.05 arasında olması motor içi sıcaklıkları yükseltmiş ve NO_x emisyonu artmıştır. Ayrıca NO_x ve HC' nun güneş ışığı etkisiyle (fotokimyasal) O₃ oluşturması da artış göstermiştir. Bu nedenle ABD' de 1970 ve 1971 senelerinde çıkarılan kanunla taşıt emisyonunda HC, CO ve NO_x üçlüsünün bir arada kontrolü öngörülmüştür.

2.1. Taşıtların Egzoz Emisyonu Kontrolünde Temel Hedefler, Test ve Ölçüm Yöntemleri

Araçların motor, motor yöntemi ve egzoz gazı donanımında yapısal olarak (konstrüksiyonunda) alınabilecek önlemler, zararlı atıkları azaltmakta etkili bir seçenektir. Bunun yanında bu yolla ulaşılan düşük emisyon düzeyinin aracın bütün kullanım süresi boyunca korunması da gereklidir. Bu nedenle motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirletici emisyonuna getirilen sınırlamaların sağlanıp sağlanmadığını anlamak için gereken egzoz gazı ölçümleri, yukarıda belirtilen iki farklı amaca göre belirlenmiştir. Bu amaçlar için kullanılan test yöntemleri ve kullanılan aletler birbirinden farklıdır. Bu test ve ölçüm yöntemleri iki ana başlık altında incelenebilir.

Test ve ölçüm yöntemleri :

- 1) Yeni taşıtların tip testi
- 2) Trafikteki taşıtların egzoz gazı emisyonlarının periyodik kontrolü

2.1.1. Yeni taşıtların tip testi

Piyasaya yeni çıkacak taşıtlara uygulanır. Test edilecek taşıttan bir örnek seçilerek bu taşıttın trafikte oluşturacağı egzoz emisyonları ölçülür. Bu amaçla özel deney düzenekleri ve standartlar ile belirlenmiş hassas emisyon ölçüm aletleri kullanılır (bakım servislerindeki birden çok gaz emisyonunu ölçen aletler bu tip deneyler için yetersizdir).

Boş ağırlığı 3500 kg' ın altında olan taşıtlarda genellikle taşıttın kendisi bir deney düzeneğine bağlanarak trafik koşullarını modelleyen bir seyir çevrimi boyunca açığa çıkan toplam egzoz emisyonu ölçülür. Boş ağırlığı 3500 kg' ın üzerinde olan taşıtlarda ise, taşıt üzerindeki motor bir deney düzeneğine (motor freni) bağlanarak çeşitli yük (gaz kolu konumu) ve devir sayılarında egzoz emisyonları ölçülmektedir.

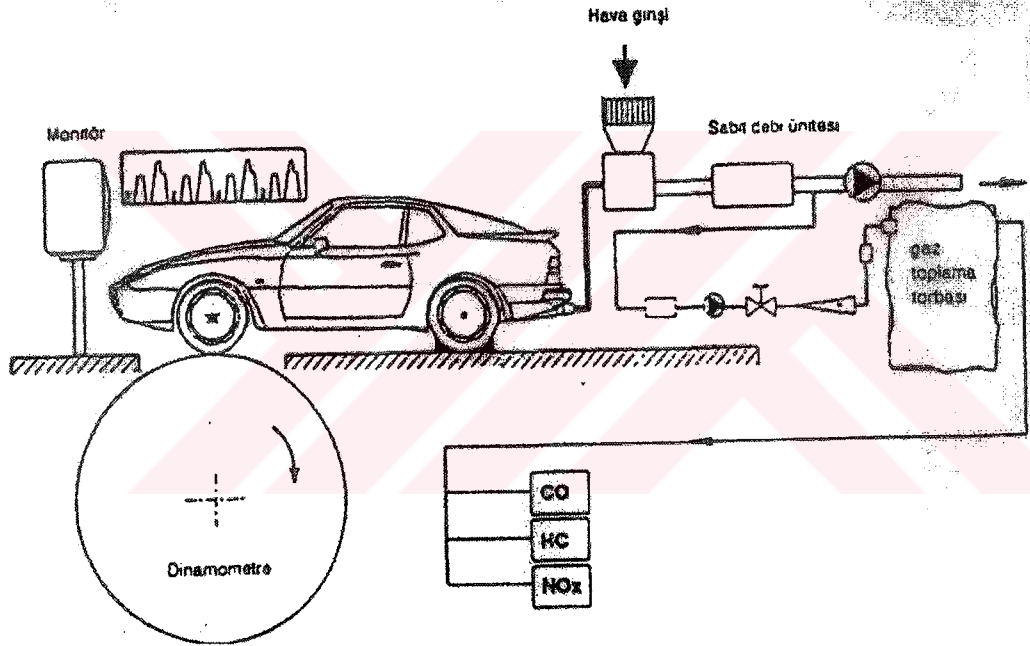
Bu deneyler sonucunda taşıttın egzoz emisyon miktarının önceden belirlenmiş sınır değerleri aşp aşmadığı kontrol edilerek, üretimine veya ithal edilmesine izin verilir.

2.1.1.1. Taşıt egzoz emisyonunun bir seyir çevrimi boyunca ölçülmesi ve getirilen sınırlamalar

Taşıttın motorundan, cadde seyir şartlarında çıkan kirleticilerin miktarlarını ölçmek için (1966 yılından bu yana ABD' de başlayarak) laboratuvar koşullarında bir şasi dinamometresi veya tambur olarak da adlandırılan ve taşıttın yol şartlarında hareketini modelleyen deney düzeneklerinde önceden belirlenmiş bir çevrim uygulanmaktadır. Bu amaçla egzoz emisyonu ölçülecek olan taşıttın motordan hareket alan tekerlekleri tambur üzerine gelecek şekilde bağlanır. Sözü geçen tambur sistemi, taşıttın ağırlığına

göre hızlanma direncine ek olarak yol sürtünmesini ve rüzgar dirençlerini gerçek yoldaki koşullara uygun olacak şekilde hesaplayarak taşıta uygular.

Bu dirençlerin ayarlanabilmesi için tambur üzerindeki elektriksel motor-jeneratör sisteminin çekeceği veya vereceği güç, elektronik olarak ayarlanmaktadır. Deney için taşıt çalıştırılır ve daha önceden belirlenmiş seyir çevrimine uygun olarak kullanılır. Taşıtın egzoz borusu ise egzoz gazı örnek alma sistemine sızdırmaz bir şekilde bağlanır. Egzozdan çıkan bütün gazları toplamak çok büyük hacim gerektirdiğinden bunun yerine egzoz gazları sabit debili bir pompa ile emilen hava ile seyreltilir ve seyreltilen egzoz gazının bir kısmı deney boyunca bir torbada toplanır. (Şekil 2.1).



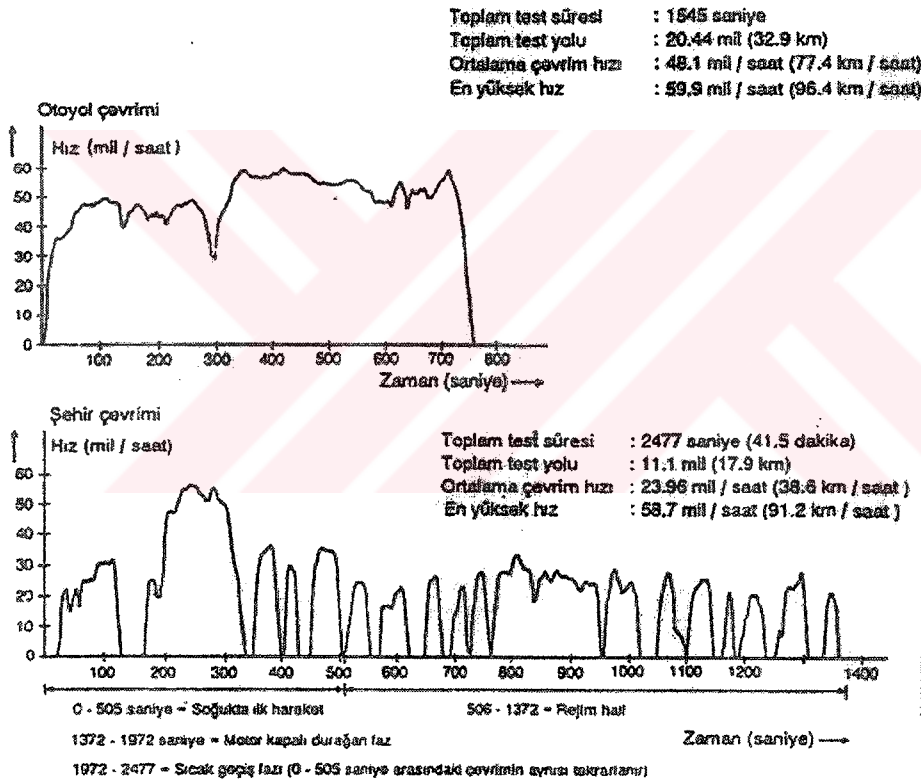
Şekil 2.1. Taşıtın yol şartlarındaki hareketini modelleyen tambur ve egzoz emisyonu ölçüm düzeneği.

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

Taşıtların egzoz emisyonlarını ölçmek için kullanılmak üzere çeşitli çevrimler hazırlanmıştır.

1) ABD' deki uygulama (taşıtların boş ağırlığı 3500 kg' ın altında olan taşıtlar için)

ABD' de 1975 yılından sonra FTP 75 (Federal Test Procedure) olarak adlandırılan standart bir şehir içi çevrimi uygulanmaya başlanmış (Şekil 2.2) ve günümüzde de halen uygulanmaktadır. Aynı çevrim Avustralya, Brezilya, Meksika, Suudi Arabistan, Güney Kore, Tayvan, Avusturya, İsviçre, İsveç, Danimarka, Finlandiya ve Norveç gibi ülkelerde de egzoz gazlarındaki kirleticilerin ölçümü için kullanılmaktadır.



Şekil 2.2. FTP 75 (Federal Test Procedure) test çevrimi.

Yukarıda sözü geçen FTP 75 çevrimi ile denenen bir taşıtların egzoz gazlarından çıkan kirletici emisyonlara getirilen sınırlar belirli zaman aralıkları ile gittikçe düşürülmüş ve taşıtlar üreticilerinin bu sınır değerlere göre motorlu taşıtlar üretmeleri zorunlu hale getirilmiştir. ABD' nin 49 eyaletinde (EPA) taşıtların egzoz emisyonlarına getirilen sınırlamaların zaman içindeki gelişimi Tablo 2.1' de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. ABD’ de 49 eyalette (EPA) uygulanan egzoz emisyonu sınır değerlerinin 1975-1981 yılları ve ötesi olmak üzere değişimi (FTP 75 çevrimi)

Uygulamaya başlangıç yılı	CO (g/mil)	HC (g/mil)	NO _x (g/mil)	Partikül (g/mil)
1975	15	1.5	3.1	-
1977	15	1.5	2	-
1980	7.0	0.41	2	0.373
1981-	3.4	0.41	1	0.2

Geleceğe yönelik olarak sınırların ne olabileceğine ait en iyi örnek ABD’ nin Kaliforniya eyaletinde getirilen sınırlamalardır. Kaliforniya eyaletinde 1981 yılından başlayarak uygulanan ve geleceğe yönelik olarak getirilen sınır değerler Tablo 2.2’ de verilmiştir.

Tablo 2.2. ABD’ nin Kaliforniya eyaletinde binek taşıtlar için uygulanan ve geleceğe yönelik olarak planlanan egzoz emisyonu sınır değerleri (FTP 75 çevrimi).

Uygulamaya Başlangıç yılı	CO (g/mil)	HC (g/mil)	NO _x (g/mil)	Partikül ⁽³⁾ (g/mil)	HCHO ⁽⁴⁾ (g/mil)	Uygulama tanımı
1981	7.0	0.41	0.4	0.08	-	-
1993	3.4	⁽¹⁾ 0.25	0.4	0.08	-	CAA1
1994	3.4	⁽²⁾ 0.125	0.4	0.08	0.015	TLEV
1997	3.4	⁽²⁾ 0.075	0.2	0.08	0.015	LEV
1997	1.7	⁽²⁾ 0.04	0.2	0.04	0.008	ULEV
1998	-	-	-	-	-	ZEV

⁽¹⁾ Sadece metan içermeyen HC miktarı ölçülür. Metan reaktif HC olmadığı için atmosferde ozon oluşmasını etkilemez ve bu yüzden gözardı edilebilir.

⁽²⁾ Ozon oluşumu açısından reaktif olmayan bütün HC’ ler gözardı edilerek oksijenli ve oksijensiz olan toplam HC miktarı ölçülür.

⁽³⁾ Sadece dizel motorlu taşıtlarda ölçülür.

⁽⁴⁾ Daha önce tanımlanan aldehitlere (HCHO) getirilen sınır değerler.

Tablo 2.2' de uygulama tanımı altında gösterilen kısaltmaların anlamları aşağıdaki gibidir :

CAA 1 (Clean Air Act Stage 1) : Temiz hava sözleşmesi 1. Kademe uygulaması. Bunu izleyen kademeler aşağıdaki özel isimleri ile anılmaktadırlar.

TLEV (Transitional Low Emission Vehicle) : Geçiş dönemi düşük emisyonlu taşıt.

LEV (Low Emission Vehicle) : Düşük emisyonlu taşıt.

ULEV (Ultra Low Emission Vehicle) : Çok düşük emisyonlu taşıt.

ZEV (Zero Emission Vehicle) : Emisyonu olmayan taşıt.

Tablo 2.3' de ise, 2003 yılına kadar aşama aşama Tablo 2.2' de gösterilen sınır değerlere uygun olarak hangi miktarlarda üretim yapılacağı verilmiştir.

Tablo 2.3. Kaliforniya eyaletinde sınır değerlere uygun olarak trafiğe çıkacak yeni model taşıtların % olarak her yıla ait payları.

Uygulama yılı	1982	1993 (CAA 1)	1994 (TLEV)	1997 (LEV)	1997 (ULEV)	1998 (ZEV)
1990	100					
1991	100					
1992	100					
1993	60	40				
1994	10	80	10			
1995		85	15			
1996		80	20			
1997		73		25	2	
1998		48		48	2	2
1999		23		73	2	2
2000				96	2	2
2001				90	5	5
2002				85	10	5
2003				75	15	10

2) Avrupa Topluluğundaki Uygulama (taşıt boş ağırlığı 3500 kg' ın altında olan taşıtlar için)

Avrupa ülkelerinde (o zamanki adıyla Avrupa Ekonomik Topluluğu AET bugünkü adıyla Avrupa Topluluğu AT ülkeleri) taşıt egzozlarından çıkan kirleticilere karşı ilk sınırlamalar 1972 yılında başlamıştır. Burada:

ECE : Economic Commission for Europe (Avrupa için ekonomik komisyon)

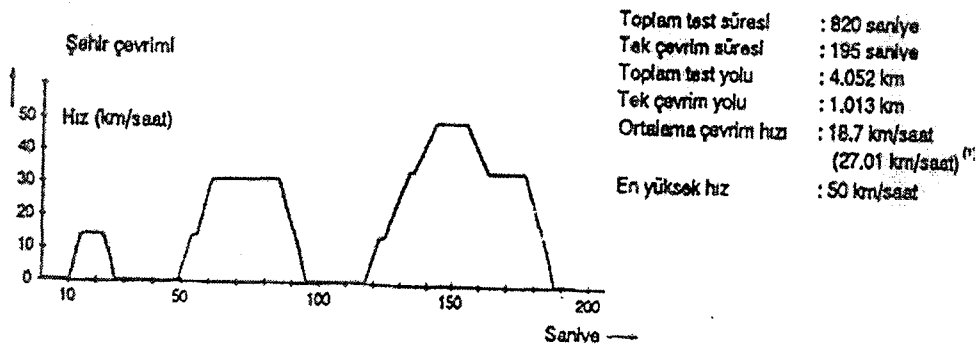
R : Regulation (tüzük, yönetmelik) ancak tavsiye niteliğindedir.

EEC : European Economic Community (Avrupa Ekonomik Topluluğu).

70/220 :Yayın tarihi / Yayın sayısı

anlamına gelmektedir.

EEC' nin yayınlarına direktif denir, tavsiye değil, uygulama zorunluluğu vardır. Ancak uygulama başlangıcı yayın tarihinde olmayıp daha sonra olabilmektedir. Uygulanan ölçüm yöntemi prensip olarak ABD' de uygulanan ile aynıdır. Ancak taşıtın yoldaki hareketini modelleyen çevrim yani hızlar, ivmeler ve alınan yol tamamen farklı olup şehir içindeki bir trafik akışı modellenmeye çalışılmıştır (Şekil 2.3). Burada sözü geçen ölçüm yönteminin boş ağırlığı 3500 kg' dan daha az olan taşıtlara uygulanmaktadır. Deney bu çevrimini dört kere arka arkaya tekrarlaması ile gerçekleştirilir.



Şekil 2.3. ECE 15.00 şehir içi çevrimi.

(1) Rölantide geçen süreler hariç.

Aşağıda Avrupa Topluluğu yönetmeliklerinin tarihsel gelişimi verilmiştir:

ECE-R.15.00 ile 1972 yılında binek taşıtların egzozundaki HC ve CO emisyonlarına sınırlama getirilmiştir.

ECE-R.15.01 ile 1975 yılında bu sınır değerler daha da aşağıya çekilmiştir.

ECE-R.15.02 ile 1977 yılından itibaren NO_x emisyonları da sınırlandırılmaya başlanmıştır.

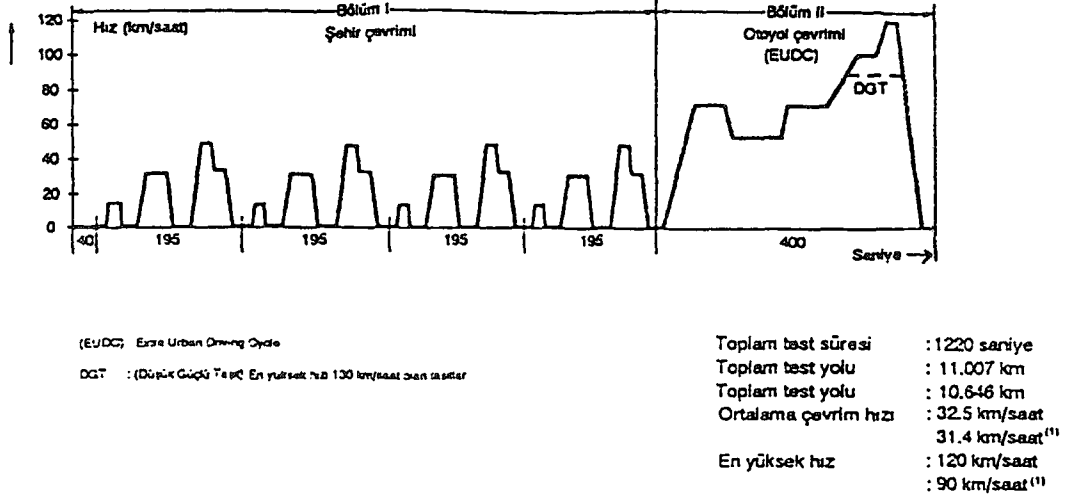
ECE-R.15.03 ile 1979 yılında HC, CO ve NO_x için verilen sınır değerler daha da aşağıya çekilmiştir.

ECE-R.15.04 ile 1984 yılından başlayarak HC ile NO_x emisyonlarının ayrı ayrı sınırlandırılması yerine toplama ait sınır değerler belirlenmiştir. Bu yönetmelikteki diğer bir önemli gelişme de 3500 kg boş ağırlığın altında kalan benzin motorlu araçların yanısıra dizel motorlu araçlar için de egzoz gazındaki partiküllerin haricinde CO, HC ve NO_x emisyonlarının da sınırlandırılmasıdır.

ECE-R.15.05 ile 1989 yılında taşıtların motor hacimlerine göre değişik sınır değerleri uygulanmaya başlanmıştır (2 lt ve üstü ile 1.4 lt arası, 1.4 lt' den küçük şeklinde üç farklı sınır değer tablosu oluşturulmuştur). Bu uygulamanın getirdiği en büyük değişiklik büyük hacimli motorlar için uygulanan sınır değerleri sağlamak için taşıtların egzoz sistemine katalizatör takılması kaçınılmaz hale gelmesidir. Ayrıca dizel motorlu taşıtların egzoz gazlarındaki partikül emisyonu da aynı yönetmelik ile sınırlanmıştır (daha önce açıklandığı gibi sınır değerler boş ağırlığı 3500 kg' ın altında olan taşıtlar için geçerlidir).

EURO 93 yönetmeliği ile 1991 yılından başlayarak şehir içi test çevrimine en fazla 120 km/saat hıza kadar çıkılan bir otoyol çevrime eklenmiş (Şekil 2.3) ve emisyon sınırları gr/test yerine g/km cinsinden verilmiştir (Şekil 2.4). Yeni sınır değerleri sağlamak için bütün benzinli motorlu taşıtlarda egzoz sisteminde üç yollu katalizatör

kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Ayrıca benzin deposundan ve yakıt sisteminden kaynaklanan HC emisyonları için de sınır değerleri getirilmiştir.



Şekil 2.4. EURO 93 test çevrimi (şehir içi çevrimi X 4+ otoyol çevrimi).

Avrupa Topluluğu ülkelerinde bulunan ve tarihsel gelişimi verilen yönetmeliklerin taşıt egzoz emisyonlarına getirdiği sınır değerler Tablo 2.4 ile verilmiştir.

İlerleyen yıllar ile sadece sınır değerler değil aynı zamanda ölçüm için kullanılan çevrimde ve taşıtların sınıflandırılmasında da değişiklikler olmuştur (ABD' deki uygulamadan farklı olarak AT' da 3500 kg' ın altında kalan taşıtlar zaman zaman ağırlık, motor hacmi ve cinsi yönünden de ayrı ayrı sınıflandırılarak sınır değerler belirlenmiştir).

(1) DGT için geçerli değerler.

Tablo 2.4. Avrupa Topluluğu ülkelerinde binek taşıtlar için uygulanan egzoz emisyonu sınır değerleri gelişimi.

Uygulama Başlangıç Yılı	Uygulanan Yönetmelik	CO	HC	NOx	HC+NOx	Partikül	Yakıt Buharı ⁽⁶⁾
1972 ^{(1),(4)}	ECE-R.15.00 (EEC 70/220)	100-220	8.012.8				
1975 ^{(1),(4)}	ECE-R.15.01 (EEC 74/290)	80-176	6.8-10.9				
1977 ^{(1),(4)}	ECE -R.15.02 (EEC 77/102)	80-176	6.8-10.9	10.0-16			
1979 ^{(1),(4)}	ECE-R.15.03 (EEC 78/665)	65-143	6.0-9.6	8.5-13.6			
1984 ^{(1),(4)}	ECE-R.15.05 (EEC 83/351)	58-110			19-28		
1989 ^{(2),(4)}	ECE-R.15.05 (EEC 88/76)						
	Benzinli	25-45			6.5-15		
	Ön yanma odalı dizel	30			8	1.1	
	Direkt püskürtmeli Dizel	58-110			19-28	1.1	
1993 ^{(3),(5)}	EURO 93 (EEC 91/441)						
	Benzinli	2.72			0.97		2
	Ön yanma odalı dizel (93)	2.72			1.36	0.14	
	Direkt püskürtmeli dizel (95)	2.72			1.36	0.14	
1996 ^{(3),(5)}	EURO 96	2.2			0.7-0.9	0.08-0.1	-

⁽¹⁾ Sınır değerler taşıtın ağırlığına göre değişmektedir.

⁽²⁾ Sınır değerler taşıt motor hacmine göre değişmektedir.

⁽³⁾ 3.5 ton ağırlığına kadar bütün tip taşıtlar için aynı sınır değerler geçerlidir.

⁽⁴⁾ Ölçüm için Avrupa şehir içi çevrim kullanılıp emisyon sınır değerleri test boyunca toplam miktar olarak verilmiştir (g/test).

⁽⁵⁾ Avrupa şehir içi çevrimine bir otoyol çevrimi eklenmiş olup, sınır değerler g/km cinsinden verilmiştir.

⁽⁶⁾ 1993 yılından başlayarak sıcak motorlu benzinli bir taşıtın yakıt deposundan buharlaşan benzin miktarı da sınırlanmıştır. Sınır değer belli bir süre içinde buharlaşan miktar olarak gr/test cinsinden verilmiştir.

2.1.2. Trafikteki taşıtların egzoz emisyonlarının periyodik kontrolü

Trafikte bulunan taşıtların egzoz gazı emisyonlarının ölçümü, önceki bölümde anlatılan taşıtların tip testindeki ağırlığa göre sınıflandırmadan farklı olarak, taşıt motorunun cinsine göre iki sınıfa ayrılmaktadır.

1 - Benzin motorlu taşıtların egzoz emisyonu kontrolü.

2 - Dizel motorlu taşıtların egzoz emisyonu kontrolü

Benzinli motorlarda uygulanan ölçüm yönteminde taşıt motoru çalıştırılır ve normal çalışma sıcaklığına ulaşması sağlanır. Taşıtın vitesi boştayken gaz pedalına basmadan motorun rölanti çalışmasındaki egzoz gazındaki aşağıda sıralanan bileşenlerin miktarları ölçülür.

- Karbonmonoksit (CO)
- Hidrokarbon (HC)
- Karbondioksit (CO₂)
- Oksijen (O₂)

Ölçülen değerler egzoz gazındaki konsantrasyonlarına göre % veya ppm olarak toplam egzoz gazlarındaki hacimsel oranlardır.

Rölanti egzoz gazı ölçümü ile beraber motorun devir sayısı da ölçülürse, motorun yakıt ve ateşleme sisteminin durumu ile ilgili bilgi edinilebilir. Burada motorun sağlıklı çalışıp çalışmadığına anlamak için alınacak karşılaştırma değerleri taşıt üreticisi tarafından verilir.

Egzozdaki CO ve HC konsantrasyonunun taşıt için öngörülenden yüksek olması, yakıt sisteminin ayarsızlığından (fazla zengin karışım), ateşleme açısı ayarından, buji eskimesinden veya hava filtresinin kirlenmesinden kaynaklanabilir.

Egzozdaki HC konsantrasyonunun yalnız başına çok yüksek olması, yanma odasına motor yağının karıştığına (yağ tam olarak yakılamadığı için HC artar) veya silindirlerden birinde ateşleme yapılmadığına işarettir.

Egzozdaki O₂ konsantrasyonundaki artış ve CO₂ konsantrasyonundaki azalış ile egzoz sisteminde kaçaklar olduğuna, havanın egzoz borusuna bu kaçaklardan girdiğini ve egzoz gazlarının bir bölümünün bu kaçaklardan dışarı atıldığını gösterir.

Kısacası bu tür ölçümlerle trafikte dolaşan taşıtların ayar ve bakımları kontrol edilmiş olmaktadır. Ancak daha önce anlatılan tip testinde olduğu gibi, bir taşıtın trafik içinde ne kadar kirletici yaydığı hakkında herhangi bir şey söylemek bu ölçüm yöntemi ile olanaklı değildir.

2.2. Türkiye' de Taşıtlardan Kaynaklanan Kirleticilere Getirilen Sınırlamalar

Avrupa Topluluğu ülkelerinde 1984' ten başlayarak boş ağırlığı 3500 kg' dan benzin ve dizel motorlu taşıtlara uygulanan ECE-R.15.04 standardı ve sınır değerleri TSE tarafından uygulanarak TS 4236 ve TS 5648 standartları olarak yayınlanmıştır. Fakat ölçüm için gerekli laboratuvarlar bulunmadığından uygulamaya hemen geçilememiştir.

Sanayi ve Ticaret Bakanlığı' nın isteği üzerine İ.T.Ü. Makina Fakültesi Otomotiv Ana Bilim Dalındaki olanaklar değerlendirilerek 1993 yılının yaz aylarından itibaren ilk ölçümler başlamıştır. Halen ülkemizde bu tip taşıtlara egzoz emisyonu uygunluk raporu sadece bu birim tarafından verilmektedir. Tarafsız laboratuvarlarca onaylanmış bu tip bir rapora sahip olmayan araçlara Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından imalat ve ithalat izni verilmemektedir.

Çevre Bakanlığı ile Otomotiv Sanayicileri Derneğinin ortaklaşa yayınladıkları bir deklarasyon ile 1995 yılından başlayarak boş ağırlığı 3500 kg' ın altında olan taşıtların motor silindir hacimlerinin büyüklüğüne bağlı olarak kademe kademe EURO 93 normlarına uygunluk sağlanması kararlaştırılmıştır.

Buna göre 1995 yılından başlayarak motor hacmi 1800 cm³' ten büyük yeni taşıtlara üç yollu katalizatör takılması zorunlu hale getirilmiştir. 1996' da ise 1800 - 1600 cm³ motor hacmindeki taşıtların tümü EURO 93' ü sağlayacaktır. Motor hacmi 1600 - 1400 cm³ olan araçlar 1997 yılından başlamak üzere 1999 yılı başlangıcına kadar, motor hacmi 1400 cm³' den küçük araçlar ise en geç 2000 yılı başına kadar yeni standarta geçecektir. Halen İ.T.Ü. Makine Fakültesi Otomotiv Ana Bilim Dalı Laboratuvarında EURO 93 normlarına uygun tip testleri yapılmaya başlanmıştır.

Tablo 2.5. Türkiye'de ki motorlu taşıtların egzoz emisyonları için 1995 yılından başlayarak getirilen sınır değerler.

Egzoz gazı kirletici cinsi	0-10 yaş arası benzin motorlu taşıtlar	10-20 yaş arası benzin motorlu taşıtlar	20 yaşından yukarı benzin motorlu taşıtlar	Katalizatörlü benzin motorlu taşıtlar
CO (%) hacimsel oran	3.5	4.5	6.0	0.5

2.3. 1993 Yılından Başlayarak İ.T.Ü. Makina Fakültesi Otomotiv Ana Bilim Dalı Laboratuvarında Yapılan Egzoz Emisyonu Ölçümlerine Ait Örnekler

Burada egzoz emisyonu ölçümlerin örnek olarak verilen taşıtlar ve motorlar ile ilgili belirtilen taşıt ağırlıkları ve motor hacimleri yaklaşık değerlerdir.

2.3.1. ECE 15.04 veya eşdeğeri TS 4236 ve TS 5648 standartlarına göre yerli taşıtlara ait bazı örnekler

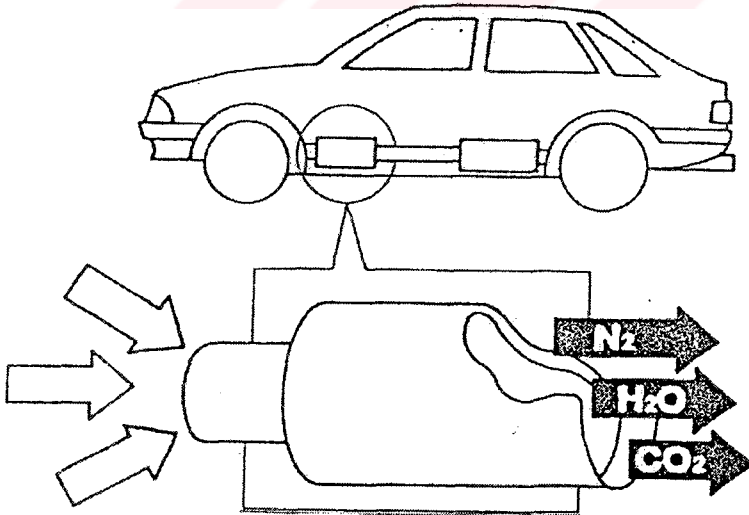
Deneyler Bölüm 2.1.1.1'de ve Şekil 2.3 ile verilen Avrupa şehir içi çevrimi kullanılarak yapılmaktadır. Ölçüm soğuk motorun çalıştırılmasından 40 saniye sonra başlatılmaktadır. Sözü geçen çevrimde en yüksek hız 50 km/h, ortalama hız 18 km/h,

BÖLÜM 4

KATALİTİK KONVERTÖRLER (KATALİZATÖRLER)

Motorlarda yanma sonucu oluşan HC ve CO emisyonları **katalitik oksidasyon konvertörü** veya NO_x , HC ve CO emisyonları, aynı anda, 3-yollu katalitik konvertör kullanılarak egzoz sisteminde % 90 - 95' e varan oranlarda zararsız hale dönüştürülmektedir. Günümüz ve gelecekteki emisyon standartlarının sağlanmasında benzin motorlu taşıtlarda katalitik konvertör kullanımı bir zorunluluk haline gelmiştir ve dizel motorlu taşıtlarda da (HC ve CO için) zorunluluk haline gelmektedir.

Egzoz gazları katalitik konvertörün içinden geçerken sağlığa zararlı olan NO_x ' ler indirgenerek O_2 ve N_2 ' ye dönüştürülür. Aynı anda NO_x ' lerin indirgenmesinde elde edilen O_2 yardımıyla, CO ve HC okside olarak (yakılarak) sağlığa doğrudan zararlı olmayan CO_2 (karbondioksit) ve H_2O (su) ya dönüştürülür.



Şekil 4.1. Katalitik konvertörün (katalizatörün) işlevi.

alınan toplam yol 4.07 km ve süre 13 dakikadır. Tablo 2.4' te ECE 15.04 için verilen sınır değerlere göre taşıt tip onayı verilmektedir (Tablo 2.6).

Tablo 2.6. Yerli imalat benzinli (karbüratörlü - püskürtmeli) motorlu taşıtların Avrupa şehir içi çevrimi boyunca yaydıkları egzoz emisyonu miktarları. (Parantez içindeki değerler ECE 15.04' e göre sınır değerlerdir).

Taşıt ağırlığı (kg)	Motor hacmi (cm ³)	Yakıt cinsi	Yakıt sistemi	HC (g/test)	NO _x (g/test)	HC+NO _x (g/test)	CO (g/test)
950	1300	Benzin	Karbüratör	6.61	2.72	9.33 (20.5)	63.45 (67)
850	1400	Benzin	Karbüratör	6.66	4.13	10.79 (19)	66.34 (58)
950	1600	Benzin	Karbüratör	6.90	4.46	11.36 (20.5)	57.64 (67)
1000	1600	Benzin	Püskürtme	4.77	4.71	9.48 (20.5)	26.41 (67)

2.3.2. Benzin motorlu taşıtlarda katalizatörün etkisini gösteren örnek deney sonuçları

Deney için birbirinin aynı iki ithal taşıt kullanılmıştır. Taşıtlardan birinde katalizatör bulunup diğerinde yoktur. Taşıtların motor hacmi 2000 cm³, boş ağırlığı ise 1250 kg olup, deney koşulları bir önceki bölüm ile aynıdır.

Tablo 2.7. Püskürtme sistemli benzin motoruna sahip ithal iki taşıtın katalizatörsüz ve katalizatörlü modeline ait egzoz ölçüm değerleri. Parantez içindeki değerler ECE 15.04' e göre sınır değerlerdir.

Katalizatör	HC (g/test)	NO _x (g/test)	HC + NO _x (g/test)	CO (g/test)
Yok	7.35	12.65	20.0 (22)	73.38 (76)
Var	3.44	1.32	4.76 (22)	9.1 (76)

Euro 93 standartlarına göre şehir içi + otoyol çevrimi uygulanarak egzoz emisyonu ölçümü yapılan biri benzin diğeri dizel motorlu taşıta ait örnek sonuçları (Tablo 2.8).

Burada biri benzin püskürtmeli ve katalizatörlü diğeri dizel motorlu iki taşıtın EURO 93 standartlarına göre egzoz emisyonu ölçüm sonuçları verilmiştir. Standart gereği sonuçlar gr/km cinsindedir. Ölçüm için kullanılan çevrim bölüm 2.1.1.1' de yer alan Şekil 2.4' te gösterilmiştir. Motor soğuk iken çalıştırıldıktan 40 saniye sonra ölçüm başlatılmaktadır. EURO 93 standardı için sınır değerler Tablo 2.4' de verilmiştir.

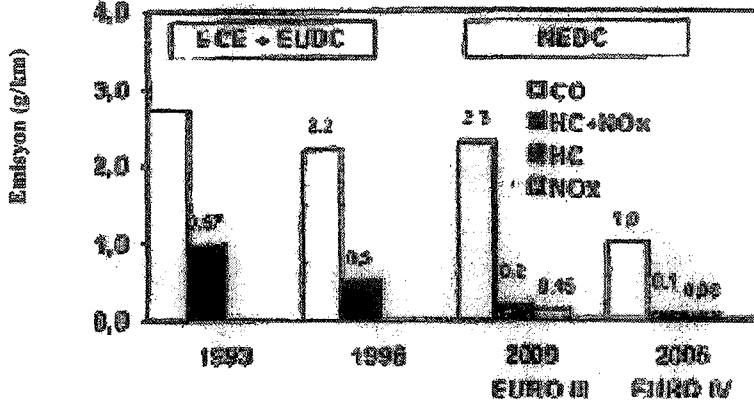
Tablo 2.8. Biri benzin püskürtmeli, katalizatörlü diğeri dizel motorlu iki taşıtın EURO 93 standartlarına göre egzoz emisyon ölçüm sonuçları. Parantez içinde EURO 93 standartlarındaki sınır değerler verilmiştir.

Taşıt ağırlığı (kg)	Motor hacmi (cm ³)	Yakıt Cinsi	Yakıt sistemi	Katalizatör	HC (g/kg)	NO _x (g/kg)	HC+NO _x (g/kg)	CO (g/kg)
1650	2500	Benzin	Püskürtme	var	0.18	0.13	0.31 (0.91)	1.5 (2.72)
2200	2500	Dizel	Ön yanma odalı	yok	0.08	1.11	1.19 (0.91)	1.07 (2.72)

2.4. Euro III ve Euro IV Emisyon Standartları

Euro II adlı emisyon standartlarının ortaya atılmasından sonra, emisyon yönetmeliklerinde Avrupa Birliği içinde ileri gelişimler meydana gelmiştir. Bu çalışma bazında Avrupa Komisyonu, yolcu arabaları ve yakıt kalitesi için gereklilikleri daha da sıkıya alma yönünde bir öneriyi benimsemiştir. Yolcu arabaları için Komisyon aşağıdakileri önermiştir. (Bielaczyc and Merkisz 1998).

- Safha III – Euro III Tip Onayı (TA) başvuru tarihi : 01.01.2000 - %40' a kadar beklenen kuyruk boru emisyon limitleri azalması.
- Safha IV – Euro IV Tip Onayı (TA) başvuru tarihi : 1.1.2005 – emisyon limitlerinin daha fazla azaltılması.



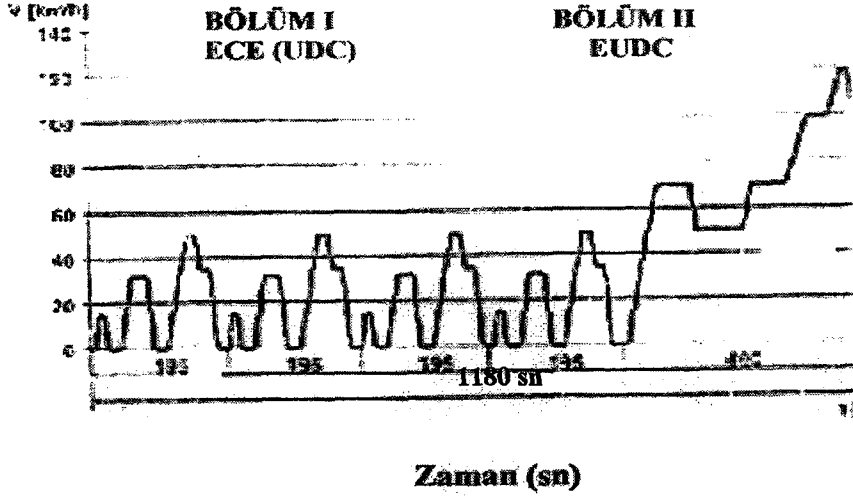
Şekil 2.5. Avrupa (Euro I, Euro II) yolcu arabası egzoz emisyon limit değerleri ve SI motorlar için yeni limit 2000/2005 (Euro III, Euro IV).

Haziran 1998' de Avrupa kuruluşları, 2000 yılı (Euro III) ve 2005 (Euro IV) (Şekil 2.5) için öngörülen gereklilikleri kabul etmeye karar vermiştir. Bu eylem, yeni gereklilikleri karşılamak için yeni teknolojileri geliştirmek yoğun çabalara yol açmıştır.

Avrupa emisyon standartlarında en önemli yenilik, takdimsel 40 saniye fazının (Şekil 2.6) hariç tutulmasıdır. Diğer değişiklikler şöyledir :

- Amerikan yönetmelikleri olarak HC ve NO_x için ayrı limitlerin takdimi bugün HC ve NO_x için bir limit Avrupa' da kabul edilmektedir
- 80.000 km çalışmadan veya 5 yıldan sonra emisyon limitlerine uygunluk. Euro 4 için 100.000 km' ye değiştirilebilir.
- 2000 Yılından başlayarak benzinli arabalar için araç üzerinde teşhisin başlatılması.
- Yeni yakıt kalitesi, petroldeki sülfür ve aromatik muhtevanın azaltılması standartları.
- Buharlaştırma emisyonları test sıralamasının değiştirilmesi.

Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi



Şekil 2.6. Euro III ve Euro IV için Yeni Avrupa sürüş çevrimi.

Yeni Avrupa çevrimine göre FTP 75 çevrimindeki gibi başlangıçta motordan yayılan tüm duman CO, HC ve NO_x muhtevasını tayin etmek için analiz edilecektir. Zengin karışım yüzünden 40 saniyelik boşa çalıştırma katalist çalışmasından önce daha yüksek HC ve CO emisyonları ölçülmesini beraberinde getirecektir. Önerilen Euro III / Euro IV Standartları, Kaliforniya LEV/ULEV standartları ile egzoz gazı temizleme sonrası şartları yönünden kıyaslanabilir. Sıkılaştırılmış Euro III ve Euro IV limitleri dahilinde emisyon test çevrimi de değiştirilir. Bu değişiklik, motor ve egzoz sisteminin ısındığı mevcut ECE+EUDC çevriminde 40 saniyelik boşa çalışmayı ortadan kaldırmak amacıyla yapılır. Hem NEDC (Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi) hem de FTP 75 test çevrimleri, sırasıyla 11 ve 12 saniyede hızlanma yük ile ilk çalıştırmadan itibaren kuyruk borusu emisyonlarını ölçer. Yeni Avrupa çevriminde, motor krankı ve gaz numunesi eş zamanlı olarak ve ilk araç hızlanmasından sadece 11 saniye önce meydana gelir. ECE' nin ilk 505 saniyesini ve FTP 75 testine kıyasla öngörülen NEDC' yi göstermektedir. Üç emisyon testi çevrimi arasındaki temel farklılıklar şunlardır :

- NEDC' de 11 saniyelik ısınmaya karşılık, ECE çevriminde 51 saniye ve FTP 75 çevriminde 21 saniyelik ısınma.
- NEDC' de (ve mevcut ECE' de) ilk araç hızlanması yalnızca 18 km/h kadarken buna karşılık FTP 75 testinde yaklaşık 40 km/h (Şekil 2.7).
- NEDC uzunluğu 11,007 km ve toplam süre 1180 saniye (mevcut ECE+EUDC' de 1220 saniye) (Tablo 2.9).

Tablo 2.9. Üç emisyon test çevrimi arasındaki ana farklar.

	NEDC	ECE+EUDC	FTP 75
Krank başlangıcı	0 sn	0 sn	0 sn
Örnekleme başlangıcı	0 sn	40 sn	0 sn
Sürüş başlangıcı	11 sn	51 sn	21 sn
İlk hızlanma	18 km/h	18 km/h	40 km/h
Çevrim uzunluğu	11.007 km	11.007 km	17.88 km
Toplam süre	1180 sn	1220 sn	1877 sn
Ortalama Hız	33.6 km/sn	33.6 km/sn	34.1 km/sn

BÖLÜM 3

FARKLI ORTAM SICAKLIĞI ŞARTLARINDA SOĞUK ÇALIŞTIRMA EMİSYONLARININ ARAŞTIRILMASI

Gece sıcaklığının donma noktasının altına düştüğü ülkelerdeki otomobil imalatçıları için çok önemli bir sorun, kıvılcımla ateşlemeli motorların çalıştırılması ve ısınması esnasında CO (karbonmonoksit) ve HC (hidrokarbon) emisyonlarındaki ciddi artış meydana gelmesidir.

ECE çevrimleri basit safhalara bölünmüşlerdir ve soğuk çalıştırma ve ısınma safhasında zararlı CO ve HC emisyonları ve yakıt sarfiyatı seviyesini tespit etmek için kullanılırlar. +22 °C ile -15 °C arasında değişen sıcaklıklarda iklimlendirilen araçlarda yapılan testler, sıcaklık düşerken CO ve HC oranlarında önemli artışlar meydana geldiğini göstermiştir. ECE sürüş çevrimindeki değişiklikleri takiben, 40 saniyelik çalıştırma sonrası safha ve Avrupa' da sıfırın altındaki testleri içine alan muhtemel yeni yönetmelik, emisyonların sebebini tespit etme çalışması ile çalıştırmada CO ve HC seviyelerinde düşüş ile ilgili yeni teknolojiler geliştirme çok önemli hale gelmiştir.

Düşük sıcaklıkta yakıt buharlaşması, etkili bir yanma için yetersiz kaldığından, soğuk çalıştırma şartları altında yakıt/hava karışımını zenginleştirmek gerekir. Aşırı yakıtlı yetersiz yanma, CO ve HC seviyelerinde artışa yol açar. Soğuk çalıştırma şartları altında, zenginleştirme, normal işletmeye kıyasla 5 ve 6 kere daha yüksek olabilir. Avrupa ve ABD' de imal edilen otomobillerde standart ekipman olan TWC katalitik konverterler, normal işletme şartlarında çok verimlidir, ancak düşük ortam sıcaklığında verimleri daha düşüktür.

HC ve CO emisyonlarındaki artış, artan motor sürtünme kayıpları ve tahrik tertibatı çekiş kayıpları, etkin başlatma için esas olan zenginleştirilmiş yakıt karışımı, dengeli

rölanti ve temiz sürüşün neden olduğu, artan yakıt tüketimi ile birlikte oluşur. Emisyonlardaki artışların sıcaklık düşüşüne orantılı olup olmadığının sorusu dünyanın birçok bölgesi için büyük önem taşır, çünkü buralarda gece ısıları 0 °C ve daha aşağı düşer. Özellikle düşük ortalama mesafesi olan şehir bölgelerinde dolaşan araçlar motor soğukken çalıştırılır ve durdurulur. Arabaların çoğunluğu sabahleyin çalıştırıldığı için, geceleyin ve sabahın erken saatlerinde hava sıcaklığı kritiktir. Örneğin, tipik bir Avrupa ülkesi olan Polonya' da ortalama yıllık sıcaklıklar 6.5 °C – 8.5 °C' dir ve her yıl 90-130 gün don olmaktadır.

Birçok araştırma merkezleri, soğuk ortam sıcaklığında azalan CO ve HC emisyonları metotları bulunduğunu kanıtlamıştır. Bu metotlar örneğin blok ısıtıcıları ve yakıt ısıtıcılarının kullanımını kapsar; bunların, egzoz portları ve indüksiyon manifoldunun duvarları üzerinde ve yanma odası içinde yakıt damlacıklarının yoğunlaşmasıyla oluşan enerji israfını azalttığı düşünülür. Bu probleme diğer yardımcı yaklaşımlar şunlar olabilir: Katalist ön ısıtması yapmak, çıkış manifolduna mümkün olduğunca yakın kurmak ve daha iyi yakıt püskürtme sağlamak. Bununla birlikte, şu anki Avrupa yönetmelikleri bir aracın negatif sıcaklıklarda test edilmesini gerektirmez ve -6.7 °C' de Amerikan limitleri nispeten 6.2 g/km' de uygundur. Buna rağmen, 20 °C ve 30 °C arasındaki sıcaklıklarda çalışan test gerekliliklerini yerine getiren Avrupa' da şu anda üretilen arabalarda görülüyor ki -7 °C veya daha az sıcaklıklarda çevriminin ilk 195 saniyesinde çalışırken, 20 °C – 30 °C' lik normal ortam test şartlarından birkaç yüz ile birkaç bin kere daha büyük CO emisyonu üretir.

Yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı, sıfırın altında emisyon testlerini yapma ile ilgili daha fazla araştırma gerekli olduğu anlaşılır. Burada yapılan testler, emisyonlar üzerinde normal ve düşük ortam sıcaklıklarında soğuk çalışma ve sıcak çalışma etkisini araştıran bir araştırma programı dahilinde yapılmıştır. Testler Polonya Bielsko-Biala' da BOSMAL Otomotiv Araştırma ve Geliştirme Merkezi' nde tamamlanmıştır.

3.1. Soğuk Çalışma Emisyonlarının Araştırılması

Azalan ortam sıcaklığıyla artan araba emisyonlarının araştırılması, 1995/96 ve 1996/97 kışlarında BOSMAL Otomotiv Araştırma ve Geliştirme Merkezi' nin Egzoz Emisyonları laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Bielaczyc and Merkisz 1998).

Araştırmanın hedefi, araç gerçek orta Avrupa'da kış şartlarında park edildiği zaman yakıt tüketiminde ve egzoz gazlarında CO, HC ve NO_x emisyonları artışını tayin etmektir. Bu çalışmanın sonuçları, bu seviyeleri azaltmanın metotlarını incelemekle birlikte, yoğun nüfuslu bölgelerdeki kış şartlarında emisyon seviyelerini tahmin etmek için kullanılmıştır.

Testler, Tablo 3.1' de, A, B, C, D gibi tayin edilen dört araç tiplerinde yapılmıştır. Araçlar, Polonya' da yollarda genel olarak görülen ve Avrupa imalat tipinde olanlardır. Tüm araçların 600 millik (1000 km) bir başlama test odyometresi vardır ve motor kapasitesi 1.0 – 1.6 litre arası değişmektedir. Araçlar, çoklu nokta veya tek noktadan yakıt enjeksiyonu ve oksijen sensörlü (algılayıcı) bir kapalı devre kontrol sistem olan TWC gibi tipik emisyon azaltıcı sistemlerle donatılmıştır. Tüm araçlar, 94/12/AT (Avrupa Topluluğu/Euro 2) düzenlemelerini karşılamaktadır.

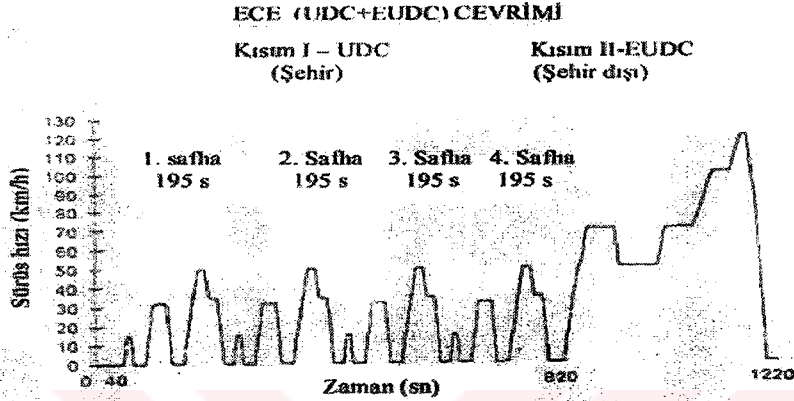
Tablo 3.1. Araç Özellikleri

Araç Tipi	Süpürülen Hacim (dm ³)	Yakıt Besleme Sistemi	Kirlilik önleme tertibatı	Onay tipi
A	1.1	SPI	TWC, O ₂ Sensör, Teneke Kutu	Direktif 94/12/EC
B	1.0	SPI	TWC, O ₂ Sensör, Teneke Kutu	Direktif 94/12/EC
C	1.4	MPI	TWC, O ₂ Sensör, Teneke Kutu	Direktif 94/12/EC
D	1.6	MPI	TWC, O ₂ Sensör, Teneke Kutu	Direktif 94/12/EC

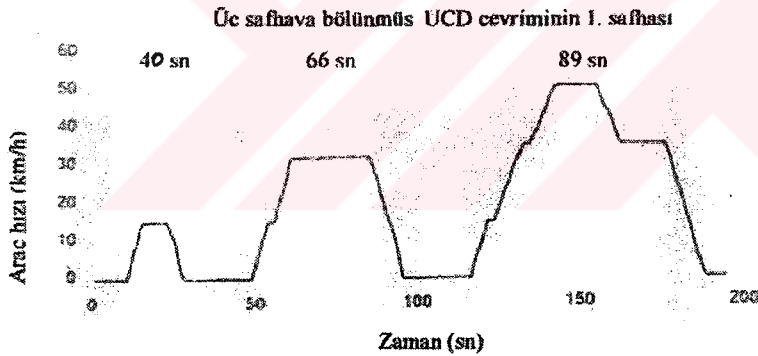
Testler, CEC RF-08-A-85 gerekliliklerine göre kurşunsuz benzin RON 95 ile yapılmıştır.

3.2. Test İşlemi

Emisyon testleri ECE (UDC) çevrimlerine göre yapılmıştır (Şekil 3.1). Testler ya komple çevrim ya da örneğin 4x195 saniye ve 1 UDC 195 saniye 3 alt safhalara ayrılarak, 40 saniye, 66 saniye ve 89 saniye gibi safhalara bölünmüştür (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. ECE (UDC+EUDC) sürüş test çevrimi Avrupa Emisyonu.



Şekil 3.2. İlaveten üç safhaya ayrılmış (49 sn, 66 sn, 89 sn) UDC çevriminin 1. safhası.

Testler, gazları torba analiz metoduyla toplayarak, bir emisyon şase dinamometre kullanmak suretiyle yapılmıştır. Tüm ölçümler, araç en az 16 saat süreyle -15°C ortam sıcaklığında bırakıldıktan sonra yapılmış ve daha sonra araç $22^{\circ}\text{C} - 24^{\circ}\text{C}$ ' lik standart sıcaklıkta laboratuarda test edilmiştir.

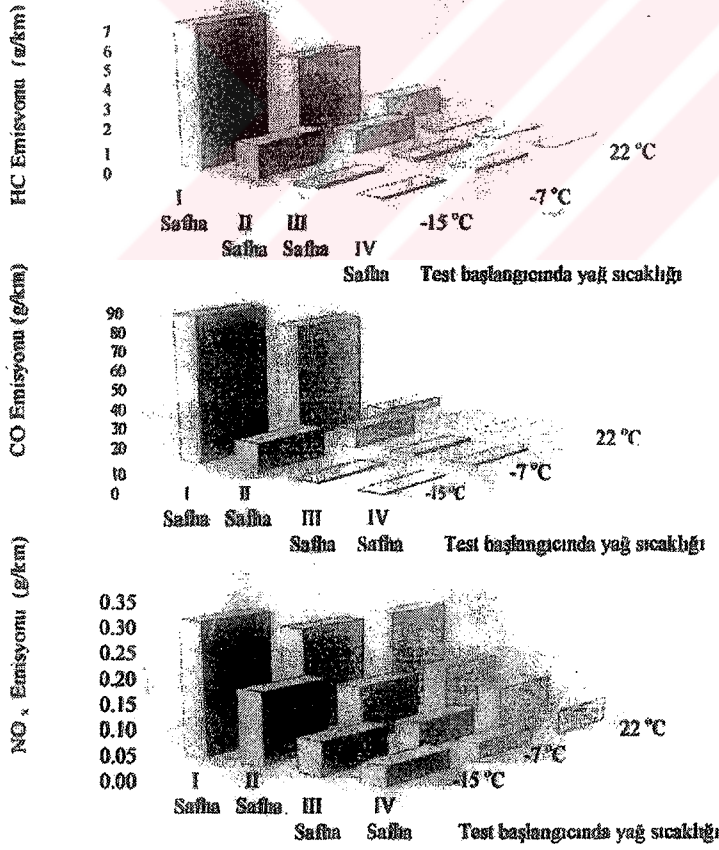
Yakıt tüketimi, ECE (UDC+EUDC) çevrimleri boyunca 1 saniyelik bir frekansla yakıt tüketiminin daimi bir ölçüm kaydı sağlanarak, AVL 733 dinamik yakıt ölçüm teçhizatı kullanarak ölçülmüştür.

3.3. Test Sonuçları

3.3.1. Egzoz emisyonları

Emisyon testleri, aracı çeşitli çevre koşullarına şartlandıktan sonra yapılmıştır. Sürüş çevriminin başlamasından önce, motor yağının sıcaklığı not edilmiş ve gözlenen sıcaklığa bağlı olarak test tipi seçilmiştir. Her bir test tipi için ortalama bir ± 1.5 °C'lik tolerans seçilmiştir. Ortamın ıslanmasından sonra not edilen en düşük yağ sıcaklıkları -15 °C' dir.

Şekil 3.3, HC, CO ve NO_x için testlerin ortalama sonuçlarını göstermektedir. Ölçümler, -15 °C ve -7 °C' lik sıcaklıklarda araçlar şartlandıktan sonra elementer UDC 195 saniye safhaları için ECE (UDC) çevrimlerinden elde edilmiştir. Kıyaslama ise $+22$ °C' de nem emdikten sonra yapılmıştır.



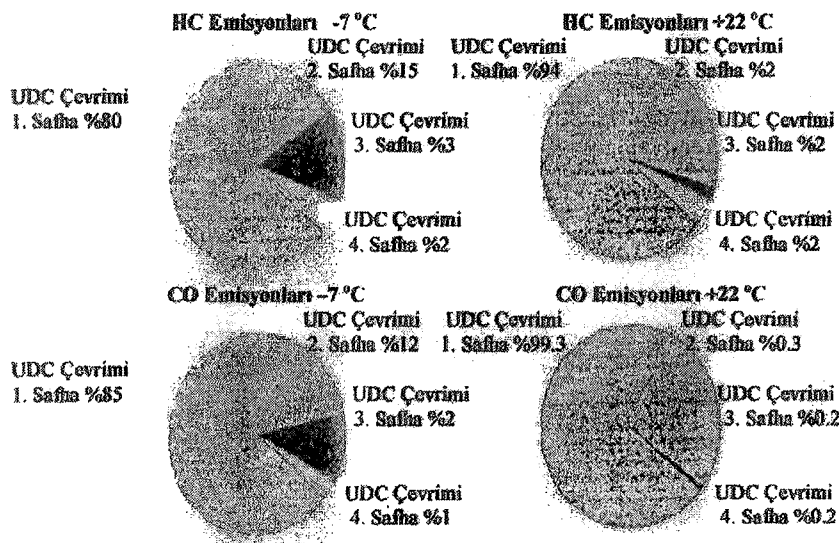
Şekil 3.3. ECE (UDC) çevriminin dört safhasındaki HC, CO ve NO_x emisyonları (g/km), 3 tip (A,B,C) araçları için ortalama sonuçlar.

Araçlar, -7°C ve -15°C soğutulduğu zaman UDC testlerinin ilk 195 saniyesinde CO ve HC emisyonlarında yavaş yavaş artan bir artış göstermektedir. Ayrıca sıcaklıkta azalma olurken motorun aşırı CO ve HC yaydığı sürüş çevrimi zamanında artış olur.

Çevrimin ilk 195 saniyesinin belirgin şeklide daha düşük olduğu, $+22^{\circ}\text{C}$ lik sıcaklıktaki HC ve CO emisyonları kıyaslandığında, -7°C ve -15°C sıcaklıklar için tüm dört safhanın belirgin olduğu ancak safha 3 ve 4' teki emisyonların safha 1 ve 2' den daha düşük olduğu görülür. Bunun sebebi, sıfırın altındaki sıcaklık şartlarında dengeli çalıştırma ve iyi sürüş kalitesi için gerekli olan stokiometrik karışımdan çok daha zengin bir yakıt oranı ile düşük sıcaklıklarda daha uzun sürede motor çalıştırılmasıdır.

$+22^{\circ}\text{C}$ lik bir yağ sıcaklıklarında test ederken, HC emisyonlarının %94' ü ilk safhada, %2' si ikinci, üçüncü ve dördüncü safhada verilir. CO durumuna, %99,3' ü ilk safhada, %0,3' ü ikinci safhada, %0,2' si üçüncü safhada ve %0,2' si dördüncü safhada yayılır.

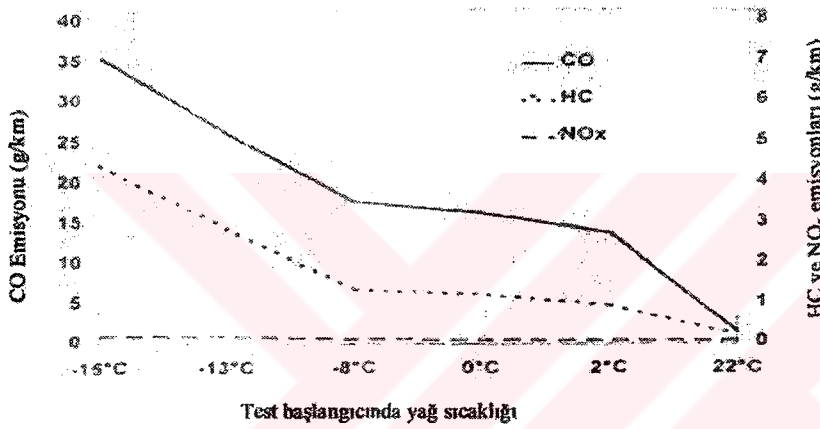
-7°C de test ederken, HC' nin %80' i ilk safhada, %15' i ikinci safhada, %3' ü üçüncü safhada ve %2 'si dördüncü safhada yayılır. CO seviyeleri ise, birinci safhada %85, ikinci safhada %12, üçüncü safhada %2, dördüncü safhada %1' dir (Şekil 3.4).



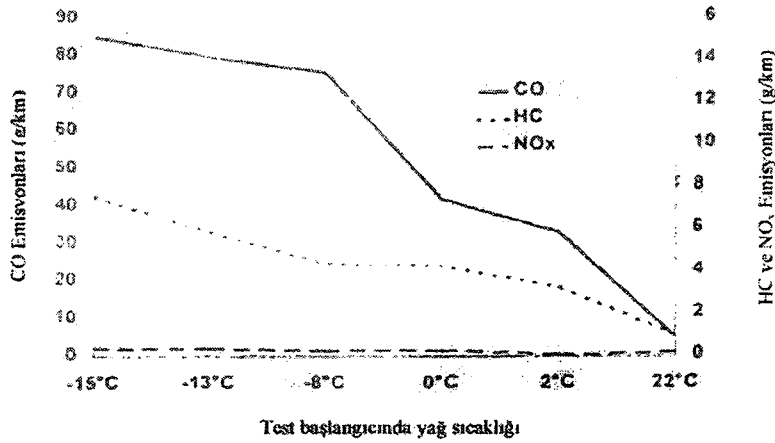
Şekil 3.4. Farklı şartlandırma sıcaklıklarında tüm UDC çevriminde özel safhalardaki emisyon katkıları, 3 tip (A,B,C) araç için ortalama sonuçlar.

NO_x emisyonu, UDC' nin birinci ve ikinci safhalarında üçüncü ve dördüncü safhalara göre daha yüksek olduğu, bunun hava/yakıt oranının ve katalist aktivitesinin etkisinden kaynaklandığı, bu etkinin de NO_x düzeyini üçüncü ve dördüncü safhalarda daha etkili azalttığı görülmektedir.

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6, tüm UDC testindeki ve çeşitli araç şartlanma sıcaklıkları için 195 saniyelik ilk safhada HC, CO ve NO_x emisyonlarını göstermektedir. Şartlanma sıcaklıklarında bir azalma ile hem UDC' nin ilk safhasında hem de komple çevrimde HC ve CO emisyonları orantılı şekilde artar.

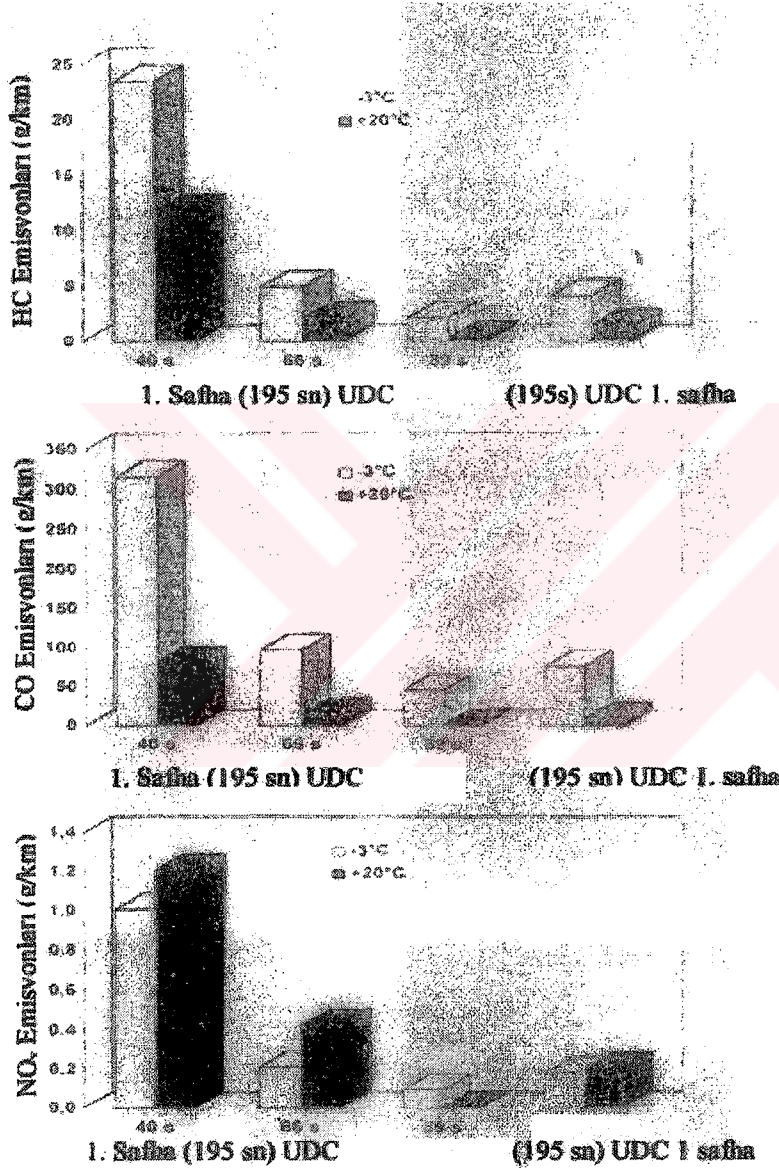


Şekil 3.5. Farklı şartlandırma sıcaklıklarında UDC çevrimi sırasında B tipi araçta ortalama HC, CO ve NO_x emisyonları.



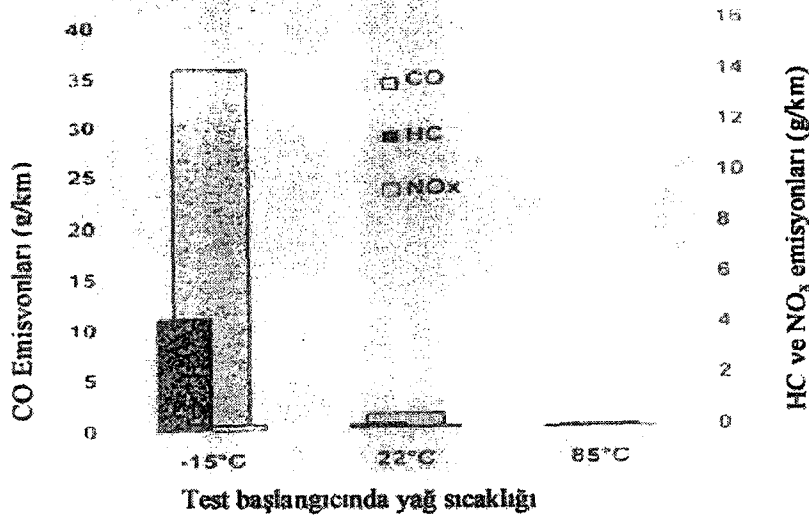
Şekil 3.6. Farklı şartlandırma sıcaklıklarında UDC çevriminin 1. safhasında (195 sn) B tipi araçta ortalama HC, CO ve NO_x emisyonları.

-3 °C ve +22 °C' lik araç iklimlendirme sıcaklıklarıyla ek ölçümler yapılmıştır. En belirgin emisyonlar çevrimin ilk 40 saniyesinde olur, burada CO seviyelerinde 300 g/km' yi aşar (Şekil 3.7). NO_x durumunda ise, şartlanma sıcaklığının sadece ufak bir etkisi olurken, testin ilk 40 saniyesinde en yüksek emisyon seviyelerin kaydedildiği de gözlenmiştir.

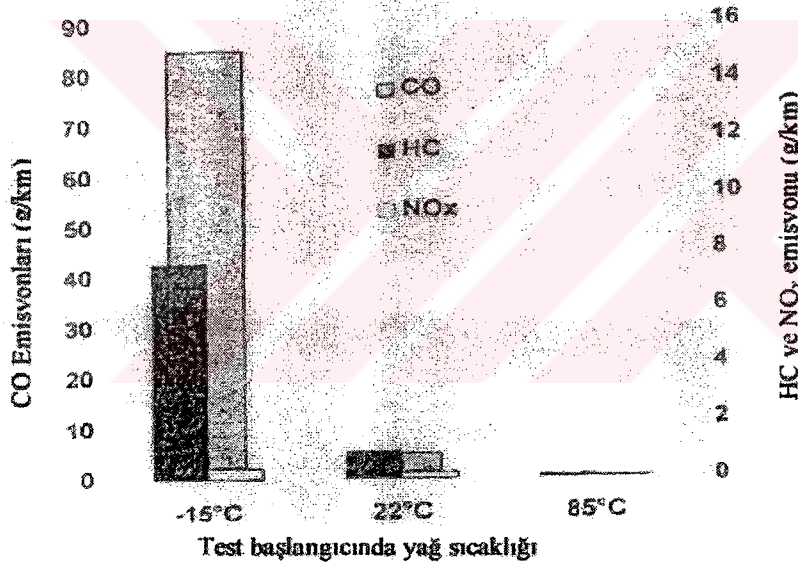


Şekil 3.7. UDC çevrimi 1. safhaya ilaveten üç safhaya 40 sn, 66 sn, 89 sn' e bölünmüş HC, CO ve NO_x emisyonları.

Şekil 3.8 ve Şekil 3.9, sadece -15 °C ve 22 °C' lik araç şartlanma sıcaklıkları altında UDC çevriminin ilk safhasında ve UDC çevrimi esnasında elde edilen CO, HC, NO_x emisyonları için ortalama değerleri göstermektedir.



Şekil 3.8. Farklı iklimlendirme sıcaklıklarında UDC çevrimi sırasında A ve B tipi araçlarda ortalama HC, CO ve NO_x emisyonları.

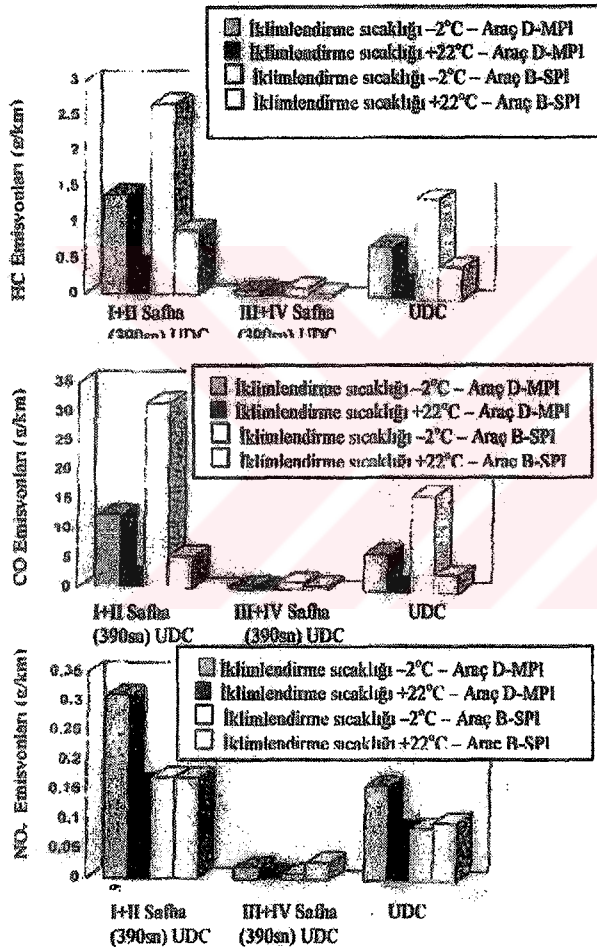


Şekil 3.9. Farklı iklimlendirme sıcaklıklarında UDC çevriminin 1. safhasında A ve B tipi araçlarda ortalama HC, CO ve NO_x emisyonları.

Kıyaslama amacıyla, sıcak çalışma testleri (85 °C' lik yağ sıcaklığı) dahil edilmiştir. Şekiller, özellikle CO ve HC emisyonlarında büyük farklar göstermektedir. Sonradan tanımlanan test serileri, düşük sıcaklıklarda emisyonlar üzerinde SPI ve MPI sistemlerinin etkisini tanımlamaktadır. Bir MPI sisteminin kullanımının, bir SPI sistemine mukayesen daha düşük CO ve HC emisyonlarıyla sonuçlandığını göstermektedir. Bu indüksiyon, manifold ve portları içinde yakıt damlacıklarının

yoğunlaşması ve yakıt filminin etkisiyle ve silindirlere daha kısa bir karışım geçişi gibi sebeplerle izah edilebilir.

Şekil 3.10, -2 °C ve 22 °C' lik çalıştırma nemli sıcaklıklarında çalışırken bir MPI sistemiyle D tipi araç ve bir SPI sistemli B tipi araç için HC, CO ve NO_x emisyonlarının kıyaslamasını göstermektedir. Spesifikasyona ayarlanan MPI sistemli D tipi araçlar, tipi ECE (UDC+EUUDC) testlerinde çok düşük emisyonlar üretmektedir.



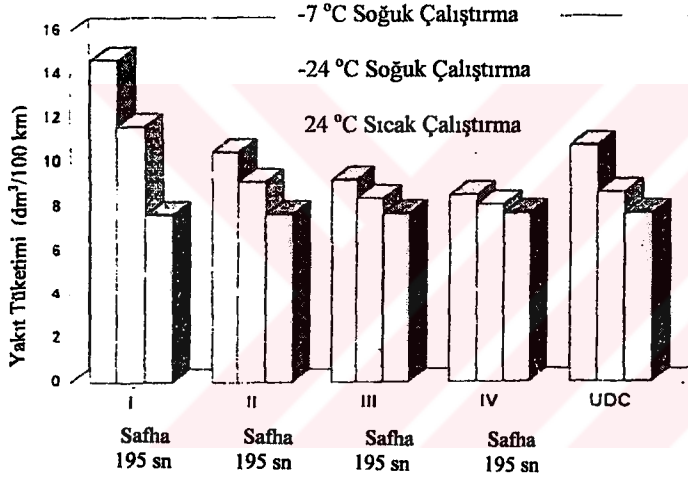
Şekil 3.10. Farklı yakıt besleme sistemlerine sahip araçlarda HC, CO ve NO_x emisyonları: SPI ve MPI (-2 °C ve +22 °C İklimlendirme sıcaklıklarında).

3.3.2. Yakıt tüketimi

Yakıt tüketimi ölçümleri, ilk çalıştırma, ısınma ve sürüş kabiliyeti için gerekli zenginleşmenin etkisini ve sürüş hattı transmisyonu üzerinde soğuk yağlayıcı

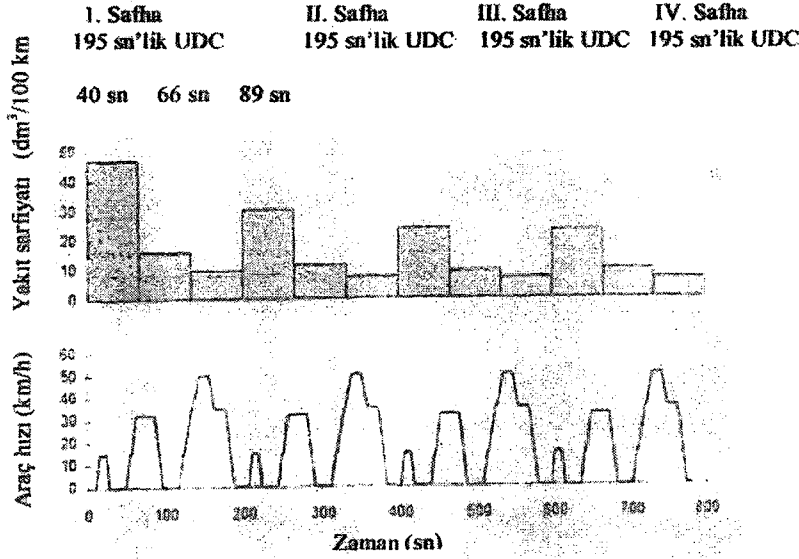
sıvıların etkisini tayin etmek için yapılmıştır. Yakıt tüketim ölçümleri, -7 °C ve +24°C' de UDC çevrimleri çalışırken elde edilmiştir.

Şekil 3.11' ten 12' e kadar bu ölçümler gösterilmektedir. Şekil 3.11, -7 °C ve +24 °C' de iklimlendirilmiş bir araçta ve 85 °C' lik bir karter (yağ haznesi) yağ sıcaklığı altında tamamen ısıtılmış bir araçta UDC çevriminin 195 saniyelik ikinci safhasında ölçülen yakıt tüketimini göstermektedir. İlk safhadaki -7 °C' deki yakıt tüketiminin, +24 °C' dekinden yaklaşık %30-35 daha yüksek olduğu ve tamamen ısınan bir araç için olandan %90 kadar fazla olduğu gözlenmiştir. UDC çevriminin başlangıç safhasının belirli parçalar için geçişli yakıt tüketiminin analizi, ilk 40 saniyenin her durumunda kritik olduğunu gösterir.



Şekil 3.11. Farklı iklimlendirme sıcaklıklarında dört ECE (UDC) çevriminin dört safhası boyunca yakıt tüketimi, Üç tip (A,B,C) arabanın ortalama değerleri.

-7 °C' de şartlandırmadan sonra geçici yakıt tüketimi, çevrimin 106 ve 196 saniyelerine göre ilk 40 saniyesinde 4-5 kez daha büyüktür. Aynı zamanda UDC çevriminin 4. safhasının ilk 40 saniyelik bölümü 2 kez daha yüksektir (Şekil 3.14).



Şekil 3.12. Araba $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de İklimlendirme sıcaklığı için UDC çevrimi sırasında B tipi araçta yakıt sarfıyatı.

3.4. Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Emisyonları Azaltma Teknolojileri

Doğru soğuk çalışma, soğuk geçici çalıştırma ve sürülebilirlik için gerekli olan hava – yakıt karışımının zenginleşmesi, soğuk motor çalışması ve ısınma esnasında CO ve HC emisyonlarındaki artışın ana sebebidir.

Aracın iklimlenme sıcaklığı azalırken, CO ve HC emisyonları orantılı olarak artar. En önemli emisyonlar, CO' nun 300 g/km ' yi geçtiği, UDC çevriminin ilk 40 saniyesinde meydana gelir.

İklimlenme sıcaklığının düşmesiyle, $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de UDC testinin (195 saniye) ilk safhasında $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de UDC testinin (780 saniye) dördüncü safhasına kadar, CO ve HC' nin önemli olduğu zaman miktarı artar. Aynı anda, HC ve CO' nun katkısı UDC' nin ilk safhasında $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de HC için %94 ve CO testi için %99, $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de çalışırken yaklaşık olarak HC için %80 ve CO için %85 azalır.

Motor çalıştırma ve ısınma esnasında HC ve CO emisyonlarındaki artış, motor içinde artan sürtünme kayıplarından, artan güç-çekiş kayıplarından, doğru çalışma için esas

olan zenginleşmiş yakıt karışımından, ısınma ve sürüş gibi sebeplerden doğan yakıt tüketimi artışı ile birlikte gerçekleşir.

Silindirlere hava yakıt karışımını besleyen daha kısa endüksiyon alanlarından dolayı, bir MPI sisteminin uygulaması SPI cihazlarına kıyaslandığı zaman daha düşük CO ve HC emisyonları verir. Yukarıdaki bilgilere göre, şu an üretimdeki küçük kıvılcımlı içten yanmalı motorlarda MPI için SPI enjeksiyon sistemlerini koymak mantıklı olacaktır.

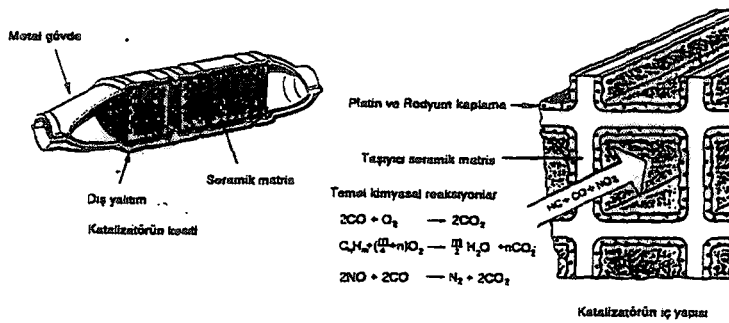
Problemin analiz bazında soğuk çalışma emisyonlarını düzenlemek için uygulanacak olan teknolojilerin, motorun soğuk çalışmaları ve ısınmaları esnasında yakıt-hava karışımlarının gerekli zenginleşmesini azaltmak için yakıt atomizasyonunun geliştirilmesini ve ek ısının sağlanması metotlarını esas alması gerektiği iddia edilebilir. Yeni motor tasarımlarında bu ana hususlar dahil edilmelidir.

Katalitik konvertörlerde genellikle petek şeklinde, yüzey alan çok geniş, seramikten (Mağnezyum-Aliminyum Silikat) veya metalden yapılmış taşıyıcı bir eleman bulunmaktadır. Petek yapıdaki kanal sayısı yoğunluğu 60 - 70 kanal/cm² kadardır. Bu taşıyıcının yüzeyi ayrıca pürüzlü ara tabakayla (Mg-Al₂O₃) kaplanır. Böylece yüzey alanı 1 litre konvertör hacmi başına 20 000 m² ye ulaşmaktadır. (Şekil 4.1).

Katalitik konvertörlerin seramik yerine metal taşıyıcı ile yapılması ise taşıyıcının daha ince olmasından dolayı toplam petek yüzeyinin büyük tutulabilmesini sağlar. Bunlar aynı kapasitedeki seramik taşıyıcının yarı hacminde olabilirler.

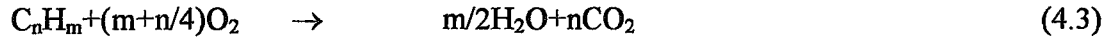
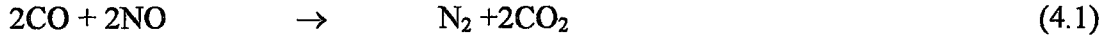
Metal taşıyıcılar seramiğe göre daha düşük bir ısıl kapasiteye sahiptir ve bu nedenle çok daha hızlı bir şekilde istenen sıcaklığına ulaşabilir. Metal taşıyıcılar ayrıca sıcaklığa daha dayanıklı oldukları için motora daha yakın bir konuma yerleştirilebilirler. Bu da katalizatörün ısınarak yüksek dönüştürme ve verimine ulaşmasına ayrıca hızlandırır.

Taşıyıcının üstünde bulunan yüzey genişletici ara tabakanın üstü ise egzoz gazlarındaki kirleticileri katalitik etki ile temizlemek için, platin (P_t), palladyum (P_d) ve rodyum (R_h) gibi soy metallerle kaplıdır. Bu metaller egzoz gazları ile reaksiyona girmeyip sadece normal egzoz şartlarında (düşük sıcaklık ve kısa zaman içinde) oluşmayacak reaksiyonların oluşması için aracılık ederler (Şekil 4.2). Bu soy metallerin miktarı ortalama olarak katalitik konverter başına 1-2 g' dır. Platin ve palladyum CO ve HC' nin oksidasyonuna aracılık ederken, rodyum, NO_x indirgeci reaksiyonlar için gereklidir. (Ergeneman ve diğ. 1998).



Şekil 4.2. Katalitik konvertörün (katalizatör) iç yapısı.

3 - yollu bir katalitik dönüştürücüde NO_x, N₂' ye ve HC ve H₂O' ya dönüşürken çok sayıda ara reaksiyon gerçekleşmektedir. Bunlardan önemli olanları aşağıda verilmiştir.



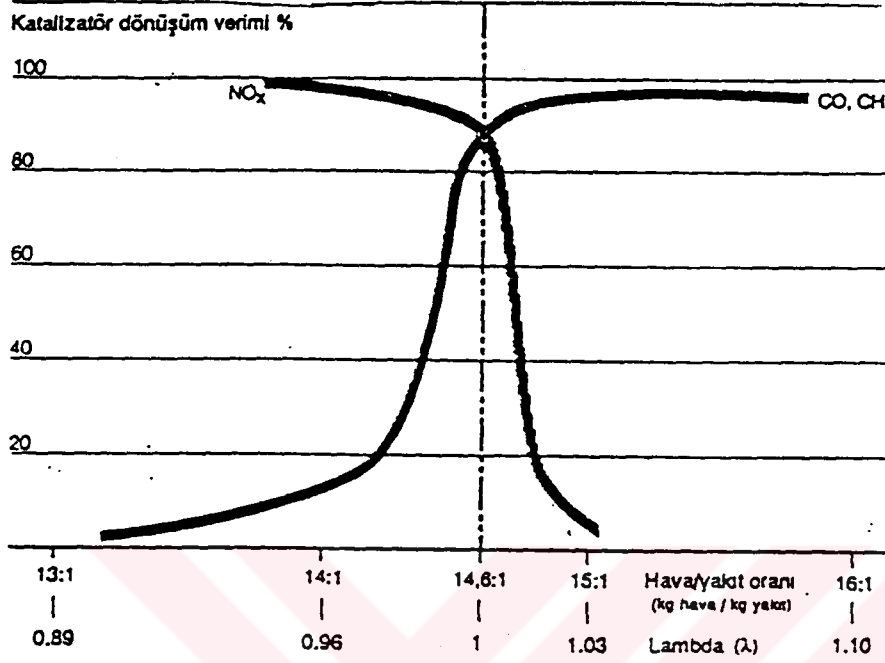
Burada sözü geçen üç yollu deyimi katalitik konvertörün egzoz gazındaki CO, HC ve NO_x olmak üzere her üç kirleticiyi aynı anda zararsız ürünler haline dönüştürmesinden dolayı kullanılmaktadır.

Her üç bileşenin katalizator yardımıyla yüksek verimle temizlenebilmesi için en önemli şart yakıt-hava karışımı oranının HFK = 1 olacak şekilde hassas ayarlanmasıdır.

Eğer karışım fakir olursa (hava çok) egzoz gazı içindeki O₂ konsantrasyonu artacak ve (4.2) nolu reaksiyon hızlanacaktır. Bu durumda azotoksit indirgeci (4.1) nolu reaksiyonun oluşması için ortamda yeterli CO kalmayacak ve dönüşen NO miktarı azalacaktır.

Eğer karışım zenginleşirse (hava az), tam aksine O₂ miktarı azaldığı için oksitlenen CO ve HC miktarı azalacaktır. 3-yollu katalitik dönüştürücü, eğer HFK = 1 civarında ± % 0.5 toleransla çalışırsa verimi % 80' in üstünde kalmaktadır. Bu toleransın dışında kalan bölgelerde ise dönüştürme verimi hızla düşmektedir.

Şekil 4.3, HFK' nın katalizator dönüşürme verimine etkisini göstermektedir.

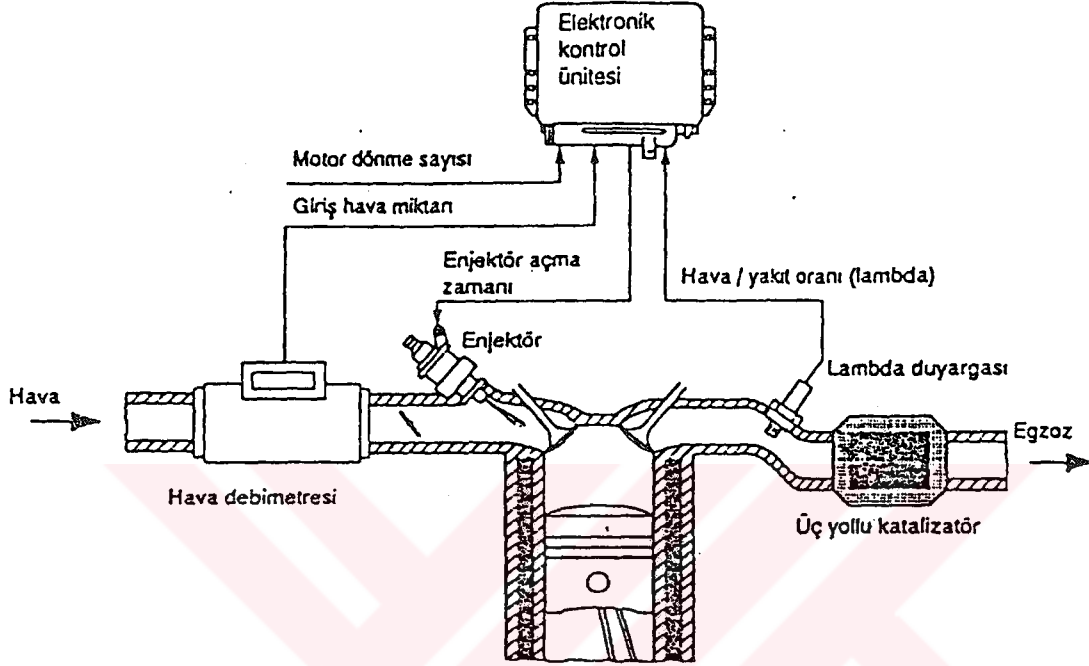


Şekil 4.3. Hava fazlalık katsayısının katalizatorün dönüşürme verimine etkisi.

3-yollu katalizator ile donatılan motorların diğer bir önemli parçası da **Lambda vericisidir** (λ - sensörü). Lambda vericisi egzoz gazları içindeki oksijen miktarına göre bir çıkış gerilimi üretmektedir. Bu gerilim, çok dar toleranslar dahilinde, HFK >1 için 0, HFK < 1 için ise 800 mV (milivolt) mertebelerindedir. Çıkış gerilimi yakıt sisteminin elektronik kumanda ünitesine iletilir ve kumanda sistemi HFK = 1 olacak şekilde püskürtülen yakıt miktarını ayarlar. Böyle bir sistemin şeması Şekil 4.4' te verilmiştir (Ergeneman ve diğer.).

Buraya kadar anlatılan üç yollu katalizatorler ancak HFK = 1 olan benzinli motorlarda kullanılmaktadır. Fakir karışimli (HFK>1) benzin motorları ve dizel motorlarında ise **oksidasyon katalizatorü** kullanılmaktadır.

Oksidasyon katalizatörü egzoz gazlarındaki oksijen fazlalığından dolayı sadece HC ve CO' i dönüştürülebilmektedir. Bu tip motorlarda NO_x için ise yanma sıcaklığına düşürecek, egzoz gazı geri dolaşımı gibi önlemler almak gerekir.



Şekil 4.4. Elektronik kontrol ünitesi, üç yollu katalitik konvertörü, lambda vericili ve benzin püskürtme sistemli bir motorun basitleştirilmiş prensip şeması.

Katalizatorlü taşıt kullanan sürücülerin uyması gereken en önemli nokta ise bu tip taşıtlarda sadece kurşunsuz benzin kullanılması gereğidir. Çünkü benzin içindeki kurşun ve bileşikleri, katalizator içindeki soy metal taşıyan yüzeyi örterek bu metallerin egzoz gazı ile temas etmesini önler ve katalizatorün verimini hızlı bir şekilde düşürür (katalizatorün zehirlenmesi).

Ayrıca kurşundan etkilenmeyen tipler de geliştirilmiş olmakla beraber, kurşun genellikle λ - vericinin de etkinliğine engel olmaktadır.

BÖLÜM 5

V6 MOTORLARININ SOĞUK ÇALIŞMA EMİSYONLARINI AZALTMA TEKNOLOJİLERİ

6-8 silindirli üniteler gibi özellikle daha büyük motorlar için Kaliforniya' da (ULEV) ve Avrupa' da (EC2000 veya EC2005) yürürlüğe girecek olan daha sıkı düzenlemeleri karşılayacak soğuk çalışma emisyonlarını azaltmak gereklidir. Bu hususta yeri bir teknoloji ise elektrikle ısıtılan katalisttir (EHC). Yine de EHC' nin tek başına kullanımı emisyonlardaki gerekli azalmayı sağlamak için yeterli değildir.

Bu bölümde, EHC' ler için bir elektrikli güç tedarik metodu ve hava/yakıt oranının gelişmiş kontrolü, egzoz ikincil hava verilmesiyle birlikte, bir EHC sisteminin elementlerini etkin şekilde birleştirmek için teknikler verilmiştir. EHC' de olduğundan ziyade egzoz manifoldunda ısı salan reaksiyonları geliştirmek için daha etkili bir yol olduğu gösterilmektedir. Bu amaç için uygun bir metot, egzoz valflarına yakın egzoz içine ikincil havayı vermektir. Bundan başka, bu reaksiyonları artırmak için etkin bir yol daha zengin bir hava/yakıt oranı uygulamaktır, özellikle soğuk çalışma esnasında. EHC' ler için elektrik gücü alternatörden veya aküden alınabilir. Alternatör güçlü beslenme sistemi ile egzoz gazı hacmi alternatör yükü arttıkça artmaktadır. Bu da ekzotermik reaksiyonların oranını azaltmakta dezavantajı vardır. Aküden elektrik vermek egzoz emisyonlarını azaltma açısından daha iyi bir yaklaşımdır.

Araç egzoz emisyonları için düzenleyici standartların gelecek yıllarda giderek daha sıkı olması beklenmektedir. Bu standartlar, 2000 ve 2005 yıllarında Avrupa' da uygulamaya girecek daha sıkı düzenlemeler ve Kaliforniya Hava Kaynakları Kurulunca benimsenen Düşük Emisyonlu Araç düzenlemeleri (LEV) ile temsil edilmektedir. Benzinli motorlardan egzoz emisyonlarının azalması, katalistlerin kullanımıyla daha iyi başarılır. Yine de belirli bir çalışma sıcaklığına varıncaya kadar

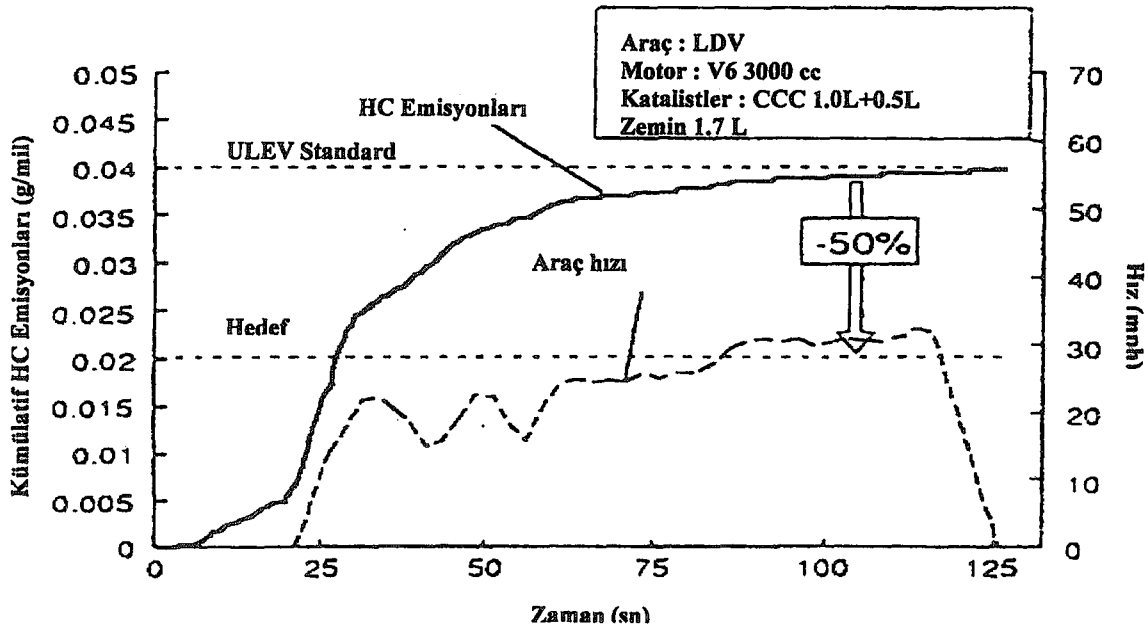
katalistler aktif olamazlar. Buna göre, katalistler çalışma ısısına varmadan evvel motor çalıştıktan hemen sonra soğuk safhadaki emisyon seviyelerini azaltmak gelecekte daha sıkı düzenlemelerle karşılamakta özellikle kritik bir faktördür.

Bu bölümde, özellikle uyumun daha zor olduğu görülen daha büyük motorlar ve V6 için, Avrupa' da Safha 2005 düzenlemeleri ve Amerika' da ULEV düzenlemelerini karşılamak amacıyla soğuk çalışma emisyonlarını azaltmak için gerekli olacak bazı teknikler tanımlanmaktadır (Nishizawa et al 1997).

5.1 Düzenlemelerle Gerekli Olan Soğuk Emisyon Azalma Derecesi

Amerika' daki LEV düzenlemelerini tatmin etmek için çeşitli yaklaşımlar düşünülebilir. V6 ve daha büyük motorlar için hepsinden önce düşünülen yaklaşım, egzoz içine ikincil hava enjeksiyonu için ir pompa ve daha erken katalist faaliyetini artırmak için yakın bağlı katalistlerin kullanımınıdır.

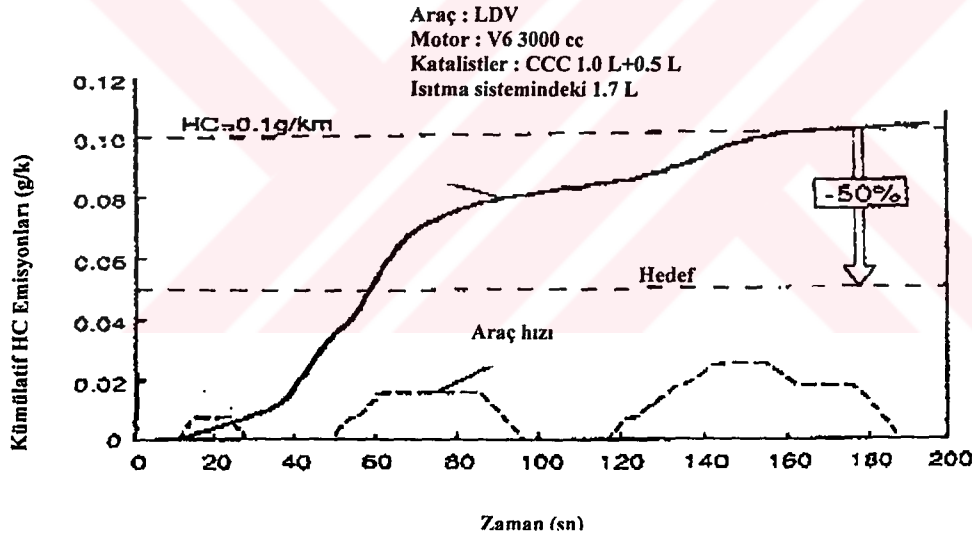
Böyle bir emisyon kontrol sistemiyle donatılmış ve bir V6 motoru ile monte edimi bir test aracından soğuk çalışma esnasında ölçülen kümülatif HC emisyonu Şekil 5.1' de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. FTP çevriminde HC emisyonları.

Her ne kadar bu test aracı LEV düzenlemelerini karşılıyorsa da , kümülatif HC emisyon seviyesi motor çalışmaya başlamasından yaklaşık 100 saniye sonra ULEV standardına ulaşmıştır. Federal Test (FTP) çevriminin sonraki kısmında üretilen HC emisyonlarını düşürerek, yaklaşık yarısı kadar soğuk çalışma emisyonunu azaltmak için bir tekniği açıkça gerek vardır.

LEV düzenlemelerini karşılayan aynı V6 motor test aracı, Avrupa' da şu anda mevcut benzin kullanan Avrupa Safha 2000 ve 2005 düzenlemeleriyle belirtilen test modu altında çalıştırılmıştır. Soğuk çalışma esnasında ölçülen kümülatif HC emisyon seviyesi FTP sonucuna mukayesen Şekil 5.2.' de gösterilmiştir. Çalışmanın ilk 180 sn' sindeki kümülatif HC seviyesi 0. G/km için Safha 2005 HC Standardını aşmıştır. Bu nedenle, tıpkı ULEV standardındaki gibi soğuk başlama esnasında yaklaşık %50 kadar HC emisyon seviyesini yarısı kadar azaltmak gereklidir.

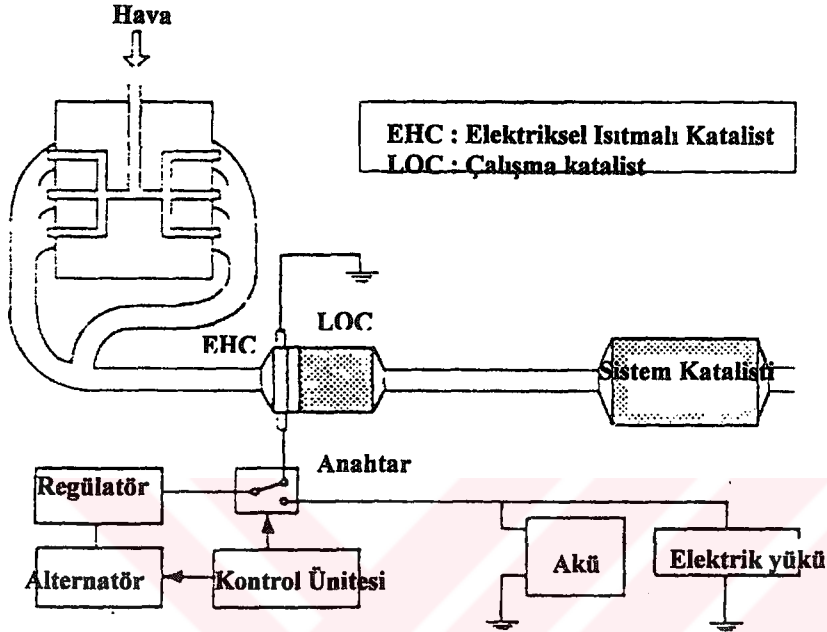


Şekil 5.2. EC Safha 2000 Test Çevriminde HC emisyonları.

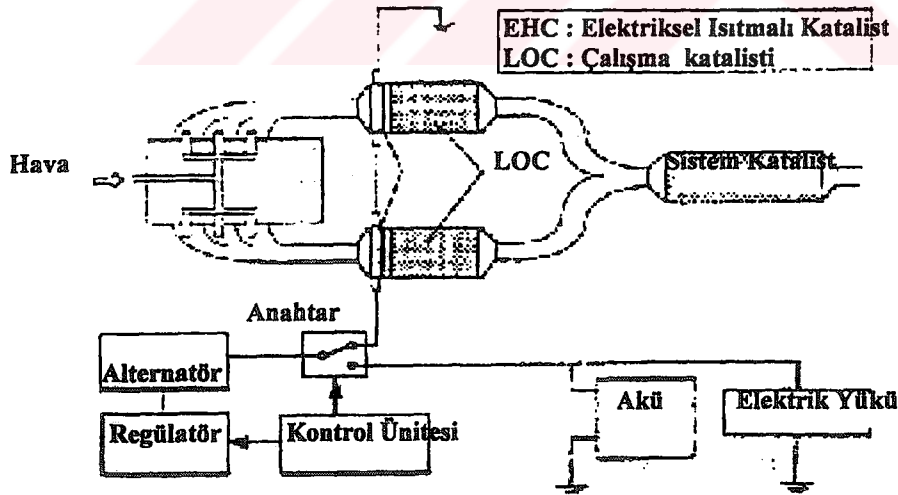
5.2 Değerlendirilmiş Sistemlerin incelenmesi

Soğuk çalışma HC emisyonlarını azaltmak için V6 motorlarıyla monte edilmiş iki farklı tipte araç kullanılmıştır. Soğuk çalışma HC emisyonlarını azaltmak için, her iki araç metot olarak bir veya iki elektrikle ısınan katalistler (EHC) ve ikincil bir hava enjeksiyon pompası ile donatılmıştır.

Araç A' nın, ön tekerler sürücü planında her bir banktan çıkan egzoz borusunun birleşiminin aşağı yönde bir EHC bulunur (Şekil 5.3.). Diğer araç B' nin, her bir egzoz borusunda bir EHC' nin kurulu olduğu, bir çift egzoz sistemli bir arka terelek sürücülü yerleşimi vardır (Şekil 5.4.).



Şekil 5.3. Araç A egzoz sistemi.



Şekil 5.4. Araç B egzoz sistemi.

Bu iki araç EHC uygulamanın etkin yollarını incelemek için kullanılmıştır. Bundan başka, egzoz içine ikincil hava enjeksiyonu uygulamanın farklı metotları Şekil 5.4.' te gösterilen motor sistemini kullanarak testlerden geçirilmiştir. Ayar testlerinin özel

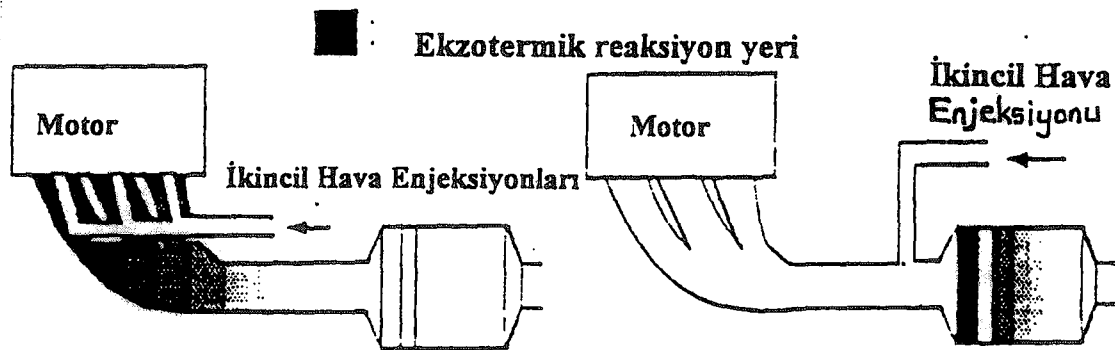
amacı, soğuk çalışma HC emisyonlarının eğilmelerini tayin etmektedir. HC' lerin toplanıp atılmasını azaltmak için bir sistem katalisti kullanılmıştır.

FTP veya EC test modu altında soğuk çalışmaya benzeyen motor değerlendirme testlerinde, motor ve katalistler önce oda sıcaklığında soğutulur. Daha sonra motor başlatılarak 60 saniye boşa çalıştırılır.

5.3 İkincil Hava Enjeksiyonunun Kullanımı

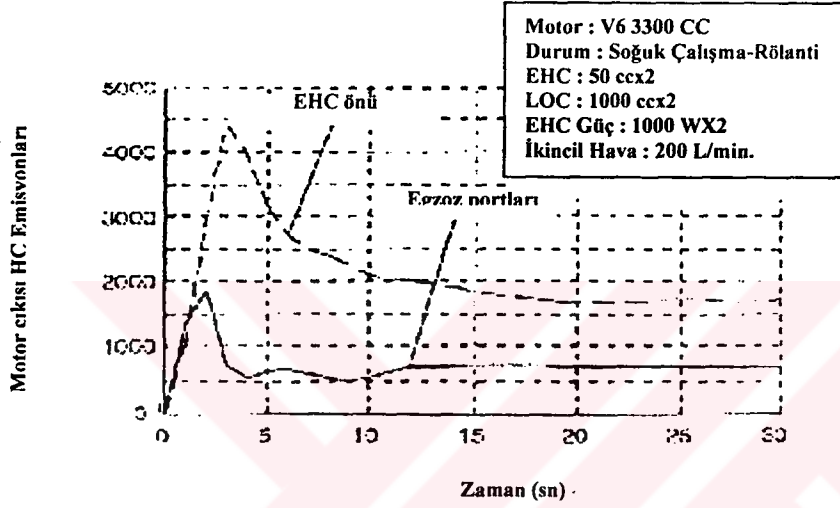
5.3.1. Enjeksiyon pozisyonu

EHC kullanan emisyon kontrol sistemlerinde EHC' lerin sıcaklığı, elektrikle ısıtarak ve EHC' ler üzerine katalistlerle ısı salan reaksiyonların ısıyla artırılır. Bu nedenle düşünülür ki EHC' lerin ısı salma reaksiyonlarının seviyesini artırmak, HC emisyonlarını azaltmaya etkin bir yaklaşım olabilir. Öte yandan EHC' siz sistemlerde, egzoz manifoldunda ekzotermik reaksiyonlar üretme amacıyla, mümkün olan en yüksek egzoz gazı sıcaklığı noktasında ikincil hava enjeksiyonu yapmanın HC azaltması onucunu elde etmede etkili bir yaklaşım olabileceği de düşünülür. Bu çalışmada, yaklaşımlardan hangisinin soğuk çalıştırmada HC emisyonlarını azaltma konusunda daha etkili olabileceğini araştırmak için, iki farklı ikincil hava enjeksiyon yerini kıyaslamak üzere motor tezgahı testlerinde egzoz sistemi kullanılır (Şekil 5.5.). İkincil hava, birinci durumunda egzoz hortlarında, ikincisinde ise EHC önüne enjekte edilmiştir.



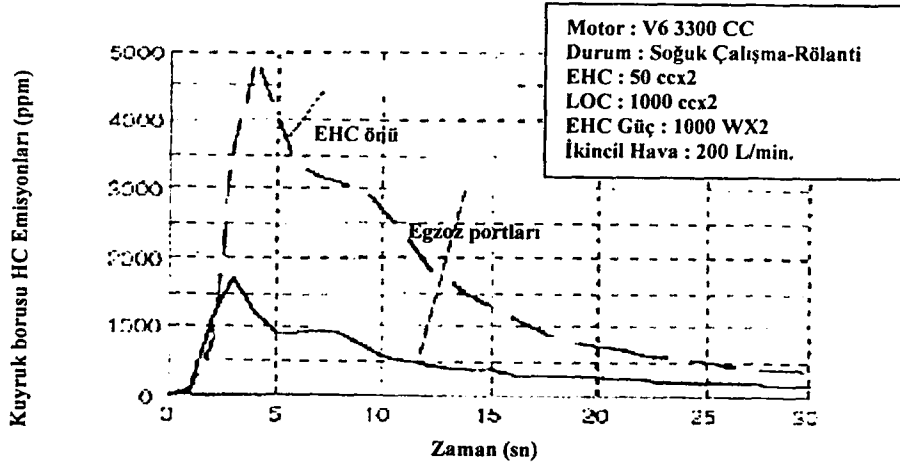
Şekil 5.5. İkincil hava enjeksiyonu ve ekzotermik reaksiyon yeri.

Şekil 5.6., hangi yerleşimin daha etkin olacağını kıyaslamasında ölçülen egzoz kuyruk borusu HC seviyelerini göstermektedir. Sonuçlar, hava enjeksiyonu pozisyonunun, EHC önünden egzoz portlarına değişmesinin, soğuk çalıştırma HC emisyonlarını önemli ölçüde azalttığını ortaya koymaktadır. Bu azaltmanın bir nedeni, egzoz portlarına ikincil hava enjeksiyonunun egzoz manifoldundan daha büyük ekzotermik reaksiyonlar oluşturması ve buna bağlı olarak egzoz gazı EHC' ye girmeden önce daha düşük bir HC seviyesi ortaya çıkmasıdır. İkinci nedeni ise EHC' den başlangıç ısısını hızlandırmasıdır.



Şekil 5.6. Farklı ikincil hava enjeksiyon pozisyonlu kuyruk borusu HC emisyonları.

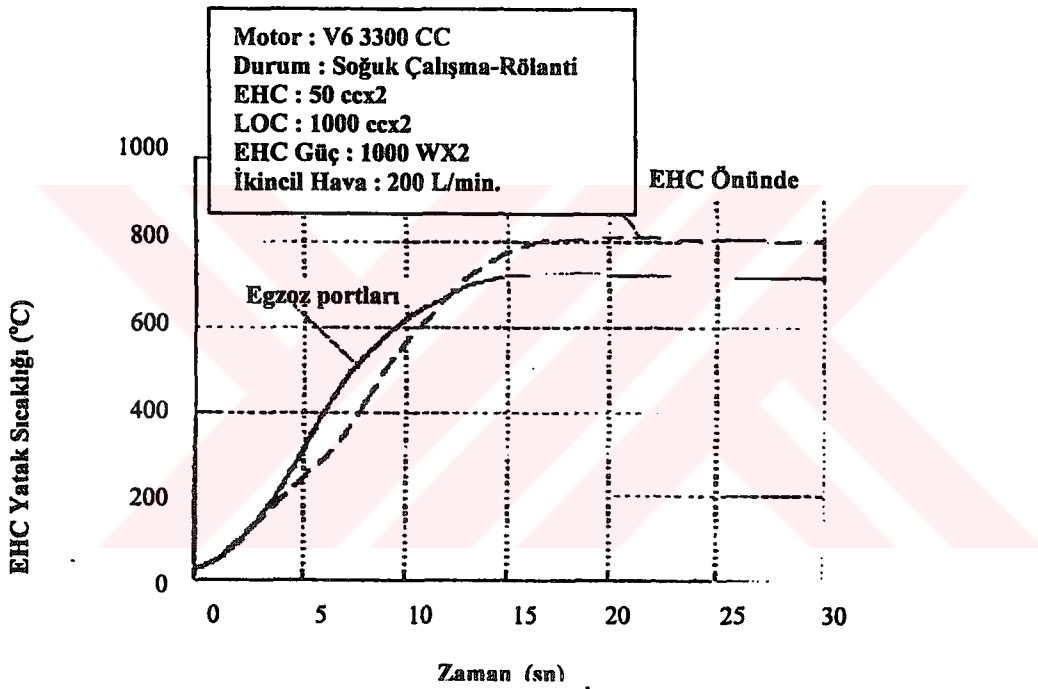
Şekil 5.7., iki enjeksiyon pozisyonu için ölçülen motor çıkışı HC seviyelerini göstermektedir. Egzoz portlarına ikincil hava enjeksiyonu, motor-çıkış HC emisyonlarını esaslı biçimde düşürmektedir.



Şekil 5.7. Farklı ikincil hava enjeksiyon pozisyonlu motor-çıkış HC emisyonları.

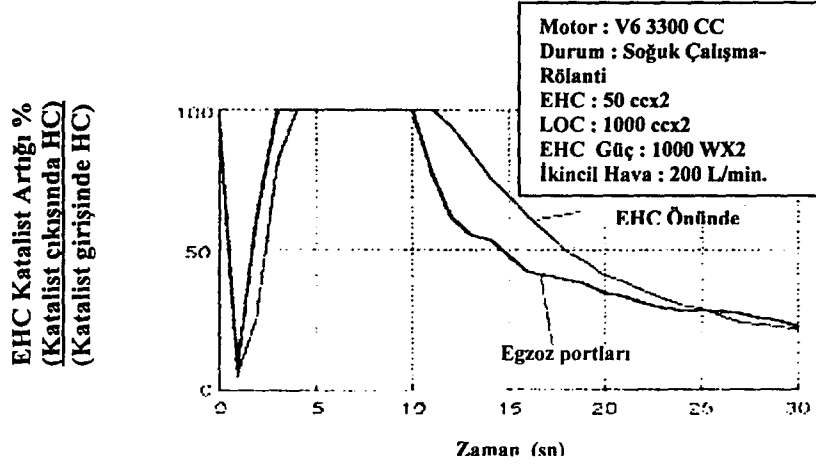
İki hava enjeksiyon pozisyonları için EHC yatak sıcaklığı Şekil 5.8' de kıyaslanarak gösterilmiştir. Egzoz kapılarına ikincil hava enjeksiyonu, 0' dan 10 saniyeye kadar çalışma süresi esnasında yatak sıcaklığındaki artışı hızlandırır. Tersine, ısı salan reaksiyonların daha düşük bir seviyesi ile ilgili olan EHC' lerin önünde ikincil hava enjeksiyonu 10 saniye sonra daha yüksek bir yatak sıcaklığıyla sonuçlanır.

Egzoz manifoldunda ısı salan reaksiyonların daha düşük bir seviyesinin neticesi olarak daha büyük miktarda kalıntı CO yüzünden EHC' lerde artan reaksiyonun ısısına nitelenebilir.



Şekil 5.8. Farklı ikincil hava enjeksiyon pozisyonlu EHC yatak sıcaklığı.

İki ikincil hava enjeksiyon pozisyonları için çalışma katalistlerini ve HC dönüşüm oranında değişim Şekil 5.9.' da gösterilmiştir. Egzoz boruları içine ikincil hava enjekte etmek, katalist aktivitesinin başlangıcını hızlandırır. Bu sonuç keza, HC dönüşümünün başlangıcının hızlandırmak için başlangıç süresinde katalist sıcaklığını artırmanın önemini göstermektedir.

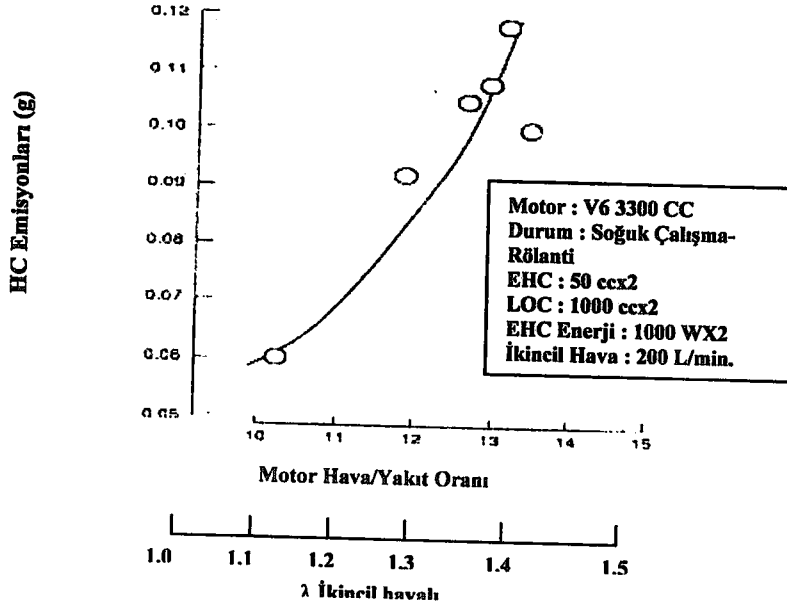


Şekil 5.9. Farklı ikincil hava enjeksiyon pozisyonlu HC Katalist artışı %' si.

Önceki sonuçlar gösteriyor ki EHC' leri içine alan bir emisyon kontrol sistemiyle bile, egzoz manifoldunda ısı salma reaksiyonlarını artırmak için bir yüksek sıcaklık pozisyonunda mümkün olduğunca çok ikincil hava enjekte edilmelidir. Böyle bir yaklaşım, HC emisyonlarını azaltmada daha etkindir.

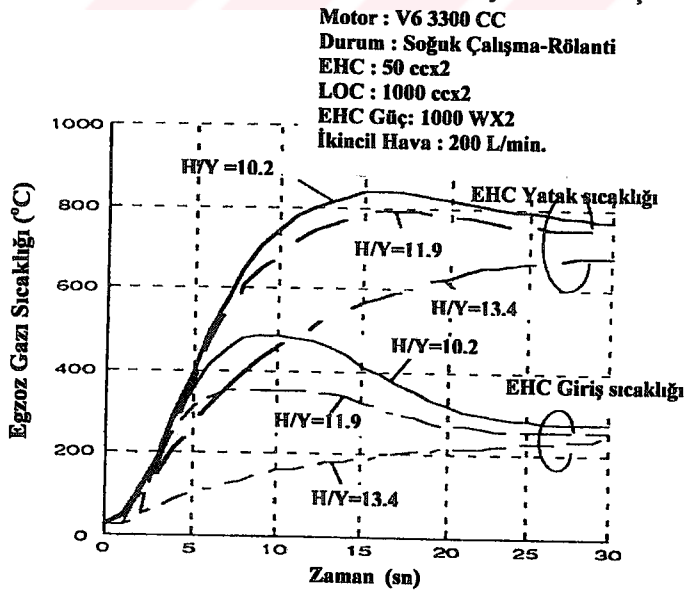
5.3.2 Gelişmiş hava/yakıt oran kontrolü

Soğuk çalışma esnasında motora verilen yakıt miktarı artırma, egzoz manifoldunda ısı salma reaksiyonlarını artırma metodu olarak tetkik edilir. Yakıt miktarı hava/yakıt oranını değiştirmek için artırıldığında, egzoz kapılarına enjekte edilen ikincil hava miktarı sabit tutulmuştur. Şekil 5.10, kuyruk borusu HC emisyonlarında oluşan değişimi göstermektedir. Sonuçlar, besleme arttıkça egzoz kuyruk borusu HC emisyonlarının azaldığını göstermektedir. Bu azalma, artan yakıt miktarı yüzünden daha büyük ısı salma reaksiyonlarından oluşan daha düşük artık HC seviyeleri ve daha yüksek egzoz sıcaklığına nitelenebilir.

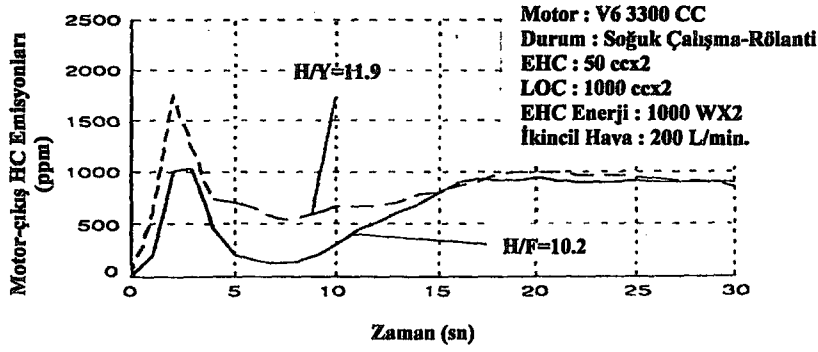


Şekil 5.10. HC Emisyonları (ilk 30 sn.).

Şekil 5.11, yakıt veri miktarında bir artışa ilişkin egzoz sıcaklığındaki değişimi göstermektedir. Yakıt miktarı artırıldıkça EHC girişindeki egzoz sıcaklığı, EHC yatak sıcaklığında daha hızlı bir artışla sonuçlanmaktadır. EHC girişindeki motor çıkışı emisyon seviyeleri farklı hava/yakıt oranı için Şekil 5.12’ de kıyaslanmaktadır. Yakıt miktarını artırma egzoz manifoldunda daha büyük ısı salma reaksiyonu geliştirmiş, böylece EHC girişinde HC seviyesi azalmıştır.



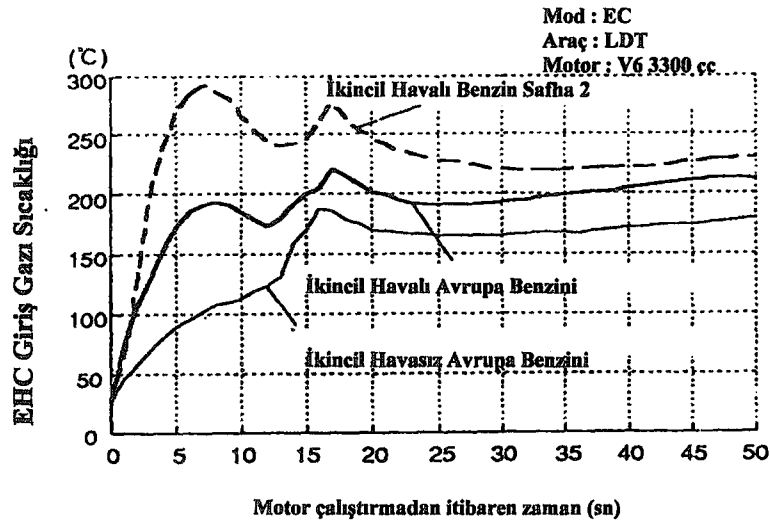
Şekil 5.11. Farklı Hava/Yakıt oranlı egzoz gaz sıcaklığı HC emisyonları.



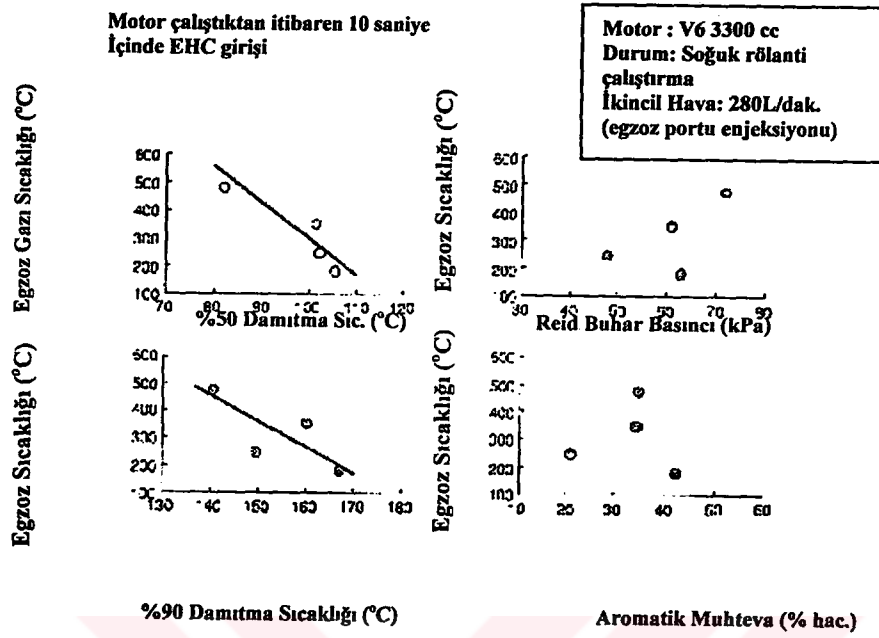
Şekil 5.12. Farklı Hava/Yakıt oranlı motor-çıkış HC emisyonları.

5.4. Benzin Özelliklerinin Etkileri

Kaliforniya Faz 2 yeniden formüllemiş benzin (CP2 RFG) ve şu an Avrupa' daki gazı kullanarak, egzoz ikincil hava enjeksiyonu uygulandığı zaman katalist girişinde egzoz gazı sıcaklığının bir kıyaslaması yapılmıştır. Alınan sonuçlar Şekil 5.13' te verilmiştir. Avrupa gazı kullanıldığı zaman egzoz içine ikincil hava enjeksiyonuyla gelişen ısı salma reaksiyonları yüzünden sıcaklık artışı, CP2 RFG ile gözlenen artıştan daha küçüktür. Motor çalışmaya başladıktan sonra ilk 30 saniye esnasında, egzoz gazı sıcaklığı sonraki yakıtın sadece yarısıydı. Bu farkın sebebini araştırırken, yakıtların aromatik muhteviyatı ve Reid buhar basıncı, %50 ve %90 damıtma sıcaklıklarına dikkat edilmiştir. Egzoz gaz sıcaklığında her bir parametrenin etki derecesi Şekil 5.14' te gösterilmiştir.



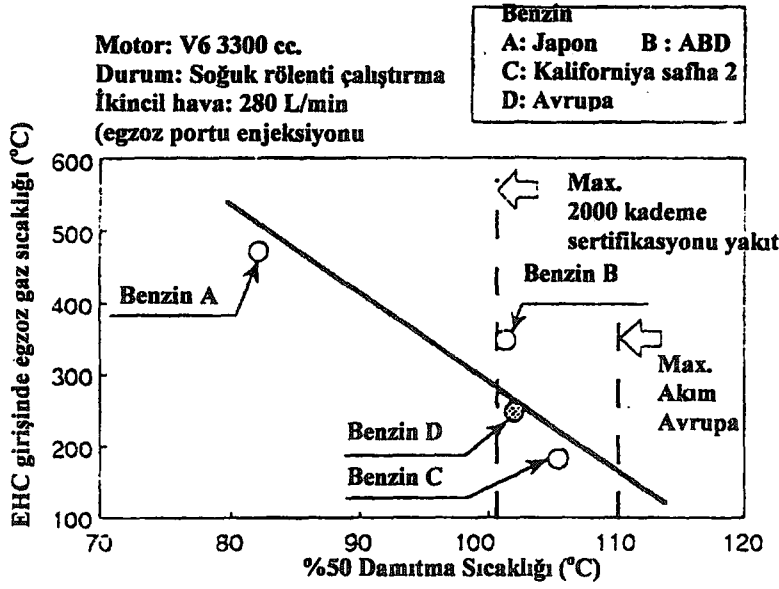
Şekil 5.13. EHC giriş gaz sıcaklığı (Avrupa Gazı-Kaliforniya Safha 2 Yeni Formüllü Benzin).



Şekil 5.14. Yakıt özelliklerinin egzoz gazı sıcaklığı üzerindeki etkisi.

Sonuçlar, damıtma sıcaklıklarıyla (T50, T90) temsil edilen yakıtın buharlaşma (uçuculuk) ile egzoz gazı sıcaklığı arasındaki bir korelasyonu (bağımlı değişkenliği) göstermektedir. Reid buhar basıncı ve aromatik muhteva için veri noktaları, açık bir karşılıklı ilişki göstermemektedir.

Egzoz gazı sıcaklığındaki T50' nin tek başına etkisi birkaç tip benzin için Şekil 5.15' te kıyaslanmaktadır. İncelenen yakıtlar arasında şu andaki Avrupa benzini özellikle zayıf uçuculuk göstermiştir. Bu gösteriyor ki yakıtın uçuculuğu geliştirilirse egzozla ikincil bir enjeksiyonun yararları beklenebilir. Önceki sonuçlar gösteriyor ki benzin özellikleri, egzozla ikincil hava enjeksiyonuyla elde edilebilen soğuk çalışma HC emisyonlarındaki azalmayı belirgin bir şekilde etkileyebilir. Tam azalma etkisini elde etmek için iyi uçuculukta benzin kullanımı gereklidir.

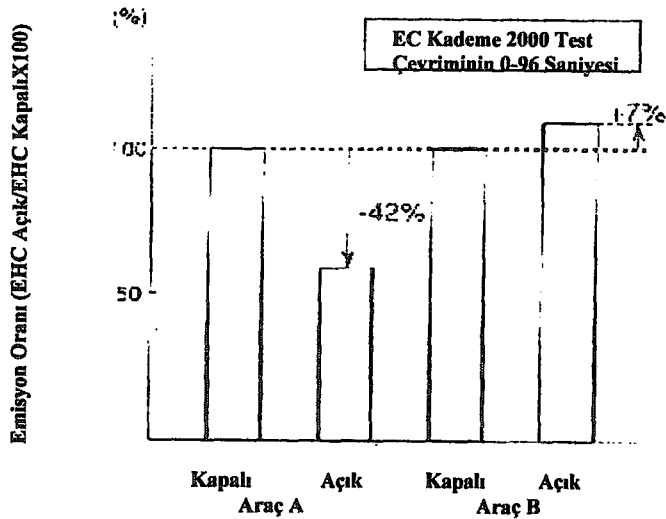


Şekil 5.15. Damıtma özelliklerinin gaz sıcaklığına etkisi.

5.5. EHC Kullanma Metotları

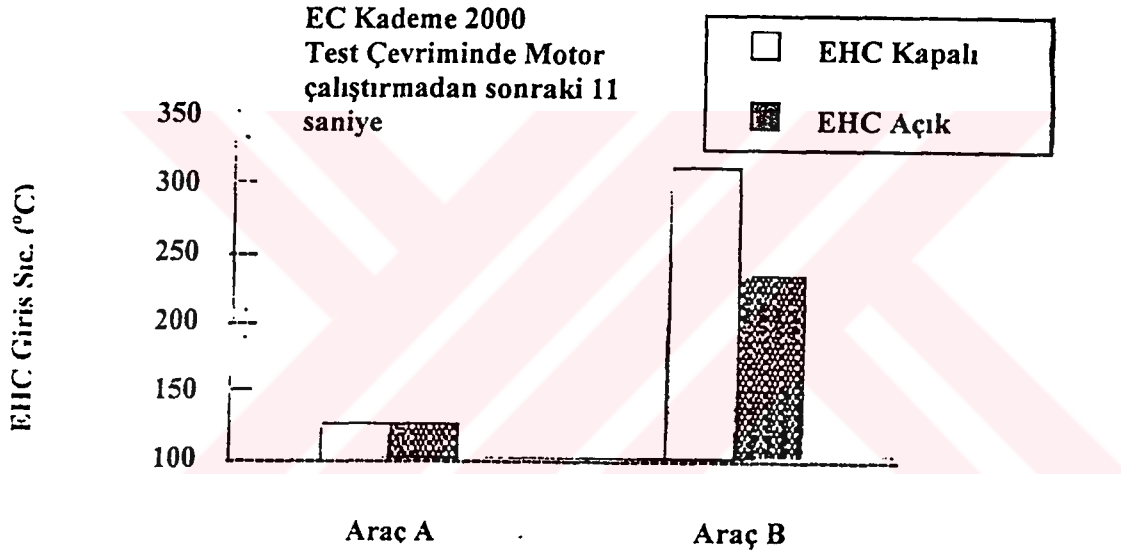
5.5.1. EHC' nin etkileri

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4' te gösterilen egzoz sistemleriyle sırasıyla yerleştirilmiş, A ve B araçları için EHC' lerle elde edilen soğuk çalışma HC emisyonlarında azalmanın bir kıyaslaması yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 5.16' da verilmiştir. Her iki durumda, EHC' leri ısıtma gücü direkt olarak alternatörden alınmıştır.



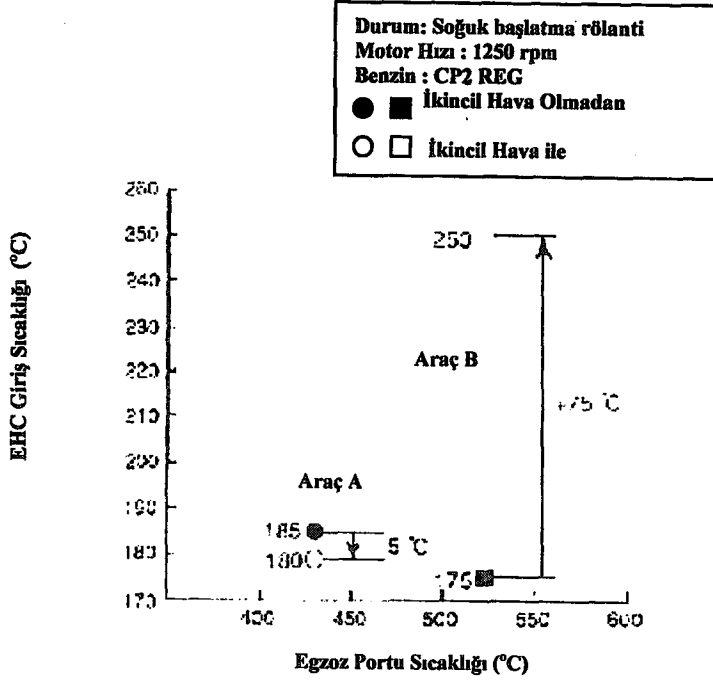
Şekil 5.16. Alternatörden güç alan EHC' nin Açık/Kapalı konumunun HC emisyonları üzerindeki etkisi.

Araç A için, cihazlar kapalı olduğu zaman ölçülen seviyeye mukayesen EHC' ler kullanıldığı zaman, EC test modunun ilk çevriminde (0 ile 195 saniye) HC emisyon seviyesi yaklaşık %40 azalmıştır. Araç B için EHC kullanıldığı zaman HC emisyon seviyesi hafifçe artmıştır. Katalist giriş egzoz gaz sıcaklığında EHC' lerin kullanılması ya da kullanılmamasının etkisinin kıyaslanması Şekil 5.17' de gösterilmiştir. EHC' ler çalıştığı zaman EHC giriş egzoz gaz sıcaklığı, Araç B için belirgin şekilde düşürülmüştür. Fakat Araç A için değişmemiştir. Bu büyük sıcaklık düşüşünün , nicin HC emisyonlarında bir azalmanın Araç B için elde edilmediğine direk sebep olduğu düşünülebilir. Bu sıcaklık farkının sebebi, iki araç arasında ve de EHC' nin açık ve kapalı şartları arasındaki farklar kıyaslanarak ortaya çıkarılmıştır.



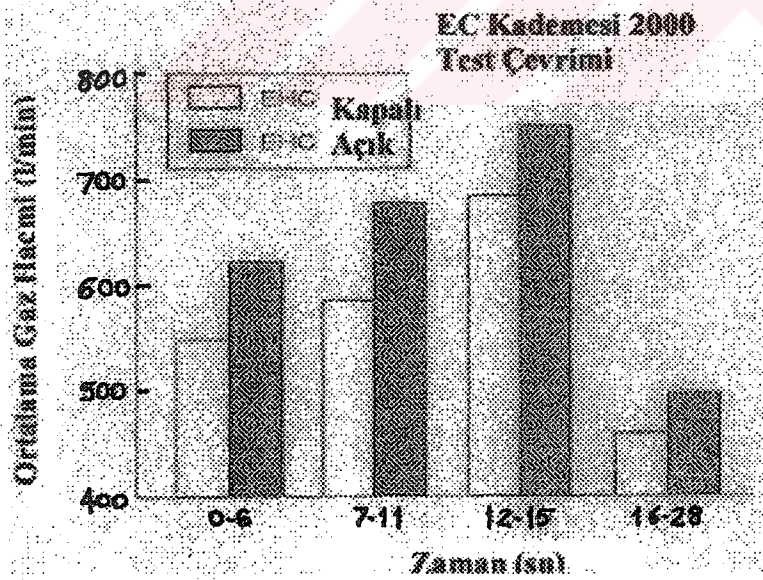
Şekil 5.17. EHC' nin Açık/Kapalı konumu için EHC giriş sıcaklığı.

İki aracın kıyaslanması, mütür çalışmasını müteakiben Araç A' nin egzoz kapısı çıkışında daha düşük bir egzoz gaz sıcaklığını göstermiştir. Halbuki Araç B' nin egzoz gaz sıcaklığı daha yüksektir. Bulunan bir başka farkta ikincil hava enjeksiyonuyla gelişen ısı salma reaksiyonları, Araç B durumunda katalist giriş egzoz gaz sıcaklığında daha büyük bir artışla sonuçlanmıştır (Şekil 5.18).



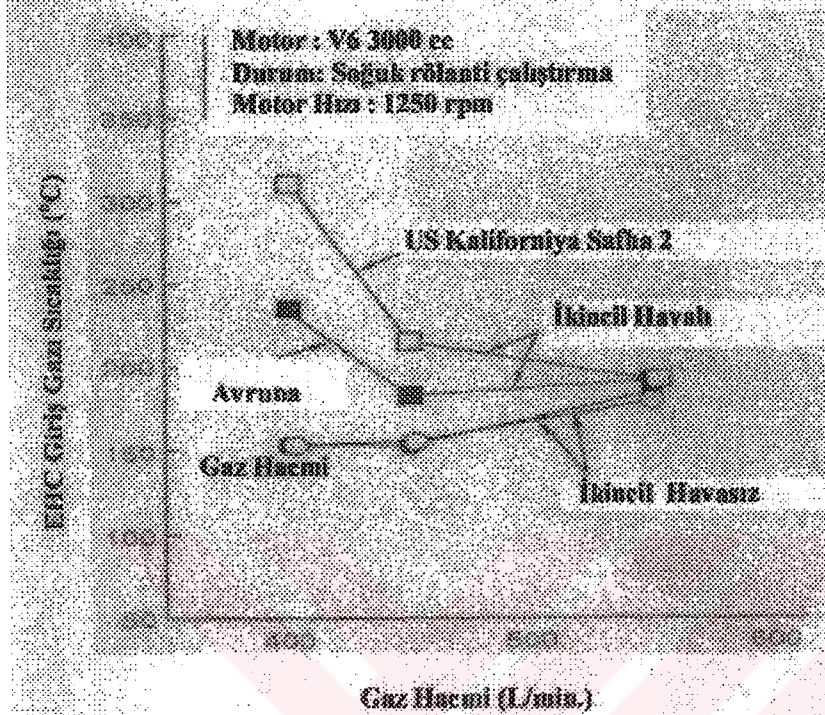
Şekil 5.18. İkincil havanın EHC giriş sıcaklığı üzerindeki etkisi.

Açık durumda EHC' leri ısıtmak için alternatör, 2 kW' lık elektrik gücü üretir ki bu motor yükünü artırmıştır ve egzoz gazı hacminde bir %10-20' lik bir artışla sonuçlanmıştır (Şekil 5.19).



Şekil 5.19. EHC Açık/Kapalı statüsü için gaz hacmi.

Ayrı bir deneyin sonuçları ise artırılmış bir egzoz gazı hacminin egzoza ikinci hava enjeksiyonuyla artan ısı salma reaksiyonlarının oranını azalttığını gösterir (Şekil 5.20).

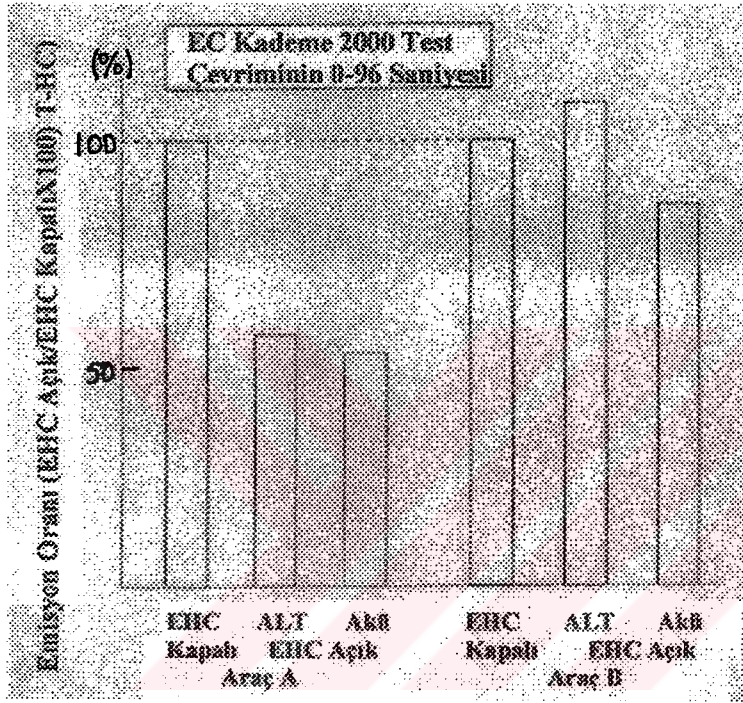


Şekil 5.20. Gaz hacminin ekzotermik reaksiyonlara etkisi.

Bu sonuçlardan alternatör güçlü EHC'lerin Araç A durumunda HC emisyonlarını azaltmakta neden büyük bir etkisi olduğunu fakat cihazın Araç B' de iyi bir etki göstermediğini açıklamak için aşağıdaki sebeplerin düşünülebileceği anlaşılabilir. Açık durumda EHC' yi ısıtmak için gerekli olan güç, alternatör yükünü de artırarak motorun daha büyük hacimli egzoz gazı üretmesine neden olmuştur, bu da ikincil hava enjeksiyonunun ortaya çıkardığı ekzotermik reaksiyonlarının oranını düşürmüştür. Aynı zamanda A aracının egzoz portu sıcaklığından daha yüksek sıcaklığı sahip olmasına bağlı daha büyük ekzotermik reaksiyondan dolayı B arasında da EHC giriş sıcaklığında daha yüksek artış görülmüştür. Sonuç olarak düşen ekzotermik reaksiyon oranı, EHC giriş sıcaklığında büyük düşüş yaratır ve bu da emisyon performansında kötüleşmeye yol açar.

5.5.2. Farklı EHC güç sistemlerinin etkileri

Önceki deneylerin sonuçları, katalist ısıtma için akü sisteminin Araç B için EHC' nin emsiyon azalma etkisini elde etmek için daha uygun olacağını göstermiştir, çünkü egzoz gazının hacminin artmasını önleyecektir. EHC' ler için güç kaynağı olarak akünün kullanılmasında Araç A ve B' nin bir değerlendirmesi yapılmıştır (Şekil 5.21)



Şekil 5.21. HC emisyonlarında EHC güç kaynağı metodu etkisi.

Araç B durumunda, katalist için güç alternatörden verildiği zaman HC emisyon seviyesi azalmıştır. Güç kaynağını aküye çevirerek, EHC sistemiyle HC emisyonunda bir azalma elde edilmiştir. Buna göre, sonuçlar gösteriyor ki, akü ile çalışan bir sistem, egzoz içine ikincil hava enjeksiyonu ile harekete geçen ısı salma reaksiyonlarının yüksek bir oranı ve egzoz kapı çıkışında yüksek bir egzoz gaz sıcaklığına sahip olan araçlar durumunda bir HC emisyon azalması elde etmede daha etkindir.

5.6 EHC kullanarak HC emisyonlarının azaltılması

Bu bölümdü, gelecekte daha sıkı emisyon kanun düzenlemelerini karşılamak amacıyla soğuk çalışma HC emisyonlarını azaltmak için iki teknik olan, egzoz içine ikincil hava enjeksiyonu ve EHC' ler kullanmanın etkin yolları anlatılmıştır. Elde edilen sonuçlardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılır.

- 1- Egzoz içine ikincil hava enjeksiyonuyla artırılan ısı salma reaksiyonlarının uygun kullanımı, bir EHC sistemi uygulandığı zaman soğuk çalışma HC emisyonlarını belirgin miktarda azaltabilir. Aşağıdaki metotlar, ikincil hava enjeksiyonunu kullanmanın etkin yollar olduğunu gösterir.
 - Egzoz kapıları gibi, yüksek bir ısı yerleşimine ikincil hava enjekte etmek, EHC' lerin egzoz manifoldu yukarı akışında ısı salma reaksiyonlarının daha yüksek bir oranının artırmak için çalışır.
 - Soğuk çalışma periyodunda yakıt besleme miktarının artırılması, daha büyük ekzotermik reaksiyonlar ortaya çıkartır, bu da EHC girişinde daha düşük HC emisyon seviyesi ve daha büyük miktarda ısı üretir.
- 2- Yakıt özelliklerinin, ikincil hava enjeksiyonuyla bağlantılı ısı salma reaksiyonlarında büyük bir etkisi vardır. %50 ve 90 damıtma ısılarıyla (T50 ve T90) temsil edildiği gibi yakıt uçuculuğuyla kuvvetli bir ilişki vardır. Bu nedenle benzin uçuculuğunu geliştirmenin soğuk çalışma HC emisyonlarının azaltılması için anahtar bir faktör olması düşünülür.
- 3- EHC' lerin kullanımı soğuk çalışma HC emisyonlarını azaltmada kesinlikte etkindir. Yine de, EHC' lerin azalma etkisini elde etmek için, özellikle yüksek bir egzoz manifoldlarında ısı salma reaksiyonlarının yüksek bir oranı için, katalist için elektrik gücü aküden alınmalıdır. Diğer taraftan bataryalı güç sistemi, alternatörden alınan güç sistemine mukayesen bazı meseleler ortaya koyar. Bunların iki tipik konusu, verilebilen elektrik gücünün düşük miktarı ve akünün

ömrü üzerinde büyük etkisi vardır. Gelecekteki çalışmalarda akü ömrünün artırılması için bir güç sistemini geliştirmek gerekli olacaktır.

Bu çalışmanın sonuçları gösteriyor ki soğuk çalışma HC emisyonlarında belirgin bir azalma elde etmede anahtar bir faktör, egzoz manifoldunda ısı salma reaksiyonlarının en iyi kullanımını yapmaya doğru çeşitli parametreleri ayarlamak olacaktır. Bundan başka, özellikle Avrupa'ya göre bir başka önemli önlem pazarda bulunabilen gaz özelliklerini geliştirmek olacaktır.



BÖLÜM 6

ELEKTRİKLİ MOTOR ISITICILARININ KULLANILMASIYLA AZALTILMIŞ SOĞUK ÇALIŞMA EMİSYONLARI

İsveçli Otomobil Sanayileri, Skandia Sigorta Plc ve Elektrikle ilgili kamu hizmet şirketleri 1995' de otomobillerde elektrikli motor ısıtıcılarının kullanılmasını teşvik etmek için koordineli bir şekilde hareket etmeye başlamışlardır. Esas amaç, soğuk çalışmalarda zararlı emisyonları azaltmaktır. Bu çalışma, katalitik emisyon kontrolü olan arabalarda soğuk çalışma emisyonlarının CO ve HC' nun (FTP 75 çevrimi boyunca toplam emisyonu) %80 kadar olabileceğini gösterir. Motor bloklarındaki elektrik ısıtıcı bu emisyonları %80 kadar azaltabilir.

Elektrikli ısıtıcı, elektriğin %60' ı fosil yakıttan elde edilmiş olmasına rağmen CO₂ emisyonlarını azaltabilir. Bu çalışma, arabalara elektrik gücüne bağlayarak diğer seçenekleri de ortaya koyacaktır. Otoparklara sürekli bağlı olma, akünün doldurulmasını, elektrikli klima kontrollerinin kullanılması, güç hattı bağlantısı yolu ile teşhis sistemlerine, alarm ve park ödeme sistemlerine girebilmeyi mümkün kılar.

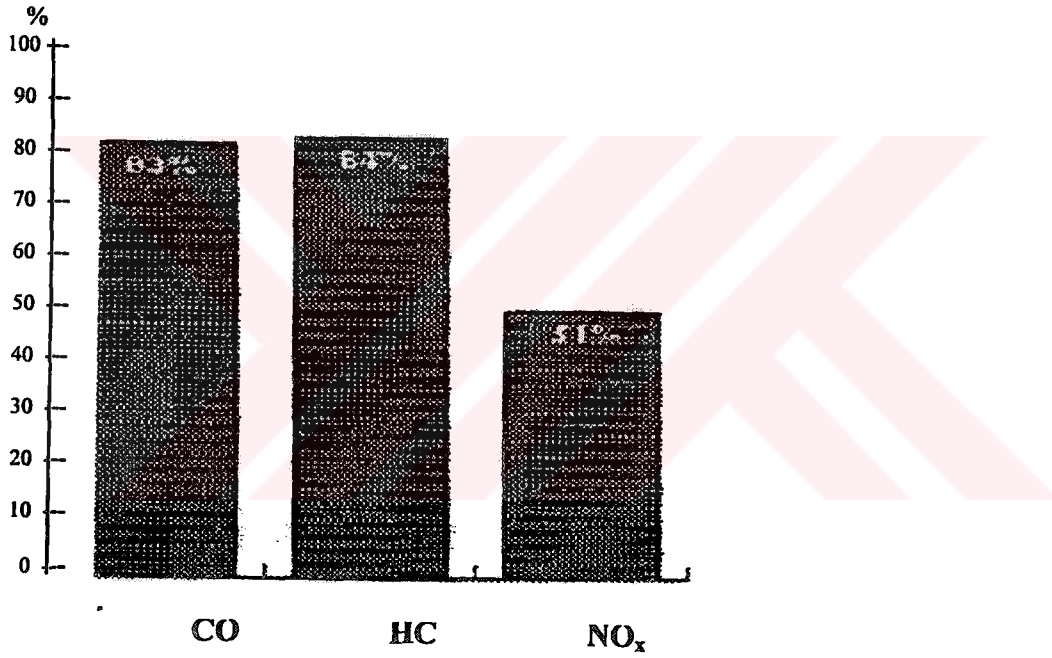
6.1 Motor Isıtıcıları

Rio' daki gelişmelerle ilgili UN Konferansındaki beyannameye göre İsveç'teki yerel yöneticiler, trafiğin çevresel etkilerini azaltmak niyetiyle tedbirler öne sürmüşlerdir. Motor ısıtıcıları için güç çıkışları, İskandinavya' nın Nordic Bölgesi' ndeki yerleşim bölgelerinde ve işyerlerinde zaten bir sorun olarak kabul edilmiştir. Güney İsveç' teki bazı yerel otoriteler, otoparklardaki güç çıkışlarının bir alt yapısı kurulmasının avantajlarını araştırmaktadırlar. Bu geleceğin yarı elektrik arabalarının başlangıcını da kolaylaştırabilir. İsveç' teki üç milyon arabanın üçte biri, çoğunlukla kışın kullanılmak için elektrikli motor ısıtıcılarıyla donatılmıştır. Bununla birlikte yılın

büyük bir bölümünde motor ısıtıcılarını kullanmak ve arabalara elektrik gücünü bağlamak için sebepler vardır (Yolstedt et al 1996).

6.2. Motor Isıtıcılarının Çevresel Faydaları

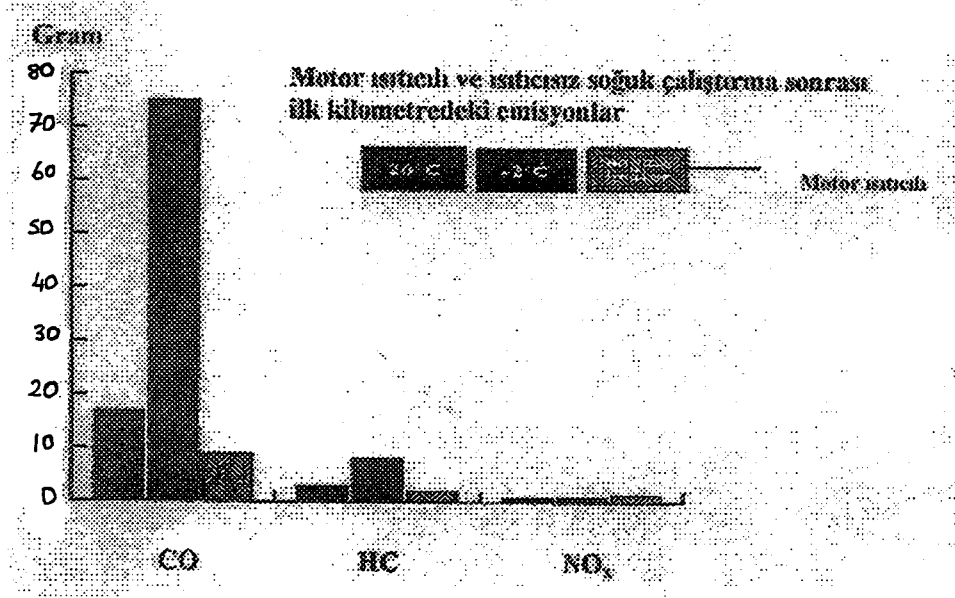
Seyahat örnekleri hakkındaki istatistikler, İsveç’te arabayla ortalama bir yolculuğun 5km olduğunu gösterir. Bu, yaklaşık olarak emisyon testlerinde kullanılan ilk sürüş çevrimlerinde kullanılmasına tekabül eder (FTP 75). Kısa araba seyahatlerinin geniş bir miktarında, soğuk çalışmalarda emisyon yüzdesi, bu sürüş çevrim testlerinde elde edilen sonuçlarla eşitlenebilir.



Şekil 6.1. Sürüş çevriminde toplam emisyon yüzdesi olarak soğuk çalıştırma emisyonları.

6.2.1 Motor ısıtıcılarının soğuk çalışma emisyonlarını azaltması

İsveç Motorlu Araçları Araştırma Şirketi, elektrikli motor ısıtıcılarıyla testler yapmaktadırlar. Altı yolcu arabaları, farklı sıcaklıklarda motor ısıtıcılı ve ısıtıcısız test edilmiştir. FTP testinde ilk kilometrede motor ısıtıcılarının kullanımı CO ve HC miktarlarında önemli düşüşler yapar (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Motor ısıtıcı ve ısıtıcısız 20 °C ve -2 °C’ de emisyonlar (Katalitik konvertörlü altı otomobil için bilgi).

6.2.2. Azaltılmış yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonları

Yakıt tüketiminde motor ısıtıcılarının kullanılmasının etkilerinin ölçümleri, İsveç Motorlu Araçları Araştırma Şirketi tarafından yapılmaktadır. Bu ölçümler en zor Kaliforniya ihtiyaçlarına göre donatılmış yeni arabalar üzerinde yapılmıştır, FTP 75 çevriminin soğuk çalışma safhalarında motor ısıtıcı ve ısıtıcısız yakıt tüketimi karşılaştırılırsa tasarrufu hesaplamak mümkündür. 0,08 litre/start rakamı motor ısıtıcısı -2 °C’ de kullanıldığında elde edilir.

İsveç Yol ve Trafik Araştırma Enstitüsü sıcaklığa bağlı olarak her soğuk çalışmadaki artan yakıt tüketimini ortaya koyar. Norveç Teknoloji Enstitüsü’ nün katalitik değişim olmayan arabalar üzerinde yaptıkları ölçümler, yakıt tüketiminin motor ısıtıcıları -10 °C’ de kullanıldığında 0.1 litre daha düşük olduğunu gösterir. İsveç Motorlu araçları Araştırma Şirketi’ nin ortaya koyduğu başka bir rapor +22 °C’ de yakıt tasarrufunun elde edilebileceğini göstermektedir. İsveç’ te ortalama yakıt tüketimi yeni arabalarda 1993 yılında 8.3 litre / 100km’ dir. Bunun anlamı eğer tüketim %15 artarsa 1.2 litre / 100km artacağıdır. 1987’ de Finlandiya’da yapılan ölçümler motor ısıtıcıları kullanılırsa yakıt tüketimi 0.3 litre/soğuk-çalışma azalır.

Eski modeller, son yeni modellerden daha fazla soğuk çalışma artışına sahiptir. Araba imalatçıları soğuk çalışma emisyonlarını azaltmak için enjeksiyon sistemlerini başarıyla geliştirmişlerdir. Eski ve iyi bakımı yapılmayan arabalarda yakıt tüketimi yeni imal edildikleri zamana göre fazladır. Yine daha eski modellerde ortalama yakıt tüketiminde %10-%30 arasında bir artış olduğu ileri sürülmektedir.

İsveç' te yakıt tasarrufunun yaklaşık olarak 0.2 litre/soğuk-çalışma olduğu bilinmektedir. Otomobil sürücüleri her yıl 300-500 soğuk çalışma yaparlar. Hidro ya da nükleer gücün temel kaynak olduğu İskandinavya, Fransa ve İsviçre gibi ülkelerde CO₂' in azalması motor ısıtıcılarıyla mümkün olacaktır. Elektrikli motor ısıtıcıları 500 soğuk çalışmalarda kullanılırsa CO₂ emisyonlarını her yıl yaklaşık 250kg azaltacaktır. Bu 15.000km' de toplam emisyonların yaklaşık %10' dur.

6.3 Elektrik Besleme üzerine Etkiler

Bugün İsveç elektriğinin %95' i hidro-elektrik veya nükleer güç istasyonlarından elde edilir. Bu yüzden CO₂ emisyonları veya asitli maddeler içermez. İsveç 1970' ten beri CO₂ emisyonlarını %40 azaltmıştır. Uluslar arasında İsveç 2000 yılından sonra CO₂ emisyonlarının artmasına izin vermemeyi taahhüt etmiştir. Diğer Nordic ülkelerinde güç istasyonlarının birleştirilmesiyle sistemde daima yeterli güç vardır.

İsveç' te bir milyondan fazla araba motor ısıtıcısıyla donatılmıştır. Motor parça ısıtıcıları sık sık 600-1200 W' lık sıcak plakalarla ölçülendirilir. Optimum bağlantı zamanı dolaşan sıcaklığa bağlı olarak 30 dakika ile 2 saat arasındadır. Motor ısıtıcılarının bir anda 3 saatten fazla güçle kullanılması doğru değildir.

Mevcut araba nüfusu, sabah ve akşamlara rastlayan zaman periyotlarına bağlı olacaktır. Bütün motor ısıtıcılarının güç endüstrisi tahminlerine göre %50-30' dan fazla aynı anda bağlanabilmesi mümkün değildir. Artan güç ihtiyaçlarında 1 milyondan fazla motor ısıtıcısına göre artan güç ihtiyacı her saniye, birinin motor ısıtıcısı kullandığı düşünülürse 500MW olur. Bugün ortalama bağlantı zamanı 1-2 saattir. Elektronik cihazların kullanımıyla gelecekte ısıtıcıları daha iyi düzenlemek mümkün olacaktır. Bu, ortalama bağlantı zamanını azaltacaktır. Aynı zamanda motor

ısıtıcılarının diğer faydalarını da elde etmek için yılın büyük çoğunluğunda da kullanılmasını umulabilir. Ev işlerinde ve diğer işlerde kullanılan elektrik ısıtıcısının küçük bir yüzdesi demek olan 600-1.000 milyon kWh' tı kapsayan 1.25 saatlik bir bağlantı zamanı kullanılır.

OECD ülkelerinde elektriğin, 3/5 fosil yakıtlardan (kömür, petrol ve doğal gaz) ve 2/5' i fosil olmayan yakıtlardan elde edilir. Motor ısıtıcılarıyla CO₂' nin azaltılması önemsizdir. Fakat diğer faydaları örneğin daha az CO ve HC emisyonları aynı İsveç' teki gibi olacaktır.

6.3.1. Bataryada şarj imali

Bataryada şarj imali olasılığı, araba bataryasının ebadını ve alternatör oranını küçültmeyi mümkün kılacaktır. Araba motorlarında üretilen elektriğin verimi %10-25' dir. Bataryada şarj imali ve motor ısıtıcıları, ateşleme ve enjeksiyon sistemlerini en iyi şekilde kullanmayı gerektirecek ve böylece çok düşük emisyonları ve daha az yakıt tüketimi sağlanacaktır.

6.4. Motor Isıtıcı Kullanımının Faydaları

Soğuk çalışmalar arabalarda yüksek orandaki toplam emisyonların sebebini izah eder. Elektrikli motor ısıtıcılarının kullanımı emisyonları azaltır. Arabaların güç şebekesine bağlanması katalitik değıştiricilerin elektrik ısıtıcılarına da yardımcı olacaktır. İskandinavya, Fransa ve İsviçre fosil yakıtların asıl kaynak olmadığı bu yerlerde CO₂ azaltılması motor ısıtıcılarıyla sağlanabilir. Diğer ülkelerdeki CO₂' nin azaltılması önemsiz olacaktır. Fakat diğer faydaları, örneğin daha az CO ve HC emisyonları aynı olacaktır. Gelecekte arabaları güç şebekeleri kutusuna bağlanacak sisteme yapılan yatırım, yarı elektrikli ve elektrikli araçlar için de kullanılabilir. Güç şebekesi vasıtasıyla sağlanan iki yöllü iletişim alarm, ısı kontrolü ve park ücretlerini ödeme sistemi gibi yeni olanaklar sağlar.

BÖLÜM 7

OTOMOBİLLERDE SOĞUK ÇALIŞMA EMİSYONUNU AZALTMAK İÇİN ELEKTRİKLE ÇALIŞAN KİMYASAL ISITMALI KATALİTİK KONVERTÖR

Otomobiller, genelde 3 yollu katalitik konvertörlere sahip olduğundan egzoz emisyonlarının çoğunluğunu soğuk çalışmayı izleyen motor krankından sonraki ilk 2-3 dakika yayarlar. Katalitik konvertörün katalizör sıcaklığının katalizörün çalışma sıcaklığına yükseltmek kuyruk borusu yayılımını azaltmakta çok önemlidir. Elektrikli Kimyasal Isıtmalı Katalizörün (EICHC) temel alındığı yeni bir ısıtma stratejisinin teknik uygulaması gösterilmiştir. Elektrik ısıtmalı bir katalizör ve püskürtmeli bir ağızlığı birleştirerek bir test cihazı, geniş parametrik bir çalışması için yapılmıştır. Püskürtülen metanol daha önceden farklı sıcaklıklarda ısıtılan EHC' den geçirilir. EICHC ile EHC' deki katalizörün çalışma sıcaklığını elde etmek için gerekli zaman etkili şekilde azaltılmıştır. Katalitik konvertörü kimyasal yolla ısıtmak için metanol kullanımı elektrik enerjisi ihtiyacını oldukça düşürmüştür. Metanol ve diğer organik kimyasalların katalitik konvertör yüzeyindeki katalitik oksidasyonu alevsiz, kontrol edilebilir, anlık ve egzotermiktir.

7.1. Katalitik Konvertör Teknolojisindeki Değişiklikler

Petrolle çalışan araçlar egzozlarının çoğunu soğuk çalışmayı izleyen motor krankından sonraki ilk 2-3 dakikada yayarlar. Bir soğuk çalışma sırasındaki yüksek motor egzozu öncelikle iki faktöre bağlıdır. Yetersiz yanma ve çevre sıcaklığında etkisiz katalitik konvertör. Federal Düzenleme Yasaları (CFR) soğuk çalışmayı bir aracın 20-30 °C' lik sabit sıcaklıktaki 12-36 saat tutulduktan sonraki motor çalışması olarak tanımlar. Yine de iklim koşullarına bağlı olarak araçların bulunduğu çevre sıcaklığı -30 °C' den 30 °C' ye kadar değişebilir. Donma noktasına yakın ya da altında olan motor soğuk çalışmaları emisyonları önlemek açısından özellikle

önemlidir. ABD' de ve özellikle Kaliforniya' da uygulanan yeni emisyon düzenlemeleri 2004'ten önce çevre kirleten maddeleri daha fazla kısıtlama getirmektedir. Gittikçe sıkılaşılan emisyon standartları ayırıcı Bölüm 2' de belirtildiği gibi Avrupa Birliği tarafından 2000'e kadar EU Safha III ve 2005' e kadar EU Safha IV şeklinde önerilmiştir.

Geçmişte otomobil üreticileri, kıvılcım tutuşturmalı motorlardan yayılan atıkları azaltmak için katalitik konvertörleri çok kullanmışlardır. Yeni sıkı egzoz düzenlemelerine uymak için mevcut katalitik konvertör teknolojisinde değişiklikle gerekecektir. Bir katalitik konvertörün sıcaklığının soğuk çalışma koşullarında hızla katalizör çalıştığı andaki sıcaklığına çıkarmak, egzoz kuyruk borusu emisyonlarını düşürmekte çok önemlidir. Son on yılda hızlı katalizör çalışma sıcaklığını elde etmeyi amaçlayan bir çok teknik bulunmuştur.

7.2. Hızlı Katalist Çalışmasını Elde Etmekte Kullanılan Yöntemler

Katalizör çalışmasını elde etmede kullanılan bilinen bir yol da katalitik konvertörü motora yakın yerleştirmektir. Katalitik konvertörü motora yakın yerleştirilerek egzoz gazının ısısı erken çalışmayı elde etmek için kullanılır. Bu tür birleştirilmiş katalitik konvertörlerin normal motor işlemlerinde yüksek sıcaklıklara dayanması gerekir. Başka bir yol da bilinen döşeme altı katalitik konvertör, termal enerjinin motor durduktan sonra koruması için vakumla yatılıdır. Katalizörün motor çalışırken aşırı ısınmasını önlemek için yatımın termal iletkenliği değişken olacak şekilde tasarlanmıştır. Faz değişimli materyal ısı depolanmasını artırmak için katalitik konvertörün yapısında bulunur. Bu metod yeterli enerjiye sahip olmasına rağmen 20 saati aşan periyotlarda araç nem emmesi için belli bir ısı kaynağı gerektirir.

Motorun soğuk çalışma süresince yayılan hidrokarbonları yakalamak için zeolitleri kullanan hidrokarbon tuzakları tasarlanmıştır. Düşük sıcaklıklarda zeolitler, hidrokarbonları egzoz gazından adsorbe ederler. Isı yükseldikçe zeolitler hidrokarbonları ayrıştırır. Hidrokarbon tuzaklarındaki ana sorun hidrokarbonların termal ayrışmasının daha katalitik konvertör çalışma sıcaklığına ulaşmadan başlamasıdır. Aktif sistemler, katalitik konvertörü istenen sıcaklığa, hızla önceden

ısıtmak için depolanmıştır. Tekniklerin hepsi enerji kaynağı gerektirir. Elektrikle ısıtılan katalitik konvektörler (EHC), otomotiv endüstrisinin en çok ilgilendiği sistem olmuştur. Elektrik gücü, ana katalitik konvertörünün önüne yerleştirilmiş düşük çalışma katalitik konvertörün küçük bir bölümü ısıtmak için SLI bataryalarından sağlanır. Yine de EHC ile ilgili yüksek enerji ihtiyacı ticarileşmesini engellemiştir. EHC 2 kW ve en az 20 saniyede 150-250A' dan yüksek akım gerektirir. Ford Motor Co. son olarak alternatörle güçlendirilmiş EHC sisteminin (APEHC) kullanımını önermiştir. Alternatör 3kW'a kadar yükseltilebilir voltaj düzeylerine çıkabilir ama APEHC sistemlerini otomobillere uygulanması araçların elektrikli parçalarının önemli ölçüde değişimini gerektirir.

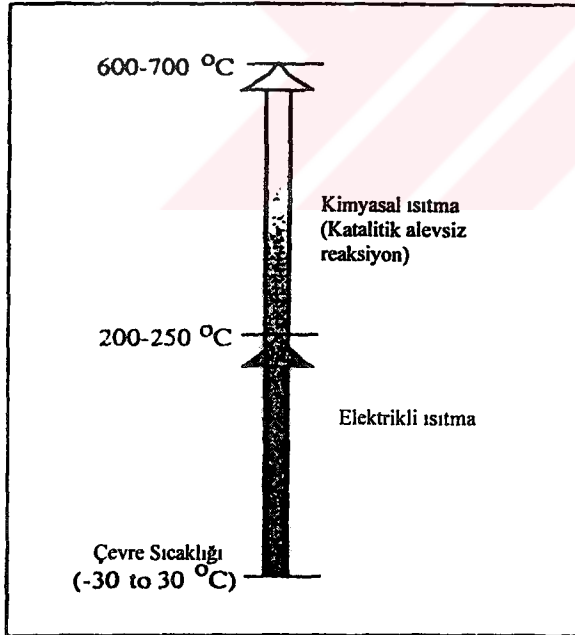
Bir Egzoz Gazı Ateşleme (EGI) sistemi kullanılarak, ana katalitik konvertörü egzoz gazındaki fazla hidrokarbonların yanmasıyla ısıtılır. Bir yanma odası, bir hararet tapası ve bir sıcaklık alıcısı iki katalizör sütununun arasına yerleştirilir. Soğuk çalışma sırasında motor işlemi, daha fazla yakıt hava karışımı sağlamak için altı saniye değiştirilir. Egzoz gazı ikincil havayla stokiometrik yoldan seyreltilir ve çıkan karışım yanma odasında ateşlenir. EGI sistemi yüksek HC çevriminde verimli görünmektedir.

Katalitik konvertörü ısıtmakta kullanılan, egzoz sistemine eklenen yakıtın ateşlenmesine dayanan brülör ısıtmalı katalizör (BHC) yapılmıştır. (BHC) sistemi ana katalitik konvertörün önünde bulunan ayrı bir yanma odası, yakıtta daha fazla oksijen sağlamak için bir hava üfleyici, ateşleme elektrotları, yakıtı atomize etmek için bir ağızlık ve yanma sürecini başlatmak ya da bitirmek için katalitik konvertörün içinde bir sıcaklık alıcısının birleşmesinden oluşur. Her soğuk çalışmada 7 cm³ yakıtla en az 20 saniyede 13kW' lık güç elde edilir. Egzoz borusundaki alevli ateşleme sistemi (EGI' daki gibi) sütunlarındaki yüksek ısı indüklemeli termal şoklar ve termal düşüş, katalizörün katılaşması ve egzoz borusundaki yanmadan doğan titreşimler gibi sorunların artmasına neden olur.

7.3. Katalitik Konvertörleri Isıtmak için Yeni Bir Yöntem

Katalitik konvertörün elektrikle ısıtılması, soğuk çalışma emisyonunu en aza indirmek için kullanılan ileri teknolojilerden biri sayılmaktadır. Bununla beraber en az 20 saniye yüksek akım (150-250 Amp) gerektirmesi özellikle soğuk hava koşullarında güvenilirliğini zorlamaktadır. Kısa gezilerde kullanılan bir araç EHC' e güç sağlayan bataryaları tekrar doldurmak için gerekli zamanı bulamaz. Kurşun asit bataryalarının iç direnci, soğuk sıcaklık koşullarında yükselerek alınan akımın sınırlı olmasına neden olur. Ayrıca EHC ile katalizör çalışma sıcaklığını sağlamada gereken zaman EHC ünitesine sağlanan gücün büyüklüğüne bağlı olarak 15-20 saniyeyi bulur. EHC ünitesine sağlanan gücü artırmada çalışma zamanını azaltmak için daha fazla gelişme için çalışılmaktadır (Murphy et al 1999).

Bir katalitik konvertörün neredeyse anında ısınması için bulunan yeri bir strateji EICHC' e dayanır. Katalizör çalışma sıcaklığı kimyasal ısınmanın izlediği elektrikli ısınmayla elde edilir (Şekil 7.1.).



Şekil 7.1. EICHC, iki aşamalı ısıtma prosesi.

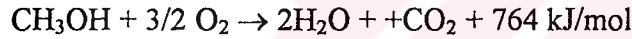
Birleşik EICHC yönteminde bir EHC değiştirici modülü orta sıcaklıkta sonra da belli yakıtların (ya da organik kimyasalların) egzotermik katalitik oksidasyonu kimyasal olarak ısıtılır. Elektrikle ısıtmayı katalizör çalışma sıcaklığından çok daha

düşük ısıyla sınırlamak bataryadaki veya alternatördeki güç boşalmasını azaltır. Bazı organik kimyasallar düşük sıcaklıklarda oldukça dağınık asil metal-katalizör yüzeyinde hızlı kinetik katalitik oksidasyona girme özelliğine sahiptir ve büyük miktarda ısı yayarlar (Tablo 7.1).

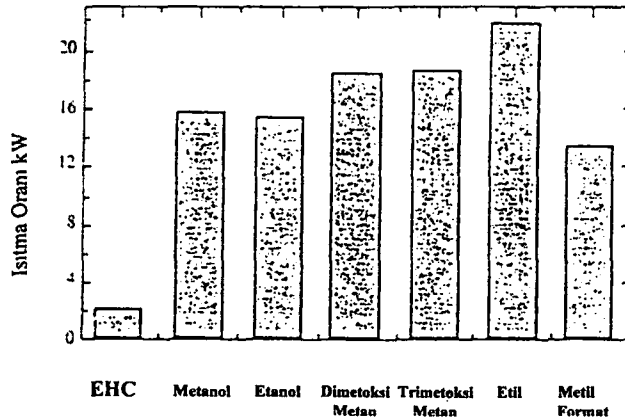
Tablo 7.1. EICHC' e uygun organik kimyasallar.

Organik Kimyasallar	Erime Noktası, °C	Kaynama Noktası, °C	Otomatik Ateşleme Sıcaklığı °C	Yanma Isısı, kJ/kg
Metanol	-98.0	64.1	463.9	23,889
Etanol	-114.1	78.5	422.3	23,434
Dimetoksimetan	-105.0	41.0	237.1	25,565
Trimetoksimetan		101.0		22,926
Metil Format	-99.8	31.5	456.0	16,275
Etil Eter	-116.3	34.6	180.0	36,774

Örneğin metanolün katalitik oksidasyonu:



Bir mol metanol katalitik oksidasyona girdiğinde 764 kJ/mol 'e ulaşır. Metanolün 1mL' deki enerji 18.9. kJ eder. Dakikada 40 mL metanol beslemesi, katalitik konvertöre 12.6 kW ısınma oranı sağlar. Oran, dakikada 50 mL' ye yükseltildiğinde ısınma oranını 15.7 kW' a çıkarır. Dakikada 50 mL ile enjekte edilen çeşitli organik kimyasalların ısınma oranı Şekil 7.2' de gösterilmiştir.

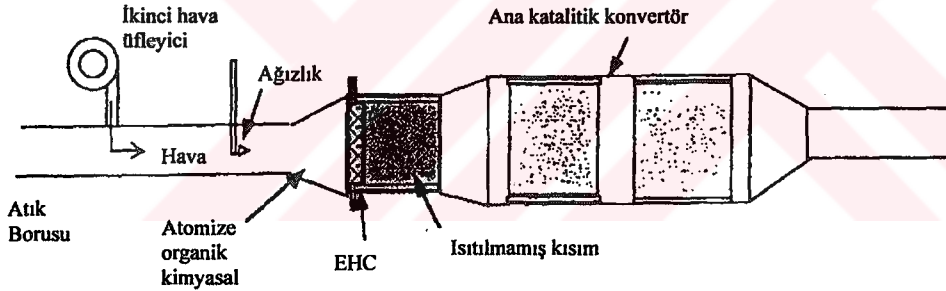


Şekil 7.2. Hava akımına dakikada 50 ml enjekte edilen organik kimyasalların ısınma oranlarının karşılaştırılması.

Bu oranlar, katalitik konvertörün 2kW' ta ısıtıldığı 8 bu seviyede bile bataryalarda aşırı güç çeker ve daha uzun çalışma zamanı sağlar) EHC' lerle kıyaslanmalıdır. Yeni EICHC' de organik kimyasallar yüksek enerji yoğunluğuna sahip olduğundan yüksek ısı oranları alınabilir. Daha da önemlisi yüksek ısı oranları enjekte edilen kimyasalın alevli yanması sağlanmadan elde edilmesidir. Böylece yanma odasında egzoz borusunda yüksek ısı oranlarını elde edilmek ihtiyacı duyulmaz.

7.4. EICHC'nin Bir Otomobile Uygulanması

EICHC sisteminin araçlara uygulanması için kullanılan yöntem Şekil 7.3' te gösterilmiştir. Şeklin sonunda ikinci hava desteği ve organik kimyasalların eklenmesi için gerekli öğeler çizilmiştir. Şeklin ortasında hızlı bir çalışma katalize olmuş sütün EHC ile birlikte kullanılmıştır. Ana katalitik konvertörün önüne yerleştirilen hızlı çalışma konvertörüyle çalışma sıcaklığına EHC' de sonra ısınmayan kısımda ve son olarak ana katalitik konvertörde ulaşılır.



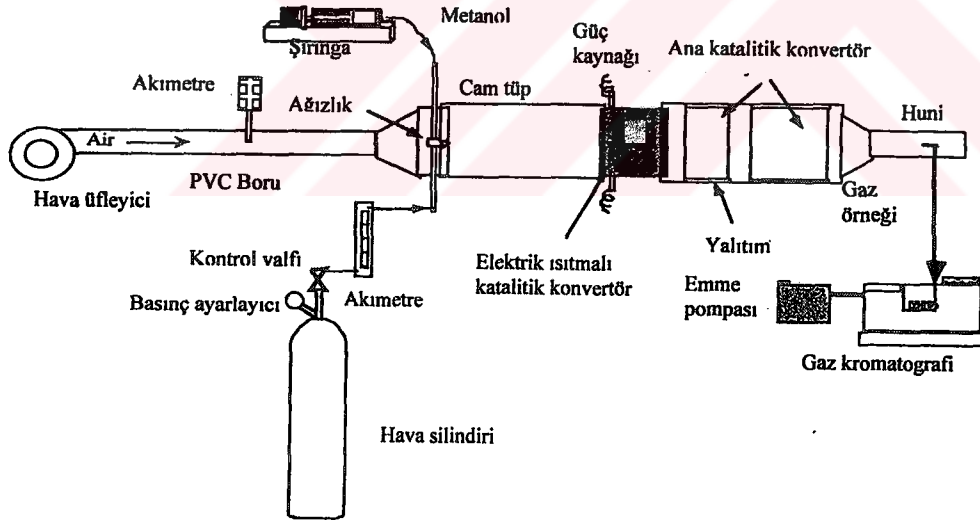
Şekil 7.3. EICHC sisteminin bir aracın egzozu.

Hava bir körükten sağlanabilir ve organik kimyasal iyi damlaları üretmek için bir ağızlık atomize edilir. Küçük damlalar, yüksek yüzey hacmi yaratır ve daha homojen hava/yakıt karışım sağlamak için hızla buharlaşır. Bir kimyasalı ya dışarıdaki bir basınç pompasıyla ya da hava akımının verdiği emme etkisiyle atomize edebilen çeşitli ağızlık türleri ticari olarak mevcuttur. İlk durumda kimyasalın miktarı pompanın basıncıyla belirlenir. Sonraki aşamada kimyasal çekim ya da sifonla beslenebilir ve akış oranı hava basıncıyla, hava akımı oranıyla ve kimyasal basınçla kesinleşir. Ağızlık egzoz borusunun içine ortak merkezli olarak konabilir, böylece hava-yakıt karışımını püskürmesi direkt olarak ısınmış EHC' nin ön yüzeyine çarpar.

Bir aracın soğuk çalışma süresince EICHC kullanarak EHC bataryayla ya da alternatörle orta ısıya getirilir (kimyasala bağlı olarak 150-225 °C). Önce EHC istenen sıcaklığa ulaşıldığında elektrik kesilir ve aynı anda ikinci hava akımıyla organik kimyasal enjeksiyonu püskürtmeye başlar. Organik kimyasalın katalitik oksidasyonundan doğan ısı EHC' yi sadece elektrikle ısıtmadan çok daha hızlı sönecektir.

7.4.1. Deney test düzeneği

EICHC' nin uygulanabilirliğini geliştirmede kullanılan deney cihazı Şekil 4' te gösterilmiştir. Cihaz hava ve yakıt devir öğeleri, püskürtmeye sağlayan havayı atomize eden bir ağızlık, iki katalitik konvertörden oluşur. Deney cihazları: metalik sütun, iki seramik sütunlu katalitik konvertör, gaz akımındaki kısmi oksidasyon ürünlerini tarayan bir gaz kromatografi, programlanabilir faz örnekleme çevrimi, sıcaklığı kaydetmek için bir veri kütüğü, hava akım oranını ölçmek için bir akımmetre.



Şekil 7.4. EICHC sistemi için deney cihazı.

Birleşik ısınan ve ısınmayan metalik alt tabaka içeren entegre EHC ünitesi W.R Grace & Co. tarafından yapılmıştır. EHC' e gereken elektrik gücü güç tesisatıyla sağlanır (model DCS40-75, Sorenson).

Bir otomobil katalitik konvertörü iki dairesel seramik sütunlarını çıkarmak için açılır. Seramik fiber yalıtım (fiberfrax) seramik sütunlarının dışına uygulanır. İki sütun 30 mm arayla 101.4 mm iç çapında, 240 mm uzunluğunda Pyrex cam tüpe konur. Entegre merdiven düzeni yaratmak için aynı cam tüpün girişine bağlanır (Şekil 7.4.).

Bir hava üfleyicisi (modul 11700700, Ametek) 38.1 çapında, 1.1 uzunluğunda bir PVC boruya hava vermek için kullanılır. Hız ölçer bir alıcısı olan bir akımetre, (model FMA900 OmEGI), hız alıcısının ucunun borunun merkezine gelmesi için boru içinde yanal olarak yerleştirilir. Akımetre borunun merkezindeki hızı ölçmek için kullanılır ve borunun girişinden 762 mm uzağa yerleştirilir. Akımetre, üfleyiciden 10 boru çapı kadar uzağa yerleştirildiğinden akımetreden geçen havanın tamamen işlendiği varsayılabilir. Merkezi hava hızının ölçümü böylece hava akım oranının kesinleşmesini sağlar.

Atomize metanol püskürtmesini sağlamak için bir ağızlık PVC sorunun sonundaki bir PVC indirgeçe eklenir. Metanol ve sıkıştırılmış hava ağızlığa iki yan girişten dolar. Ağızlık, organik kimyasalın atomizasyonu ile oluşan püskürtmenin direkt olarak EHC' nin ön yüzüne çarpması için PVC indirgecin merkezine yerleştirilir. 101.4 mm çapında ve 230 mm uzunluğunda başka bir cam tüp, EHC' nin ön ısıtması gibi püskürtme örneğinin görünürleşmesi için PVC indigece ve EHC arasına yerleştirilir. Bir şırınga pompası (model 362, orion) diğer kimyasallar gibi metanolün istenen oranda ağızlığa itilmesinde kullanılır. Metanolün atomizasyonunda gereken pava, hava basıncı yaklaşık 40 psi' ye ayarlı silindirden sağlanır.

7.4.2. Kısmi oksidasyon ürünlerinin konsantrasyonlarının ölçümü

Gaz akımındaki metanol oksidasyonu ölçümü için programlanabilir bir gaz örnekleme çevrimi ana katalitik konvertörünün çıkışına eklenir (Şekil 7.4.). Geniş bir huni, ana konvertörü içeren cam tüpe yerleştirilir. Gaz akımının 1 mL' lik örneği bir gaz kromatografi sütunundan geçirilir (model HP5890A Hewlett Packard). Sütunun çıkışına eklenen emme modunda bir vakum pompası bulunur (model 001 101 AA).

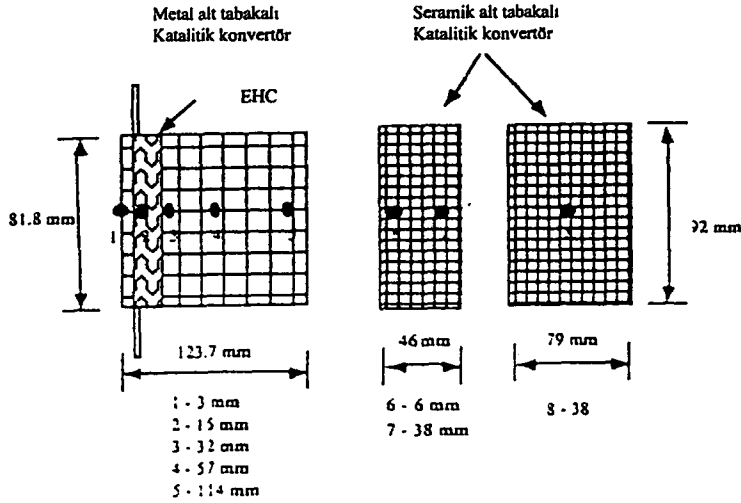
Gaz örnekleri gaz kromatografinin içindeki bir alev iyonizasyon detektörüyle (FID) analiz edilir. Porapak Q ile kaplanmış, 1.83 m uzunluğunda, 3.2 mm dış çapında paslanmaz çelikten bir sütun ayrışması için izotermal olarak 90 °C' de kullanılır. Bir metanizer (model HP19205A) taranmayan ve düşük konsantrasyonlu örneklerin metana çevrilmesi için sütuna eklenir. Bu birleşme 375 °C' de uygulanır. FID ve enjektör sıcaklıkları sırayla 350 °C ve 100 °C' ye ayarlanır.

Saf Helyum dakikada 30 mL'lik akış oranında taşıyıcı gaz olarak kullanılır. Her biri 1 mL oranında 10 gaz örnek çevrimi bir otomatik valf düzeniyle toplanır. Gazların yoğunlaşmasını önlemek için 1 mL gaz örneği içeren cam tüpler ısıtılıp 100 °C' de tutulur. Otomatik valf düzeni programlanabilir bir toplayıcı tarafından (model 440 Dionex) narekete geçirilir. Gaz örnek oranları entefratör tarafından önceden belirlenen değerlere kayarlanabilir ve gaz kromatografına enjekte edilebilir. Kromatografik veriler gaz örneklerindeki kısmi oksidasyon ürünlerinin konsantrasyon değerlerini bulmak için tasarlanıp bütünleştirilir.

Reaksiyona girmeyen metanol ve/veya kısmi oksidasyon ürünlerini bulmak için sulandırılmış formaldehit, metil format ve metanol örnekler 90 °C' de kalmalarını sağlamak için gaz kromatografına enjekte edilir. Gaz kromagrafi kullanıldığında, CO ve CO₂ çözümediği için CO varlığı belirlenemez.

7.4.3. Katalitik konvertör sütunlarındaki çözülen ısı ölçümleri

Entegre bir EHC ünitesi ve ana katalitik konvertürünün iki adet sütunundan oluşan katalitik konvertör kademesi Şekil 7.5' te gösterilmiştir. EHC ünitesi 81.8 mm çapında, 123.7 mm boyundadır. EHC metal yaprak, ısınmayan bölüm içinden, yaklaşık ön uçtan 5 mm sarılmış ve 12.7 mm genişliğindedir. EHC' nin hem ısınan hem de ısınmayan bölümleri oluklu metal alt tabaka oluşur ve 160 cpsi hücre yoğunluğuna sahiptir. Beş ince kaplamalı K-tipi ısı ölçücüsü EHC ünitesinde ön uçtan merkez eksene 3 mm, 16 mm, 32 mm, 57 mm ve 114 mm yakına yerleştirilir.



Şekil 7.5. EHC' de ve ana katalitik konvertörlerdeki birleşik ısı ölçücüsü yerleşimi.

Ana katalitik konvertörün 400 cpsi yoğunluğundaki iki merkezi seramik sütunları 92 mm çapındadır. Bir sütun 46 mm genişliğinde diğeri de 79 mm genişliğindedir. Ana katalitik konvertördeki sıcaklığı ölçmek için k-tipi çıplak kabloları olan üç ince ölçütlü ısı ölçücüsü, sütunların içine yerleştirilir. İki ısı ölçücüsü daha kısa olan sütuna ön uçtan 6 mm ve 38 mm uzağa konur. Daha uzun olan sütuna bir ısı ölçücüsü ön uçtan 38 mm uzakta ortaya yerleştirilir. Isı her 0.25 saniyede bir 8 kanallı yüksek hızlı veri kaydediciyle kaydedilir.

7.4.4. Deney prosedürü

EICHHC kullanılarak katalitik konvertörleri ısıtmanın iki yarı yolu vardır. Elektrikle ve kimyasal. EHC' nin belli bir sıcaklığa çıkarılması metanolün tamamen katalitik oksidasyon için gereklidir. Elektrikli ısıtma kimyasal enjeksiyondan önce EHC istenen ısıya ulaşana kadar sürdürülebilir.

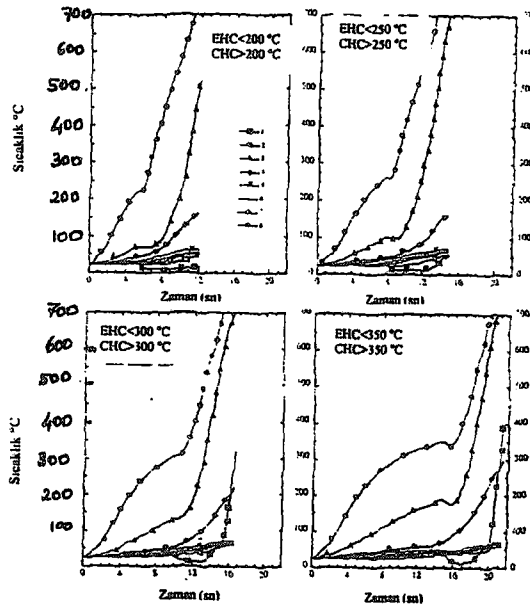
Şekil 7.4' te gösterilen test düzeni kullanıldığında hava önce içinde akım oranının ölçüldüğü PVC boruya itilir. Tüm deneylerde üfleyicide ve memede 20 °C ve atmosfer basıncında toplam hava akım oranı dakikada 325 L üretecek şekilde ayarlanmıştır. Daha sonra hava EHC ünitesinden ve ana katalitik konvertörden geçer. Elektrikli ısıtmadan metanol enjeksiyonuna anında geçişi sağlayan ir elektronik kontrol ünitesi yapılmıştır. Hava akım oranı öncelikle istenen oranı sağlamak için ayarlanır. Elektrikli ısıtma maksimum güçle (2.1 kW) çalışmaya başlar. EHC' de

istenen sıcaklığa ulaşıldığında elektrik gücü elektronik olarak kesilir ve anında şırınga önceden belirlenen oranda metanol beslenmesi için çalışır. Sıvı metanol (ve diğer organik yakıtlar) oda sıcaklığında enjekte edilir; yani ağızlıktan dağılan metanol oda sıcaklığındadır. Metanolün atomizasyonu için gerekli havanın akış oranı metanolün besleme oranına bağlı olarak dakikada 30 L' den 50 L' ye kadar değişir.

On gaz örneği 3 saniye arayla otomatik, numune alıcı tarafından gaz akımından çekilir ve sonra da gaz analizi için FID' ye girer. Atık metanol ve/veya 10 örnekten kalan kısmı oksidasyon ürün seviyeleri her turda metanol çevrimi faktörünü belirlemek için birleştirilir.

7.4.5. EHC ünitesini elektriksel olarak önceden seçilen sıcaklığa kadar ısıtılmasından sonra yapılan kimyasal enjeksiyon

200 °C, 250 °C, 300 °C ve 350 °C farklı EH sıcaklıklarındaki metanol enjeksiyonunun etkileri Şekil 7.67 da gösterilmiştir. 2.1 KW'lik elektrik ısınma oranı, hava üfleyici çalıştırılmadan hemen önce uygulanır. Elektrikli ısınma süresince ısı kısmen ısınmamış bölüme uygulanmasına rağmen birleşik EHC ve ana katalitik konvertörün ısınmayan kısmının çoğu oda sıcaklığına yakın derecede soğuk kalır. Şekil 7.6' daki gibi elektrikli ısınma ısının üstel olarak artmasına neden olur.



Şekil 7.6. Birleşik elektriksel ve kimyasal ısıtma yaklaşımındaki sıcaklık-zamanlı profiller.

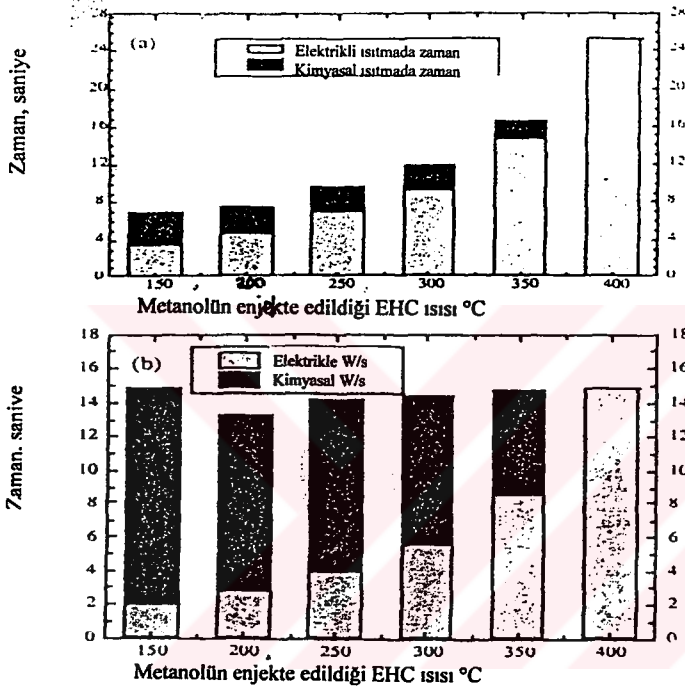
Metanol EHC istenen ısıya ulaşınca hemen enjekte edilir. Bununla beraber elektrik kaynağı, metanol enjeksiyonun başladıktan sonra kapatılır. Metanol ve havanın akım oranları 20 °C ve atmosfer basıncında hava/yakıt oranı 1.64' de dakikada 50 mL ve 325 L' dir. Metanol enjeksiyonuyla ısı ölçücüsü 2 (EHC' nin içind) ve 3 (EHC' e yakın ısınmayan bölümde) sıcaklıklarda şiddetli artış gösterir. Bu reaksiyona girmeyen metanolün bir kısmı ve kısmi oksidasyon ürünlerinin EHC' de işlediğini ve birleşik EHC' nin ısınmayan kısmının katalize olan yüzeyinde reaksiyona girdiğini doğrular. EHC' deki sıcaklık metanol enjeksiyonuyla anında yükselir. Yine de ısınmayan kısımdaki sıcaklık, düşük katalize olmuş yüzey sıcaklığına bağlı olarak metanol enjekte edildiğinde küçük bir gecikmeyle artar. Ön uçta yer alan ısı ölçücüsü 1, metanol enjeksiyonunda bir soğutma etkisi meydana getirir, ancak 4-5 saniyelik gecikmeden sonra önemli ölçüde artış göstermiştir. Metanol enjeksiyonuyla indüklenen yüksek ısı oranları birleşik EHC' deki sıcaklık-zaman profillerindeki keskin artışta görülebilir.

150-350 °C sıcaklık aralığında ön ısıtma yapılan bir EHC' ye metanol enjeksiyonu ile meydana getirilen kimyasal ısıtma, sıcaklıkta benzer bir artış ortaya koymuştur. Bu sonuçlara göre EHC katalitik oksidasyonu başlatmak için yeterince yüksek sıcaklığa getirildiğinde ısınma oranı, metanol besleme oranına bağlıdır. EHC' deki elektrikli ısıtma metanolün tam oksidasyonu sağlandığı sürece düşük sıcaklıklara getirilebilir.

EHC elektrikle ısıtıldığında, ısınmayan sütunun önemli bir bölümü düşük sıcaklıklarda kalır. Metanol EHC' nin ön yüzüne enjekte edildiğinde metanolün tam oksidasyonunun EHC' nin içinde tamamlanması önemlidir. Kısmi metanol oksidasyonu ürünleri ya da reaksiyona girmemiş metanol katalitik konvertörün düşük katalist yüzey sıcaklığı yüzünden kalan kısmında okside olamazlar. Bu, yüksek hücre yoğunluğuna sahip bir EHC ile yapılabilir ki metanol ya da başka yakıtın tam dönüşümünü kesinleştirmek için yeterli katalitik yapıları sağlar. 160 cpsi' lik bir EHC içeren bir cihazla az miktarda metanol EHC' den sızabilir. Daha yüksek hücre yoğunluğu olan bir EHC' le metanolün tam oksidasyonu için yeterli katalitik yapılar bulunabilir.

7.4.6. Çalışmaya ulaşmak için gerekli zaman ve enerji

EICHC' le çalışma elde etmek için gereken zaman Şekil 7.7(a)' da gösterilmiştir. Hava ve metanol akış oranları dakikada 325 L ve 50 mL ($f=1.64$) tutulmuştur. Elektrik gücü 2.1 kW oranındadır. Şekil 7.7' nin x eksen, elektriğin kesildiği ve metanol enjeksiyonunun başlangıcındaki sıcaklığı gösterir. Gri ve koyu çubuklar elektrikle ve kimyasal ısıtma sürelerini gösterir.



Şekil 7.7. EICHC yaklaşımı kullanılarak bir EHC katalizörlü sütun komponentinde 400 °C' ye ulaşmak için gerekli zaman ve enerji.

EICHC' nin avantajları Şekil 7.7' de açıkça gösterilmiştir. EHC komponentinde sadece elektriksel olarak, 2.1 kW değerinde, 400 °C' ye ulaşmak için gerekli çalışma zamanı 25 saniyeden fazladır. Diğer yandan metanol gibi kimyasalların enjeksiyonu EHC çalışma zamanını oldukça düşürür. 150 °C' de metanol enjeksiyonu, çalışma zamanını 7 saniyeye, 200 °C' de 7.7 saniyeye, 250 °C' de 9.8 saniyeye düşürür.

Yüksek sıcaklıklarda metanol enjekte edildiği zaman, EHC' de çalışmayı elde etmek için ihtiyaç duyulan zaman artmıştır. Bu nispeten etkisiz ve uzatılmış elektriksel ısıtmadan ileri gelir. Şekil 7.6' daki sıcaklık-zaman profillerinde gösterildiği gibi, 2.1 kW' lik elektrikli ısınmadaki ısı artışı, yavaşça üstel şekilde olur. Sonuçta elektrikle ısıtma safhasında belli bir sıcaklığa ulaşmak için gereken zaman da üstel olarak artar.

200 °C' de başlayan metanol enjeksiyonuyla 400 °C' lik çalışma sıcaklığına ulaşmak için gereken zaman, yaklaşık 7.7 saniye olmuştur. Bu 7.7 saniyenin 4.8 saniyesi elektriksel ısıtma, 2.9 saniyesi ise kimyasal ısınmada geçmiştir. Aynı şekilde 300 °C' de metanol enjeksiyonuyla toplam çalışma zamanı 12 saniyedir. Elektriksel ısınma 9.5 saniye, kimyasal ısınma 2.5 saniye sürmüştür. EHC çalışmasına ulaşmada harcanan toplam enerji Şekil 7.7 (b)' de gösterilmektedir. Gri ve koyu çubuklar, sırasıyla elektrik ve kimyasal enerji paylarını gösterir. Harcanan elektrik yüksek sıcaklıklarda uzun süreli elektriksel ısıtma ile artmış ama aynı zamanda kimyasal enerji sarfiyatı yüksek sıcaklıklarda metanol enjeksiyonuyla düşmüştür. En düşük enerji tüketimi olan 13.3 W/saat, 200 °C' de, elektrik enerjisi 2.8 W/saat iken (2.1 kW'ta 4.8 saniye) ve kimyasal enerji 10.5 W-saat iken (13 kW'ta 2.9 saniye) sağlanmıştır. EHC elektrikle 400 °C' de ısıtıldığında harcanan toplam enerji 14.9 W/saattir. Dikkate alınacak EICHHC yaklaşımının başka bir özelliği de, araçta depolanmış kimyasal enerjinin miktarıdır. Bu miktar, emisyon bağıntılı komponentlerde 100.000 millik kullanım ömrü şartını karşılamalıdır. Yukarıdaki parametrik veriler temelinde araçta depolanması gereken metanol oranı şöyle hesaplanabilir :

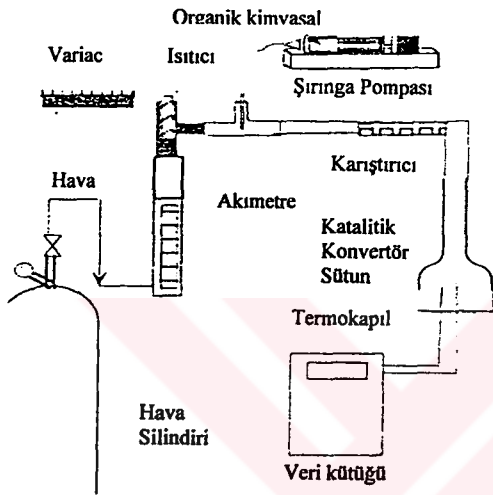
$$\frac{50 \text{ mL/dk} \times 2.9 \text{ san} \times 25000 \text{ start} / 100.000 \text{ mil}}{60 \text{ san/dk} \times 1,000 \text{ mL/litre}} = 60.4 \text{ litre} \quad (7.1)$$

Tahmini depolanmış metanol hacmi 60.4 litredir (16 galon). Bir araç üzerinde metanol depolanması amaçlı bu hacimdeki bir tank, araçlardaki yer sınırlamalarına bağlı olarak engelleyici olabilir. Diğer çözümler şöyle olabilir :

1. Araç sahibi ya da operatör daha küçük bir metanol tankını düzenli aralarla doldurabilir.
2. Metanol ve ardından benzin ya da metanol-benzin karışımı yapılan ikili yakıtla kimyasal ısıtma yöntemi.

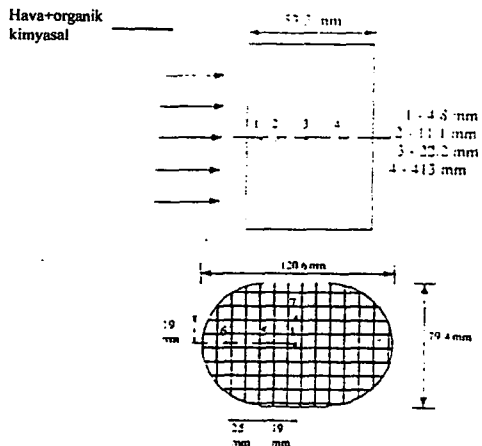
7.5. Çeşitli Organik Kimyasalların EICHC' de Kullanımının Fizibilitesi

Diğer potansiyel yakıtları, EICHC' de değerlendirmek için Şekil 7.8 (a)' daki gibi bir deney amaçlı test aparatı yapılmıştır. İkincil hava akımını ısıtmak için bir kartuj ısıtıcı kullanılmıştır. Hava bir silindirden sağlanır ve akışı bir rotametreyle ölçülür. Seçilen kimyasal, paslanmaz çelikten 1.6 mm iç çapında bir tüp vasıtasıyla ısınmış hava akımına direkt olarak enjekte edilir.



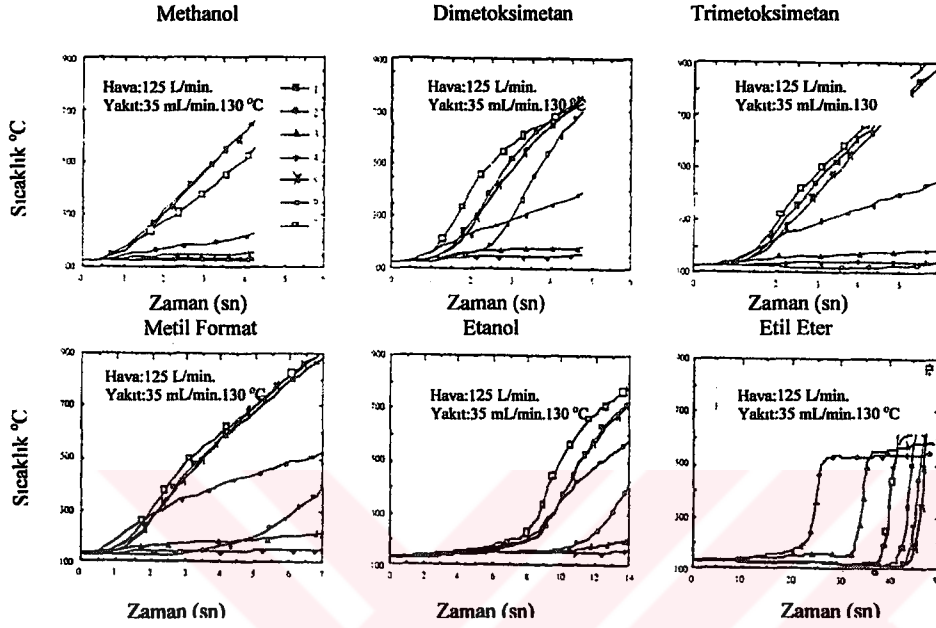
Şekil 7.8 (a). EICHC kullanarak çeşitli kimyasalların katalitik oksidasyon davranışını değerlendirmede kullanılan test aparatı.

Konverterin bir sütunu test aracının sonuna eklenmiştir. Sütunun kare kanalları ve 400 cps' lik hücre yoğunluğu olan seramik bir alt tabakası vardır. Sütun hassas ölçümlü ısı ölçücüsünden oluşur ve bir veri kütüğüne bağlıdır. Şekil 7.8 (b)' deki gibi dört ısı ölçücü aksenal yönde yerleştirilmiştir.



Şekil 7.8 (b). Seramik sütundaki ısı ölçücü yerleşimleri.

Yapılan deneylerde, hava akış oranı 20 °C' de ve atmosfer basıncında 125 L/dk ve yakıt akış oranları 30-40 mL/dk arasında değişmektedir. Her durumda hava akımı ve sütun, organik kimyasal sıcak hava akımına verilmeden önce 130 °C' lik bir sabit durum sıcaklığına kadar ön ısıtılır.



Şekil 7.9. EICHHC yaklaşımında kullanma amaçlı çeşitli organik kimyasalların termal tepkimesi.

Şekil 7.9, bir katalitik konvertörün katalize olmuş yüzeyinde kolay katalitik oksidasyona girme yeteneğini gösteren altı ayrı yakıttan elde edilen termal tepkileri göstermektedir. Şekil 7.9' daki kimyasallardan dimetoksimetan, trimetoksimetan ve metil format, katalist çalışma sıcaklığını metanol kadar hızlı ortaya çıkarmıştır. Bu üç organik kimyasalla, katalitik konvertörde 400 °C' lik sıcaklık, 2.5 saniyede elde edilmiştir. Görülüyor ki organik kimyasalların yüksek akış oranları, daha hızlı katalist çalışması sağlayabiliyor. Etanol ve etil eter de oksijenle birleşip sütunu ısıtma özelliği gösterse de, bu iki kimyasal enjeksiyonunda alınan termal sonuçlar yavaştır. Daha hızlı çalışma 130 °C' den daha yüksek başlangıç katalizör sıcaklığı ile elde edilebilir. Gerekli elektrikli ısınma oranını belirlemek ve katalitik oksidasyondan elde edilen kısmi oksidasyon ürünlerinin oranının değerlendirmek için ve bu kimyasalların akış oranlarını optimize etmek için daha ileri çalışmalar gereklidir.

7.6. EICHHC Kullanmanın Faydaları

- 1- Yüksek enerji yoğunluklu organik kimyasallar kullanarak EICHHC yöntemi katalitik konvertörlerin ısınma oranını oldukça yükseltir.
- 2- EICHHC sisteminde, enerjinin çoğu organik kimyasal enjeksiyonuyla sağlandığı için, elektrikle ısıtma oranı oldukça düşer. Daha kısa süreli elektrikli ısıtma SLI bataryalarındaki boşaltımı düşürür ve bataryaya bağımlılığı azaltır.
- 3- BCH ya da EGI sistemlerinin aksine, EICHHC' deki enjekte edilen kimyasaldan yayılan ısı, yakıtın oksijenle kontrollü katalitik oksidasyondan elde edilir. Kimyasal ve havadaki oksijen arasındaki katalitik oksidasyon kendiliğinden alevsiz ve titreşimsizdir.
- 4- EICHHC' deki katalist çalışma sıcaklığına, sadece elektrikle ısıtmayla olandan daha çabuk ulaşılır. Metanol, ön ısıtılmış EHC' ye enjekte edildikten sonra, 2-3 saniyede yaklaşık 400 °C' lik bir sıcaklık elde edilir. Bu, yalnız EHC operasyonuna göre, FTP çevriminin Bag 1 boyunca emisyon düzeylerini oldukça düşürür.
- 5- EICHHC' nin uygulanması, konvansiyonel üç yollu katalitik konverterler de dahil olmak üzere, egzoz sisteminde herhangi büyük bir değişiklik gerektirmez.
- 6- Gaz analizleri 200 °C' yi aşan sıcaklıklarda ön ısıtılmış EHC' nin yüzüne enjekte edildiğinde metanolün komple değiştiğini göstermektedir.

SONUÇLAR

Katalitik konvertörler motorun egzoz gazı ile ısıtılır. Reaksiyon başlamadan önce yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyulur. Bu periyot boyunca genellikle iki-üç dakika motor, etkin emisyon kontrolü yapılmaksızın çalıştırılır. Motor soğuk çalışmaya başladığında kolay çalışsın diye zengin yakıt karışımı kullanılır. Bu da yüksek emisyon seviyelerinin özellikle CO ve HC' nin artmasını sağlar. Bu problem, kışın yakıt karışımının zenginleştirilmesiyle daha da artar. Böylece yakıt tüketimi de artmış olur. Ayrıca bu CO, HC gibi zararlı gazlar insan sağlığını etkileyebilir. Bu gazlar dünyadaki ozon seviyesine ve global sıcaklığın etkilerine de katkı yaparlar.

Araç egzoz emisyonları ve soğuk çalışma emisyonlarını azaltmak ve yeni emisyon düzenlemelerini karşılamak amacıyla birçok teknikler vardır. Bunlar; EHC' lerin kullanımı, benzin uçuculuğunun geliştirilmesi, motor ısıtıcılarının kullanımı, motorun soğuk çalışmaları ve ısınmaları esnasında yakıt-hava karışımlarının gerekli zenginleşmesini azaltmak için yakıt atomizasyonunun geliştirilmesini ve ek ısının sağlanması metodlarının incelenmesi, elektrikli kimyasal ısıtmalı katalizörün temel alındığı yeni bir ısıtma yöntemidir. Bu teknikler kullanılarak emisyonların azaltılması sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

1. ERGENEMAN, M. MUTLU, M. KUTLAR O.A. ve ARSLAN, H. 1998. Taşıt Egzozundan Kyanaklanan Kirleticiler. Birsen Yayınevi, İ.T.Ü. İstanbul.
2. Toyota Step 2-Bölüm 4, 1992. Emisyon Kontrol Sistemi. Toyota Teknik Eğitim Merkezi, İstanbul.
3. BIELACZYC, P. and MERKİSZ, J. 1999. Euro III/Euro IV Emission-A Study of Cold Start and Warm up Phases with a SI (Spark Ignition) Engine. SAE Special Publications. 1999-01-1073, BOSMAL Automotive R and D Centre.
4. BIELACZYC, P. and MERKİSZ, J. 1998. Cold Start Emissions Investigation at Different Ambient Temperature Conditions. SAE Special Publications, 980401, 115-123, BOSMAL Automotive R and D Centre.
5. NISHIZAWA, K. YAMADA, T. ISHIZUKA, Y and INOUE, T. 1997. Technologies for Reducing Cold-Start Emissions of V6 ULEVs. SAE Special Publications, 971022, 45-53, Nissan Motor Cso., Ltd.
6. YDSTEDT, A., BJORKLUND, S. HOGLUND, P.G. 1996. Reduced Cold Start Emissions. Through Use of Electric Engine Heaters. Scan Tech Development Ltd., 96EN035.
7. MURPHY, O.J. KUKREJA, R.T. and ANDREWS, C.C. 1999. Electrically Initiated Chemically Heated Catalytic Converter to Reduce Cold-Start Emissions from Automobiles. Society of Automotive Engineers, 1999-01-1233, 147-157, Lynntech, Inc.

ÖZGEÇMİŞ

1974 Yılında Kars' ta doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini İzmit' te tamamladı. 1992 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü' nden 1996 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 1996 Yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü' nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

1998 Yılından beri Kocaeli Üniversitesi Gölcük Meslek Yüksekokulu' nda Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

