ISTANBUL TEKNIK ÜNIVERSITESI ★ FEN BILIMLERI ENSTITÜSÜ

DOGAL GAZLI TASITLARIN GELISTIRILMESI VE BENZINLI TASITLARLA KARSILASTIRILMASI

YÜKSEK LISANS TEZI
Mak. Müh. Hakan TURHAN
503991134

Tezin Enstitüye Verildigi Tarih : 2 Mayis 2003
Tezin Savunuldugu Tarih : 29 Mayis 2003

Tez Danismani : **Prof. Dr. H. Ertugrul ARSLAN**
Diger Jüri Üyeleri **Prof.Dr. Metin ERGENEMAN (I.T.Ü.)**
Prof.Dr. Orhan DENIZ (Y.T.Ü.)

MAYIS 2003

ÖNSÖZ

Gelisen ülkelerde tasit sayisi ve genel enerji kullanimi hizla artmaktadir. Günümüzde azalan petrol türevli yakitlara alternatif olarak kullanilan yakitlar arasindaki en ümit verici olani, dogal gazdir. Düsük yakit maliyeti, her geçen gün azalan teknolojik maliyeti ile önemli derecede düsük egzoz emisyonu degerleriyle çevre ve insan sagligina duyarli olan dogal gazli tasitlar 21. yüz yil ulasim sektöründe önemli bir yer saglayacaktir.

Bu yüksek lisans tezinde dogal gazin yakit özellikleri ile mevcut teknolojiye uygunlugu, dogal gazli tasitlardaki gelisen motor teknolojisi, egzoz emisyon degerleri ve tasit performansi; benzinli tasit teknolojisi ile karsilastirarak açiklanmaktadir. Bunun için çift yakitla (benzin/dogal gaz) çalisan bir test aracinda egzoz emisyonu ve yakit tüketimini gösteren bir takim testler uygulanmistir.

Yüksek lisans tez konum kapsaminda gerçeklestirilen testler boyunca bana destek veren TOFAS Ar-Ge Motor Mühendisligi Servis Yöneticisi Mak. Yük. Müh. Murat AYHANER'e, TOFAS Ar-Ge Motor Mühendisligi Servis elemani Mak. Yük. Müh. Türker GÜDÜ ve Mak. Yük. Müh. Hüseyin H. DICLE ile tez çalismam sirasinda yogun is temposu içinde destegini benden esirgemeyen danismanim Prof. Dr. H. Ertugrul ARSLAN'a tesekkürlerimi bir borç bilirim.

Mayis-2003

Hakan TURHAN

IÇINDEKILER

KISALTMALAR **vii**
TABLO LISTESI **x**
SEKIL LISTESI **xii**
SEMBOL LISTESI **xv**
ÖZET **xvi**
SUMMARY **xviii**

1. GIRIS **1**

2. DOGAL GAZIN YANMA ÖZELLIKLERI **3**
2.1. Sertifikasyon Referans Yakitlari 7
2.1.1. US EPA ve CARB referans yakitlari 8
2.1.2. Avrupa referans yakitlari 8
2.2. Gaz Bilesenlerindeki Degisikliklerin Etkileri 10
2.2.1. Amerikan hafif ticari tasitlar (1997) 10
2.2.2. Avrupa hafif ticari tasitlar (2001) 11

3. YANMA SONUCU ÜRETILEN ÇEVREYI KIRLETICI MADDELER **13**
3.1. Insan ve Çevre Sagligi Üzerine Etkileri 14
3.1.1. Karbon monoksit 14
3.1.2. Yanmamis hidrokarbonlar 15
3.1.3. Azot oksitler 15
3.1.4. Aldehitler 15
3.1.5. Kükürt dioksitler 16
3.1.6. Is ve partiküller 16
3.1.7. Kursun bilesenleri 16
3.2. Dogal Gazin (CNG) Insan ve Çevre Sagligina Etkisi 16

4. GAZ YAKITLI TASITLAR **20**
4.1. Hafif Hizmet Tasitlari 21
4.2. OEM Tasitlarindan Örnekler 22
4.2.1. BMW 523 g. 22
4.2.2. Chrysler maxivan (Dodge ram) 22
4.2.3. Fiat multipla 23
4.2.4. Ford contour ve Ford crown victoria 24
4.2.5. Ford F-150 24
4.2.6. Honda civic 26
4.2.7. Volvo S/V70 & 80 28

4.3. Çikis Gücü ve Yakit Tüketimi 29
4.4. Düsük Sicaklik Performansi 30

5. CNG TASITLARINDA DEPOLAMA 33
5.1. Gaz Tanklari 33
5.2. CNG Yakit Depolama Teknolojisindeki Son Gelismeler 35
5.2.1. Birlestirilmis depolama sistemi - (ISS) 35
5.2.2. Basinç hücre dizayni 36
5.2.3. ISS dizayni 37

6. CNG YAKIT SISTEMLERININ GELISIMI 39
6.1. OBD Sistemi (On-board Diagnostic System) 44
6.1.1. Ariza arama sitemi 44
6.1.2. OBD'nin tarihçesi 45
6.1.3. Alternatif yakitlar için OBD 2 monitör reaksiyonlari 46
6.1.3.1. Katalitik dönüstürücü monitör 47
6.1.3.2. Yakit sistemi monitörü 47
6.1.3.3. Hatali atesleme monitörü 48
6.1.4. Alternatif yakit sistemlerine uygun OBD 2 48
6.2. Direkt Püskürtmeli CNG Motorlari Üzerine Yapilan Çalismalar 49
6.2.1. Dizel motorundan çevrilmis direkt püskürtmeli CNG motor çalismasi 49
6.2.1.1. Motor Özellikleri 50
6.2.1.1.1. Yanma konsepti 50
6.2.1.1.2. Yakit enjeksiyon sistemi 50
6.2.1.1.3. Yanma odasinin sekli 51
6.2.1.2. Tek silindirli motordaki temel testler 52
6.2.1.3. Çalisma alani 53
6.2.1.4. Termal verim 54
6.2.1.5. CO_2 Emisyonu 56
6.2.1.6. Kararli yanma 57
6.2.1.7. Dört silindirli DI-CNG motorun gelisimi 57
6.2.1.8. Gelecek plani 58
6.2.1.9. Sonuç 59
6.2.2. Bi-Fuel motora direkt püskürtme yerlestirilmesi ve gelistirilmesi 60
6.2.2.1. Motor dizayni 60
6.2.2.2. Motor dinamometre testi 61
6.2.2.3. Test sonuçlari 62
6.2.2.3.1. Emisyonlar ve motor saglamligi 62
6.2.2.3.2. EGR'nin etkisi 63
6.2.2.3.3. Güç egrileri 64
6.2.2.4. Gelecek plani 65

6.2.2.4.1. Deney motor tesisati 65
6.2.2.4.2. Yanma analizi 65
6.2.2.5. Sonuç 65

7. CNG TASITLARINDA YANMA VE ATESLEME SISTEMLERI 66
7.1. CNG Tasitlarinda Yanma Sistemi 66
7.2. CNG Tasitlarinda Atesleme Sistemi 71

8. CNG TASITLARINDA EGZOZ SISTEMI 73

9. EGZOZ EMISYONU TEST YÖNTEMLERI VE STANDARTLARI 80
9.1. Test Yöntemleri 80
9.1.1. Avrupa birligi test metodu - hafif hizmet tasiti 82
9.1.2. Amerikan test çevrimi 83
9.1.2.1. US06 84
9.1.2.2. SC03 85
9.1.2.3. EPA New York sehir çevrimi 85
9.1.2.4. EPA otoban yakit ekonomik çevrimi 86
9.1.2.5. Muayene&bakim sürüs çevrimi 87
9.1.2.6. Kaloforniya Los Angles 92 çevrimi 87
9.1.3. Japon test çevrimi 88
9.2. Egzoz Emisyon Standartlari 89
9.2.1. Avrupa egzoz emisyon standartlari-hafif hizmet tasitlari 89
9.2.1.1. EOBD 92
9.2.1.2. Soguk ortam çevrimi 93
9.2.2. Amerikan egzoz emisyon standartlari 93
9.2.2.1. Federal standartlar 93
9.2.2.1.1. Tier 1 standartlari 94
9.2.2.1.2. Ulusal LEV programi 94
9.2.2.1.3. Tier 2 standartlari 95
9.2.2.2. Kaliforniya standartlari 97
9.2.2.2.1. LEV - Düsük emisyonlu tasit standartlari 98
9.2.2.2.2. LEV 2- Düsük emisyonlu tasit standartlari 98
9.2.3. Japon egzoz emisyon standartlari 100
9.2.4. Arjantin egzoz emisyon standartlari 102
9.2.5. Brezilya egzoz emisyon standartlari 103

10. EGZOZ GAZLARI EMISYONU ANALIZÖRLERI 106
10.1. CO ve CO_2 Ölçüm Yöntemi 106
10.2. NO_x Ölçüm Yöntemi 108
10.3. HC Ölçüm Yöntemi 110
10.4. GFA Analizörü 112
10.5. MPA Analizörü 113

11. TEST ASAMASI **115**
11.1. Test Aracinin Özellikleri 115
11.2. Test Ortaminin Incelenmesi 118
11.3. Testin Yapilisi ve Egzoz Emisyon Sonuçlari 119
11.4. Test Tasiti Çalisma Kosullarinin Egzoz Emisyon Sonuçlarina Etkileri 125

12. SONUÇLAR VE TARTISMA **135**

KAYNAKLAR **140**

ÖZGEÇMIS **142**

KISALTMALAR

AAMA : American Automobile Manufactures Association (Amerikan Otomobil Üreticileri Birligi)
ACEA : Association des Constructeurs Europeens d'Automobile (Avrupa Otomobil Üreticileri Birligi)
AFR : Air/Fuel Ratio (Izafi Hava/Yakit Orani)
ANG : Adsorbed Natural Gas (Absorbe edilmis Dogal Gaz)
BMEP : Brake Mean Efficiency Pressure (Fren Etki Basinci)
BTDC : Before Top Dead Centre - Crank Position (Ölü Noktadan Evvelki En Yüksek Yer - Krank Pozisyonu
BTX : Benzene, Toluebe, Xylene (Benzen, Toluen, Ksilen)
CAAA : Clean Air Act Amendment (Teniz Hava Hareketi Düzeltmeleri)
CARB : California Air Resources Board (Kaliforniya Hava Kaynaklari Merkesi)
CCEPC : Central Council for Environmental Pollution Control (Avrupa Çevre Kirliligi Kontrol Merkez Meclisi)
CH_4 : Metan
C_3H_8 : Propan
C_4H_{10} : Bütan
CNG : Compressed Natural Gas (Sikistirilmis Dogal Gaz)
CO : Karbon monooksit
CO_2 : Karbon di oksit
De-NOx : System for Nitrogen Oxide reduction in lean conditions (Fakir Karisimda Nitrojen Oksit Düsürücü Sistem)
DHÖA : Degismez Hacimde Örnek Alma
DI : Direct Injection (Direkt Püskürtme)
ECE : Economic Commission for Europe, ECE Test Metodu (Avrupa Ekonomik Komisyonu Sehir içi Çevrimi
EEV : Environmentally Enhanced Vehicle (Çevresel Özelligi Arttirilmis Tasit)
EGR : Exhaust Gas Resirculation (Egzoz Gaz Resirkülasyonu)
ENGVA : European Natural Gas Vehicle Association (Avrupa Dogal Gazli Tasitlar Birligi)
EOBD : European On-Board Diagnostic (Avrupa Gösterge Üzerinde Hata Teshisi)
EPA : Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Birligi)
ESC : European Steady State Cycle (Avrupa Düzenli Durum Çevrimi)
ESD : Ecologically Sustainable Development (Çevreye Uygun Gelismeler)
EU : European Union (Avrupa Birligi)
EUDC : European Urban Driving Cycle (Avrupa Sehir Disi Çevrimi)
EURO : European Union Test Method/limit value (Avrupa Birligi Test Metodu/limit degerler)
ETC : European Transient Cycle (Avrupa Transit Çevrimi)

EZEV : Equivalent Zero Emission Vehicle (Sifir Emisyona Denk Tasit)
FTP : Federal Test Procedure (Federal Test Prosedürü)
G_{20}, G_{23}, G_{25} : European reference natural gases for emission testing (Emisyon Testi için Avrupa Referans Dogal Gazlari)
GFI : Gaseous Fuel Injection (Gaz Yakit Püskürtme)
GHG : Greenhouse Gases (Sera Gazlari)
GWP : Global Warming Potential (Global Muhtemel Isinma)
H_2O : Su
H_2S : Hidrojen Sülfür
HC : Hidrokarbon
HC HO : Aldehit
HD : Heavy-Duty (Agir Hizmet)
HDV : Heavy-Duty Vehicle (Agir Hizmet Tasiti)
HLDT : Heavy Light-Duty Truck (Az Hafif Hizmet Kamyonu)
HLDV : Heavy Light-Duty Vehicle (Az Hafif Hizmet Tasiti)
HWFET : Highway Fuel Economy Test (Otoban Yakit Ekonomisi Testi)
IANGV : International Association for Natural Gas Vehicle (Dogal Gazli Tasitlar için Uluslararasi Birligi)
ISS : Integrated Storage System (Birlestirilmis Depolama Sistemi)
I&M : Inspection and Maintenance (Muayene&Bakim)
LB : Lean Burn (Fakir Karisiimda Yanma)
LDV : Light-Duty Vehicle (Hafif Hizmet Tasitlari)
LEV : Low Emission Vehicle (Çok Düsük Emisyonlu Tasit)
LLDV : Light Light-Duty Vehicle (Çok Hafif Hizmet Tasitlari)
LNG : Liquefied Natural Gas (Sivi Dogal Gaz)
LNT : Lean NO x Trap (Fakir Karisimda Çalisan Motorlarda NO_x Tutucu)
LPG : Liquefied Petrol Gas (Sivi Petrol Gaz)
LS : Low Sulphur (Düsük Sülfür)
LVW : Loaded Vehicle Weight (Yüklü Tasit Agirligi)
MDPV : Medium-Duty Passengers Vehicle (Orta Hizmet Yolcu Tasiti)
MIL : Malfunction Indicator Light (Hatalari Belirten Isik)
MN : Methane Number (Metan Sayisi)
MON : Motor Octane Number (Motor Oktan Sayisi)
MY : Model Year (Model Yili)
N_2 : Nitrogen Molecule (Azot Molekülü)
NGV : Natural Gas Vehicle (Dogal Gazli Tasit)
NMHC : Non-Methane Hydrocarbons (Metan Olmayan Hirokarbon)
NMOG : Non-Methane Organic Gases (Metan Olmayan Organik Gazlar)
NO_2 : Azot dioksit
NO_x : Azot oksit
NYCC : New York City Cycle (New York Sehir Çevrimi)
O_3 : Ozon
OEM : Original Equipment Manufacturer (Orjinal Ekipman Üreticileri)
OBD : On-Board Diagnostic (Gösterge Üzerinde Hata Teshisi)
PAH : Polyaromatic Hydrocarbons (Poliaromatik Hidrokarbonlar)
PM : Particulate Matter (Partikül Miktari)
RON : Research Octane Number (Arastirma Oktan Sayisi)
SCR : Selective Catalyst Reduction (Seçici Katalitik Dönüstürücü)
SFTP : Supplemental Federal Test Procedure (Ek Federal Test Prosedürü)
SI : Spark Ignition (Kivilcim Ateslemeli)

SO_2 : Kükürt dioksit
SULEV : Super Ultra Low Emission Vehicle (Süper Düsük Emisyonlu Tasit)
THC : Total Hydrocarbons (Toplam Hidrokarbonlar)
THT : Tetrahydrocarbons (Tetra Hidrokarbonlar)
TLEV : Transitional Low Emission Vehicle (Degisen Düsük Emisyonlu Tasit)
TNO : Road-Vehicles Researh Institute-Holland (Otoban Tasiti Arastirma Enstitüsü)
TWC : Three-Way Catalyst (Üç Yollu Katalitik Dönüstürücü)
ULEV : Ultra Low Emission Vehicle (Çok Çok Düsük Emisyonlu Tasit)
US : United States, US Test Method (Amerikan Test Metodu)
ULS : Ultra-Low Sulphur (Çok Düsük Sülfür)
VTEC : Variable Valve Timing and Lift Electronic Control (Degisken Valf Zamanlamasi ve Elektronik Kontrol)
VTT : Technical Research Centre of Finland (Finlandiya Teknik Arastirma Merkezi)
ZEV : Zero Emission Vehicle (Sifir Emisyonlu Tasit)

TABLO LISTESI

		Sayfa No
Tablo 1.1.	Dünyadaki Ham Petrol ve Dogal Gaz Rezervleri	1
Tablo 2.1.	Çesitli Yakitlarin Stokiyometrik Hava/Yakit Karisimindaki (?=1) Enerji Yo gunluklari ve Hava/Yakit Oranlari	4
Tablo 2.2.	Bazi Gaz Yakitlarin Wobbe Indeksi	5
Tablo 2.3.	Çesitli Gazlarin Metan Sayilari ile Oktan Sayilari	6
Tablo 2.4.	Referans Yakitlarin Özellikleri	8
Tablo 2.5.	Avrupa Dogal Gaz Referans Yakit Bilesenleri	9
Tablo 2.6.	Bevilacqua Test Programinda Kullanilan Yakitlarin Birlesimi	11
Tablo 2.7.	Avrupa (Schollmeyer ve Wegener) Test Gazlarinin Hacimsel Oranlari	12
Tablo 3.1.	Çesitli Yakitlarin Insan ve Çevre Sagligina Etkisi	17
Tablo 3.2.	Çesitli Yakitlarin Insan ve Çevre Sagligina Etkisi	18
Tablo 4.1.	Bazi Komponentlerin Egzoz Emisyonuna Etkisi	28
Tablo 5.1.	CNG Yakit Tankinin Karakteristikleri	34
Tablo 5.2.	Basinç Hücresi Özellikleri	37
Tablo 6.1.	Enjektörün Özellikleri	51
Tablo 6.2.	Tek Silindirli DI-CNG Motorunun Özellikleri	53
Tablo 6.3.	Dört Silindirli DI-CNG Motorunun Özellikleri	59
Tablo 9.1.	Yolcu Tasitlari için Avrupa Emisyon Standartlari, g/km	90
Tablo 9.2.	Hafif Hizmet Tasitlari için Avrupa Emisyon Standartlari, g/km	91
Tablo 9.3.	Euro3 ve Euro4'deki Bozulma Katsayilari	91
Tablo 9.4.	Kivilcim Ateslemeli Motorlarda OBD Uygulama Tarihleri	92
Tablo 9.5.	Sikistirma Ateslemeli Motorlarda (Dizel) OBD Uygulama Tarihleri	92
Tablo 9.6.	Araç Tipine ve Motoruna Göre OBD Esik Degerleri	93
Tablo 9.7.	Yolcu Tasitlari ve Hafif Hizmet Kamyonlari için EPA Tier 1 Standartlari, FTP 75, g/mil	95
Tablo 9.8.	Tier 2 Emisyon Standartlari, FTP 75, g/mil	97
Tablo 9.9.	Hafif Hizmet Tasitlari için Kaliforniya Emisyon Standartlari, FTP 75, g/mil	99
Tablo 9.10.	Yolcu Tasitlari ve Hafif Hizmet Tasitlari < 8500lbs için Kaliforniya LEV II Emisyon Standartlari	100
Tablo 9.11.	Hafif Hizmet Tasitlari için Su an Kullanilan ve Gelecekte Kullanilacak US Federal Emisyon Regulasyonlari ile Kaliforniya Standartlari	100
Tablo 9.12.	Dizel Tasitlari için Japon Emisyon Standartlari, g/km	101
Tablo 9.13.	Dizel Hizmet Tasitlari için Japon Emisyon Standartlari	101
Tablo 9.14.	Dizel Otomobiller için Arjantin Emisyon Standartlari	102
Tablo 9.15.	Dizel Kamyonlar ve Otobüsler için Arjantin Emisyon Standartlari	103

Tablo 9.16.	Dizel Yakitli Kamyon ve Otobüsler için Brezilya Emisyon Standartlari	104
Tablo 9.17.	Dizel Yakitli Hafif Hizmet Tasitlari için Brezilya Emisyon Standartlari (FTP-75 Test Çevrimi)	104
Tablo 9.18.	2006 Yili ve Sonrasi HD Dizel Motorlari için Brezilya Emisyon Standartlari	105
Tablo 9.19.	Dizel Yakitli Yolcu Tasitlari için Brezilya Emisyon Standartlari (FTP-75 Test Çevrimi)	105
Tablo 10.1.	Horiba AIA-721 ve AIA-722 Gaz Analizörlerinin Özellikleri	107
Tablo 10.2.	Horiba CLA-720 ve CLA-750 Gaz Analizörlerinin Özelikleri	109
Tablo 10.3.	Horiba FIA-720 ve FIA-725 Gaz Analizörlerinin Özellikleri	112
Tablo 10.4.	Horiba GFA-720 Gaz Analizörünün Özellikleri	113
Tablo 10.5.	Horiba MPA-720 Gaz Analizörünün Özellikleri	114
Tablo 11.1.	Test Yakitinin (CNG) Özellikleri	116
Tablo 11.2.	Test Aracinin Ölçüm Sonuçlari	119
Tablo 11.3.	Test Aracinin Sehir Içi Ölçüm Sonuçlari	120
Tablo 11.4.	Test Aracinin Sehir Disi Ölçümleri	120
Tablo 11.5.	Çift Yakitli Test Aracinin Katalitik Dönüstürücü Verimi-Test 1	123
Tablo 11.6.	Çift Yakitli Test Aracinin Katalitik Dönüstürücü Verimi-Test 2	124
Tablo 12.1.	Test Aracinin Ölçüm Sonuçlari	135

SEKIL LISTESI

		Sayfa No
Sekil 3.1.	Çesitli Yakitlarin Isveç Standartlarina göre Kanser Risk Faktörleri	19
Sekil 4.1.	BMW 520 Serisi CNG Tasiti	22
Sekil 4.2.	Tek Yakitli Dodge Ram CNG Van	23
Sekil 4.3.	Fiat Multipla Bipower	23
Sekil 4.4.	Bi-Fuel Ford Contour	24
Sekil 4.5.	Tek Yakitli CNG Ford Crown Victoria	24
Sekil 4.6.	Tek Yakitli CNG Ford Crown Victoria Semasi	25
Sekil 4.7.	Ford F-150 Bi-Fuel Tasiti	25
Sekil 4.8.	Ford F-150 Bi-Fuel Tasiti	25
Sekil 4.9.	Ford F-150 Tek Yakitli CNG Tasitinin Semasi	26
Sekil 4.10.	Honda Civic Tek Yakitli CNG Tasitinin Sematik Görünümü	26
Sekil 4.11.	Honda Civic VTEC CNG Motoru	27
Sekil 4.12.	Bi-Fuel Volvo S80	29
Sekil 4.13.	Düsük Sicaklikta CO Egzoz Emisyonlari	31
Sekil 4.14.	Düsük Sicaklikta THC Egzoz Emisyonlari	31
Sekil 4.15.	OEM Bi-Fuel Tasitlarin Emisyon Performanslari	32
Sekil 4.16.	-7 ^{0}C'de OEM Bi-Fuel Tasitlarin Hidrokarbon Farkliliklari	32
Sekil 5.1.	Lancia-Dedra Dogal Gaz Tanklarinin Yerlesimi	34
Sekil 5.2.	ANGV Tarafindan Dizayn Edilmis Aracin Özellikleri	35
Sekil 5.3.	ISS-Yakit Tanki Dizayni	36
Sekil 5.4.	Basinç Hücresi 1/4 Kesiti	37
Sekil 5.5.	Basinç Hücresi	37
Sekil 5.6.	ISS Yüksek Basinç Boru Sistemi	38
Sekil 5.7.	3 ve 2 Hücreli ISS Yakit Tanklari	38
Sekil 6.1.	Jenerasyon CNG Sistemi	40
Sekil 6.2.	Agir Hizmet Motorlari için 2. Jenerasyon Yakit Sistemi (Stepper-motor)	41
Sekil 6.3.	GFI Kontrol Sistemi, "Sequential" (Sirali) Çok Noktadan Gaz Enjeksiyon Sistemi	43
Sekil 6.4.	Dogal Gaz Için Dizayn Edilmis Enjektör	43
Sekil 6.5.	OBD'li Motor Sisteminin Elemanlari (Bosch Motornic ME7)	44
Sekil 6.6.	DI-Benzinli Motorun Yakit Ekonomisi Gelisimi	50
Sekil 6.7.	Yakit Enjeksiyon Sistemi	51
Sekil 6.8.	Yakit Enjektör Semasi	51
Sekil 6.9.	Yanma Odasinin Sekli	52
Sekil 6.10.	Tek Silindirli DI-CNG Motorun Kesiti	52
Sekil 6.11.	DI-CNG Motorunun Çalisma Alani	54
Sekil 6.12.	Üç Tip Motorun Termal Verim Açisindan Karsilastirilmasi	55
Sekil 6.13.	DI ile Mikser Tip CNG Motorlarinin Termal Verim Haritalari	55
Sekil 6.14.	Üç Tip Motorun CO_2 Emisyon Oranlari Karsilastirilmasi	56

Sekil 6.15.	DI-CNG Motorunun CO_2 Emisyonu Haritasi	56
Sekil 6.16.	DI-CNG Motorunun Yanma Çesitliligi Haritasi	57
Sekil 6.17.	Dört Silindirli DI-CNG Motorunun Sekli	58
Sekil 6.18.	Yanma Odasinda Direkt Enjektörün Pozisyonu	61
Sekil 6.19.	Hava/Yakit Oranlarinda Benzinli Kismin Emisyon ve Saglamlik Etkisi	62
Sekil 6.20.	Hava/Yakit Oranlarinda CNG Kismin Emisyon ve Saglamlik Etkisi	63
Sekil 6.21.	CNG ve Benzinin Güç Egrileri	64
Sekil 7.1.	Kivilcim-Ateslemeli Motorlarda Hava/Yakit Oraninin Egzoz Emisyonlari ve Yakit Tüketimine Etkisi	66
Sekil 7.2.	NO_x Egzoz Emisyonu Konsantrasyonu ve Termal Verim ile ? Arasindaki Iliski	68
Sekil 7.3.	Motor Haritasinda ? Degerleri ile NO_x Egzoz Emisyonu Arasindaki Iliski	69
Sekil 7.4.	Cummins Gaz Motorlarinin Atesleme Sistemlerinin Gelisimi	72
Sekil 7.5.	Volvo-Fakir Karisimda Çalisan Motorun Atesleme Sistemi	72
Sekil 8.1.	Siemens SI-NO_x SCR Katalitik Dönüstürücü Sistemi	73
Sekil 8.2.	Üç Yollu Katalitik Dönüstürücünün (TWC) Yapisi ve ?'nin Emisyonlar Üzerindeki Etkisi	74
Sekil 8.3.	Iyilestirilmis Dogal Gaz Katalitik Dönüstürücünün Metan Degisimi	76
Sekil 8.4.	Farkli Katalitik Dönüstürücüler için Metan Degisimini (?=1,5, BMEP7,3bar)	77
Sekil 8.5.	Egzoz Sicakliklari için Motor Yüklemesinin Metan Degisimine Fonksiyonu (?=1,5, 1000 saat çalisma sonrasi)	77
Sekil 8.6.	X Çift Yakitli Tasitinin Üç Yollu Katalitik Dönüstürücünün (TWC) Degisim Oranlari	79
Sekil 9.1.	Hafif Hizmet Tasitlari Egzoz Ölçüm Yönteminin Semasi	81
Sekil 9.2.	Avrupa Test Çevrimi-Hafif Hizmet Tasiti	82
Sekil 9.3.	Avrupa Test Çevrimi - Hafif Hizmet Tasit	83
Sekil 9.4.	FTP 75 Amerikan Test Çevrimi	84
Sekil 9.5.	US06 Amerikan Test Çevrimi	84
Sekil 9.6.	SC03 Amerikan Test Çevrimi	85
Sekil 9.7.	EPA New York Sehir Çevrimi (NYCC)	86
Sekil 9.8.	EPA Otoban Yakit Ekonomik Çevrimi(HWFET)	86
Sekil 9.9.	Muayene & Bakim Sürüs Çevrimi IM240	87
Sekil 9.10.	Kaliforniya LA92 Çevrimi	88
Sekil 9.11.	10-Konumlu Japon Test Çevrimi	88
Sekil 9.12.	10-15 Konumlu Japon Test Çevrimi	89
Sekil 9.13.	Avrupa Hafif Hizmet Tasiti Emisyonu Gelisimi	90
Sekil 9.14.	Avrupa, Amerika ve Japon Egzoz Standartlarinin Karsilastirilmasi	102
Sekil 10.1.	Dagilmayan Kizil Ötesi Gaz Analizörünün Temel Dizayni-Horiba	106
Sekil 10.2.	Horiba AIA-721 ve AIA-722 ile Dagilmayan Kizil Ötesi Gaz Analizörünün Semasi	107
Sekil 10.3.	Kimyasal Isin Ölçümünün Temel Sekli	108
Sekil 10.4.	Horiba 7000-CLA Analizörünün NO_x Ölçüm Semasi	110

Sekil 10.5.	Horiba FIA ile HC Ölçülmesi - Alev Iyonizasyon Sistemiyle	111
Sekil 10.6.	Alev Iyonizasyon Prensibinin Temel Sekli	111
Sekil 10.7.	Horiba MPA Analizörünün Çalisma Prensibi	114
Sekil 11.1.	Test Aracinin Dogal Gaz Açisindan Menzil-Yakit Tanki Basinci Iliskisi	116
Sekil 11.2.	Test Aracinin Çift Yakitli Çalismada Tork Egrileri	117
Sekil 11.3.	Test Aracinin Çift Yakitli Çalismada Güç Egrileri	117
Sekil 11.4.	Emisyon Laboratuari Test Odasi Ölçüleri	118
Sekil 11.5.	Test Aracinin CO Emisyon Sonuçlari	121
Sekil 11.6.	Test Aracinin HC Emisyon Sonuçlari	121
Sekil 11.7.	Test Aracinin NO_x Ölçüm Sonuçlari	122
Sekil 11.8.	Test Aracinin CO_2 Emisyon Sonuçlari	122
Sekil 11.9.	Test Aracinin Benzinli Kisminin HC Emisyon Dagilimi	129
Sekil 11.10.	Test Aracinin Benzinli Kisminin CO Emisyon Dagilimi	129
Sekil 11.11.	Test Aracinin Benzinli Kisminin NO_x Emisyon Dagilimi	129
Sekil 11.12.	Test Aracinin Çevrim Boyunca Benzin-Püskürtme Sürelerinin Dagilimi	130
Sekil 11.13.	Test Aracinin Çevrim Boyunca Benzin-Atesleme Avansinin Dagilimi	130
Sekil 11.14.	Test Aracinin Çevrim Boyunca Benzin Kismindaki Hava/Yakit Orani Dagilimi	131
Sekil 11.15.	Test Aracinin Çevrim Boyunca Benzin Kismindaki Tasit Hiz Dagilimi	131
Sekil 11.16.	Test Aracinin Dogal Gaz Kisminin HC Emisyon Dagilimi	132
Sekil 11.17.	Test Aracinin Dogal Gaz Kisminin CO Emisyon Dagilimi	132
Sekil 11.18.	Test Aracinin Dogal Gaz Kisminin NO_x Emisyon Dagilimi	132
Sekil 11.19.	Test Aracinin Çevrim Boyunca CNG-Atesleme Avansinin Dagilimi	133
Sekil 11.20.	Test Aracinin Çevrim Boyunca CNG-Emme Manifold Basinci Dagilimi	133
Sekil 11.21.	Test Aracinin Çevrim Boyunca CNG Kisminda Tasit Hiz Dagilimi	133
Sekil 11.22.	Test Aracinin Çevrim Boyunca Katalitik Sonrasi Çift Yakitta (Benzin-CNG) HC Emisyonlarinin Karsilastirilmasi	134
Sekil 11.23.	Test Aracinin Çevrim Boyunca Katalitik Sonrasi Çift Yakitta (Benzin-CNG) CO Emisyonlarinin Karsilastirilmasi	134
Sekil 11.24.	Test Aracinin Çevrim Boyunca Katalitik Sonrasi Çift Yakitta (Benzin-CNG) NO_x Emisyonlarinin Karsilastirilmasi	134

SEMBOL LISTESI

?	: Izafi Hava/Yakit Orani
?	: Çap
$?_f$	: Yakit Degisim Verimi veya Fren Termal Verimi
$?_v$	: Volumetrik Verim
Q_{LHV}	: Yakitin Alt Isil Degeri
$?_a$	: Giris Kosullarinda Havanin Standart Yogunlugu
$?_f$	: Giris Kosullarinda Yakitin Standart Yogunlugu
W	: Wobbe Sayisi
H	: Gazin Isil Degeri

Üniversitesi : **Istanbul Teknik Üniversitesi**
Enstitüsü : **Fen Bilimleri**
Anabilim Dali : **Makina Mühendisligi**
Programi : **Otomotiv**
Tez Danismani : **Prof. Dr. H. Ertugrul ARSLAN**
Tez Türü ve Tarihi : **Yüksek Lisans – Mayis 2003**

ÖZET

DOGAL GAZLI TASITLARIN GELISTIRILMESI VE BENZINLI TASITLARLA KARSILASTIRILMASI

Hakan TURHAN

Bu yüksek lisans tezinde dogal gazli tasitlarin motor teknolojisindeki gelismeler, egzoz emisyonu, enerji verimi ve çevresel etkilerine genel bir bakis açisi sunulmaktadir.

Avrupa Birligi Komisyonu, tasitlarda dogal gaz kullanim payini 2010'da %2, 2015 yilinda %5 ve 2020 yilinda ise %10 olarak karara varmistir. Ham petrolün azalmasiyla; dogal gazin önemi her geçen gün artmaktadir. Fakat dogal gaz sadece alternatif yakit olarak öneminden baska temiz yakit olarak adlandirilmasi ve çok düsük seviyede emisyon sonuçlarina ulasilmaktadir.

Dogal gazin vuruntu direnci yüksek olmasi nedeniyle; Otto motorlarina çok uygundur. Gaz yakitlar havayla çok çabuk bir form alabilmektedir. Yakit molekülü issiz bir yanma için bir avantajdir. Genelde hem hafif hem de agir hizmet tasitlari uygulamalarinda, tasitlarda kullanilan motor ve egzoz teknolojileri belirlenen emisyon degerler için önemli bir faktördür.

Dogal gaz motorlarin egzoz emisyon performanslari, yanma sistemi, yakit sistemi ve katalitik dönüstürücü sistemlerinin ana özelliklerini ve parçalarini saptamak lazimdir. Buji ateslemeli gaz motorlari, hava/yakit oranina göre üç kategoriye ayirilmaktadir:

- Stokiyometrik motorlar
- Fakir karisimda çalisan motorlar
- Düsük yakit tüketimi için en uygun motor fakat düsük emisyonlu olmayan motorlar

Egzoz emisyonu kontrolü için iki temel yol bulunmaktadir. Bunlardan ilki katalitik dönüstürücünün kullanilmasidir. Stokiyometrik motordaki ekipmanlardan kapali çevrim yakit sistemi ve üç yollu katalitik dönüstürücü çok düsük egzoz emisyonu saglamaktadir. Bu sistem su an kullanilan tüm hafif hizmet tasitlarinda uygulanmaktadir. Ikinci uygulama ise; fakir karisimda çalisan motorda uygulanmakta ve yanma prosesindeki nitrojen oksit formasyonu kontrolünü saglamaktadir. Oksidasyon katalitik dönüstürücü kullanilmasiyla karbon monooksit ve hidrokarbonlari kontrol etmektedir. Alternatif yakitli agir hizmet tasitlari genelde fakir karisimda çalismaktadir.

Stokiyometrik ve fakir karisimda çalisan motorlar için uygun dinamik emisyon performansini saglamak için tam yakit kontrolü çok önemlidir. Dogal gazli stokiyometrik ve fakir karisimda çalisan motorlar için sirali çok noktadan yakit püskürtme ile kapali çevrim kontrolü uygulanmalidir. Günümüzdeki ileri düzeydeki dogal gazli hafif hizmet tasitlarinda bulunan sirali çok noktadan yakit püskürtme sistemleri EPA Tier 2 emisyon standartlarini saglamaktadir.

OBD sistemleri, egzoz kontrol sistemi ve motor isletim sistemlerindeki hatalari ortaya çikarmaktadir. Bu sistem Avrupa ve Amerika hafif hizmet tasitlarinda gerekmektedir ve benzinli tasitlara çalismasi uygundur. Fakat alternatif yakitli tasitlarin çalismasina uygun degildir.

Su an kullanilan Amerikan rugulasyonlarinda, alternatif yakitli tasitlarin OBD II regulasyonlarina uymak zorundadir. Hatalari belirten isik göstermeyebilir. Çünkü orjinal emisyon kontrol sistemi göz önünde tutmak gerekmektedir.

Bununla beraber 2004 yilina kadar, alternatif yakit sistem üreticileri için monitor strateji onayi gerekmektedir. Alternatif yakitli çalisma sirasinda hatali MIL ve kodlari gösterilmeyebilir.

Benzer regulasyonlar Avrupa'da EOBD sistemleri ile ilgili bulunmaktadir. Benzer durumdaki üreticiler ayni uygulamalari EOBD monitör sistemleri içinde uygulamaktadir. Çünkü monitörler alternatif yakitli tasitlarda güvenilir olmayabilir.

Avrupa'daki yeni emisyon regulasyonlari hafif hem de agir hizmet tasitlari için kararlastirilmistir. Avrupa regulasyonlarinda hafif hizmet tasitlari için, toplam hidrokarbonlar ve metan olmayan hidrokarbonlar arasinda fark bulunmamaktadir. Bu da dogal gazli tasitlarin gelisiminde bir problemdir.

Hafif hizmet tasitlarinda benzinden dogal gaz geçildigi zaman yakit karisiminin yogunlugu düsmektedir. Bu da güç kayiplarinda yaklasik %10 düsüse neden olmaktadir. Fakat dogal gazli tasitlarin ulastigi bu güç degerleri de memnun edici bir performanstir. CNG tasitlarinda yakit tüketimi benzinli tasitlara göre %0-10 arasinda artmaktadir. Bununla beraber dogal gazli tasitlarin çalismasinda "greenhouse" sera emisyon degerleri benzinli tasitlara göre çok düsüktür.

Zararli egzoz emisyonlarinin ve "greenhouse" sera gazlarinin düsüsünün devam etmesi yakitin, motorun ve egzoz sistemlerinin teknik gelismesi ile direkt ilgilidir.

Hem hafif hem de agir hizmet dogal gazli tasitlardaki yakit sistemlerinde sirali çok noktadan yakit püskürtme sistemlerini hatta direkt püskürtme sistemleri adapte etmek gerekmektedir. Bu iyi bir emisyon performansi için çok kritiktir. TWC sistemlerinde hava/yakit orani kontrolü için yüksek katalitik dönüstürücü verimine ulasmak için strateji ve software çok kritiktir.

Bu yüksek lisans tezinde dogal gaz tasit uygulamalarinda bulunan teknolojilerden ve gelismelerden söz edilmektedir. Teknik sorunlarin büyük bir kismi ya çözüldü ya da çok yakin bir gelecekte çözülecektir. Teknik sorunlarin disinda pazarlama sorunlari da bulunmaktadir. Dogal gaz da yeniden dolum istasyon agina ihtiyaç bulunmaktadir.

Anahtar Kelimeler: Motor Teknolojisi, Emisyonlar, Yakit Verimi ve Tüketimi

University : **Istanbul Technical University**
Institute : **Institute of Science and Technology**
Science Programme : **Mechanical Engineering**
Programme : **Automotive**
Supervisor : **Prof. Dr. H. Ertugrul ARSLAN**
Degree Awarded and Date : **MSc - May 2003**

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF NATURAL GAS VEHICLES AND COMPARISON OF GASOLINE VEHICLES

Hakan TURHAN

This master thesis on engine technology, exhaust emissions, energy efficiency and environmental impacts in general from a technical point of view.

The recent Green Paper on the security of energy supply and the related proposal of the European Commission to plan an increased share in the European Union of natural gas to %2 in 2010, %5 in 2015 and %10 in 2020 to reduce the crude oil dependence have finally recognised the importance of natural gas as a transportation fuel. But the natural gas is important not only as alternative fuel but also a clean fuel allowing to achieve a very low emission level.

Natural gas is well suited as an Otto engine fuel, as methane has high knock resistance. Gaseous fuels easily form a homogeneous mixture with air. This, and the simplicity of the fuel molecule, is advantageous for soot-free complete combustion. In general, for both light- and heavy-duty applications, the decisive factor for regulated emissions is the engine and exhaust gas aftertreatment technology used on the vehicle.

Main features or components determine the emission performance of a natural gas engine, i.e. combustion system, fuel system and catalyst technology. A division of spark-ignition automotive natural gas engines into three categories according to the air-fuel ratio can be made:

- Stoichiometric engines
- Lean-burn engines
- Engines optimised for low consumption but no low emissions

There are basically two ways to control emissions. One is to use a three-way catalyst. A stoichiometric engine equipped with a closed-loop fuel system and a TWC gives very low exhaust emissions. This system is used for most current light-duty and also some heavy-duty applications. The second one is to use lean-burn combustion, and in this case the formation of nitrogen oxides is controlled in the combustion process itself. Carbon monoxide and hydrocarbons are often controlled using an oxidation catalyst. Lean-burn combustion is a common alternative in heavy-duty engines.

It is very important in both stoichiometric and lean-burn engines to have precise fuel control to ensure proper dynamic emission performance. One vision of the future is that gas engines will have sequential multi-point fuel injection, and that they will have closed-loop control both for stoichiometric and lean-burn operation. The advanced light-duty CNG vehicles of today, with their sequential multi-point fuel injection systems are capable of meeting the EPA Tier 2 emission standards.

On-board diagnostic systems, which can detect malfunctions of the engine management and the exhaust control system, are required in Europe and US for light-duty vehicles. The problem is that systems originally designed for gasoline operation will not work properly on alternative fuel.

Current regulations in the US require alternative fuel vehicles to be compliant with OBD II regulations. The Malfunction Indicator Light can not be disabled, since this would be considered tampering with the original emission control system.

However, until 2004, manufacturers of alternative fuel systems may request approval of a monitoring strategy where specific monitoring requirements are disabled. This means that selected monitors which would otherwise set a false MIL and codes, can be disabled when operating on the alternative fuel.

Similar regulations are emerging in Europe with EOBD systems, and it appears likely that manufacturers can apply for a derogation EOBD monitoring systems because monitoring may not be reliable on alternative fuels.

In Europe, new emission regulations for both light-duty and heavy-duty vehicles have been decided upon. The European regulations for light-duty vehicles do not differentiate between total hydrocarbons and non-methane hydrocarbons, a problem for natural gas vehicles.

The performance of an engine running on natural gas very much depends on the sophistication of the engine and whether the engine is dedicated for natural gas or not. Normally power loss of some % 10 due to reduced fuel mixture energy density can be expected when switching from gasoline to natural gas in light-duty vehicles. In most cases there is power enough for satisfactory performance even when running on natural gas.

Depending on the vehicle, one could estimate that a CNG vehicle consumes %0-10 more energy than a gasoline vehicle. The overall emissions of greenhouse gases, however, are clearly lower when running on natural gas.

The reduction of harmful exhaust emissions and greenhouse gases will continue to direct the technical development of fuels, engines, aftertreatment systems and complete vehicles. Natural gas will surely play a role in achieving these goals.

In both light-duty and heavy-duty gas vehicles there is a trend towards more and more sophisticated fuel systems, ultimately to adaptive sequential multi-point fuel injection systems or even direct systems. Accurate fuel metering is one of the most critical items for good emission performance and for TWC systems, the strategy and software for controlling air/fuel ratio is critical to achieving high catalyst efficiencies.

In this mater thesis, there are very promising technologies available for natural gas vehicle applications. Most of the technical issues have been solved or will be solved in the near future. The task to get natural gas vehicles really going is really not a technical issue, but rather more a marketing issue. Work to building up adequate refuelling networks is also needed.

Keywords: Engine Technology, Emissions, Fuel Efficiency and Consumption

1. GIRIS

Gelisen ülkelerde tasit sayisi ve genel enerji kullanimi hizla artmaktadir. 1999 yili sonu verilerine göre dünyadaki hem petrol rezervi yaklasik 40 yil, dogal gaz rezervi ise yaklasik 60 yil yetecek kadardir (Tablo 1.1.). Düsük emisyon degerleri ve yakit tüketimi ile dogal gazli tasitlar 21. yüz yil ulasim sektöründe önemli bir yer saglayacaktir. Günümüzde kullanilan dogal gazli tasit sayisi 1 milyonu geçmektedir. Avrupa Birligi Komisyonu'nda tasitlarda dogal gaz kullanimini 2010 yilinda %2, 2015 yilinda %5 ve 2020 yilinda da %10 olarak kararlastirmistir. Bu yüzden otomobil üreticileri dogal gazla çalisan tasitlarin teknolojisini, petrol türevli tasitlarin teknolojisine yaklastirmak için çaba sarf etmektedir [12].

Tablo 1.1. Dünyadaki Ham Petrol ve Dogal Gaz Rezervleri [12]

	Mevcut Rezerv (milyon ton)	**1999 Dünya Tüketimi (milyon ton)**	**Rezerv/Üretim (Yil)**
Dogal Gaz	138011	2160,8	61,9
Ham Petrol	140400	3462,4	41,0

Günümüz CNG tasit teknolojisinde, hem hafif hizmet hem de agir hizmet motor uygulamasinda çok düsük emisyon degerleri görülmektedir. CNG motorlarinin emisyon limitlerini çok yüksek yakit çevrim yüzdesi ile test edildiginde; CNG tasitlarinda CO_2 emisyon degerleri, denk benzinle çalisan tasita göre %20 düsük çikmaktadir. Dogal gazin içerigindeki karbon miktarinin diger fosil yakitlardan daha düsük olmasi nedeniyle CO_2 emisyon degerleri düsük çikmaktadir. Ayrica HD CNG (Agir Hizmet Dogal Gaz) motorunun Avrupa transit çevriminde ortalama CO_2 emisyonu 670 g/kw-h saglanmistir. CNG' nin yakit çevrim yüzdesi, gelecek CNG teknolojisi ile daha da gelisecegi kesindir.

CNG tasit teknolojisi gelisimi derken aklimiza iki baslik gelmektedir:

1. Emisyon Açisindan Gelisimi
2. Yakit Tüketimi Açisindan Gelisimi

Dogal gaz motorlarinda metan-hidrokarbon ve metan olmayan-hidrokarbon için iki ayri standart olabilir. Toplam hidrokarbon emisyonu için bunlardan bir tanesinin benimsenmesi lazimdir. Çünkü dogal gaz egzoz emisyonunda metan kaynakli hidrokarbonlar %90'dan fazladir. Bu emisyon hiçbir zaman aktif olmaz ve ozon formasyonunu yükseltmez. Dogal gazli motorlarda NO_x emisyonunu da çok düsürmek lazimdir. NO_x emisyonu ile yakit tüketiminin arasinda bir denge vardir. Metan, "greenhouse" (sera) bir gazdir ve potansiyel hava kirliligine önemli ölçüde bir etkisi bulunmamaktadir.

Agir hizmet motorlari için Avrupa Birligi (EU) direktifleri NMHC (metan olmayan hidrokarbonlar) ve CH_4 (metan) için ayri standartlari onaylamaktadir. Zaten devletlerde uygulanmaktadir. Malasef Avrupa'da otomobiller için ne ayri standartlar ne de EEV(Çeveresel Özelligi arttirilmis Tasit) konsept ortaya konmamistir. Bu nedenle zararli NHMC'in (metan olmayan hidrokarbonlar) yerine THC'lari (Toplam hidrokarbonlar) azaltici yönde çok daha pahali katalizör benimsenmesini zorunda birakilmistir. Bu da CNG otomobillerinin difizyonu ve popüler olmasina büyük engeldir.

Bu yüksek lisans tez çalismasinin amaci, dogal gazli tasitlarin gelisen motor teknolojisiyle; sahip olduklari egzoz emisyon degerleri ve yakit tüketimi ile mevcut benzinli tasit teknolojisine en iyi alternatif oldugunu göstermektir. Bunun için çift yakitli (CNG/Benzin) bir test aracina egzoz emisyon ve yakit tüketimi testleri uygulanmistir. Tez kapsaminda yapilan testler TOFAS Ar-Ge Egzoz Emisyon Laboratuarinda yapilmistir.

2. DOGAL GAZIN YANMA ÖZELLIKLERI

Asagidaki faktör ve özellikler; dogal gazli motor ve tasit uygulamalarinda performans ve emisyon açisindan etkilemektedir.

- Yakit Yogunlugu
- Vuruntu Direnci
- Stokiyometrik Hava/Yakit Orani
- Wobbe Indeksi
- Kendi Kendiligine Tutusma Sicakligi
- Hacim Basina Düsen Yanma Isisi
- Agirlik Basina Düsen Yanma Isisi
- Hacim Basina Düsen Karisimin Yanma Isisi
- Yanma Limitleri

Bu listeye kimyasal bilesikler ve sülfür içerigi de eklenebilir. Dogal gaz içerisindeki bazi sülfür içerikler, katalitik dönüstürücü performansina olumsuz yönde etki etmektedir.

Gaz bilesiklerindeki degisiklikler; dogal gazli tasitlarin çalismasina, performansina, yanma hizina ve egzoz emisyonuna çesitli derecede etkide bulunmaktadir. Örnegin Liss ve Trasher'in (1992) arastirmasina göre; Amerika'daki gaz bilesenlerindeki degisiklikler, yanma isisini %14, yakit yogunlugunu %14, Wobbe Indeksini %20 ve stokiyometrik hava/yakit oranini %25 dolayinda etkilemektedir. Buna benzer bir örnek de; Avrupa'daki dogal gazin kalitesindeki farkliliklardan dolayi grup L ("low heating value"-alt isil degeri) ile grup H ("high heating value"-üst isil degeri) çesitli etkiler meydana gelmektedir [16].

Hacim ya da agirlik basina düsen yanma isisi, tasitin yakit depolama ölçütlerini ve agirligini etkilemektedir. Stokiyometrik hava/yakit karisimin hacim basina düsen yanma isisi, güç yogunlugunu daha fazla derecede etkilemektedir [16].

Gaz yakitlar, sivi yakitlara göre daha fazla hacim ihtiyaç gösterir. Bundan dolayi gaz yakitlarda, sivi yakitlara göre silindirdeki temiz havanin sarji daha düsüktür. Tablo 2.1'de bazi sivi ve gaz yakitlar için teorik hava/yakit orani, yogunluk, stokiyometrik karisimin enerji yogunlugu ile izafi enerji yogunlugu gösterilmektedir. Sivi yakitlar göz önünde tutuldugunda; yakit, silindirdeki temiz hava miktarini düsürmemektedir.

Benzinden metana geçiste, stokiyometrik karisimin enerji yogunlugunda %10 bir azalma meydana gelir. Gerçek hava/yakit orani, volümetrik verim ve fren termal verimi; motorun çikis gücünü etkilemektedir.

Dizel motorlari, duman formasyonundan dolayi stokiyometrik karisimlarda çalismazlar. Yüksek hiz dizel motorlari için minimum izafi hava/yakit oraninin degeri yaklasik 1,3'tür.

Tablo 2.1. Çesitli Yakitlarin Stokiyometrik Hava/Yakit Karisimindaki Isil Degerleri ve Hava/Yakit Oranlari [15]

Yakit	**Hava/Yakit Orani**	**Özgül Agirligi (kg/m^3)**	**Stokiyometrik Karisimda Alt Isil Degeri (MJ/kg)**
Hidrojen (Gaz)	34,30	0,084	3,40
Metan (Gaz)	17,23	0,78	2,72
Propan (Gaz)	15,67	0,51	2,75
Metanol (Sivi)	6,47	0,792	2,68
Etanol (Sivi)	9,00	0,785	2,69
Benzin (Sivi)	14,60	0,72-0,78	2,83
Dizel (Sivi)	14,50	0,84-0,88	2,74

Çikarildigi kaynaga göre dogal gaz içeriklerinde oldukça farkli degisiklikler görülmektedir. Metan dengesindeki, diger hidrokarbonlar ve soy gaz miktarindaki degisiklikler karisimin volumetrik enerji içerigini ve yogunlugunu etkilemektedir. Yükselen hidrokarbon miktari volumetrik enerjiyi yükseltmektedir. Bu arada artan soy gaz miktari bunu azaltmaktadir. Bu da emisyon miktarini ve vuruntuyu arttirmaktadir. Fakir karisimda çalisan motorlarda çok büyük soy gaz konsantrasyonu da çikis gücünü azaltmaktadir [5].

Gaz bilesenlerinin motorun çalismasini etkisini iki ölçüm ile karakterize etmek mümkündür: Wobbe Indeksi ve Metan Sayisi. Wobbe Sayisi (W); gazin isil degerinin, havaya karsilik gelen spesifik gravitenin karekköküne bölünmesiyle bulunmaktadir. Wobbe Indeksi, gazlarin degisken bir ölçüsüdür. Bunun yaninda Wobbe Indeksi, termal enerji akisinin ölçüsü ile iliskilidir. Tablo 2.2'de bazi gazlarin Wobbe Indeksi gösterilmektedir [5,15].

$$W = \frac{H(BTU/scf)}{\sqrt{sp.gr.}} \quad [5] \qquad (2.1)$$

Tablo 2.2. Bazi Gaz Yakitlarin Wobbe Indeksi [15]

GAZ	**Wobbe Indeksi (MJ/m^3)**
Dogal Gaz (Groningen, Hollanda)	39,47
Metan	48,17
Etan	62,86
Propan	74,75
LPG (60% Propan, 40% Bütan)	79,2
Bütan	85,2
Karbon monoksit	12,84

Dizel motorlarinda yanma, sikistirma basinci ve yüksek sicakliktan dolayi kendi kendiligine tutusarak baslamaktadir. Propanin ve özellikle metanin kendiliginden tutusma sicakligi çok yüksektir. Bu nedenle bu yakitlar dizel prosesine pek uygun degillerdir. Kendiliginden tutusmasi için; metanin sikistirma orani 38:1 ve propanin sikistirma orani ise 29:1 olmasinda ihtiyaç vardir. Bundan dolayi gaz motorlarinda gaz yakitlarin ateslenmesi ya elektriksel kivilcimla (Otto Motoru) ya da dizel yakitin püskürtülmesiyle (pilot püskürtme) olur.

Bunun yaninda hem metanin hem de propanin vuruntu direnci yüksektir. Yüksek vuruntu direnci Otto motoru yakitlari için bir avantajdir. Vuruntu, silindirde anlik ve lokal basinç tepkimeler sonucu; asiri isil ve mekanik zorlamalara neden olmaktadir. Bu nedenle vuruntu Otto motorlari için çok zararlidir ve bundan kaçinmak lazimdir. Metanin oktan sayisi (MON) 120; propanin ki ise, 100 civarindadir. Dogal gazli çalismada, benzinli çalismaya göre motor verimi daha yüksek olmasi için; dogal gaz yakitli Otto motorlarinda sikistirma orani 13:1 olmalidir [15,16].

Gaz yakitlarin vuruntu direnci, metan sayisiyla hesaplanir. Metanin vuruntu direnci yüksektir ve indekste degeri 100'dür. Hidrojenin ise vuruntu direnci düsüktür ve indekste degeri 0'dir (Tablo 2.3.). Eger bir gaz karisimi yapmak istiyorsak; metan sayisini 70 yapmamiz lazimdir. Bunun için karisimin %70' i metan ve %30'u ise hidrojen yaparak vuruntu direnci olusturmak söz konusudur [16].

Tablo 2.3. Çesitli Gazlarin Metan Sayilari ile Oktan Sayilari [16]

Gaz Yakit	**Metan Sayisi (MN)**	**Oktan Sayisi (MON)**
Metan	100	122
Etan	44	101
Propan	32	97
Bütan	8	89
Hidrojen	0	130 (RON)

Genelde motorlar, fakir karisimda yanma ya da stokiyometrik karisimda çalisacak sekilde dizayn edilir. Fakir karisimli yanmada düsük NO_x emisyonu için fakir çalismayla kontrol edilmektedir. Ayrica oksidasyon katalitik dönüstürücüsü kullanilarak hidrokarbon emisyonu düsürülmektedir. Stokiyometrik karisimli motorlarda düsük emisyon saglamak için; üç-yollu katalitik dönüstürücü (TWC) kullanilmasi gereklidir. Her iki motor tipinde de; emisyon kontrol sisteminin optimum performansi için, hava/yakit kontrolü orani kritiktir. Gaz bilesimi, gazin yogunluguna ve stokiyometrik hava/yakit oranina etki etmektedir. Bu egzoz emisyon performansinda çok önemlidir.

Agir hizmet gaz yakitli motorlarda fakir yanma ilginçtir. Stokiyometrik veya zayif fakir karisim yerine ?=1,5-1,7 arasindadir ve NO_x degerleri oldukça düsüktür. Benzinle karsilastirildiginda metanin yanisi çok yavastir ve metanin fakir yanma limitleri daha yüksektir. Propanin yanisi ise benzinden daha hizlidir ve fakir yanma limitleri benzin ve metan arasindadir.

Stokiyometrik hava/yakit oraninda minimum tutusturma enerjisine ihtiyaç vardir. Zengin veya fakir karisimda bu enerji gereksinimi artmaktadir. Tutusturma enerjisi yakit kalitesine göre degismektir. Tutusturma enerjisi sirasiyla hidrojen, benzin, propan ve metana göre degeri artmaktadir. Bu nedenle dogal gazli motorda fakir karisimda yanma için; tutusturma performansi yüksek olmasi lazimdir.

2.1. Sertifikasyon Referans Yakitlari

Motor, tasit performansi ve egzoz emisyonlari açisindan karsilastirmalarda; test yakitinin farkliligi, homologasyon prosedürleri ve egzoz emisyon testleri sirasindaki referans gazlarin ve standartlarin belirtilmesi belli bir etki saglamaz. Önemli derecede etkileyen faktörler [16]:

- Düsük Kalorifik Degeri
- Gazin Yogunlugu
- Stokiyometrik Hava/Yakit Orani
- Wobbe Indeksi

Bu parametrelerin limitlerinde olusu, motor performansini uygun limitlere kalmasini saglamaktadir. Referans yakitin özelliklerinde, bu faktörler hidrokarbon bilesenleri tarafindan kontrol edilir.

2.1.1. US EPA ve CARB Referans Yakitlari

Amerika'da, "Environmental Protection Agency (EPA)" ve "California Air Resources Board (CARB)" olmak üzere iki ayri CNG sertifikasyon yakit standardi bulunmaktadir. Tablo 2.3'te bu referans yakitin özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 2.4. Referans Yakitlarin Özellikleri (%) [16]

Bilesenler	**EPA Referans Yakiti**	**CARB**	
		Referans Yakit	**Ticari Yakit (mil için)**
Metan	89.0% min.	90.0% (±1.0)	88.0% min.
Etan	4.5% max.	4.0% (±0.5)	6.0% max.
C3 ve daha yüksekler	2.3% max.	2.0% (±0.3)	3.0% max.
Oksijen	0.6% max.	0.5% max.	1.0% max.
Soy Gazlar	4.0% max.	3.5% (±0.5)	1.5-4.5%

2.1.2. Avrupa Referans Yakitlari

Avrupa Regulasyon ECE R83'te; CNG tasitlarinin egzoz emisyon testleri ile ilgili yükümlülükler belirtilmistir. Bu CNG tasit ailesi "parent (aile)" ve "member (üye)" den olusmaktadir [16].

"Parent (aile)" tasiti her türlü yakit bilesenine adapte olabilen tasitlardir. Avrupa'da iki tür dogal gaz yakiti bulunmaktadir:

1) Yüksek Kalorifik Deger (H-gaz)
2) Düsük Kalorifik Deger (L-gaz)

Fakat bu iki degerler arasinda önemli farkliliklar bulunmaktadir. L-gaz ile H-gaz arasinda Wobbe indeksinde önemli farkliliklar bulunmaktadir. Iki tane referans yakiti sunulmustur: G20 ve G25 (Tablo 2.4). Her iki referans yakitinin da egzoz emisyon degerleri, regulasyon degerlerinin altinda ise; tasit onaylanir.

"Family member (aile üyesi)" tasitlarin egzoz emisyon testlerinde sadece bir referans yakiti kullanilmaktadir. Eger egzoz emisyon sonuçlari, regulasyon limitlerinin altinda çikarsa; tasit onaylanir [16].

Tablo 2.5. Avrupa Dogal Gaz Referans Yakit Bilesenleri (%) [16]

Bilesenler	**G20**			**G25**		
	Nominal	**Min.**	**Max.**	**Nominal**	**Min.**	**Max.**
Metan	100%	99%	100%	86%	84%	88%
Balans	n.s.	n.s.	1%	n.s.	n.s.	1%
Nitrojen	n.s.	n.s.	n.s.	14%	12%	16%
Sülfür	n.s.	n.s.	50mg/m^3	n.s.	n.s.	50mg/m^3

n.s. Tipine göre ayirim yok.

"Family of vehicles (Tasit ailesi)" anlami çesitli tasit grubudur. "Parent vehicle (aile tasiti)" ise, yakit sisteminin öz uyumunu gösteren tasitlardir. "Member of a family (aile üyesi)" ise birçok önemli karakteristikleri ortak olan tasitlardir. Bu karakteristikler [16]:

a) Ayni üretici tarafindan üretilmesi
b) Ayni egzoz emisyon limitlerine sahip olmak
c) Aile tasitlarinda güç çikisi 0,7 ve 1,5 kat oranindadir.
d) Ayni tip katalitik dönüstürücü (Üç yollu, oksidasyon, de-NO_x) kullanilmasi.
e) Ayni tip ve ayni teknik özelliklere sahip elektronik kontrollü gaz yakit sisteminin bulunmasidir.

2.2. Gaz Bilesenlerdeki Degisikliklerin Etkileri

2.2.1. Amerikan-Hafif Ticari Tasitlar (1997)

"Clean Air Vehicle Technology Center (Bevilacqua, 1997)" Temiz Yakitli Tasit Teknolojisi Merkezi tarafindan uygulanan test programinin karsilastirmali sonuçlari, 1997 yilinda "Gaz Arastirma Enstitüsü" tarafindan basilmistir. Burada dogal gazin bilesenlerinin, NGV (Dogal gaz tasiti) egzoz emisyonu ve performansina olan etkileri incelenmistir. Test yakiti olarak Amerika'da ticari olarak kullanilan yakitlar kullanilmistir. Test yakitlarinin bilesenleri Tablo 2.5'te gösterilmektedir. Hidrokarbon bilesenlerinin sinirlari: Metan, 82,38-91,44%; etan, 1,75-8,44%; propan, 0-6,00% ile bütan ve diger agir hidrokarbonlarin sinirlari 0-4,07%'dir [16].

Test sonucunda; yakit bilesenleri degisikliklerinin egzoz emisyonu veya NGV-sürüs konforu dizaynina önemli bir etkisi olmadigi görülmüstür. Bununla beraber NGV' deki büyük yakit degisikliklerinde bazi problemler görülebilir. Fakat bu problemler küçük ve kisa zamanda çözülebilecek sorunlardir. Diger sonuçlar ise:

- Tek yakitli (dedicated) dogal gaz tasitlarinin performansi, çift yakitli (bi-fuel) dogal gaz tasitlarina göre çok daha iyidir.
- Çift yakitli (bi-fuel) dogal gaz tasitlarinin egzoz emisyon sonuçlari, tek yakitli (dedicated) dogal gaz tasitlarina göre çok yüksektir.
- Dogal gazli tasitlarin performansi (tek yakitli veya çift yakitli), ürünün gelismesinde için verilen çaba ile direkt etkilidir.

Sonuç olarak; yakitin özelliklerini (özellikle "closed loop" kapali çevrim kontrol sistemlerinde), tasit egzoz emisyonu ve performansini düsürmeden gelistirmek mümkündür [16].

Tablo 2.6. Bevilacqua Test Programinda Kullanilan Yakitlarin Birlesimi (%) [16]

	TF-1	**TF-2 (Kalif. Sert. Yakit)**	**TF-3**	**TF-4**	**TF-5**	**Kaliforniya Ticari Özel.**
Metan	91,44	90,04	84,49	94,97	82,38	88,0 min.
Etan	1,75	4,0	8,44	3,02	4,65	6,0 max.
Propan	0,00	C_{3+} = 2,0	0,00	0,14	6,00	C_{3+} = 3,0
C_{4+}	0,02	-	0,00	0,06	4,07	-
Soy Gazlar	6,78	3,5	6,40	1,79	2,89	1,5-4,5
Oksijen	0,01	0,5	0,27	0,03	0,02	1,0 max.
Izafi Yogunluk	0,593	0,619	0,620	0,581	0,725	-
LHV (MJ/m^3)	32,2	31,3	34,0	34,4	41,0	-
Wobbe Indeksi (MJ/m^3)	46,4	44,1	47,9	50	53,1	-

2.2.2. Avrupa-Hafif Ticari Tasitlar (2001)

Bu arastirma Volkswagen, Daimler-Chrysler, Ruhrgas ve Thyssengas (Schollmeyer ve Wegener, 2001) tarafindan yönetilmistir. Avrupa'da dagitilan dogal gazlarin en uygununu bulabilmek için; farkli kaynaklardan ve farkli karisimlari olan (propan/hava veya bütan/hava gibi) test gazlari toplanmistir. Bunlardan 5 tanesi mevcut gaz birlesimidir. 1 tanesi dogal gaz ile LPG/hava karisimi içerir. 2 tanesi de Alman Standardi DIN EN 437'ye uygun karisimlardir (Tablo 2.6). Hidrokarbon

bilesenlerinin araliklari: Metan, 69,49-97;09%; etan, 0,63-8,44%; propan, 0,21-11,77%; bütan, 0,07-11,84%' tür [16].

Test motoru, benzinli Volkswagen motorundan çift yakitli (bi-fuel) dogal gaz/benzin motoruna dönüstürülmüs bir motordur. Bu degistirilmis sistem, stokiyometrik NECAM-MEGA sistemidir. Grup H ("high heating value"-Üst isil degeri) ve grup L ("low heating value"- Alt isil degeri) gazlarina uygun ayarlanmistir [16].

Tablo 2.6. Avrupa (Schollmeyer ve Wegener) Test Gazlarinin Hacimsel Oranlari (%) [16]

Gaz No.	Metan	Etan	Propan	Bütan	Nitrojen	Karbon di oksit	Oksijen
1	86,30	8,44	2,15	0,63	0,94	1,36	-
2	84,15	5,23	1,16	0,38	7,65	1,29	-
3	97,09	0,88	0,26	0,09	1,41	0,12	0,12
4	84,32	3,46	0,63	0,22	9,66	1,49	-
5	81,30	0,75	0,23	0,07	17,35	0,09	0,19
6	69,49	0,63	0,27	11,84	13,94	0,12	3,68
7	88,34	0,69	0,21	0,07	10,55	0,09	-
8	77,67	7,72	11,77	0,61	0,79	1,28	0,01

Test sonuçlarina göre; Alman pazarinda hafif hizmet dogal gazli tasitlar, gaz özelliklerindeki degisimlere uygundur ve buna göre ayarlanmistir. Eger uygun atesleme haritalari kullanilsaydi; yeterli yakit ekonomisi ve performansi, gaz degisimlerine ragmen saglanabilirdi. Iki atesleme haritasi (grup H ve grup L için), Avrupa'daki uygun tüm dogal gazla çalisan tasitlar için yeterli olacaktir. Yapilan arastirma sonuçlarinin temelinde, dogal gaz motorlarinda grup H ve grup L yakitlarina göre adaptasyonunun önemi belirtilmistir [16].

3. YANMA SONUCU ÜRETILEN ÇEVREYI KIRLETICI MADDELER

Içten yanmali motorlarda kullanilan hidrokarbon kökenli yakitlarin ideal kosullar altinda hava ile tam yanmasi sonucu elde edilen yanma ürünleri CO_2 ve H_2O ile havadaki N_2'dir. Bu maddelerden su buhari (H_2O) zararli degildir ve kirletici bir özellik tasimamaktadir. Karbondioksit (CO_2) ise dogrudan insan ve çevre sagligi üzerinde zararli etkilere sahip degildir. Ancak yanma sonucu üretilen CO_2'nin yaklasik %50 si atmosferde birikerek CO_2 konsantrasyonun giderek artisina neden olmaktadir. Atmosferde mevcut CO_2 miktarinin hava sartlarini (iklimi) etkilediginden; bu artis sonucunda "Sera Etkisi (Greenhouse Effect)" olarak adlandirilan atmosferin giderek isinmasi olayi meydana gelmektedir. Atmosferdeki CO_2 ve su buhari radyasyonu absorbe edici özellige sahiptir. Ancak bu islem özellikle 2.7×10^{-6} m, 4.3×10^{-6} m ve 12-18 x 10^{-6} m dalga boyu bantlarinda geçerli olmaktadir. Günesin yüksek sicakligi (yaklasik 5770 K) nedeniyle maksimum isil radyasyon dalga boyu yaklasik 0.5×10^{-6} m civarindadir. Dünyanin sicakligi ise daha düsük (yaklasik 255 K) oldugundan maksimum radyasyon dalga boyu 11×10^{-6} m civarindadir. Günes ve dünya sistemlerin isil radyasyon dalga boylarindaki bu farklilik enerji dengesini etkilemekte ve günesin radyasyon enerjisinin dünyaya ulasmasina karsin, atmosferdeki CO_2 absorbsiyonu sonucu dünyadaki radyasyon enerjisinin bir kismi atmosfer tabakasinda kalmaktadir. Bu durum atmosfer sicakliginin artmasina neden olmaktadir [1].

Ayrica hidrokarbon yakitlar içerisinde bulunan farkli oranlardaki kükürt de yanma sonucunda kirletici madde olarak ortaya çikmaktadir. Ancak yanma sonucu ortaya çikan asil kirletici maddeler ideal sartlarin saglanamamasi ve yanmanin tam olmamasi sonucunda olusan HC, CO ve NO_x (NO, NO_2 vb.) gibi maddelerdir. Yanma sirasindaki ara ürünler ve disosiyasyon reaksiyonlari sonucunda olusan ürünler de ortaya çikan kirletici maddeleri belirlemektedir. Hava/yakit oraninin stokiyometrik olmamasi veya karisimin tam saglanamamasi nedeniyle zengin veya fakir karisim oranlarinin yerel olarak mevcudiyeti yanma ürünleri arasinda yukarida

belirtilen zararli maddelerin bulunmasini saglamaktadir. Ayrica çesitli nedenlerle yakita eklenen katki maddeleri de zararli yanma ürünleri olusturmaktadir.

Sonuçta, içten yanmali motorlarda hidrokarbon yakitlarin yanmasi sonucu olusan zararli maddeler olarak:

- Yanmamis hidrokarbonlar. HC
- Azot oksitler, NO_x
- Karbon monoksit, CO
- Aldehitler, HC HO vb
- Is ve partiküller
- Kükürt dioksit, SO_2
- Kursun bilesenleri

sayilabilir.

3.1. Insan ve Çevre Sagligi Üzerindeki Etkileri

Insan sagligina olumsuz etki eden yanma ürünü zararli maddelerin etkileri alinis sürelerine ve alinis miktarlarina göre degismektedir. Bu maddelerin etkileri de söyledir:

3.1.1. Karbon monoksit

Kokusuz ve renksiz bir gaz olan CO çok zehirlidir. Kandaki oksijeni tasima görevine sahip olan hemoglobine baglanma yetenegi oksijene oranla yaklasik 200 kere daha fazla oldugundan, CO ortaminda bulunan bir kisinin kanindaki karboxy hemoglobin (O_2 yerine CO tasimakta olan hemoglobin) miktari zamana ve CO konsantrasyonuna bagli olarak artis gösterir. Böylece vücut hücrelerinin O_2 alma olanagi engellenerek, zehirlenmeye ve bogulmaya neden olur [1].

3.1.2. Yanmamis Hidrokarbonlar

Yakit deposundan buharlasma yolu ile veya motordan egzoz gazlari ile birlikte atmosfere atilan yanmamis veya kismen yanmis hidrokarbonlar genellikle kötü kokulu ve tahris edici maddelerdir. Bu tür HC'lar arasinda parafinler ve olefinler solunum yollarindaki mukozayi (iç deriyi) tahris edici etkiye sahip olup; ayni zamanda bayiltici etkileri de bulunmaktadir. aromatlarin ise kanser yapici özellikleri vardir. Aldehitler keskin kokulari nedeniyle göz ve burun için rahatsiz edici etkiye sahiptirler [1].

Gaz halindeki HC'lar günes isigi altinda azot oksitlerle birleserek "fotokimyasal sis" (photochemical smog : smoke - duman ve fog - sis kelimelerinden türetilmistir) olarak adlandirilan bir sis tabakasi olustururlar. Bu tabaka gözlerin yanmasina ve sulanmasina, solunum sisteminin çökmesinde neden olurken, ayni zamanda bitkiler için de zararli olmaktadir.

3.1.3. Azot oksitler

Azot oksitler (NO, NO_2, N_2O_2 vb.) de CO gibi kandaki hemoglobin ile birlesmektedir. Ancak azot oksitlerin en önemli zehirleyici etkisi cigerlerde nemle birleserek nitrik asit olusturmasidir. Olusan asit miktarinin konsantrasyonunun azligi nedeniyle etkisi de az olmaktadir. Ancak zamanla birikim özelligi bulundugundan özellikle solunum hastaliklari bulunan kisiler için tehlike yaratmaktadir. Ayrica azot oksitler kimyasal sis olusumuna da etki etmektedir. Atmosferde mevcut su ile (yagmur, sis vb.) de birleserek nitrik asit olusumuna neden olmaktadir [1].

3.1.4. Aldehitler

Aldehitler, hidrokarbonlarin kismi oksidasyonu sonucu olusan ürünlerdir. Özellikle düsük sicakliklardaki reaksiyonlarda olusurlar. Genellikle aldehitler, formaldehitler (HC HO) ve akrolein (C_2H_3 CHO)'den olusmaktadir. (HC HO), dizel egzozundaki kötü kokulu, tahris edici etkinin kaynagidir. Aldehitlerin gözlerdeki tahris edici etkisi vardir [1].

3.1.5. Kükürt dioksitler

Renksiz, sert kokulu bir gaz olan SO_2 solunum yollari, akciger ve karaciger hastaliklarina neden olmaktadir. Ayrica su buhari ile birleserek olusturdugu sülfürik asidin insan sagligi ve bitki örtüsü üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadir [1].

3.1.6. Is ve Partiküller

Içten yanmali motorlar tarafindan üretilen kati taneciklerin büyük bir bölümünü is olusturmaktadir. Yanmamis karbon partiküllerinin özellikle dizel motorlarinda olusturdugu is, zararli bilesenleri bünyesinde tasiyarak ve solunum sisteminde biriktirerek insan sagligina zararli olmaktadir. Dizel motorlari egzozundan atilan partiküller karbon/hidrojen zincirinden olusmakta olup bünyelerinde yanmamis HC'lar, polinükleer aromatikleri ve SO_2 , NO_2 ve sülfürik asit gibi inorganik bilesenleri bulundurmaktadirlar [1].

3.1.7. Kursun Bilesenleri

Benzine, yakitin oktan sayisini arttirmak amaciyla eklenen kursun tetraetil gibi katki maddeleri yanma ürünleri arasinda kursun bilesenlerinin de bulunmasina neden olmaktadirlar. Kursun, birikim seklinde vücuda etki eden çok kuvvetli zehirli bir maddedir. Metabolizma ve beyin üzerinde olumsuz etkileri mevcuttur[1] .

3.2. Dogal Gazin (CNG) Insan ve Çevre Sagligina Etkisi

Dogal gaz esas olarak metan (CH 4) ve metana göre hacimce daha az oranda etan (C_2H_6), propan (C_3H_8), bütan (C_4H_{10}), C_nH_m, karbondioksit (CO_2), hidrojen sülfür (H_2S), azot ((N_2), helyum (H_2)vs. gibi bilesenlerden meydana gelir. Bu bilesenlerin hacimce degisimi gazin kaynagina bagli olarak degisir. Dogal gaz kaynaginda renksiz ve kokusuzdur. Ancak emniyet gerekçesiyle çesitli kokulandirma maddeleriyle kokulandirilir.

Tablo 3.1. Çesitli Yakitlarin Insan ve Çevre Sagligina Etkisi [15]

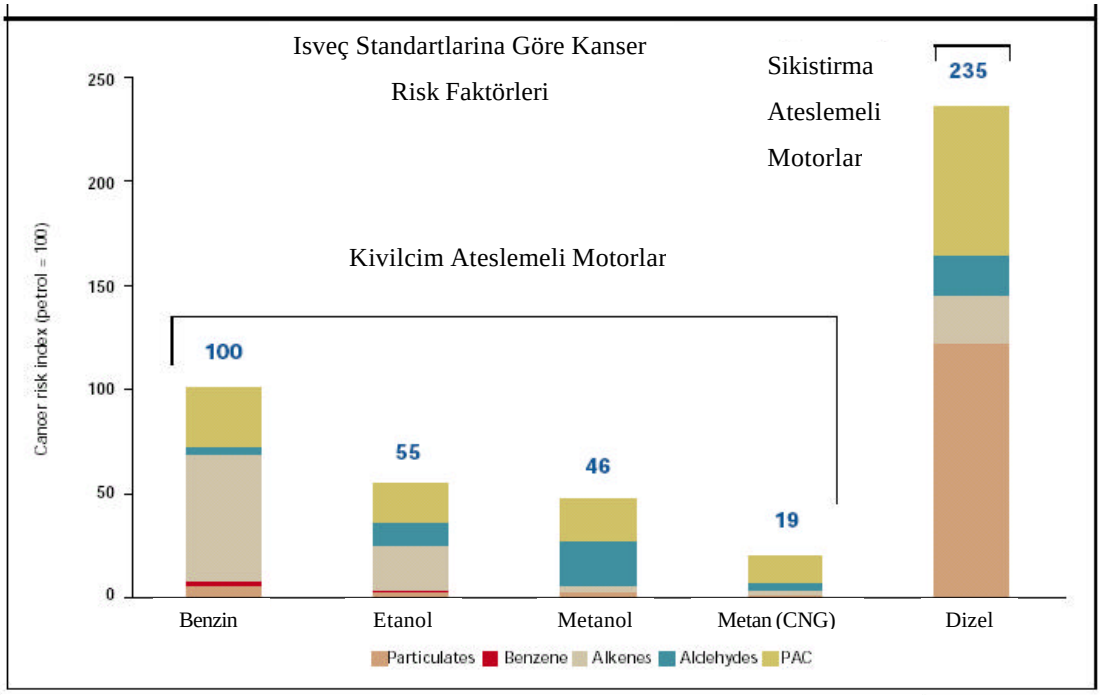
Direkt Toksin ve Zararli Etkiler	**Benzin**	**LPG**	**CNG**	**Dizel**
CO	0	0/+	+ +	+
CO_2	0	0	+	- -
Partikül	0/+	+	0	-/- -
Düsük Aldehit	0	0	+/+ +	-/- -
Uzun Süreli Toksin Etkiler				
PAH	0	+	+	-
BTX	-	0	0	0
Düsük Aldehit	0	0	+	-
Özet	-/0	0/+	+	-
Bölgesel ve Global Etkiler				
Duman (Yaz)	-	0	+	-/- -
Duman (Kis)	0	0/+	0	-
Asit	0	0/+	0/+	-
GWP	-/0	0	0/+	-/0
Özet	-/0	0/+	0/+	-
Etkilerin Özeti				
Direkt Toksin	0	0/+	+/+ +	-/- -
Uzun Süreli Etkiler	-/0	0/+	+	-
Bölgesel ve Global Etkiler	-/0	0/+	0/+	-

(+ +, + Avantaj; 0 Nötr; -, - - Dezavantaj)

Son yillardaki dogal gazli motor jenerasyonunda, yeni jenerasyon dizel motorlarina göre önemli ölçüde düsük emisyon degerleri görülmektedir. Su anki dogal gazli motorlarda Euro4 standartlari saglanmaktadir. Tüm kategorilerde "greenhouse" gazlar, kritik kirlilikler ve hava toksinleri) daha düsük seviyede emisyon degerleri görülmektedir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Çesitli Yakitlarin Insan ve Çevre Sagligina Etkileri [20]

Yakit	**GHG**	**PM**	**NO_x**	**Toksin**	**Saglik**
LS Dizel (Avusturya)	Agir Hizmet Tasitlari Için Referans Yakit				
ULS Dizel (Avusturya)	=	~	~	~	#
Dizel (100% Hidroproses)	=	~	~	~	#
100% Biodizel (Kanola)	--	~	+	=	=
100% Biodizel (Soya)	--	~	+	=	=
100% Biodizel (Kolza Yagi)	--	~	+	=	=
CNG (Elektrik Sikistirma)	--	--	--	--	#
CNG (NG Sikistirma)	--	--	--	--	#
LNG (Boru Hatti Çikisi)	--	--	--	--	#
LNG	--	--	--	--	#
LPG (Otogaz)	-	--	--	-	#
Etanol Azotropik (Etilen)	+	-	=	++	X
Etanol Azotropik (Bugday)	-	=	=	=	=
Hidrojen (Dogal Gazdan)	=	--	--	--	#
-- Çok Düsük (Referans Yakita göre); - Daha Düsük; ~ Çok Az Düsük; = Hemen Hemen Ayni; + Daha Yüksek; ++ Çok Yüksek; # Daha Gelismis (Referans Yakita Göre); X Daha Kötü					



Sekil 3.1. Çesitli Yakitlarin Isveç Standartlarina göre Kanser Risk Faktörleri [20]

Dogal gazin toplam hidrokarbon (THC) degeri yüksektir. Fakat bunun tamamina yakini metan hidrokarbonlari oldugundan önemsizdir. Kansere sebep olan; metan olmayan hidrokarbonlar dogal gazli motorlarda, dizel ve benzinle çalisan motorlara göre daha düsük seviyededir. Karbonmonoksit (CO) seviyesi de çok düsüktür.

4. GAZ YAKITLI TASITLAR

2000 yilinda dünyadaki gaz yakitli tasitlarin sayisi 5,5 milyondur. Bunlardan 1 milyon tanesi dogal gazla çalisan tasitlardir. Geriye kalan kisim ise; LPG ile çalisan tasit sayisidir. Gaz yakitli tasitlarin büyük bir kismi yolcu tasitidir ve genelde benzin/gaz (bi-fuel) sistemindedir. Gaz yakit kullanan tasit kullanicilari ulasimda yakit maliyetini daha ucuza saglamaktadir. Çünkü gaz yakitlardan alinan vergiler, sivi yakitlardan alinanlara göre daha azdir. Bununla beraber çevresel nedenlerden dolayi gaz yakitlarin önemi son 10-15 yilda daha da artmistir.

Günümüzde gaz yakitli tasitlarda bir takim teknik seviyeye ulasilmistir. Dogal gazli tasitlar, hem hafif hizmet hem de agir hizmet tasitlari uygulamalarinda; OEM (Original Equipment Manufactures-Orjinal Ekipman Üreticileri) tarafindan saglanmaktadir. 1998 yilindan itibaren 43 OEM üyesi tarafindan dünya çapinda dogal gazli yol yasitlari; 11 agir hizmet motoru üreticisi de, dogal gazli agir hizmet tasitlari hatta çok çesitli versiyonlarda "off-road" (arazi) tasitlari üretmeye baslamistir.

Gaz yakitli tasitlarin prototip safhasi biraz uzundur. Bununla beraber geleneksel tasitlarla (benzin ve dizel tasitlar) karsilastirmak için; gaz yakitli tasitlarin gelisimine büyük önem verilmektedir. Özellikle agir hizmet sektöründe dogal gazli tasitlarin teknik gelismesinde beklentiler çok fazladir. Yakin gelecekte iki büyük etken; gaz yakitli motor teknolojisinin gelismesine çok büyük etki etmektedir. Bunlar:

- Hafif hizmet tasitlarinda OBD'nin (On-Board Diagnostic System) zorunlulugu (Amerika ve Avrupa'da)
- Agir hizmet tasitlarinin egzoz emisyon sertifikasyonu için; yüksek geçici emisyon test dönüsümleri (Amerika)

Bunlara ek olarak; dünyada "greenhouse" gaz emisyonlarinin düsmesi yönünde davranilmaktadir. Bundan dolayi da gelecekte genel olarak ulasim sistemlerinde enerji verimi, daha fazla önem kazanacaktir. Bundan da su sonuç çikmaktadir; gaz

yakitli motorlar için yüksek verimin saglanmasi lazimdir. Bu yüzden özellikle dogal gazli agir hizmet motorlarinda büyük degisimler olacaktir. Su anki dogal gazli agir hizmet tasitlari, dizel versiyonlarina göre daha az yakit verimi saglamaktadir.

1988 yilinda, otomobil ve motor üreticileri birligi (AAMA-Amerika, ACEA-Avrupa ile US ve JAMA-Japonya) sundugu bildiride çesitli emisyon ve tasit performansi açisindan; tasitlari üç farkli pazarlama kategorisine ayirmistir. Bu kategoriler [15]:

- Kategori 1**:** Temel tasit/motor performansi açisindan emisyon kontrolü için, minimum ihtiyaçlar.
- Kategori 2**:** Emisyon kontrolü için siki ihtiyaçlar. Örnegin US Tier0 veya Tier1, Euro1 ve 2 (1993/1996) ya da denk emisyon seviyeleri…
- Kategori 3**:** Emisyon kontrolü için çok siki düzeyde ihtiyaçlar. Örnegin US Kaliforniya LEV, ULEV, Euro3 ve Euro4 ile denk emisyon seviyeleri…

Bu üç kategoride gaz yakitli tasitlarin jenerasyonuyla ilgilidir. Kategori 1; 1.Jenerayasyon gaz motorlari ve mekanik yakit sistemi ile ilgilidir. Kategori 2; 2.ve 3. Jenerayasyon gaz motorlari ve Kategori 3'te ise; 3. ve 4. Jenerasyon gaz motorlari ile ilgilidir [15].

4.1. Hafif Hizmet Tasitlari

Birçok otomobil üreticisinde ya normal üretim ya da örnek CNG tasitlari bulunmaktadir. Dogal gazli hafif hizmet tasiti üretenlerden bazilari: BMW, Daimler-Chrysler, Fiat, Ford, Honda, Mitsubishi, Toyota ve Volvo'dur. Birçok otomobil üreticisinin tercihi ya tek yakitli (dedicated) ya da çift yakitli (bi-fuel) tasitlar (CNG/Benzin) çalismasidir.

Bazi gaz ekipmanlari üreticisi de OEM-otomotiv üreticisi ile güç birligi yapmaktadir (Örnegin GFI sirketi ile Ford, IMPCO ile GM).

Dogal gazli hafif hizmet tasitlarinda (özellikle yolcu tasitlarinda) yakit tanklari, yolcu veya bagaj kismina yerlestirilir. Sadece Fiat Multipla ve Malezya yapimi Proton Wira'da yakit tanki, tasitin alt kismina yerlestirilmistir. 1000 kadar Matra tarafindan yapilmis Malezya taksisinde de yakit tanklari, tasitin hem alt kismina hem de yolcu kismina yerlestirilmistir. Gelecekte, yakit tanklarinin minimum yer isgal edecek

sekilde entegre edilecektir. 200 bar basincindaki 1 litre CNG' ye denk yaklasik 0,2 litre benzindir. Bunun da anlami; dogal gaz, benzine göre 4 kat daha fazla yer kaplamaktadir.

4.2. OEM Tasitlarindan Örnekler

4.2.1. BMW 523 g.

BMW' nin bu CNG tasitinda "sedan" ve "station wagon" tipleri bulunmaktadir. Tek yakitli (dedicated) bu CNG tasiti 6 silindirli olup; 135 kW gücündedir. Toplam hacmi 145 litre olan; iki tane yakit tanki bulunmaktadir. BMW 523 g. egzoz emisyonlari açisindan EZEV standartlarini karsilamaktadir. Bunun yaninda verim açisindan "fuel cell"(yakit hücresi) tasitlardan daha iyidir. Sekil 4.1'de 97 model "station wagon" tipi, dogal gazli tasit görülmektedir [9,15].



Sekil 4.1. BMW 520 Serisi CNG Tasiti [15]

4.2.2. Chrysler Maxivan (Dodge Ram)

CNG Dodge Ram, dogal gazli seri üretim ilk tasittir (1993). 1996 yilinda üretimine son verilen Dodge Ram'in 1999 yilindan itibaren yeniden üretimine baslanmistir. Tam-büyüklükteki Dodge Ram'in yanina orta-büyüklükteki "van-kapali kasa kamyonet" üretilmeye baslanmistir.

Sekil 4.2'deki tam büklükteki Dodge Ram'da 5,2 litre, 8 silindirli motor ile "sequential fuel injection"(sirali çok noktadan yakit püskürtme) sistemi bulunan tasitta; ULEV ve SULEV sertifikasyonu vardir. Kompozit yakit tanki, tasitin alt

kisminda yer almaktadir. Fakat kargo/yolcu tasitlarinin alani ile karsilastirilamaz. Standart yakit tanki ile 350-450 km. yol kat edilebilmektedir [15].

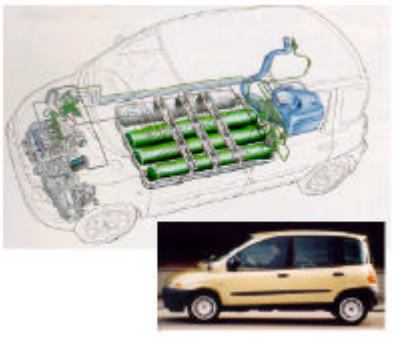


Sekil 4.2. Tek Yakitli Dodge Ram CNG Van [15]

4.2.3. Fiat Multipla

Sekil 4.3'te Fiat Multipla'nin yakin geçmisteki bir modeli görülmektedir. Tasitin alt kisminda toplam hacmi 214 litre olan dört tane yakit tanki yerlestirilmistir. Yolcu kismina ise yakit tanki yerlestirilmemistir. Bu dizayni ile de tektir.

Dogal gaz için iki versiyonu bulunmaktadir: Çift yakitli (bi-fuel) "Bipower versiyonu" ile tek yakitli (dedicated) "Blupower" versiyonudur."'Bipower" 1,6 litre motor bulunmaktadir ve benzin kisminda 76 kW'lik güce; dogal kisminda ise, 68 kW güce ulasilmaktadir. Tek yakitli (dedicated) "Blupower" versiyonun sikistirma orani 12,5'tir ve 70 kW gücündedir. "Blupower" versiyonu 214 litrelik tank hacmiyle 700 km. yol alabilirken; "Bipower" versiyonunda ise, 164 litrelik dogal gaz tank hacmiyle 500 km. benzinli kismi ile de 480 km. yol alabilmektedir. Sikistirma orani 10,15'ten çift yakitli (bi-fuel) için 10,5; tek yakitli için 12,5'e yükseltilmistir [15].



Sekil 4.3. Fiat Multipla Bipower [15]

4.2.4. Ford Contour ve Ford Crown Victoria

Tüm otomobil üreticileri arasinda Ford alternatif yakitli tasitlarda en genis sinirli olan üreticidir. Çift yakitli (bi-fuel) Ford Contour (Mondeo), Ford'un dogal gazli yolcu tasitidir ve 2 litrelik Zatec motoruna sahiptir (Sekil 4.4). Saglamligini yükseltmek için emme valfinin yeri yükseltilerek modifiye edilmistir. Çift yakitli bu araç (CNG/Benzin) bu araç EPA ve Kaliforniya onayli OBD 2 motor isletim sistemine uygun çalismaktadir. Çelik dogal gaz tankinin yüzeyi fiberglas kompozittir. Bu sekilde yakit tankinin saglamligi ve dayanikliligi arttirilmaktadir. 1999 model çift yakitli (bi-fuel) Contour TLEV sinifi sertifikalidir [15,23].

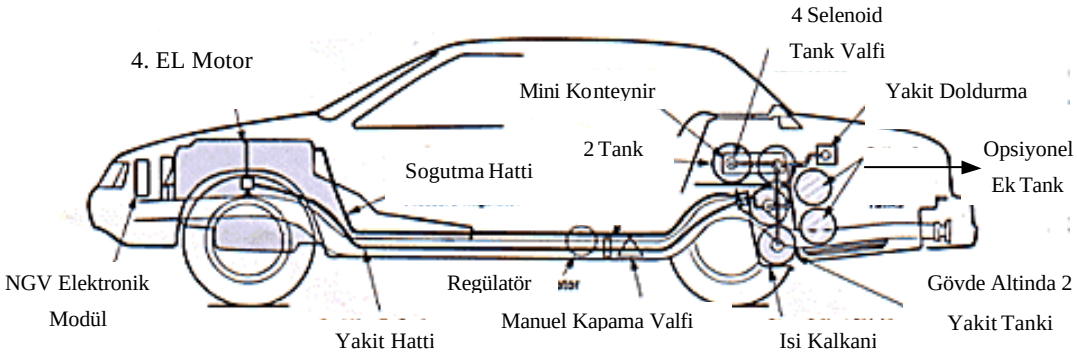


Sekil 4.4. Bi-Fuel Ford Contour [15]

Daha büyügü olan Ford Crown Victoria ise tek yakitli (dedicated) dogal gazli olup; ULEV sertifikalidir. Ford Crown Victoria 4,6 litre, 8 silindirli ve 175 hp gücündedir (Sekil 4.5-6) [15,22].



Sekil 4.5. Tek Yakitli CNG Ford Crown Victoria [22]

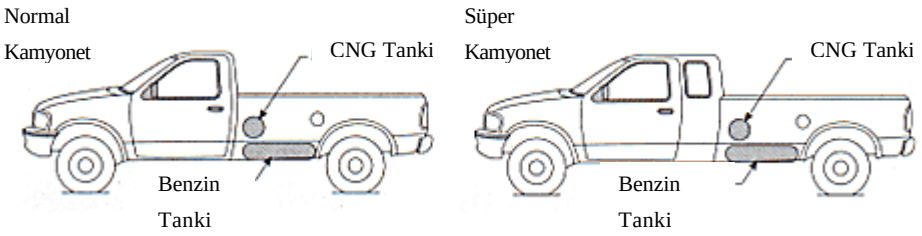


Sekil 4.6. Tek Yakitli CNG Ford Crown Victoria Semasi [22]

4.2.5. Ford F-150

Ford F-150 "pick-up", Ford'un bir baska dogal gazli tasitidir. Hafif hizmet tasiti kamyonun (kamyonet) alti degisik modeli (olagan, süper cup, 4x2 ve 4x4…) bulunmaktadir. Yakit tanki arkada ("bed" model) ve basinci 3600 psi (250 bar) ulasmaktadir. 151 kW gücünde, 5,4 litre GFP V8 motoru bulunmaktadir ve max. 320 km. yol alabilmektedir.

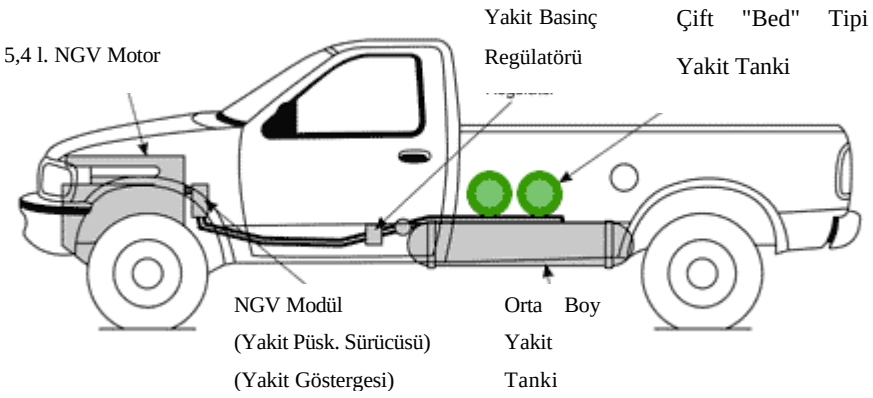
Bu çift yakitli (bi-fuel) tasitin; benzinli kisminin LEV sertifikasi, dogal gazli kismi ULEV sertifikasi bulunmaktadir (Sekil 7-8). Bununla beraber gelistirilmis çift yakitli (bi-fuel) Ford F-150 modelinin SULEV sertifikasi bulunmaktadir. Tek yakitli (dedicated) F-150'nin de SULEV sertifikasi bulunmaktadir (Sekil 4.9) [15].



Sekil 4.7. Ford F-150 Bi-Fuel Tasiti [23]



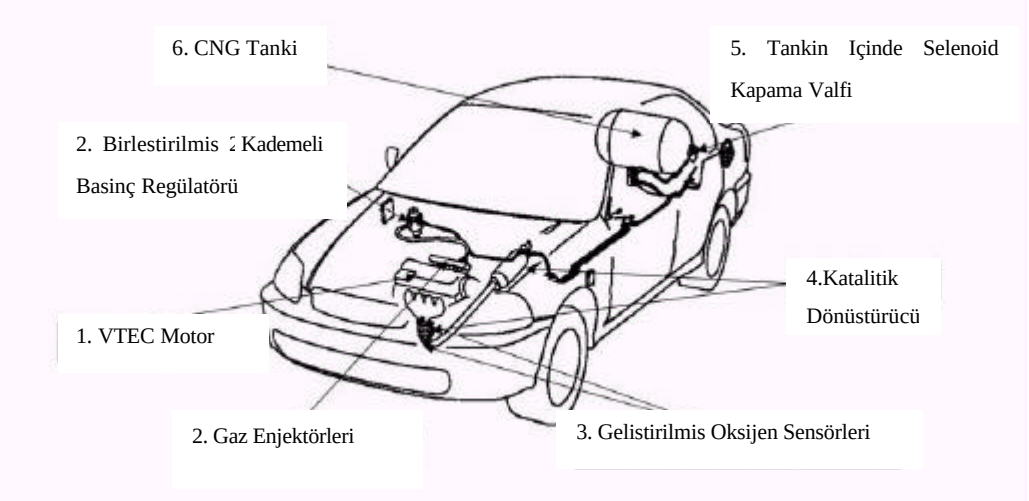
Sekil 4.8. Ford F-150 Bi-Fuel Tasiti [23]



Sekil 4.9. Ford F-150 Tek Yakitli CNG Tasitinin Semasi [23]

4.2.6. Honda Civic

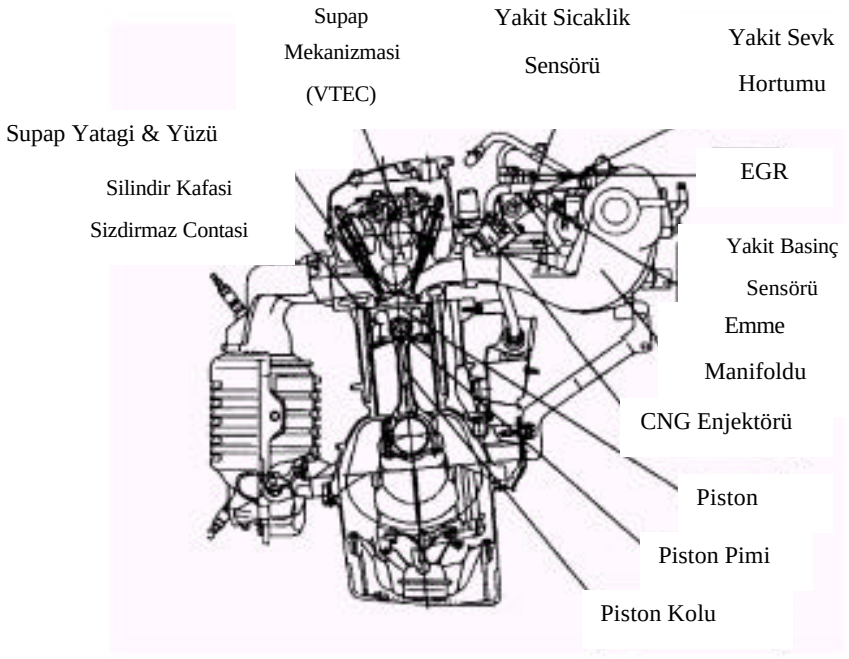
Tek yakitli (dedicated) dogal gazli Honda Civic Amerikan yapimidir (Sekil 4.10). 1998 model Honda'nin ULEV sinirlarinin 1/10 degerlerine ulasabildigi belirtilmektedir. 2000 yili modelinde ise SULEV sertifikasi bulunmaktadir.



Sekil 4.10. Honda Civic Tek Yakitli CNG Tasitinin Sematik Görünümü [11]

1,6 litrelik motorda sikistirma orani, benzinli versiyonunda 9,4 olup; tek yakitli (dedicated) dogal gazli versiyonunda bu oran 12,5' e çikarilmistir. Gaz motorunda kayip gücü minimum hale getirmeye yarayan çesitli valf zamanlama sitemi ("Variable Valve Timing and Lift Electronic Control"-VTEC) bulunmaktadir. Motorda silindir basina dört valf bulunmaktadir. Bununla beraber düsük motor

yükünde (rpm); türbülansi ve alev yayilmasini hizlandirmak için; bir tane emme valfi kapali tutulmaktadir. Yüksek rpm de ise; her iki emme valfi açiktir. "Sequential Multi-point Fuel Injection System" (Sirali çok noktadan yakit püskürtme sistemi bulunmaktadir. Benzinli versiyonunda "one close coupled" (bir tane egzoz manifold baglantisi) katalitik dönüstürücü bulunmaktadir. CNG versiyonunda ise; "closed-coupled" (çift egzoz manifold baglantisi) ve tasitin alt kisminda katalitik dönüstürücü bulunmaktadir. Sekil 4.11'de dogal gazli VTEC motoru görülmektedir [15].



Sekil 4.11. Honda Civic VTEC CNG Motoru [11]

Sonuç olarak ilerletilmis gaz teknolojisinde volumetrik verim, dogal gaz motorlarindan daha yüksektir. Ayrica dogal gaz da, benzinliye göre; çikis gücü daha yüksektir (84,6 kW - 80,9 kW). Ilerletilmis valf mekanizmasiyla benzin versiyonu için çikis gücünün iyilestirilmesi mümkündür [15].

Tablo 4.1'de bir takim komponentlerin çesitli egzoz emisyon degerlerine olan etkisi görülmektedir. NO_x formasyonunu önleyici; egzoz gaz resirkülasyonu (EGR), atesleme gecikmesi ve yakit-kesme sonrasi zenginlestirme de uygulanabilir.

Dogal gazli motorda maksimum çikis gücü, benzinli motora göre daha yüksektir. Dogal gaz versiyonunun 0-100 km/h hizlanmasi; benzinliye göre daha yavastir (Dogal gaz versiyonunda 12,6 s. , benzinli versiyonunda ise 11,3 s. dir). CNG

versiyonunda yakit tüketimi; benzinli versiyonuna göre %6 daha fazladir (Dogal gaz versiyonu için, 37,5 mpg; benzinli versiyonu için, 35,2 mpg dir) [15].

Tablo 4.1. Bazi Komponentlerin Egzoz Emisyonuna Etkisi [15]

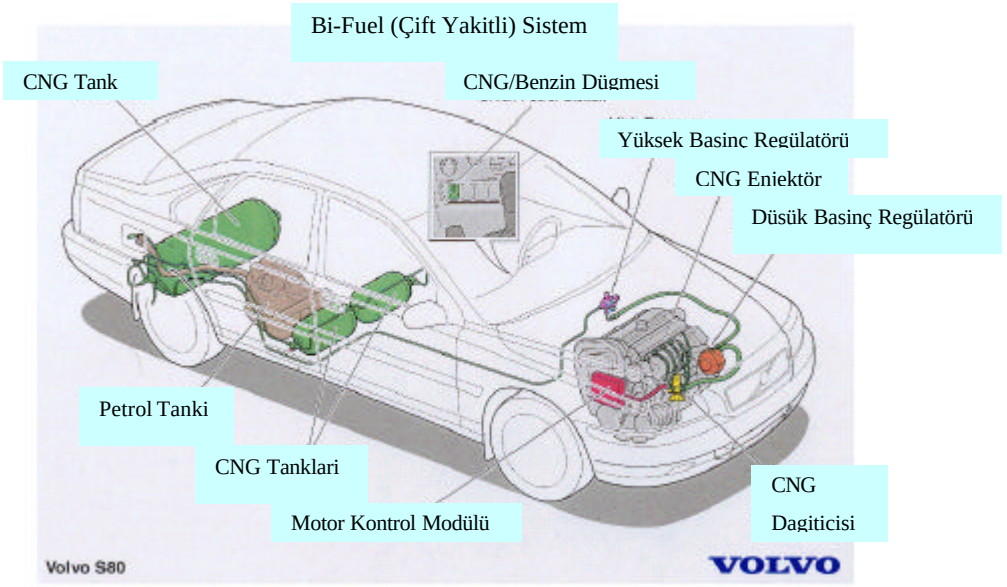
1/10 ULEV Teknolojisi	**CO**	**NMOG**	**NO_x**
Sirali Manifold Püskürtmesi	↓	↓	↓
VTEC Motor	↓	↓	↓
Elektronik Egzoz Gaz Resirkülsyonu (EGR)		↓	↓
Atesleme Gecikmesi			↓
Yakit Kesme Sonrasi Zenginlestirme			↓
Çift Oksijen Sensörü	↓	↓	↓
Çabuk Isinan Oksijen Sensörü	↓	↓	↓
Kapali-Çift Katalitik Dönüstürücü	↓	↓	↓
Iyilestirilmis Katalitik Dönüstürücü Yüklemesi	↓	↓	↓
Yükselmis Katalitik dönüstürücü Hücreleri	↓	↓	↓
Uygun Yakit Kontrol Sistemi	↓	↓	↓

4.2.7. Volvo S/V70 & 80

Volvo'nun çift yakitli (bi-fuel) versiyonu hem popüler hem de S/V70 serisinde hem de lüks versiyonu olan S80'de bulunmaktadir. Volvo S/V70 serisinde 95 litre kapasiteli CNG tanki ile 250 km. yol alinabilmektedir. Ayrica standart 70 litre kapasiteli benzin tanki yer almaktadir. Benzinde çikis gücü 106 kW, dogal gazda ise; 95 kW'tir. Aradaki fark %10'dur [15].

Volvo S80 "sedan" modelinde üç tane CNG tanki bulunmaktadir. Bagajda bir büyük ve arka koltugun altinda iki tane küçük yakit tanki bulunmaktadir (Sekil 4.12). Toplam tank hacmi 100 litredir. Volvo, S80 versiyonu için; tüm yakit tanklarini tasitin alt kismina yerlestirmeyi planlamaktadir. S80 çift yakitli (bi-fuel) modeli

Volvo'nun ürettigi en temiz tasittir. CNG kisminda; ULEV standartlari, benzinli kisminda ise; LEV standartlari onaylidir [15].



Sekil 4.12. Bi-Fuel Volvo S80 [15]

4.3. Çikis Gücü ve Yakit Tüketimi

Çift yakitli (bi-fuel) tasitlarda benzinden dogal gaza geçiste, karisimin enerji yogunlugu düstügünden; çikis gücü de düsmektedir. Eger çift yakitli (bi-fuel) bir motor veya orjinal benzinli bir motor, dogal gaz için dönüstürüldügünde; metanin yüksek vuruntu direncine sahip oldugundan, motordan tam olarak faydalanilamaz. Eger motor tek yakitli (dedicated) dogal gaz motoru ise; sikistirma orani yükseltilebilir ve valf zamanlamasi ile atesleme sistemi iyilestirilebilir. Bu nedenle güç kaybi da daha az olmaktadir [15].

Dogal gazli motorda sikistirma oranin motor verimi, benzinle karsilastirildiginda denktir. Metan, homojen karisimda kolay bir formdadir. Bu da yanma için iyi bir özelliktir. Bunun yaninda metan zor oksitlenir. Bu da alevin sönmesine ve yanma odasindaki yariklarda yanmamis yakitin kalmasina sebep olmaktadir.

Genelde çift yakitli (bi-fuel) motorlarda, dogal gaza geçiste; çikis gücü %10 azalmaktadir. Tek yakitli (dedicated) dogal gazli motorlarinda ise; çikis gücü düsüsü

daha azdir. Hatta bazi özel durumlarda (Honda Civic gibi…) dogal gaz motorunun çikis gücü, benzinli motora göre daha yüksek olmaktadir.

Dogal gaz motorlarinin enerji tüketimini, benzinli motorlarla karsilastirildiginda hemen hemen aynidir. Bununla beraber CNG tasitlarinin gaz silindirleri, benzinli tasitlarindakine göre daha agirdir. Bu da normal olarak enerji tüketimini arttirmaktadir.

Diger taraftan tek yakitli (dedicated) dogal gazli motorlarin enerji verimi, benzinli motora göre biraz daha fazladir. Tek yakitli (dedicated) Honda Civic CNG tasiti, bu sebeple ek olarak %6 yakit tükettigi rapor edilmistir. CNG tasitlarinda, benzinli tasitlara göre % 0-10 arasinda daha fazla enerji tüketmektedir.

Yakit tüketimi ve dagitimi göz önünde tutuldugunda; CNG'nin enerji verimi ile benzininki; karsilastirildiginda denktir. Bununla beraber yakit kimyasindan dolayi CNG ile çalisan hafif hizmet tasitlarinda, benzin ile çalisanlarindan % 20 daha az CO_2 egzoz emisyonu meydana gelmektedir.

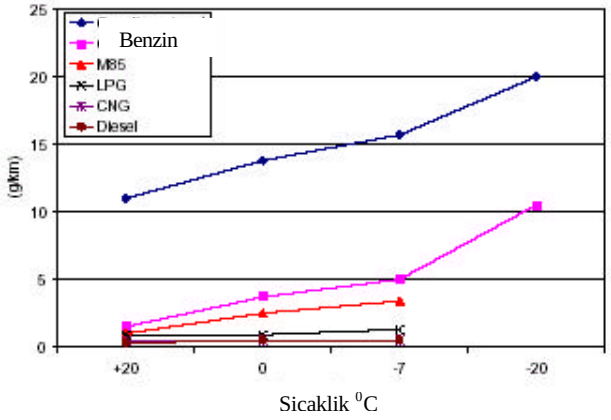
4.4. Düsük Sicaklik Performansi

Katalitik dönüstürücülü tasitlarin normal emisyon testlerinde; test sürelerinin ilk iki saniyesinde, test dönüsümünün toplam emisyonun % 80-90'lik kismi meydana gelmektedir. Motor stokiyometrik karisimda (?=1) çalismasinda ve katalitik dönüstürücü yeterli sicaklikta oldugu zaman; egzoz temizleme sisteminin çalismasina baslanir. Otomobil üreticilerinin benzinli motorlari gelistirmesi zordur. Bundan dolayi motor, minimum zenginlestirilmis karisimda çalistirilmali ve mümkün olan en kisa zamanda da karisimin, ?=1 çalismasinda ihtiyaç vardir. Günümüzde en iyi benzinli otomobillerde, ortam sicakliginda basladiktan sonra yaklasik 20 saniye sonrasinda stokiyometrik karisimda çalismaya devam etmektedir.

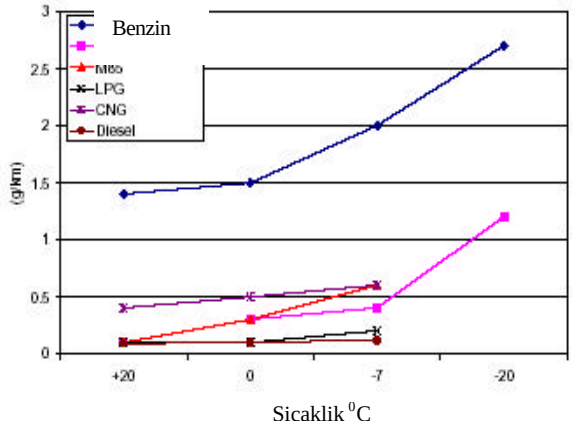
Amerika'da düsük sicaklik (20 ^{0}F/-7 ^{0}C) CO testi yapilmaktadir. Buna benzer bir sistem de Avrupa'da 2002 yilindan itibaren yapilmaya baslanmistir. Fakat Avrupa'da hem CO hem de THC testi yapilmaktadir. Çok uzun zamandir; VTT (Finlandiya Teknik Arastirma Merkezi) hem konvansiyonel hem de alternatif yakitli tasitlarda düsük sicaklik testi uygulamaktadir [15].

VTT'nin arastirmalarina göre; düsük ortam sicakligi 20 ^{0}C'den -7 ^{0}C'ye kadar faktör 3-5 ile katalitik dönüstürücülü tasitlarda egzoz emisyonu artmaktadir. Avrupa için onayli 1999 model tasitlarda, katalitik dönüstürücü sistemi soguk baslangiçtan 0,7 km. yol kat ettikten sonra ya da 2-3 dakika sonra çalismaya baslar. Bununla beraber katalitik dönüstürücülü tasitlarda düsük sicakliklarda egzoz emisyonu degerleri yükselmektedir. Ama izafi olarak bu kadar çok yükselmez [15].

Ortam sicakliginin NO_x emisyonuna çok düsük bir oranda etkisi vardir. Sekil 4.13'te, düsük sicakliktaki CO egzoz emisyonu degerleri gösterilmektedir. Burada görüldügü gibi dizel ile CNG egrileri birbirleriyle aynidir. LPG' de bunlara çok yakindir. Sekil 4.14'te ise; düsük sicaklikta toplam hidrokarbon emisyonu açisindan çesitli yakitlardaki tasitlar karsilastirilmistir. Dizelin THC emisyonu düsük sicaklikta hiç degismemistir. LPG ve CNG' de ise biraz yükselmistir [15].

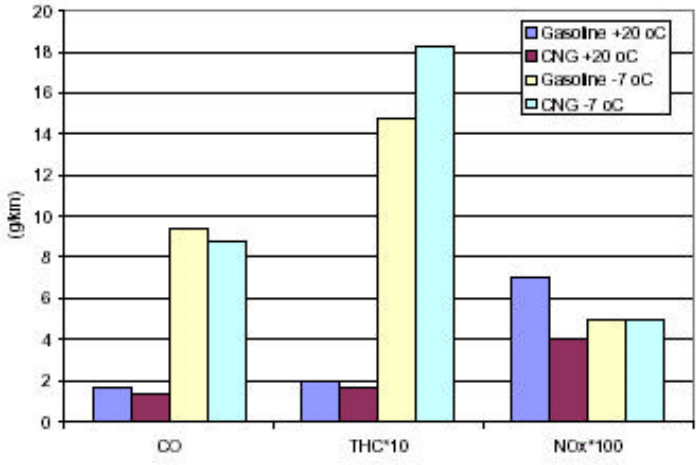


Sekil 4.13. Düsük Sicaklikta CO Egzoz Emisyonlari [15]

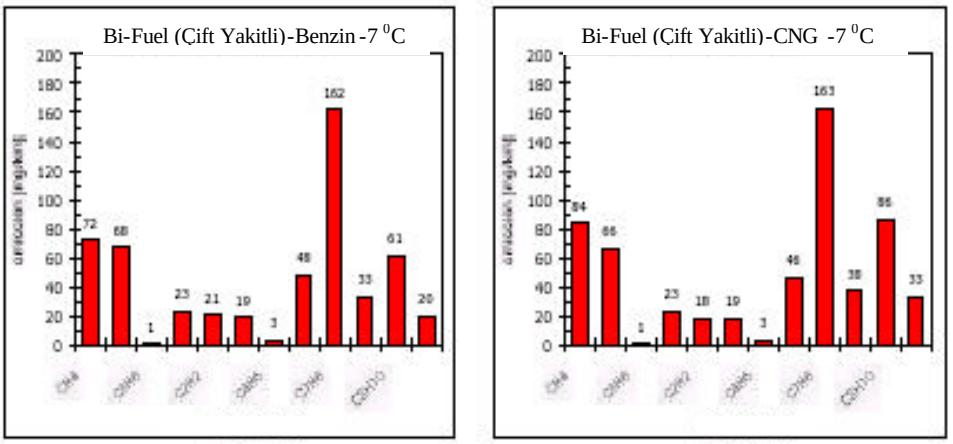


Sekil 4.14. Düsük Sicaklikta THC Egzoz Emisyonlari [15]

Sekil 4.15'te ise; Avrupa OEM (Orijinal Ekipman Üreticileri) çift yakitli (bi-fuel) tasitin (CNG/Benzin) egzoz emisyon performansi gösterilmektedir. Motor her zaman benzinli kisminda çalistirilmaktadir. Bu yüzden her iki yakitta da egzoz emisyon degerleri birbirlerine yakindir. Normal ortam sicakliginda CNG modu seçilebilmektedir. NO_x emisyonu biraz düsmekte; -7 ^{0}C'de ise, THC emisyonu yükselmektedir. Sekil 4.16'da ise; farkli hidrokarbonlu çift yakitli (bi-fuel) tasitlar için emisyon sonuçlari gösterilmektedir [15].



Sekil 4.15. OEM Bi-Fuel Tasitlarin Emisyon Performanslari [15]



Sekil 4.16. -7 ^{0}C'de OEM Bi-Fuel Tasitlarin Hidrokarbon Farkliliklari [15]

5. CNG TASITLARINDA DEPOLAMA

5.1. Gaz Tanklari

Dogal gaz üç sekilde muhafaza edilebilir [12]:

- Sikistirilmis dogal gaz (CNG) olarak 22 MPa basinç altindaki tanklarda
- Sivi dogal gaz (LNG) olarak kriyogenik (soguk bilimi) tanklarda -161 ^{0}C'de.
- Absorbe edilmis dogal gaz (ANG) olarak aktife edilmis karbonun matrislerinde 4-7 MPa basinç altinda

Depolamada; dogal gazin beslemesinde en düsük basinç degerleri 0,1-0,2 MPa'dan 0,4-0,9 MPa'a kadardir.

Su anki tasitlarda depolama sekli; sadece sikistirilmis dogal gaz (CNG) seklindedir. Sivi dogal gaz (LNG) ve absorbe edilmis (ANG) sadece prototip düzeyindedir. Dogal gaz tanklarindan istenen en önemli üç özellik: Pahali olmamasi, hafif ve güvenilir olmasidir.

Kütle/Hacim (Mass/Volume) orani (Gaz olmadan tankin kütlesi/tank hacmi…su kapasitesi) ortalama 0,9'dur. Bununla beraber kompozit tanklarda (metal ile polyetilen karisimlari) kütle/hacim orani 0,5'lere hatta 0,3'lere ulasmistir. EGE-ONU Regulasyonuna göre tanklar için metal/kompozit yada tamamen kompozit malzemeler kullanilmaktadir [13].

Dogal gaz yakit tanklarini üç oranla karakterize edebiliriz [13]:

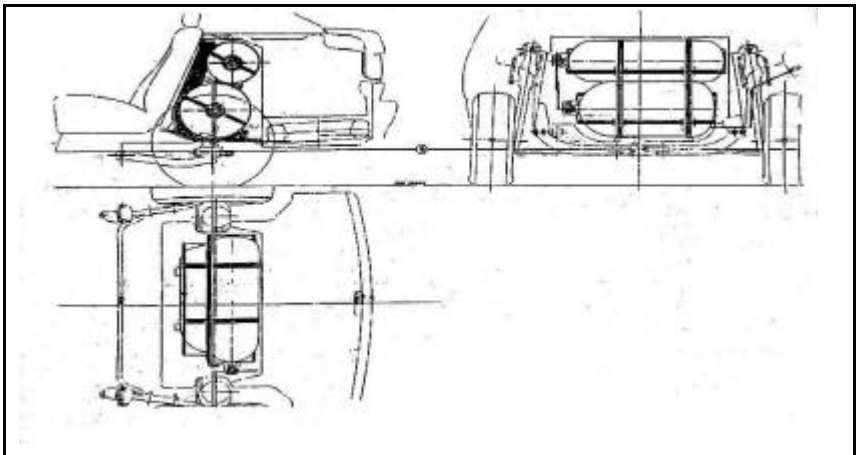
- Kütle Orani (Mass Ratio), Yakit Tankinin Kütlesi / Depolanacak Gazin Kütlesi
- Hacim Orani (Volume Ratio), Yakit Tankinin Kapasitesi / Dis Hacim
- Maliyet Orani (Cost Ratio), Yakit Maliyeti / Depolanacak Gazin Kütlesi

Geçmisten günümüze CNG'de, çelikten kompozit tanklara (metal ve polyetilen) kütle/hacim orani düsmektedir. Bununla beraber metal/kompozit veya tamamen kompozit tanklarda, yakit tanklarinin sekillerinde de gelisme saglanmaktadir.

Tablo 5.1'de piyasadaki yakit tanki çesitlerine göre; yakit tankinin karakterleri karsilastirilmistir. Kompozit malzemeli yakit tanklari hem "fully wrapped" (tam kaplama) hem de "hoop wrapped" (yarim kaplama) monolitik çelik yakit tanklarindan önemli ölçüde hafif degildir. Buna ragmen hala çok pahalidir. Sekil 5.1'de ise; çelik yakit tankin bir yolcu arabasina uygulanmasi görülmektedir.

Tablo 5.1. CNG Yakit Tankinin Karakteristikleri [13]

Materyal Ana Malzeme / Kaplama	Kapasite (Litre)	Kütle Orani (Mass Ratio)	Hacim Orani (Volume Ratio)	Maliyet Orani (Cost Ratio)
Çelik	60	4,7	0,79	1,2
	90	4,8	0,78	1
Çelik / Yarim Kaplama Cam Elyafi	50	4,9	0,76	2,7
Alüminyum / Yarim Kaplama Cam Elyafi	48	4,0	0,70	2,8
Alüminyum / Tam Kaplama Cam Elyafi	36	5,2	0,61	2,5
	57	4,5	0,67	2,4
	145	3,8	0,65	2,1
Plastik / Tam Karbon Kaplama Cam Elyafi	55	2,4	0,65	3,4
	93	2,2	0,70	2,8
Plastik / Tam Kaplama Cam Elyafi	50	2,0	0,69	4,0

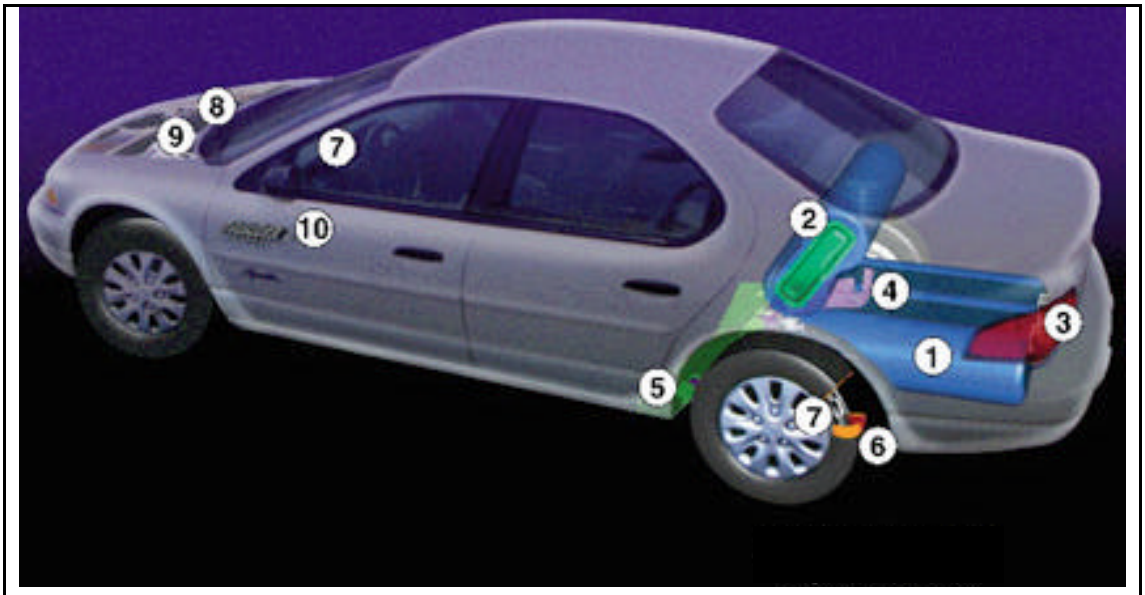


Sekil 5.1. Lancia-Dedra Dogal Gaz Tanklarinin Yerlesimi [13]

5.2. CNG Yakit Depolama Teknolojisindeki Son Gelismeler

5.2.1. Birlestirilmis Depolama Sistemi - (ISS)

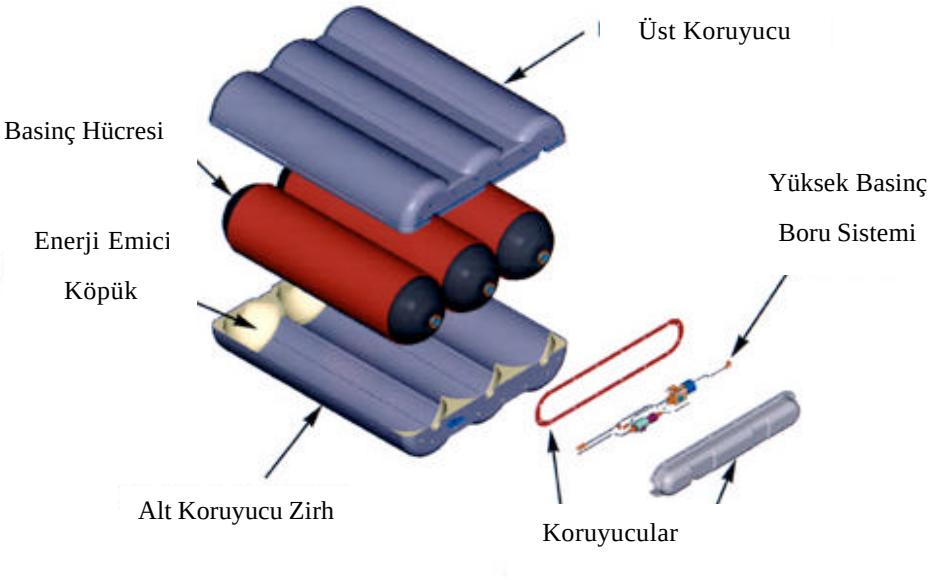
JHU/APL (The John Hopkins Applied Physics Laboratory) ve Lincoln Composites, CNG depolanmasi için yeni bir konsept gelistirmistir (Integrated Storage System-ISS). Sistemin yapisi karbon/fiberglas/epoksi gibi malzemeler, silindiri boydan boya kaplayacak sekilde içermektedir. "Basinç hücreleri" (silindir…vs.) fiberglas koruma kapsülü içinde bulunmaktadir. Global ve lokal dis çevrelerden maruz kalacak etkilerden korumak için, dis tabakada darbe emici bir köpük bulunmaktadir (Sekil-2).



Sekil 5.2. ANGV Tarafindan Dizayn Edilmis Aracin Özellikleri [6]

1. Gövde Altinda 3 Üniteli Birlestirilmis Depolama Sistemi
2. Bagajdaki 2 Üniteli Birlestirilmis Depolama Sistemi
3. ISS Birlestirme Parçasi
4. Döküm-Alüminyum Yarim Ekleme Parçasi Süspansiyonu
5. Çelik Ekleme Parçasi Süspansiyonu
6. Yüksek Hiza Dayanikli Düz Lastikler
7. Düsük Lastik Basinci Sensörü ve Kontrol Paneli Göstergesi
8. Yüksek Sikistirma Oranina (12,5:1) Sahip Piston Set
9. Çok Noktadan Gaz Püskürtme Sistemi
10. Metan Katalitik Konvertörü

Birlestirilmis Depolama Sistemi (ISS) içinde CNG konteyniri, manuel kesme valfi, elektronik selenoid valf ile isiya aktive olan basinç emniyet tertibati bulunmaktadir. NGV' nin güvenlik standartlari nedeniyle birden çok bireysel tank içermektedir. Bu da gereginden fazla eleman ve maliyete neden olmaktadir. ISS dizayni bu durumdan kaçinmaktadir. ISS yüksek basinç borulama sisteminin zarar görmemesi için köpük doldurulmus fiberglas bir koruyucu ile korunmaktadir. Koruyucu içindeki basinç hücrelerine servis saglanmasi için açilip kapanabilmektedir. Ayrica bu koruyucu zirhin bir baska görevi de, gaz sizintisi halinde sizintiyi kontrol altina alip; sasi altinda güvenli bir yere iletmektir. ISS'nin bir özelligi de, benzin tanki gibi çelik ekleme parçalariyla tasita birlestirmis olmasidir. Bilgisayar destekli çizimi Sekil 5.3'te gösterilmektedir [6].



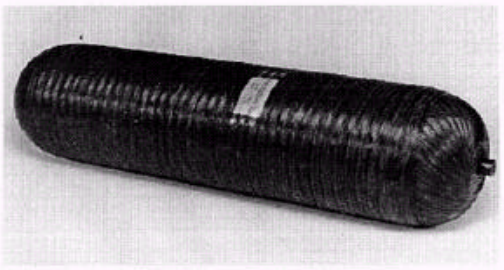
Sekil 5.3. ISS-Yakit Tanki Dizayni [6]

5.2.2. Basinç Hücre Dizayni

ISS basinç hücreleri; termoplastik hatlar, alüminyum tank agizlari, nitrat kauçuk kirilma pensleri, karbon fiber, E-glass fiber ve epoksi içermektedir. Basinç hücresini boydan boya kaplayan yapi, birlesik fiber/karbon/cam/epoksi- kompozit "filament-winding (elyaf sarim)" proses teknigi ile üretilmektedir. Statik yapisi, birlesik helisel katmanlardan olusmaktadir. Termoplastik hatlar; "filament-winding (elyaf sarim)" prosesi için, yapisal ara birimler, sabit mandreller ve nüfuz bariyer saglamaktadir [6].

Sekil 5.4'te ISS basinç hücresinin çeyrek kesitinin bilgisayarda kati modellesmis hali ile Sekil 5.5'te ise tam hali gösterilmektedir. Tablo 2'de de basinç hücresinin özellikleri gösterilmektedir [6].





Sekil 5.4. Basinç Hücresi 1/4 Kesiti [6]

Sekil 5.5. Basinç Hücresi [6]

Tablo 5.2. Basinç Hücresi Özellikleri [6]

Özellikler	**Degerler**	**Özellikler**	**Degerler**
Hacim (Su)	28,7 litre	Kapasite	9,0 galon
Dis Çap	24,2 cm	Çalisma Süresi	15 yil
Uzunluk	91,7 cm	Çalisma Çevrimi	15000
Agirlik	13,6 kg	Min. Dizayn Sicakligi	-40 ^{0}C
Çalisma Basinci	248 Bar	Mak. Dizayn Sicakligi	82 ^{0}C

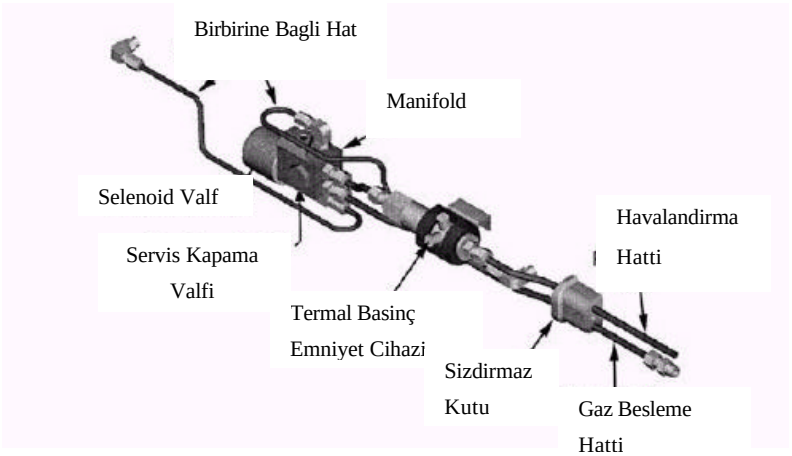
5.2.3. ISS Dizayni

ISS yakit tanki korumasinin kalinligi 2,5 mm. dir. Montaj sirasinda basinç hücrelerinin kolay yerlestirilmesi için; lamine edilmis E tipi fiberglas iki parçali olarak üretilmistir. Boylu boyunca sertlik kazandirmak için; koruyucunun içine iki tane üçgen köpük yerlestirilmektedir. Alt ve üst koruyucu bölümlerin birbirlerine yapismasi için; üst hücrenin etrafina bütünüyle klipsler yerlestirilmektedir.

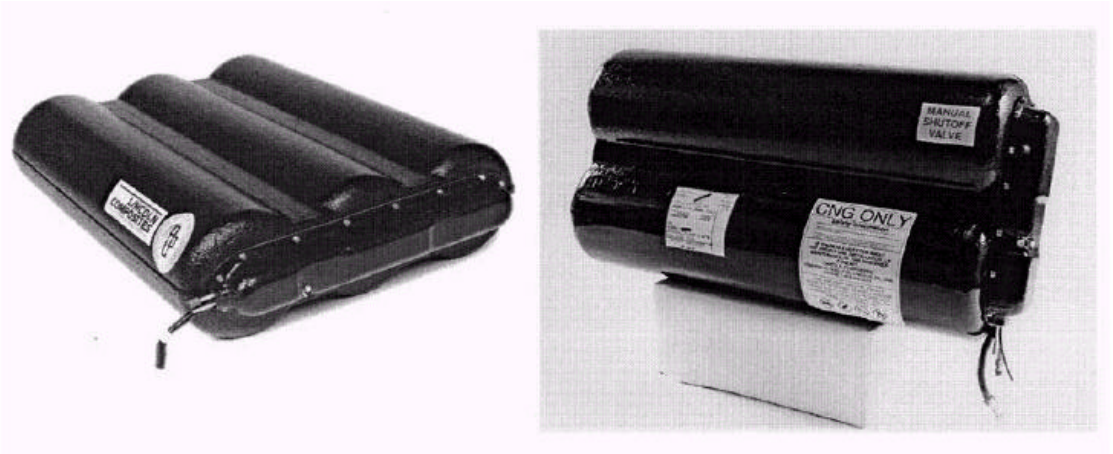
"Seeman Composites Resin Infusion Molding Process (SCRIMP)", "E-glass" çapraz dokumali ve yapiskan reçine sistemi kullanilarak; ISS hücresi ve koruyucu yüzey meydana getirilmektedir. Basinç hücresinin kapak bölgesini korumak için;

"Woodbridge ENERFLEX^{TM}" esnek üretan köpük tarafindan tampon kisma sekil verilmektedir. Bu kapak bölgesi, çarpisma sirasinda en yüksek stres konsantrasyonuna maruz kalan bölgedir. Basinç hücresi ve yüksek basinç boru sistemini koruyan darbe emici köpügün degerleri "drop" (düsme) testleriyle onaylanir [6].

ISS modern yüksek basinç boru sistemidir. Yüksek basinç boru sistemi dizayninda; fonksiyonelligi, fiyati, güvenirliligi, güvenligi ve servis hizmetleri imkanlari gibi çesitli hususlar göz önünde bulundurulmustur (Sekil 5.6). Testlerdeki performanslarinda alüminyum yüksek basinç boru hattinin manifold patlama dayanikliligi (1000 bar), elektronik selenoidin güvenilir çevrim sayisi (50000 çevrim) ve açma-kapama valfi servis hizmeti (50 çevrim) ile tasit titresimi sirasinda sizinti durumu onaylanmistir. Sekil 5.7'de 3 ve 2 hücreli ISS'nin fotograflari gösterilmektedir [6].



Sekil 5.6. ISS Yüksek Basinç Boru Sistemi [6]



Sekil 5.7. 3 ve 2 Hücreli ISS Yakit Tanklari [6]

6. CNG YAKIT SISTEMLERININ GELISIMI

Yakit sistemlerindeki belli basli parçalar:

- Gaz Depolama (Genelde CNG, alternatif olarak LPG veya LNG)
- Çok çesitli safhalardaki basinç regulasyonu
- Hava-yakit karisim ünitesi veya ölçüm ünitesi

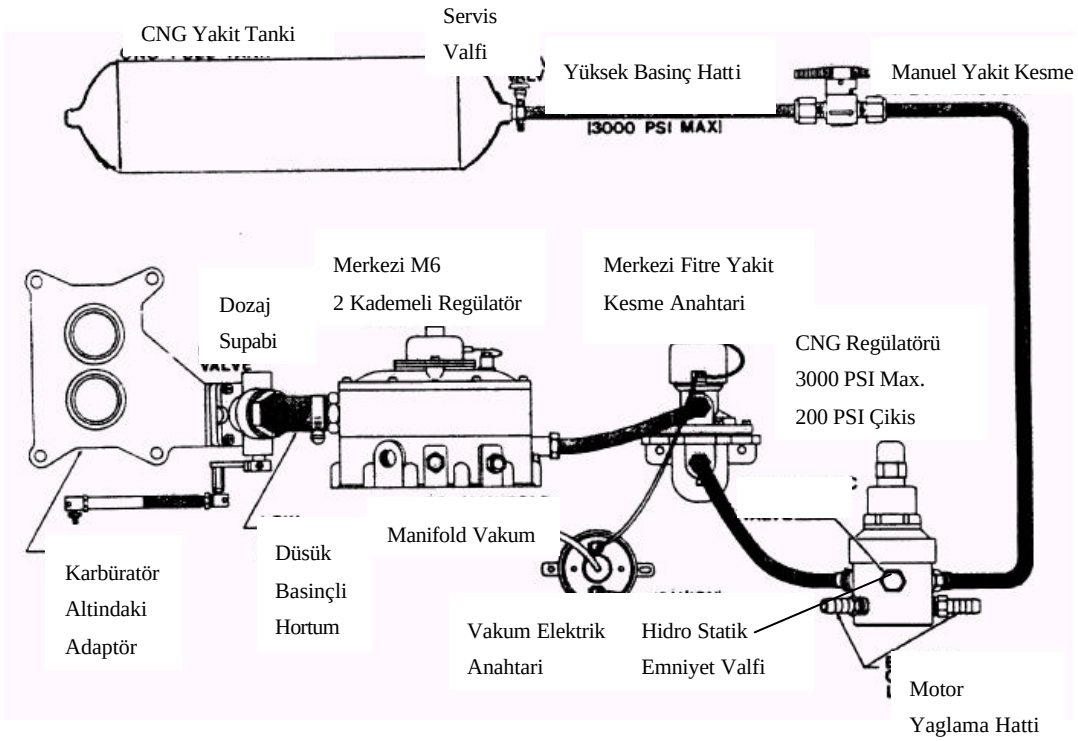
Genelde hava-yakit karisim ünitesi veya ölçüm ünitesine yakit gaz halinde gelir. LPG'li de ise yakitin sivi getirilmesi ihtimali vardir (Yakit püskürtme sistemlerinin elektrik kontrollü enjektörleri olan sistemde). LNG'de de böyle bir firsat bulunmaktadir.

Gaz saglama sistemi iki basit yolla düzenlenir. Mekanik ve elektriksel yakit kontrolüdür. Yakit sistemlerinin çesitlerine bagli olarak, gaz motorlari da üç kategoriye ayrilirlar [15]:

1.Jenerasyon: Mekanik yakit ölçüm, geri besleme yok.
2.Jenerasyon: Mekanik yakit ölçüm + kapali çevrim (closed loop) elektronik ? kontrolü
Alternatif : Yakit püskürtme, geri besleme yok
3.Jenerasyon : Yakit püskürtme, kapali çevrim (closed loop) kontrol
Listeye 4. Jenerasyon sistemi olarak OBD (On-board diagnostic - Gösterge Üzerinde Hata Teshis) sistemi eklenebilir.
Paralel olarak benzin motorlari:
1.Jenerasyon: Karbüratörlü
2.Jenerasyon: Yakit Püskürtme
3.Jenerasyon: Kapali çevrim (closed loop) çok noktadan yakit püskürtme

Hafif ve agir hizmet motorlarinda; ölçüm için, venturi ya da buna benzer bir mekanik parça bulunmalidir. Tam mekanik yakit sisteminde, (ilerleme kosullari, çevre kosullari, motor hizi ve yüklemesi, tank basinci ve sicakligi gibi) nedenlerden dolayi; gerçek ? degeri sürekli degismektedir.

Kuzey Amerika'daki ve Avrupa'daki siki emisyon regulasyonlari, basit 1. Jenerasyon mekanik sistemlerle tanismamistir. Sekil 6.1'de 1. Jenerasyon CNG sistemi ile gaz karistiricisi görülmektedir.



Sekil 6.1. Jenerasyon CNG Sistemi [15]

Eger TWC (üç yollu katalitik dönüstürücü) kullanilirsa; geri besleme sistemi, ? degerinin tam kontrolünü saglamak zorundadir. Egzoz gaz oksijen sensörleri, hava/yakit oraninin geri besleme sinyalini saglamaktadir. Bu sensörlerin orijinali de benzinli motorlarin stokiyometrik karisimda çalisma için gelistirilmis ve en iyi sonuca bu karisimda ulasilmistir.

Yakit kontrol sistemlerindeki oksijen sensörü, hava-yakit karisiminin zengin ve fakir karisimda çalismalarinda büyüklükle ilgili bilgi saglamaz. Voltajin zengin karisimda çalismayi gösterdigi zaman, yakit kontrol sistemi fakir kisimda hava/yakit orani yüklemesi yapar. Hiz, yükleme ile beraber olusur ve büyük bir kismi da fakir kisma dogru aktarilir. Zenginden düsük kosullara sik sik degisim olur. Düsük emisyon performansinda büyük etkisi vardir.

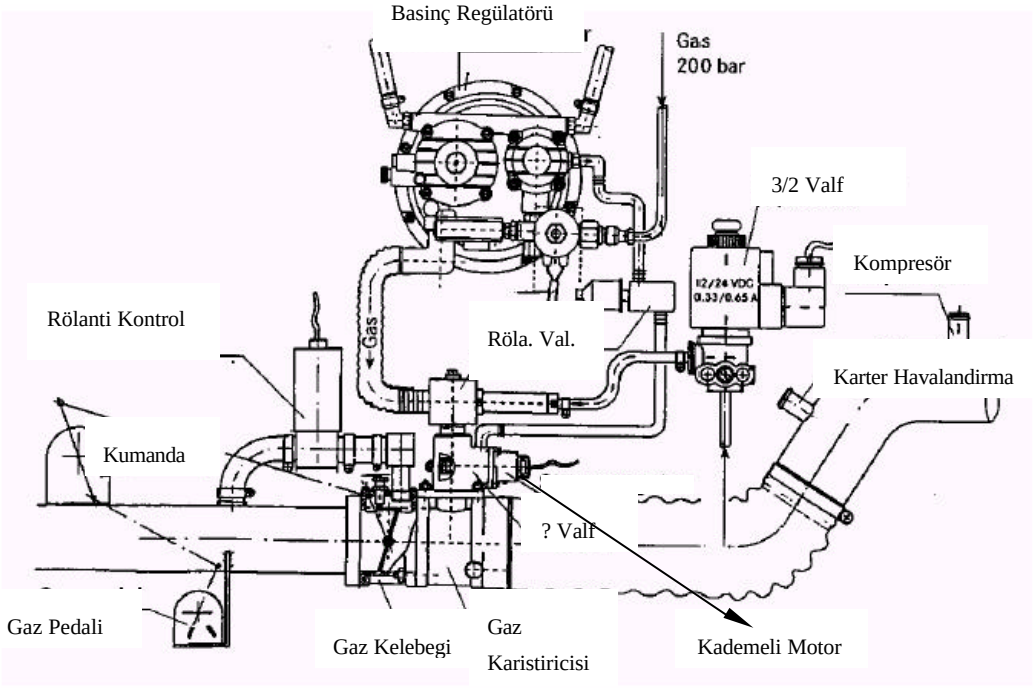
Hava/yakit orani kontrol yönetiminin stratejisinin sofistike teknikleri ve software ile evrim geçirmistir. Sonuçta dogal gazli tasitlarda (en iyi bi-fuel çözüm dahil) SULEV

emisyonu standartlari saglanmaktadir. Son zamanlardaki bi-fuel (çift yakitli) dogal gazli tasitlar tamamen hayata alismis sekildedir.

Ayrica fakir karisimli motorlarda; ? kontrolü için kapali çevrim (closed loop) yakit sistemlerinin büyük yararlari vardir. Oksijen sensörleri, fakir karisim çalismasi için eskiden pek güvenilir degillerdi. Bugün ise; tüm fakir karisimla çalisan motorlarda, tüm teçhizatlarinda kapali çevrim (closed loop) yakit sistemi bulunmaktadir.

Kapali çevrim kontrolü, ya elektronik kontrol cihazi eklenerek (Adim adim motor operasyonu veya gaz besleme basincinin modülasyonu) bu da basitçe mekanik yakit sistemidir (2. Jenerasyon) ya da tamamen elektronik ölçüm sistemi (3. Jenerasyon) basarili olabilir.

2. Jenerasyon yakit sistemleri, ya geri besleme olmadan yakit besleme sistemleri ya da ? kontrolü eklenmis mekanik sistemleridir. Sekil 6.2'de 2. Jenerasyon yakit sistemi görülmektedir (Agir hizmet gaz motorlari için).



Sekil 6.2. Agir Hizmet Motorlari için 2. Jenerasyon Yakit Sistemi (Stepper-motor) [15]

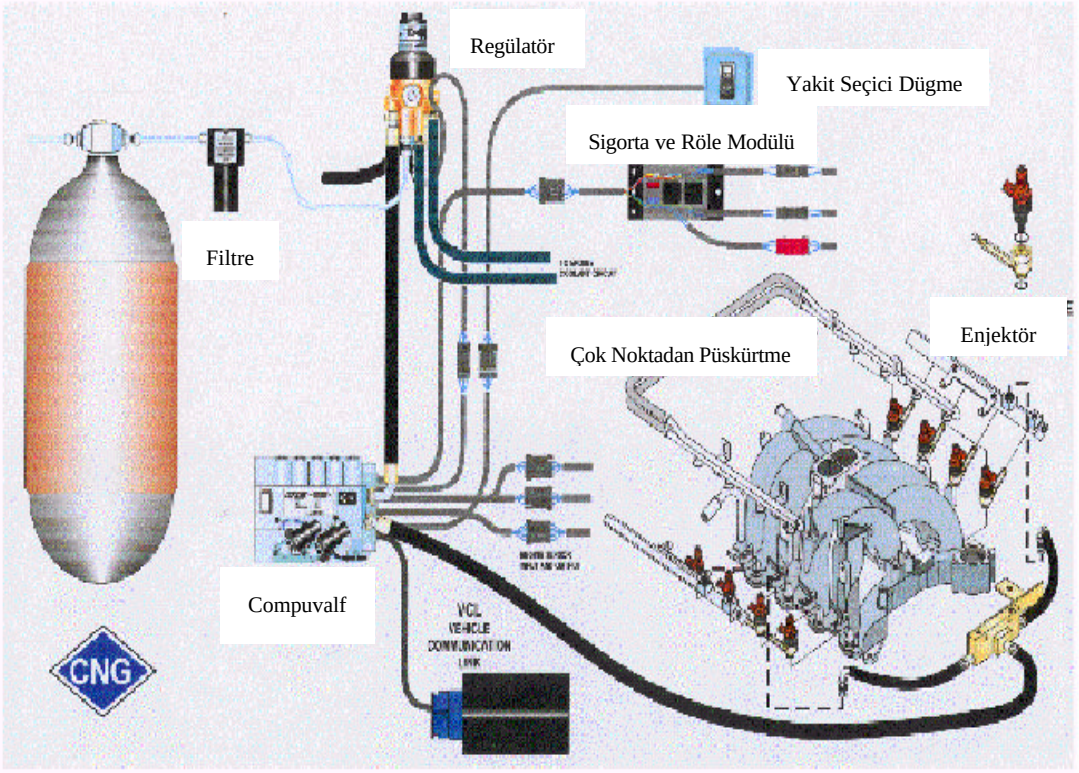
Iyi bir dinamik emisyon performansi basarmak için 3. Jenerasyon yakit sistemi gereklidir. Hafif hizmet tasitlarina dinamik dönüsüm emisyonlari için yapilan testlerde ve simdiki emisyon limitleri; tam yakit kontrolü olmaksizin tanismamistir.

Kuzey Amerika'da agir hizmet motorlari, yillar için dinamik dönüsüm testi yapilmistir. Bu durum Avrupa'da degismistir. Agir hizmet motorlari için emisyon testi 2000 yilinda baslanmistir. Avrupa agir hizmet gaz motorlari teknolojisinde çok büyük etki yapmistir.

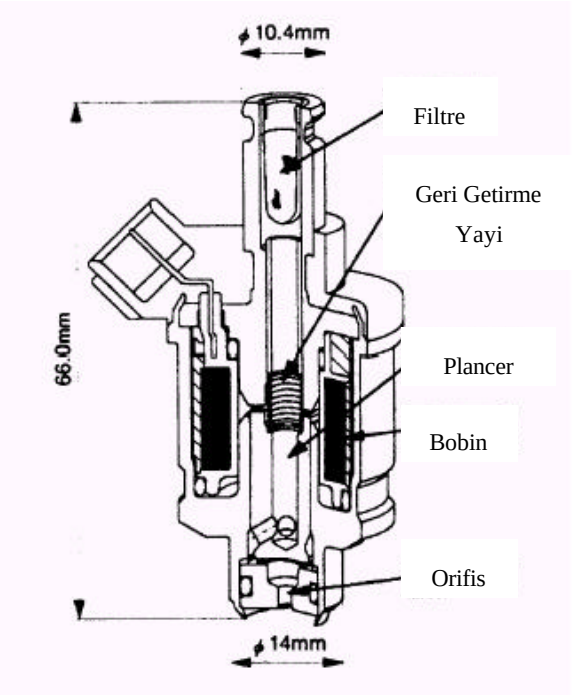
3.Jenerasyon kategorisinde elektronik kontrollü yakit sistemleri, tek veya çok noktadan gaz püskürtme sistemleri olarak ikiye ayrilmaktadir. Çok noktadan gaz enjeksiyon sistemi ile "sequential" (sirali) püskürtme beraberdir. 3.Jenerasyon sistemler, -tam elektronik kontrol- konvansiyonel mekanik sistemlere göre performans ve dogruluk açisindan önemli ölçüde daha iyidir.

Bu alandaki öncülerden biri olan GFI sistemi, Kanada orjinli, Ortech-Kanada tarafindan gelistirilmistir. GFI orjinali tek noktadan gaz enjeksiyon sistemidir. Ölçüm ünitesi, blok ile 7 tane elektriksel kontrol edilen sonik valfler bulunmaktaydi. 5 tanesi açma-kapama tipli, 2 tanesi ise titresimliydi. Sekilde 6.3'te ise GFI Kontrol Sistemleri, "sequential"(sirali) çok noktadan püskürtme sistemi görülmektedir [15].

Bazi diger parça üreticileri, Gentec, Kaltec ve Transcom çok noktadan gaz enjeksiyon sistemi bulunmaktadir. Çok noktadan yakit enjeksiyonu, silindirden silindire kontrole göre daha iyidir. "Sequential"(sirali) yakit teslimi ile geri yanma (back fire) riskini azaltmaktadir. Gelecek için bir görüs ise; gaz motorlari, "sequential" (sirali) çok noktadan yakit enjeksiyonu ve hem stokiyometrik hem de fakir karisimla yanma çalismalari için kapali çevrim (closed loop) kontrollü olacaktir. Sekil 6.4'te dogal gaz için dizayn edilmis enjektör görülmektedir [15].



Sekil 6.3. GFI Kontrol Sistemi, "Sequential" (Sirali) Çok Noktadan Gaz Enjeksiyon Sistemi [15]



Sekil 6.4. Dogal Gaz Için Dizayn Edilmis Enjektör [15]

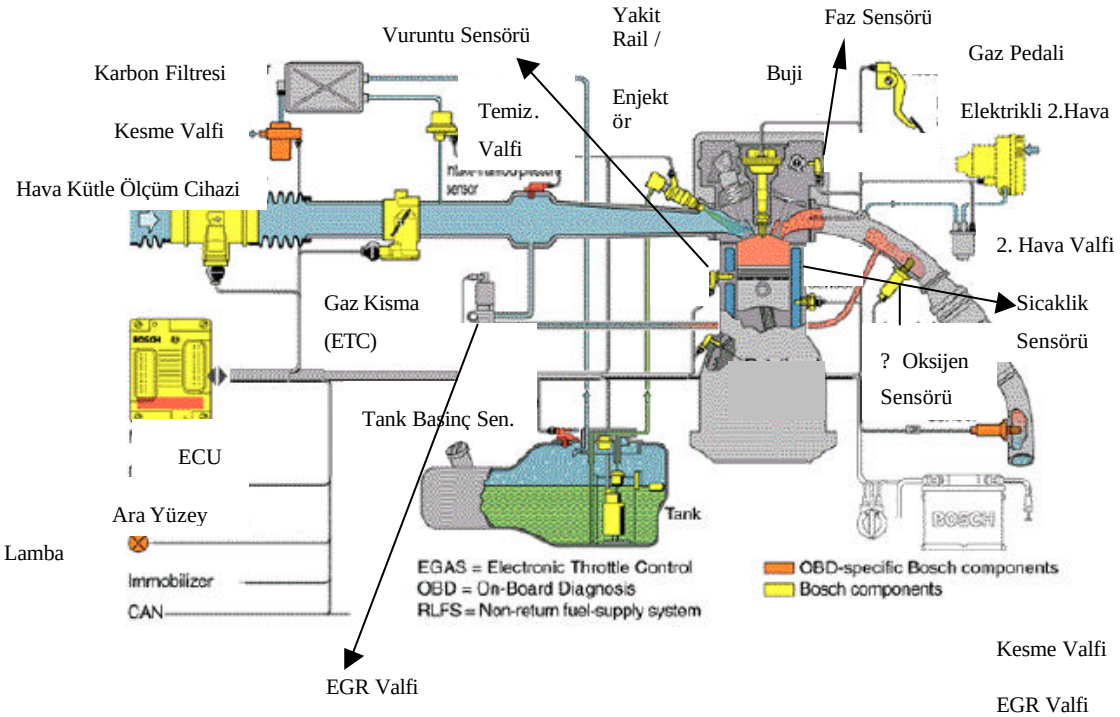
6.1. OBD Sistemi (On-board Diagnostic System)

6.1.1. Ariza Arama Sistemi

OBD sistemi, motor ve egzoz temizleme sistemindeki arizalari ortaya çikarmaktadir. Sekil 6.5'de benzin motoru OBD teçhizatlari ve alt sistemi görülmektedir.

OBD' ye bagli motorun farkli alt sistemleri [15] :

- Yakit Sistemi
- Lamda Kontrol Sistemi
- Atesleme Sistemi (Hatali Atesleme)
- Katalitik Dönüstürücü
- Partikül Tutma (Dizel Motorlarinda)
- EGR Sistemi
- Motor Yönetimi



Sekil 6.5. OBD'li Motor Sisteminin Elemanlari (Bosch Motornic ME7) [15]

Benzinli tasitlar için OBD sistemlerinin orijinali 1991 yilinda Kaliforniya'da yapilmistir. O günden sonra eyalet ve federal sinirlarda gerekli hale getirilmistir. Avrupa'da benzinli otomobiller için 2000 yilindan itibaren kullanilmaya baslanmistir. 2005 yilinda ise, dizel yolcu tasitlari için kullanilacaktir. Gelecekte de agir hizmet tasitlar için gerekli hale getirilecektir.

OBD sistemi, motor isletim sistemine aykiri hareketleri ortaya çikarmak için dizayn edilmistir. Tasitlarin kullanim sürelerini doldurduktan sonra emisyon degerleri artmaktadir. US EPA' ya göre yolcu tasitlari için bu 100.000 mil, hafif ve orta hizmet tasitlari için ise 120.000 mildir.

Arizalari belirtmeyi yarayan isik, aracin kontrol paneline yerlestirilir. Eger uygulanan emisyon standartlarinin 1,5 kati degeri asildigindan ikazla belirtir.

6.1.2. OBD'nin Tarihçesi

1991 yilinda Kaliforniya'da benzinli tasitlar için OBD 1 regulasyonu ortaya atilmistir. 1996 yilindan itibaren de alternatif yakitli tasitlara uygulanmistir. Tüm alternatif yakitli tasitlarda, OBD 1 sistemi ve teçhizati gerekli görülmüstür. Hem Kaliforniya hem de EPA tüm alternatif yakitli tasitlar için (her yil yillik feragat eden alternatif yakitli tasitlar göz önünde tutularak) OBD 2 sistemi gerekli hale getirilmistir. Emisyon dayaniklilik gerektiren alternatif yakitli tasitlar için uygulanmistir. Bunun anlami alternatif yakit sistemlerine temel ariza arama sistemi eklenmistir. Örnegin tüm sensör hatalari gibi… Sensör arizalarinin monitörde gösterilmesi gerektirmez.

Benzinli tasitlar için uygulanan OBD 2 sistemi, alternatif yakitli tasitlara da uygulanmaktadir. Bununla beraber OBD 2 monitörlerinde yanlisliklar görülmüstür. Hatalar ortaya çiktiginda ve yanlis olarak ariza belirleyici isik yanmaktadir. Önleyici bazi metotlar tasarlanmis ve daha sonra tartisilmistir.

Emisyon saglamliginin gerektirdikleri, 1996 yilinda Kaliforniya için genis olarak belirtilmistir. "Aftermarket" (Satis sonrasi) degisikliklerinden beri, 49 eyalette Memorandum 1A altinda devam etmektedir.

1998 yilinda Kanada benzinli tasitlar için OBD 2 sistemini, 2000 yilinda ise Avrupa'da benzinli tasitlar için EOBD (European On-board Diagnostic System) uygulamasi gerekli kilinmistir. OBD 2 tipleri fazlari diger ülkelerde de benzinli tasitlar için gerekli görülmüstür. Örnegin Japonya, Meksika ve diger ülkeler 2002 yilindan itibaren benzinli tasitlara OBD 2 sistemi uygulanmaya baslanmistir.

2004 yilindan itibaren ise, tüm OBD monitörleri aktif tüm yakitlarda bulunacaktir. Alternatif yakitlar için de izin verilecektir. 2005 yilinda da, EOBD uygulamasi alternatif yakitli tasitlar için gerekli kilinacaktir. Bu da alternatif yakitli tasitlarin gelisimine büyük engeldir.

6.1.3. Alternatif Yakitlar için OBD 2 Monitör Reaksiyonlari

OBD 2 sisteminde 10 monitörde operasyon yapilir [15]:

1) Katalitik Dönüstürücü Monitör
2) Hatali Atesleme Monitörü
3) Yakit Sistemi Monitörü
4) Oksijen Sensör Monitörü
5) EGR Monitörü
6) Ikinci Hava Sistemi Monitörü
7) Ayrintili Parça Sistemi Monitörü
8) Buharlastirici Sistem Monitörü
9) Termostat Monitörü
10) PVC Monitörü

Bu operasyonlarin hepsi benzinle çalisan tasitlar için dizayn edilmistir. Eger OBD 2 teçhizatli alternatif yakitli tasitlara, örnegin propan veya dogal gaza, monitör modelleri dizayn edilmez. Hatalar ortaya çikarilir ve bunlar alternatif yakit için uygunca düzeltilir. Tasit fonksiyonlari normal hale geldiginde; yanlis hata kodu düzeltilir ve MIL açiklanir. Bu arada ariza kodu hemen düzeltilmeyebilir. Hatalarin tekrarlandigindan emin olunmasi lazimdir. Düsük bir olasilik olmasina ragmen sahte ariza olabilir. Fakat genellikle geriye kalan hatalar (bu arada tasitin alternatif yakit için uygulanma operasyonu devam etmektedir) ve bilgisayardaki hatali kod düzeltilir.

Alternatif yakitlarda, monitörlerdeki yanlis kodlar degistirilmektedir. Bunun sebeplerinden bazilari, asagida örneklerle gösterilmektedir [15].

6.1.3.1. Katalitik Dönüstürücü Monitörü

Gereken:

Katalitik dönüstürücü monitörünün kullanim dönüsünde memnun edici performans için sürekliligi

Hata Kriteri:

Düsük emisyonlu tasitlar için; 1,5 kez NMOG (Metan olmayan organik gaz) standardi

Alternatif Yakit Konulari:

- Katalitik dönüstürücü süresi degisebilir. Dökümasyonun gerektigi gibi olmali.
- Yakit degiskenligi, oksijen sensör degisim oraninin ek degiskenligine neden olur.
- Tek örnek stratejiler ve kalibrasyonlar, yakit tipinin fonksiyonu gibi çesitli degisim oranlari gerektirmektedir.

6.1.3.2. Yakit Sistemi Monitörü

Gereken:

Yakit teslim sistemi monitörünün, gücüne göre emisyon standartlari ile uygunlugunun sürekliligi

Hata Kriteri:

Zengin ve fakir karisimli yakit sistemleri arizalari için 1,5 kati standart

Alternatif Yakit Konulari:

- Tek örnek strateji/kalibrasyon, yakit monitörünün modife edilmis yakit algoritmalarinin birbirlerinin etkilemesinin razi olmasinin gerektirdigi
- Yakit bilesimi çesitliliginden dolayi farkli stokiyometrik sonuçlar; yakit sistem çesitliligine eklenir. Monitör proses verimliligi için zor bir durum.

6.1.3.3. Hatali Atesleme Monitörü

Gereken:

Hatali atesleme ve silindirdeki hatali ateslemeyi teshis etmek için monitör;

Ariza Kriterleri:

- Katalitik dönüstürücüdeki hasardan dolayi hatali atesleme;
- Hatali atesleme nedeniyle tasitin standartlarini uzatmak;
- Hatali atesleme nedeniyle tasitin I&M testindeki basarisizlik;

Alternatif Yakit Konulari:

- Her bir yakit için katalitik dönüstürücü hasar tablosu yeniden sekillendirilmelidir. Bu yüzden egzoz sicakliklarinda farkliliklar olabilir.
- Hatali atesleme baslangicindaki gecikme süreleri, çesitli yakitlarda farkli olacaktir.
- Yakit çesitlerine göre farkli motor torklari olur. Her bir yakit tipine göre tek örnek strateji/kalibrasyon gerekli olacaktir.

6.1.4. Alternatif Yakit Sistemlerine Uygun OBD 2

Amerika'da su anki OBD 2 regulasyonlari, alternatif yakitli tasitlara uyumlu olmasi gerektirmektedir. MIL kullanilabilir. Çünkü orijinal emisyon kontrol sistemi ile göz önünde tutmak gerekir ve EPA Mobil Kaynak Uygulama Memorandum 1A ile uyumlu olmayabilir [15].

Tasit alternatif yakit ile çalistiginda ve yetki verildiginde benzinin bir opsiyon olmadigi zaman MIL' e dönüsüm olmaz. Alternatif yakitla çalisildiginda bilgisayara hatali kodlar yerlesir ve tasitin benzinle çalismasina geri dönüldügünde yanlislikla MIL aktif olur.

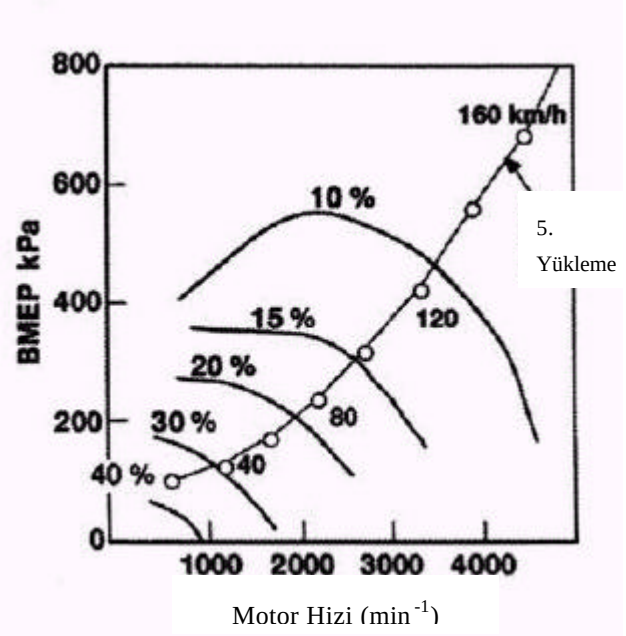
Bununla beraber 2004 yilina kadar alternatif yakit tasitlar için seçilen monitörlerdeki hatali MIL ve kodlar geçersiz olacaktir. Avrupa'da buna benzer bir sistem, EOBD sistemi olarak görülmektedir.

6.2. Direkt Püskürtmeli CNG Motorlari Üzerine Yapilan Çalismalar

Dogal gazin CO_2 emisyonu açisindan benzine göre %20 daha düsük olmasi; bir otomobil yakiti için büyük bir avantajdir. Bundan baska bir diger pozitif özelligi de diger yakitlara göre daha düsük emisyon degerlerine sahip olmasidir. Bu da dogal gaza, petrol türevli yakitlara iyi bir alternatif yakit olma özelligi kazandirmaktadir. CNG motorlarini dizel motorlariyla karsilastirdigimiz zaman; CNG motorlari, daha düsük termal verime sahip olmasindan dolayi (özellikle ortanin altindan düsüge dogru yüklemelerde) zarar görmektedir. Bu nedenle CO_2 emisyon oranlari, yolda asagi yukari aynidir. Sayet CNG motorlarinda ortanin altindan düsüge dogru yüklemelerdeki termal verimi yükseltebilirsek; düsük hava kirleticilerine sahip ve düsük emisyonlu CNG motorlari, dizel motorlarinin yerine geçebilir.

6.2.1. Dizel Motorundan Çevrilmis Direkt Püskürtmeli CNG Motor Çalismasi

Bu çalismada CNG motorunu dizelle karsilastirmak için; direkt yakit püskürtme sistemiyle termal verimi maksimum hale getirmek lazimdir. Hedeflenen tasit tipi, sehir içi yük tasimada uygulanacak bir kamyonettir (max. 4 ton). Bu tasitta sik sik ortanin altindan düsüge dogru yükleme yapilir. Konvansiyonel CNG motorunun termal verimi ile CO_2 emisyon oranlarini karsilastirip; Japon 13 konumlu test çevrimine uygun hale getirmek lazimdir. Benzer kategorideki konvansiyonel CNG motorlarinda -DI(direkt püskürtme) gibi- 850 CO_2 kg/kWh CO_2 emisyonu ve 13 konumlu test içindir. Fakat bizim hedefimiz, 700 kg/kWh 'in altinda CO_2 emisyonu olan direkt püskürtmeli bir CNG motorudur. Sekil 6.6'da direkt püskürtmeli benzin motorunun özellikleri gösterilmektedir. Hesaplamalara göre; 13 konumlu testin altindaki konvansiyonel direkt püskürtmeli motorlarda CO_2 emisyonlarinda %18'lik bir düsüs saglanir. Buna benzer seviyelerdeki düsüsü direkt püskürtmeli CNG motorlarinda görülecegi sanilmaktadir [7].



Sekil 6.6. DI-Benzinli Motorun Yakit Ekonomisi Gelisimi [7]

6.2.1.1. Motor Özellikleri

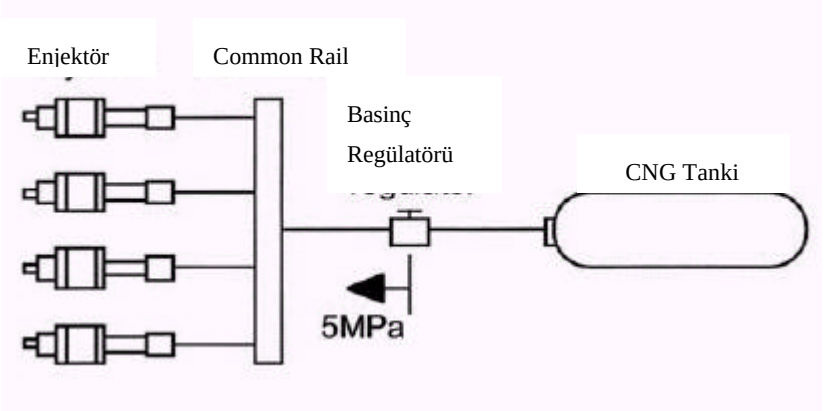
6.2.1.1.1. Yanma Konsepti

Dizel motorunu, direkt püskürtmeli CNG motoru haline dönüstürülmüstür. Yakit enjektörden yanma odasina direkt olarak püskürtülür.

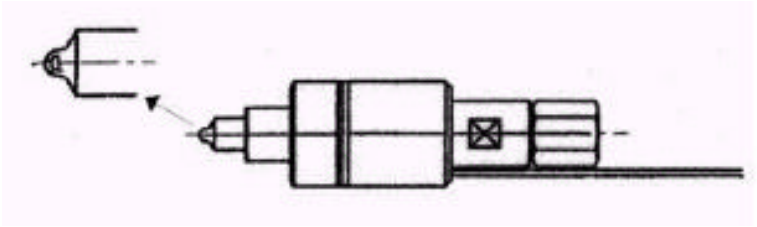
6.2.1.1.2. Yakit Enjeksiyon Sistemi

Yakit enjeksiyon sisteminin dizayni Sekil 6.7'de gösterilmektedir. CNG tankindan motora; basinç regülatöründen 5 MPa 'in altinda bir basinçla CNG saglanir. Bu basinç her bir silindir enjektöre bölünür. Püskürtme basincini saglamak için asiri doldurma kompresörü de kullanmak mümkündür. Fakat asiri doldurma kompresörü, güç kaybina neden olacagi için kullanilmaz [7].

Sekil 6.8'de yakit enjektörünün sekli görülmektedir. Modifikasyon için, iki tür enjeksiyon üzerine çalisilmistir. "Common-rail" (Ortak kat) dizel motoru enjektörü ile direkt püskürtmeli benzin motoru enjektörüdür. Sonuç olarak; direkt püskürtmeli benzin motorlarinin selenoid valfli enjektörleri uygun bulunmustur. Püskürtme zamanlamasinin genis menzili ayarlanabilmektedir (Bunun içinde erken püskürtme bulunmaktadir). Ayrica püskürtme basincinin 5 MPa civarinda olmasi da saglanmaktadir [7].



Sekil 6.7. Yakit Enjeksiyon Sistemi [7]



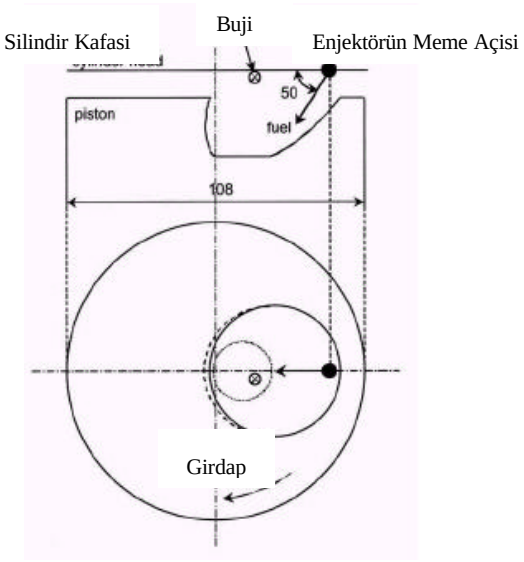
Sekil 6.8. Yakit Enjektör Semasi [7]

Tablo 6.1. Enjektörün Özellikleri [7]

Sürücü Sistemi	Selenoid
Enjektör Meme: Sayi	1
Enjektör Meme: Boyut	1,04 mm^2

6.2.1.1.3. Yanma Odasinin Sekli

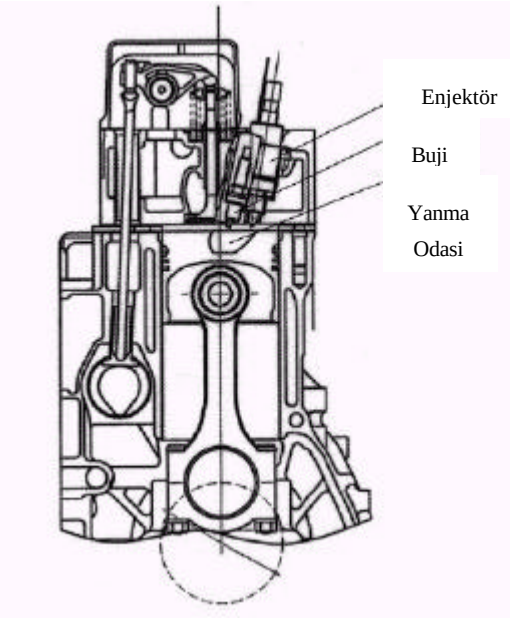
Yanma odasinin sekli, yakit enjeksiyon sistemi için çok önemli bir faktördür. Temeli dizel motoru olan CNG motorumuzda; yanma odasi, silindir kafasi ile pistonun yassi kisminin alt yüzeyi arasinda, yani pistonun üst kisminda istenmektedir. Sekil 6.9'da da görüldügü gibi yanma odasinin sekli kubbelidir. Enjektörden yanma odasina püskürtülen yakit, yanma odasinin alt kismina dogru bir dönme hareketi olusturur. Bu sayede ortamdaki hava ile iyi bir karisim olusturarak bujiye ulasir [7].



Sekil 6.9. Yanma Odasinin Sekli [7]

6.2.1.2. Tek Silindirli Motordaki Temel Testler

Direkt püskürtmeli CNG motorumuzun esasi dizel motoru oldugundan; test datalarimizi karsilastirmak için, dizel motorununkiler elde edilmektedir. Dizel motoru, mikser-CNG motoruna adapte edilmistir. Tablo 6.2'de tek silindirli motorun özellikleri gösterilmektedir. Sekil 6.10'da da tek silindirli DI-CNG motorunun kesiti görülmektedir [7].



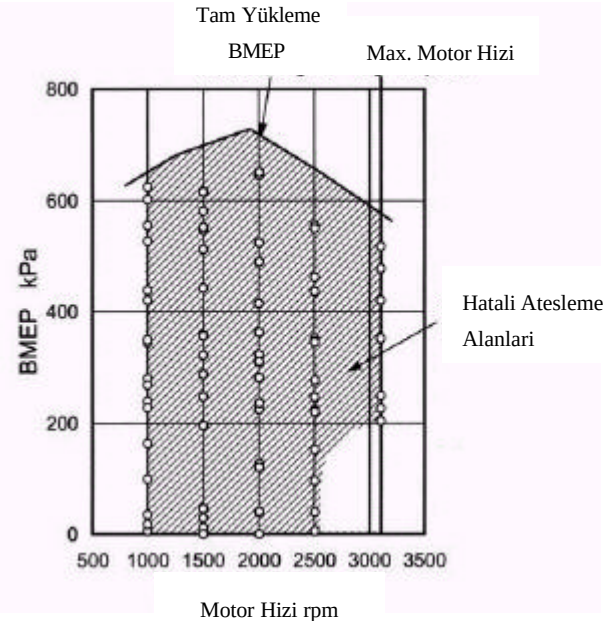
Sekil 6.10. Tek Silindirli DI-CNG Motorun Kesiti [7]

Tablo 6.2. Tek Silindirli DI-CNG Motorunun Özellikleri [7]

	DI-CNG	**Dizel**	**Mikser Tip CNG**
Çap x Strok	¢108x115 mm		
Motor Hacmi	1,053 Litre		
Sikistirma Orani	12,0	18,1	12,0
Döndürme Orani	0,5	2,0	
Emme Sistemi	NA (Dogal Emisli)		
Yakit Besleme	Direkt Püskürtme		Mikser
Atesleme Sistemi	SI	CI	SI
Püskürtme Basinci	5 MPa	-	-
Püskürtme Valfi Açiklik Basinci	-	20 MPa	-
Hava/Yakit Orani	-	-	1,4

6.2.1.3. Çalisma Alani

Sekil 6.11'de tek silindirli DI-CNG motorun hatali atesleme disindaki çalisma sinirlari görülmektedir. Bu testte tutusturma süresi 13 ^{0}BTDC' dir. Motor hizi ve tutusturma süresi farkli olabilir. Deneyde motor, yüksek rotasyon hizinda ve düsük yükleme disindaki tüm kosullarda çalistirilmistir [7].

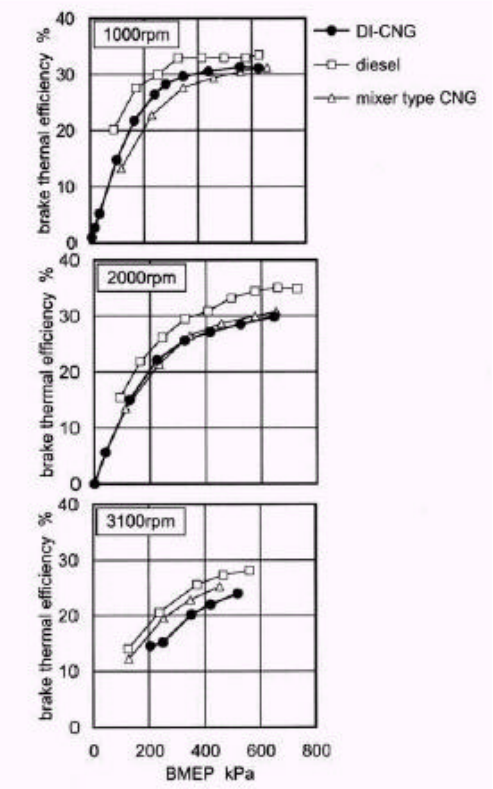


Sekil 6.11. DI-CNG Motorunun Çalisma Alani [7]

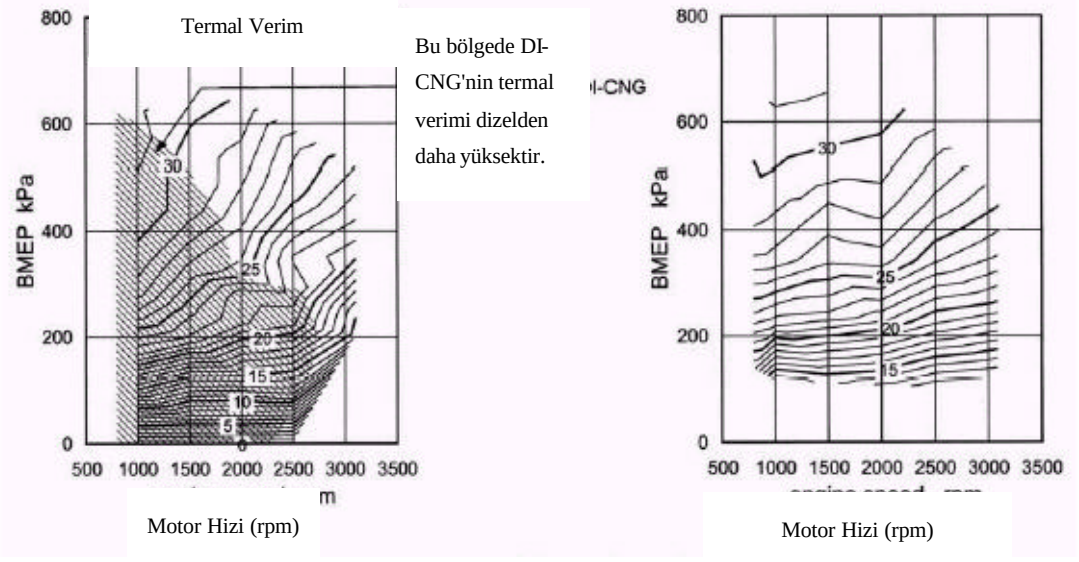
6.2.1.4. Termal Verim

Sekil 6.12'de tek silindirli DI-CNG' nin termal verimi gösterilmektedir. DI-CNG motoruyla, dizel motoru ve mikser-CNG motoru karsilastirilmistir. Dizel ile mikser-CNG motorunda NO_x emisyonunu 1,000 ppm in altinda tutabilmek için; püskürtme zamani ile tutusturma süresi ayarlanmistir. 1000 rpm' de DI-CNG motorunda, dizele göre daha düsük termal verim; mikser-CNG' e göre ise daha yüksek bir termal verim görülmektedir. Motor hizi arttikça; DI ile mikser tip CNG motorlari arasindaki fark kapanmistir. Hatta 3100 rpm' de mikser CNG' nin termal verimi DI-CNG' ye göre daha yüksektir [7].

Sekil 6.13' te DI ile mikser tip CNG motorlarinin termal verim haritasi görülmektedir. Sekildeki koyu bölgeler termal verim alanlarini göstermektedir. DI-CNG' nin, mikser- CNG' ye göre daha genis oldugu görülmektedir. Düsük-rpm' in altinda ve düsük yükleme kosullarinda proje, termal verimin gelismesi kismen hedeflenmistir. DI-CNG, mikser-CNG' ye göre daha üstündür. Bunun yaninda motor hizi hizlandikça DI-CNG' de, mikser CNG' ye göre; termal verim degismesi de daha büyük olmaktadir. Daha sonra yapilacak modifikasyonlarda, yüksek rotasyon alanindaki termal verimin gelismesi yönünde yapilmalidir [7].



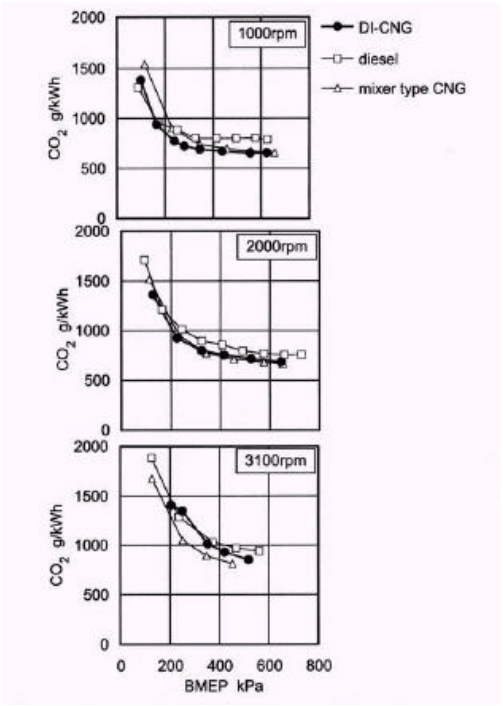
Sekil 6.12. Üç Tip Motorun Termal Verim Açisindan Karsilastirilmasi [7]



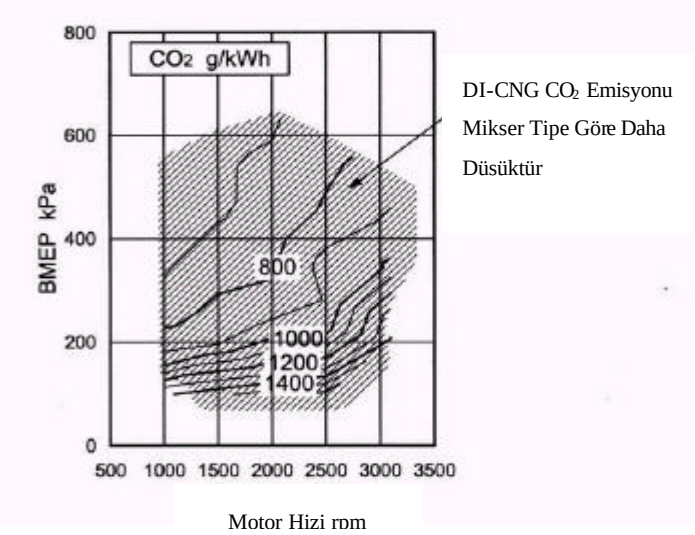
Sekil 6.13. DI ile Mikser Tip CNG Motorlarinin Termal Verim Haritalari [7]

6.2.1.5. CO_2 Emisyonu

Sekil 6.14' de tek silindirli DI-CNG, mikser-CNG ile dizel motorlarinin CO_2 emisyon oranlari yönünden karsilastirilmasi görülmektedir. Sekil 6.15' de ise DI-CNG motorunun CO_2 emisyon haritasi görülmektedir. Yakit akisindan CO_2 emisyon oranlari, yük basina düsen CO_2 emisyonlari ve motor çikisi hesaplanmistir. Sekilde DI-CNG motorunun, dizel motoruna göre tüm kosullarda daha düsük CO_2 emisyon oranlarina sahip oldugu görülmektedir [7].



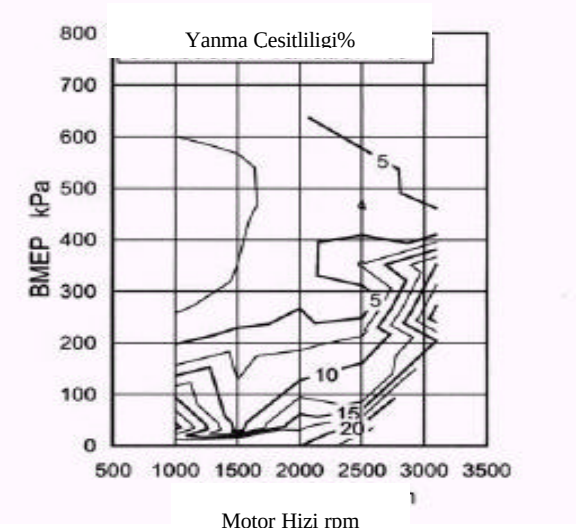
.Sekil 6.14. Üç Tip Motorun CO_2 Emisyon Oranlari Karsilastirilmasi [7]



Sekil 6.15. DI-CNG Motorunun CO_2 Emisyonu Haritasi [7]

6.2.1.6. Kararli Yanma

DI-CNG motorlarinda kararli yanma, termal verim ve CO_2 emisyon oraninda etkisi oldugu sanilmaktadir. Sekil 6.16'da DI-CNG motorunun yanma çesitliligi haritasi sunulmustur. Yanma çesitliligi standart sapma oranlariyla sunulmaktadir.

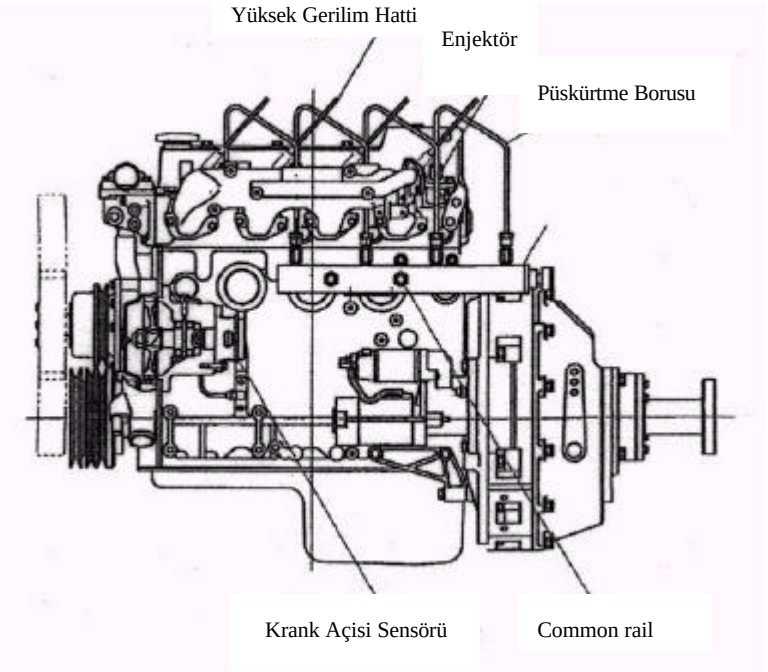


Sekil 6.16. DI-CNG Motorunun Yanma Çesitliligi Haritasi [7]

Devam eden 360 çevrimdeki BMEP' nin degeridir. Sekilde görüldügü gibi yüksek rotasyon hizlarinda ve düsük yükleme bölgelerinde kararli yanma yüksektir. Bu bölgelerle, dizel motorlarinin CO_2 emisyon oranlarinin uzadigi yerlerle iliskilidir. Buna göre kararli yanmanin gelismesi ile termal verimin artmasina ve CO_2 emisyon oranlarinin azalmasina neden olur.

6.2.1.7. Dört Silindirli DI-CNG Motorun Gelisimi

Tek silindirli motor üzerinde yapilan testler ve hesaplamalardan sonra 4 silindirli prototip gelistirilmistir. Sekil 6.17' de bir kesiti ve Tablo 6.3' te de özellikleri gösterilmistir.



Sekil 6.17. Dört Silindirli DI-CNG Motorunun Sekli [7]

6.2.1.8. Gelecek Plani

Tek silindirli motorda yapilan testler sonucunda yanma dengesinin gelistirilmesi sonucu çikmistir. Bujiye ulasan gaz karisimlarindaki hatalar, kararsiz yanmaya neden olur. Bu hatalar iki sebepten olabilir [7]:

a) Yakit jet penetrasyonun eksikligi

b) Yakitin siddetli dönmesi

Enjektör nozül deligini genisletmek ve çesitli dönme hareketlerinde yanmanin arastirilmasi lazimdir.

Gelecekte yapilacak testlerde DI-CNG motorlarinda CO, HC ve NO_x gibi emisyonlar katalize etmekte EGR' nin etkisi görülmelidir.

Dört silindirli DI-CNG motorunu gelistirme çabalarini sürdürmek lazimdir.

Tablo 6.3. Dört Silindirli DI-CNG Motorunun Özellikleri [7]

	DI-CNG Sistemi	Temel Motor (Dizel)
Model	-	Nissan Dizel FD46TA
Yakit Cinsi	CNG	Dizel
Silindir Sayisi	4	
Supap Mekanizmasi	OHV, 2 valfli	
Çap x Strok	¢108x126 mm	
Motor Hacmi	4,617 Litre	
Sikistirma Orani	12,0	18,3
Emis Sistemi	Sogutma Sonrasi Turbosarjli	
Püskürtme Basinci	5 MPa	-
Püskürtme Valfi Açiklik Basinci	-	20 MPa
Atesleme Sistemi	Kivilcim Ateslemeli	Sikistirma Ateslemeli
Maksi. Çikis Gücü	(Hedef) Temel motorla ayni	136 kW / 3100rpm
Maksi. Tork	(Hedef) Temel motorla ayni	461 Nm. / 1800 rpm

6.2.1.9. Sonuç

Bu pilot projede, DI-CNG motorunu gelistirmek için termal verimin gelistirilmesi ve CO_2 emisyon oranlarinin azaltilmasi gerektigi görülmüstür. Tek silindirli motor üzerinde yapilan arastirmalar sonucunda:

- Yüksek rpm altinda ve düsük yükleme disinda hatali atesleme olmaksizin operasyon basarili olmustur.

- DI-CNG motorunda düsük rpm ve ortadan düsüge dogru yüklemelerde mikser-CNG' ye göre termal verim daha yüksek çikmistir. Yüksek rpm disinda termal verim Mikser-CNG' ye göre daha düsüktür.

- Ortadan yüksege dogru yüklemelerde dizel motorlarina göre daha düsük CO_2 emisyon oranlari elde edilmistir.

6.2.2. Bi-Fuel (Benzinli-CNG) Motora Direkt Püskürtme Yerlestirilmesi ve Gelistirilmesi

Emisyon sinirlarinin daraltilmasi, alternatif yakitli tasitlarin -özellikle CNG ile çalisan tasitlar- gelistirilmesine hiz verilmistir. Dogal gazin, benzin ve dizele göre birçok avantajlari bulunmaktadir. Bunlar arasinda düsük emisyon degerleri, genis bir kaynak ile düsük üretim ve satis maliyetidir. Bununla beraber CNG'nin teknik dezavantajlari da; depolama problemleri ile benzinliye göre daha düsük performanstir. Tüketicinin dogal gazla çalisan tasitlara uyumunda, CNG doldurma istasyonlarinin azligi da ayri bir sorun yaratmistir.

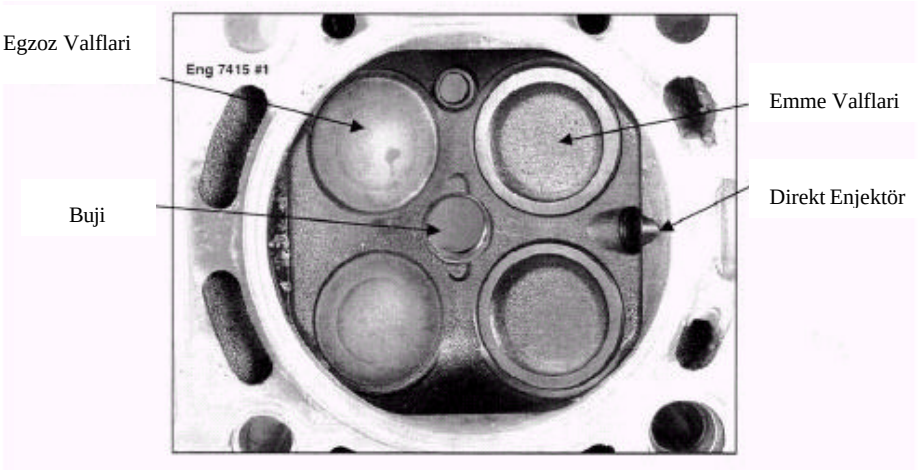
Bi-fuel (çift yakitli) Lotus Elise'deki çok noktadan emme manifolduna püskürtme sisteminin birçok teknik avantajlari bulunmaktadir. Bunun gelisimi sirasinda; CNG kullanimda iki tane problem görülmüstür. Oturma veya bagaj hacmi düsmeden; gaz yakit tankinin gelistirilmesi ile tek motor kontrol ünitesinin kullaniminda yakitlar arasinda otomatik dügme ile izin vermektir [8].

CNG püskürtme sistemlerinde yillar evvel tek noktadan manifolda püskürtmeden çok noktadan püskürtmeye geçilmistir. Bununla beraber benzinli tasitlar için direkt yanma odasina püskürtme sistemi gelistirilmistir. Lotus da CNG için yapilan arastirmalar sonucunda direkt püskürtmeli bir motor gelistirmistir. Bu motor dinamometrede test edilmis; benzin ve CNG ile çalisan tasitlarin yakit ekonomisi, direkt püskürtme emisyonu ve performansi yönünden karsilastirilmistir.

6.2.2.1. Motor Dizayni

1,8 litre çok noktadan manifolda püskürtmeli motor, prototip olarak degistirilmistir. Prototip motorda hava/yakit karisimi püskürten enjektör, emme valfinin altina yerlestirilmistir (Sekil 6.18). Enjektörün emme valfinin altina yerlestirilmesi yer

açisindan; merkeze yerlestirilmesinden daha konvansiyoneldir. Düsük basinçli enjektörler iki bölümden olusmaktadir. Ilk benzin püskürtmesi 720 kPa' da olur. Yanma odasina ikinci püskürtme ise benzinle beraber hava da püskürtülür (650 kPa). CNG püskürtmesi için benzin saglamasi kapatilir. Hava enjektörüne 650 kPa' da CNG saglanir. Bu prototip enjektörler spesifik olarak sadece CNG kullanimi için dizayn edilmemistir. Yakit besleme basinçlarinin limitlerinden dolayi; yüksek hiz/yükleme oranlarinda CNG için çalismasi mümkün degildir. Standartlardan dolayi piston sekli, sadece motorun homojen kosullarda çalismasi uygundur. Motor ve enjektörlerin gelisimindeki planlanan; hem benzin hem de CNG ile çalismasidir [8].



Sekil 6.18. Yanma Odasinda Direkt Enjektörün Pozisyonu [8]

6.2.2.2. Motor Dinamometre Testi

Motor dinamometre testinde homojen kosullarda hem benzinli hem de CNG için uygulanmistir. Ana testlerde su maddelerin karsilastirilmasi uygulanmistir:

1) Emisyon sonuçlari ve çesitli AFR degerlerindeki saglamlik

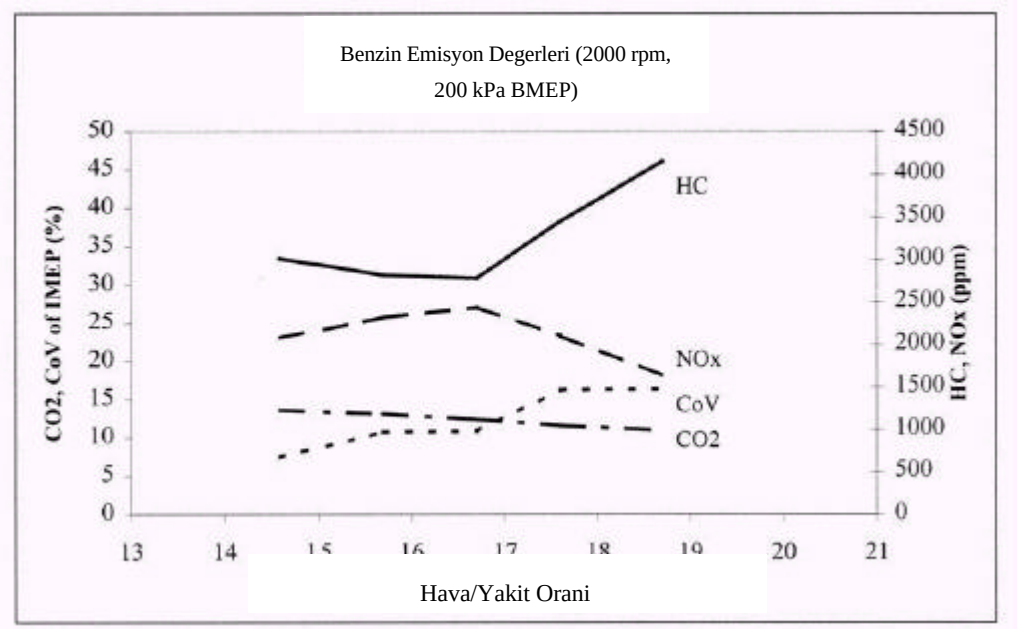
2) EGR' nin etkisi

3) Güç egrileri

6.2.2.3. Test Sonuçlari

6.2.2.3.1. Emisyonlar ve Motor Saglamligi

Benzinli 2000 rpm ve 200 kPa BMEP' de çalismistir. AFR fakir bölgede arastirilmis ve emisyon ile saglamlik etkisi arastirilmistir. Sekil 6.19'da grafikte görüldügü gibi; hava/yakit orani 18,7:1 dan sonra emisyon ve saglamligin etkisi görülmektedir [8].



Sekil 6.19. Hava/Yakit Oranlarinda Benzinli Kismin Emisyon ve Saglamlik Etkisi [8]

Hava/Yakit orani araliklarinda CNG için 3 noktada test uygulanmistir:

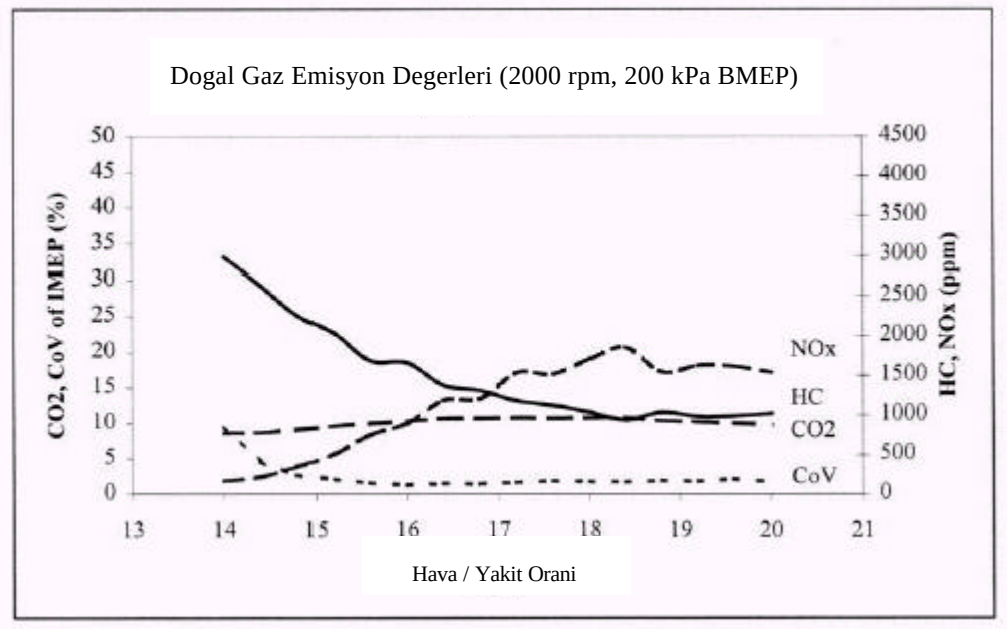
1) 2000 rpm 200 kPa BMEP

2) 4000 rpm 500 kPa BMEP

3) 1300 rpm 295 kPa BMEP

Sekil 6.20'de 2000 rpm, 200 kPa BMEP' deki görülmektedir. Diger test noktalarinda ise AFR (Hava/Yakit Orani) 16,5' den sonra 17,1' e kadar ki kisminda benzer bir trend görülmektedir [8].

Stokiyometrik çalisma degerleri benzinli için 14,7:1 ve CNG için 16,5:1' dir. Fakir çalismada CNG ile benzin karsilastirildiginda test noktalarinda CNG emisyonlari HC %60, NO_x %26 ve CO_2 %21 daha düsük oldugu görülmektedir.



Sekil 6.20. Hava/Yakit Oranlarinda CNG Kismin Emisyon ve Saglamlik Etkisi [8]

6.2.2.3.2. EGR' nin Etkisi

EGR (Egzoz Gaz Resirkülasyonu) metodu benzinli tasitlarda NO_x degerini düsürmek için kullanilir. EGR' nin çesitli miktarlari, 3500 rpm' deki motorun yüklenmesi sirasinda ortaya konmustur. Hem benzinle hem de CNG ile çalistiginda kararsizlik %15' e ulasmasindan evvel EGR' nin maksimum kabul edebilirlik miktarlari bulunmustur. EGR tipki benzinli de oldugu gibi CNG' de de NO_x degerlerini ayni oranda düsürdügü görülmüstür. Her iki yakitta da NO_x oranini %85 azalttigi görülmüstür [8].

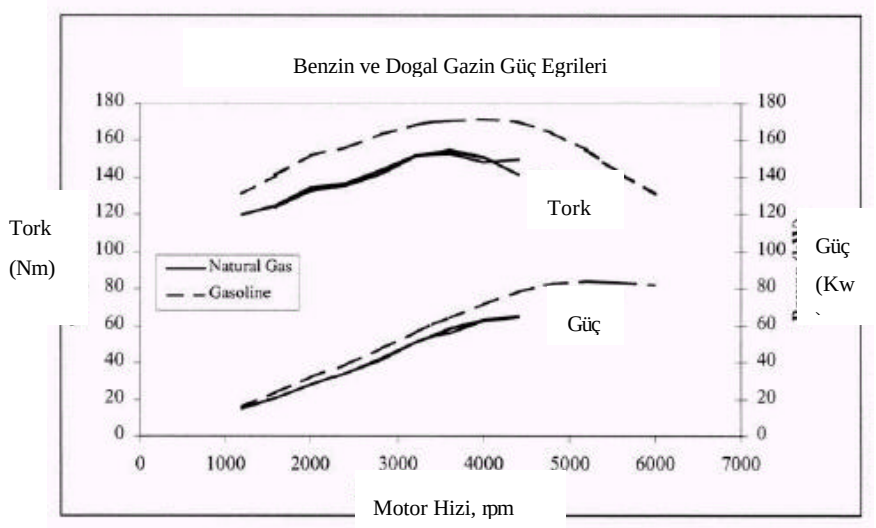
Motorda üretilen NO_x miktari, yanma odasinda ulasilan sicakliklara baglidir. Yanma odasi içerisindeki karisimin inert gazlarla fakirlestirilmesi yanma sonucu saglanan max. sicakligin düsmesine neden olacaktir. Bu nedenle, egzoz gazlarinin bir kismi volümetrik verimin düsmesini önlemek amaciyla sogutulduktan sonra tekrar yeni bir dolgu ile birlikte yanma odasina gönderildiginde karisim seyreltilecek, yanma sonu sicakligi düsecek ve üretilen NO_x miktari azalacaktir. Bu yönteme Egzoz Gazlari Resirkülasyonu (EGR) diye adlandirilir. EGR motorun maksimum gücünde de bir

miktar azalmaya neden olmaktadir. Ancak bu sistemin kismi yüklerde devreye alinasi ve max. güç istenildiginde devre disi birakilmasi ile motorun daha uzun süre çalismakta oldugu kismi yüklerde NO_x emisyonu kontrol edecektir [1].

EGR sistemi ilk olarak Ricardo tarafindan vuruntuyu önlemek amaciyla düsünülmüstür. Ricardo sicakliklarin düsürülmesi sonucu vuruntu meyilinin azaltilmasi amaciyla EGR uygulanmistir. Simdiki uygulamalarda ise NO_x emisyonu düsürülmekte, ancak ayni zamanda HC emisyonlarinda bir miktar artis olmaktadir [1].

6.2.2.3.3. Güç Egrileri

CNG için güç egrilerinin çesitli AFR (Hava/Yakit Orani) oranlarindaki (15:1, 16:1 ve 17:1) etkileri belirtilmektedir. Herhangi bir noktadaki en iyi tork için ateslemede iyilestirme yapilir. Sekil 6.21' de çesitli AFR (Hava/Yakit Orani) degerlerindeki CNG güç egrileri ile benzinli güç egrileri karsilastirilmistir. Sekilde de görüldügü gibi, CNG' nin çesitli AFR (Hava/Yakit Orani) degerlerinde, motor performansina gözle görülür bir etkisi yoktur. Ayrica torkun tepe noktasinda, CNG ile çalisirken benzinliye göre %9 kayip vardir. Bununla beraber gaz için güç tepe noktasi bulunmamaktadir (enjektörlerin limitlerinden dolayi). Önceden tahmine göre güç tepe noktasinda %9 kayip vardir [8].



Sekil 6.21. CNG ve Benzinin Güç Egrileri [8]

Görüldügü gibi CNG' nin, benzine göre emisyon degerleri çok düsüktür. CNG motorlarinda nokta (port) püskürtme genel performansi düsüktür. Direkt püskürtmeli motorlarda da düsüktür. Bunun sebebi yanma odasina direkt püskürtülen yakit kadar daha az oksijen girmesidir. Bununla beraber sekilde de görüldügü gibi torkun tepe noktasinda hala %9' luk bir düsüs vardir. Tek silindirli direkt püskürtülmeli CNG motorunda yapilan testlerde benzinliye göre güç ve torkta %20 düsüs vardir. CNG' nin kolorifik degerleri, benzinliden daha yüksektir. CNG' nin hava/yakit karisiminin kalorifik degerleri, benzinliye göre daha düsüktür [8].

EGR kullanildiginda NO_x emisyonu degerlerini düsürmekte ve CNG üzerinde benzinlilerde ki gibi ayni oranda etkilemistir.

6.2.2.4. Gelecek Plani

6.2.2.4.1. Deney Motor Tesisati

Hem benzin hem de CNG ile çalisan tasitlarda gaz tankinin bagajdaki yerlesimi daha konforlu olabilir. Su anki egzoz sisteminde "three-way" üç yollu katalitik dönüstürücü ile standart O_2 sensörleri bulunmaktadir. Yapilacak çalismalar arasinda metan iyilestirici katalitik dönüstürücü ile emisyon ve yakit ekonomisini gelistirecek O_2 sensörlerinin arastirmalari vardir. Benzin ile CNG arasindaki performans, yakit ekonomisi ve emisyonlarinin tüm bilgileri geriye dönülerek incelenmelidir [8].

6.2.2.4.2. Yanma Analizi

Lotus tek silindirli motoruna özel yakit sprey analizini yapmaya devam edecektir. Bunun yaninda basarili bir CNG direkt püskürtmesi için; dogal gaza özel enjektöre ihtiyaç vardir ve bunun gelistirilmesi lazimdir.

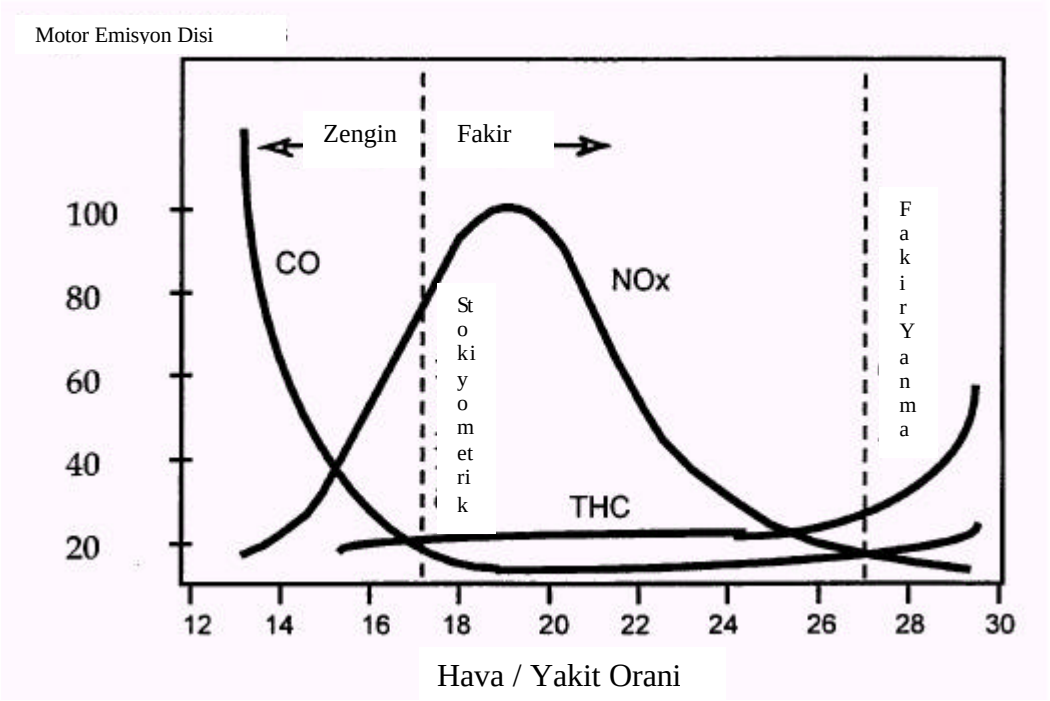
6.2.2.5. Sonuç

Test sonuçlarina göre CNG' nin benzinliye göre emisyonlarda %60 HC, %26 NO_x , %21 CO_2 düsüsü ile %9 tork düsüsü görülmektedir. Tork ve dolaysiyla gücün düsüs sebebi olarak da; CNG' nin yogunlugunun düsük olmasi ve CNG/Hava oraninin kalorifik degerinin düsük olmasi olarak düsünülmektedir [8].

7. CNG TASITLARINDA YANMA VE ATESLEME SISTEMLERI

7.1. CNG Tasitlarinda Yanma Sistemi

Hava/yakit oranindaki degisimler, kivilcim-ateslemeli motorlarin egzoz emisyonlarinda çok güçlü etkiler göstermektedir (Sekil1). Stokiyometrik lamda ?=1 ise rölatif hava/yakit orani ?=1'dir. ?<1 oldugunda karisim zengin; . ?>1 oldugunda ise; karisim fakir olarak adlandirilmaktadir.



Sekil 7.1. Kivilcim-Ateslemeli Motorlarda Hava/Yakit Oraninin Egzoz Emisyonlari ve Yakit Tüketimine Etkisi [15]

Otomotiv uygulamalari için tam gaz motorlarinda açik-tip yanma odasi (silindir çapi 150 mm den azdir) bulunmaktadir. Sadece büyük motorlarda ön atesleme odasi mevcuttur. Kivilcim-ateslemeli motorlarda (Otto çevrimi) ateslemenin kolayligi, hava/yakit oranina ve gazin bilesimine baglidir. Dogal emisli gaz motorlarin ateslemesinde ?= 0,9-1,5 arasinda problem yasanmamaktadir. Açik-tip motorlarda ?=1,65 civarinda basarilidir ve NO_x emisyon degerini de düsürmek mümkündür [16].

Kivilcim-ateslemeli motorlarda (SI) otomotiv gaz motorlari, relatif hava/yakit oranina göre 3 kategoriye ayrilmaktadir [15]:

1. Stokiyometrik (SB) motorlari (?=1,0)
2. Fakir karisimda çalisan motorlar (LB) (?>1,50)
3. Düsük yakit tüketiminde çalisan motorlar (1,1< ?<1,3)

Tüm otomotiv gaz motorlarinda düsük yakit tüketimi saglamak için karisim olarak ayarlanmaktaydi. Buna ragmen NO_x emisyon degerleri çok yüksek çikmistir. Bu NO_x emisyon degerleri, sikilasan yeni egzoz emisyon standartlarindan çok yüksek olmasi nedeniyle; yeni tasit tasarimlarinda bu tip motorlar pek uygulanmamaktadir.

Birçok benzinli tip motor, stokiyometrik karisimda (?=1,0) dogal gazla çalisan motorlara dönüstürülmektedir. Bu dönüstürme ya çift yakitli (Dogal gaz/Benzin) ya da tek yakitli (Dogal gaz) olabilmektedir. Termal verim ile çikis gücünü gelistirmek ve egzoz emisyon degerlerini düsürmek amaciyla sikistirma orani yükseltilebilir. Bu tip motorlardaki genel NO_x egzoz emisyonu egilimi yüksektir. Bunu düsürmek için stokiyometrik karisimda çalisan dogal gazli motorlarin EGR orani, benzinli motorlardan daha yüksek olmalidir. Ayrica "closed-loop" kapali çevrim yakit sistemi ile üç yollu katalitik dönüstürücü (TWC) kullanilmalidir.

Fakir karisimda çalisan motorlarda ? degeri 1,5-1,6 civarindadir. NO_x formasyonu, yanma prosesi (sogutmak için hava miktari arttirilan bir proses) ile kontrol edilmektedir.

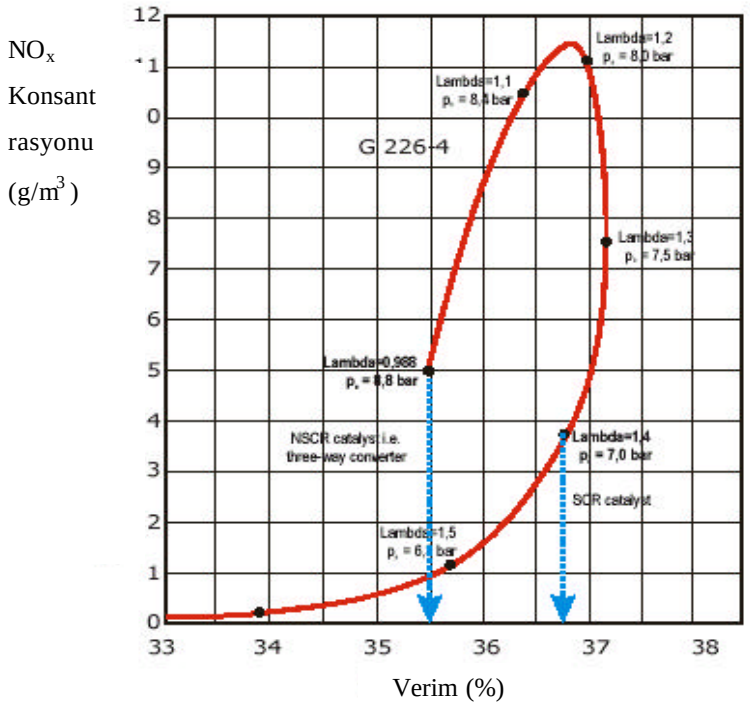
Dizel motorlari da fakir karisimda çalisan motorlardir. Ortalama hava/yakit orani 1,5-2,0 kadardir. Bununla beraber heterojen yanmadan (alev bölgesinde ? 1'e çok yakindir) dolayi dizel ürünlerde NO_x emisyonlari bayaga yüksek çikmaktadir. Fakir karisimda çalisan motorlardaki NO_x emisyon seviyesini dizel motorlarinki ile karsilastirdigimizda; 1/4…1/3 oraninda oldugu görülmektedir.

Sekil 7.2'de gaz motorlari için NO_x egzoz emisyon konsantrasyonu ve termal verim ile ? arasindaki iliski gösterilmektedir. NO_x egzoz emisyonu ve termal verimin tepe noktasinin ?=1,2 civarinda oldugu görülmektedir. ?=1,5 oldugu zaman NO_x egzoz emisyon seviyesi uygun sinirlara düsmektedir. Termal verim ise, stokiyometrik çalismadaki seviyeye düsmektedir (%36 civarinda). Stokiyometrik karisima üç yollu

katalitik dönüstürücü (TWC) uygulandigi zaman, NO_x egzoz emisyonu pratikte sifir (0) seviyesine düser.

Sekil 7.3'te ? degerleri ile NO_x egzoz emisyonu arasindaki iliski motor haritasinda gösterilmektedir. Sekilde de görüldügü gibi ? degerinin 1,5…1,55 civarindaki NO_x egzoz emisyonu da 2 g/kw-h altina düsmektedir.

Su anki tüm benzinli motorlarin tasarimi, stokiyometrik yanma ve üç yollu katalitik dönüstürücülüdür (TWC). Bu tasarimi diger tasarimlarla karsilastirdigimiz zaman en düsük egzoz emisyon degerlerine ulasildigi görülmektedir. Bu nedenle tüm gaz yakitli hafif hizmet tasitlar (LDV) için bu yanma sistemi uygulanmalidir. Gaz yakitli agir hizmet tasitlari (HDV) için ise; hem stokiyometrik hem de fakir karisimda çalisan motorlar uygulanabilir.



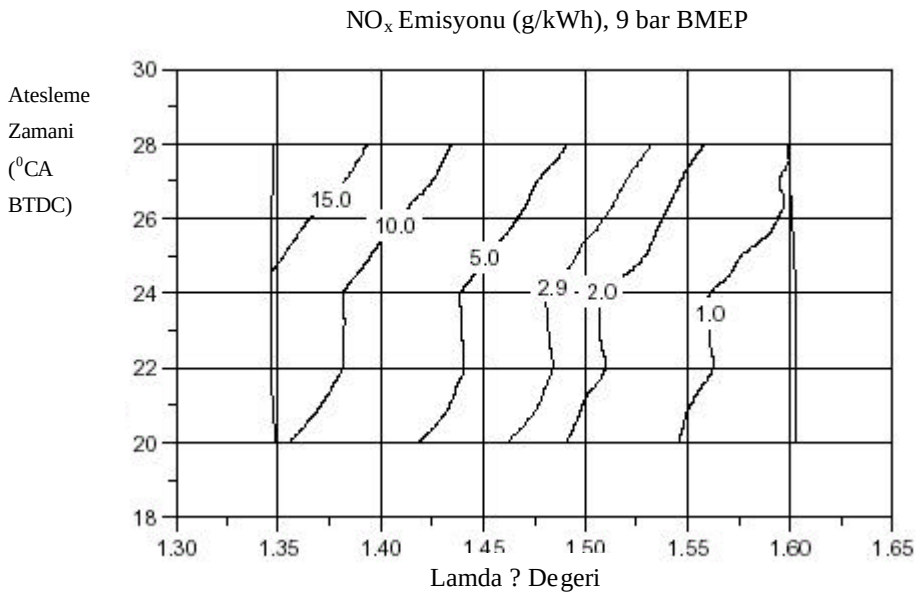
Sekil 7.2. NO_x Egzoz Emisyonu Konsantrasyonu ve Termal Verim ile ? Arasindaki Iliski [15]

Stokiyometrik Tasarimin Avantajlari:

- Çok düsük egzoz emisyonu sonucuna ulasmak mümkündür.
- Sürekli motor çalismasi
- Atesleme sisteminde orta seviyede ihtiyaçlar
- Dogal emisli motor için yüksek BMEP (Fren Etki Basinci)

Stokiyometrik Tasarimin Dezavantajlari:

- Emisyon kontrolü için "closed-loop" kapali çevrim yakit sistemi ile üç yollu katalitik dönüstürücü (TWC) kullanilmasi gereklidir.
- Kontrol sistemi ile oksijen sensörünün güvenirliligine bagli olarak emisyonun yüksek çikmasi
- Dizel veya fakir karisimda çalisan motorlarina göre yüksek termal yüklenmesi
- Fakir karisimda çalisan motorlarla karsilastirildiginda; bazi durumlarda yakit tüketimi kötüdür.
- Turbosarj için sinirli imkan
- Düsük vuruntu dirençli yakitlar için uygun olmamasi



Sekil 7.3. Motor Haritasinda ? Degerleri ile NO_x Egzoz Emisyonu Arasindaki Iliski [15]

$$BMEP = ?_f . ?_v ?_a \frac{Q_{LHV}}{(A/F) + \frac{r_a}{r_f}} \quad [12] \qquad (7.1)$$

$?_f$: Yakit degisim verimi veya fren termal verimi

$?_v$: Volumetrik verim

Q_{LHV} : Yakitin alt isil degeri

$?_a$: Giris kosullarinda havanin standart yogunlugu

$?_f$: Giris kosullarinda yakitin standart yogunlugu

Fakir Karisimda Çalisan Tasarimin Avantajlari:

- Orta seviyede egzoz emisyonu
- Yanma sirasinda NO_x formasyonu kontrolü
- Eger turbosarj kullanilirsa; yüksek çikis gücü
- Dizel operasyonlarinda yakin termal yük

Fakir Karisimda Çalisan Tasarimin Dezavantajlari:

- Yeterli çikis gücü için turbosarjin gerekliligi
- Geçici motor tepkileri
- Atesleme sisteminde yüksek ihtiyaçlar
- Yüksek, çevrimden çevrime çesitlilikleri
- Dogal gaz ile (yanmamis metanin oksitlenmesi zordur) yüksek metan emisyonu
- CO ve HC kontrolü için oksidasyon katalitik dönüstürücüsüne ihtiyaç bulunmasi

Genelde motor üreticilerinin fakir karisimda çalisan motorlar tercih etmesinin nedeni; daha düsük termal yükleme ile daha yüksek çikis gücüne sahip olmasidir. Stokiyometrik tasarimda malzeme ve parça dizayninda daha sik degisiklikler gerektirir. Bu degisiklikler de maliyeti arttirmaktadir.

Bazi stokiyometrik karisimda çalisan motor üreticileri:

- DAF (LPG motoru)
- Iveco
- MAN
- Mercedes-Benz (Mercedes-Benz yeni tasarimlarinda fakir karisimda çalisan motorlar yapacaktir.)

Fakir karisimda çalisan motor üreticileri:

- Cummins
- Detroit Diesel
- Hercules
- Scania
- Volvo

7.2. CNG Tasitlarinda Atesleme Sistemi

Benzinli motorlarda çalisma, stokiyometrik karisimda olmaktadir ve atesleme sistemi ile atesleme enerjisine orta düzeyde ihtiyaci bulunmaktadir. Modern tasitlarda bujilerin degistirilmesi en az 100.000 km yol aldiktan sonra yapilmaktadir. Amerikan egzoz emisyon standartlarinda hafif hizmet tasitlari için bujilerin dayanim ömrü en az 30000 mildir.

Benzin ve LPG için ayni minimum atesleme enerjisine ihtiyaç vardir. Dogal gazin ise yüksek atesleme enerjisine ihtiyaci vardir (özellikle fakir karisimda çalisan motorlar veya EGR oranlari yüksek motorlarda). Fakir karisimda çalisan motorlarda gerekli olan atesleme enerjisi 150 mJ, benzinli motorlarda stokiyometrik karisimda çalisan motorlarda ise; 0,25 mJ yeterlidir [5, 15].

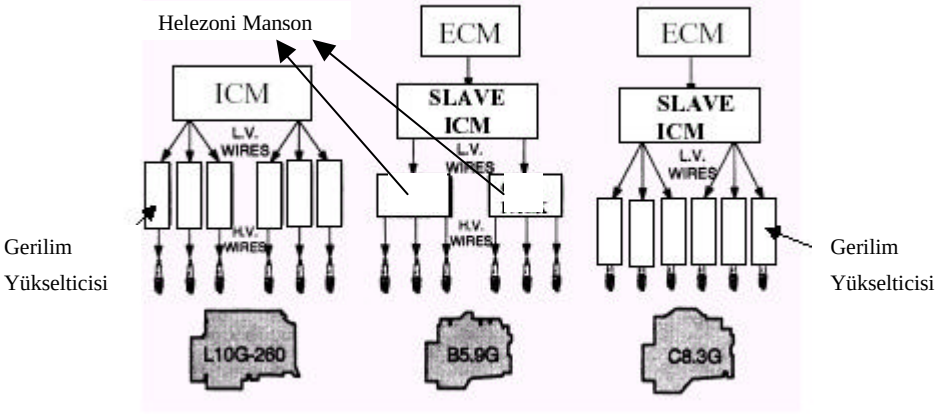
Atesleme süresinin yakit ekonomisine ve egzoz emisyonuna büyük etkisi bulunmaktadir. Parmak hesabinca; tam zamaninda ateslenmelidir. Buna göre yanmanin merkezi (%50 yanma noktasi), üst ölü noktasini 10^0 geçtikten sonrasidir. Yakitin fakirlesmesiyle, alev hizi yavaslar. Bundan dolayi atesleme zamani iyilestirilmelidir. Erken atesleme sonucunda; bir kisim yanmis egzoz gazlari yeniden sikistirilir. Bu da NO_x degerlerini yükseltmesine ve verim kaybina neden olmaktadir. Bu nedenlerden dolayi fakir karisimda çalisan motorlar için dizayn özellikleri, alev hizini hizlandirici ve yanma süresini düsürücü sekilde yapilmasi önemlidir [5].

Esas problem, fakir karisimda çalisan motorlarin bujilerindeki elektrotlarin çok hizli erozyona ugramasidir. Bujideki yer degistirme zamani 300 saatte bir olabilmektedir. Motor çalismasinda hatali ateslemeden dolayi yüksek hidrokarbon emisyonu ve katalitik dönüstürücüde fazla isinma meydana gelmesi mümkündür [15].

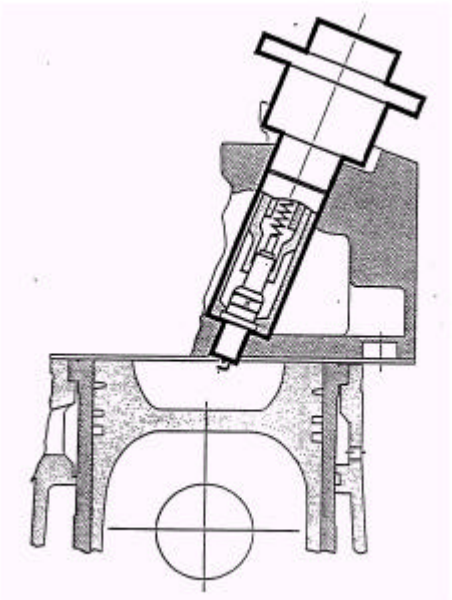
Sekil 7.4'de Cummins gaz motorlarinin atesleme sistemlerinin gelisimi gösterilmektedir.

Ilk L10G motorlari diger dogal gazli fakir karisimda çalisan motorlara benzemektedir. Bu motorda kapasitörle bosaltma atesleme sistemi (Altronic tarafindan) bulunmaktadir. Distribütörsüz sistemde her bir silindir için hareketsiz bir gerilim yükselticisi (coil) bulunmaktadir. Gerilim yükselticisi genelde buji ucuna çok yakin yerde bulunmaktadir. Bu nedenle yüksek gerilim kablosu en aza

indirgenmistir. Yüksek gerilim kablosunu ilerleyen zamanlarda elimine edilmek istenmektedir. Sekil 7.5'de Volvo'daki sistemin detaylari gösterilmektedir. Volvo fakir karisimda yanan gaz motorun bujilerinde degerli metal elektrotlari kullanilmaktadir [15].



Sekil 7.4. Cummins Gaz Motorlarinin Atesleme Sistemlerinin Gelisimi [15]



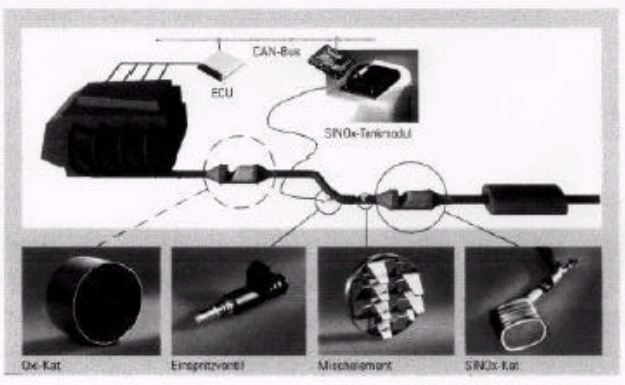
Sekil 7.5. Volvo-Fakir Karisimda Çalisan Motorun Atesleme Sistemi [15]

8. CNG TASITLARINDA EGZOZ SISTEMI

Hem stokiyometrik karisimli hem de fakir karisimli dogal gaz motorlarinda, düsük egzoz emisyonu degerlerini saglamak için; katalitik dönüstürücü kullanilmasina ihtiyaç vardir. Stokiyometrik motorlarda eszamanda NO_x emisyonunu düsürmek ve CO ile HC egzoz emisyonlarini oksitlemek için üç yollu katalitik dönüstürücü (TWC) kullanilmaktadir. Üç yollu katalitik dönüstürücü (TWC), bu egzoz emisyon degerlerini 90-95% civarinda düsürmektedir.

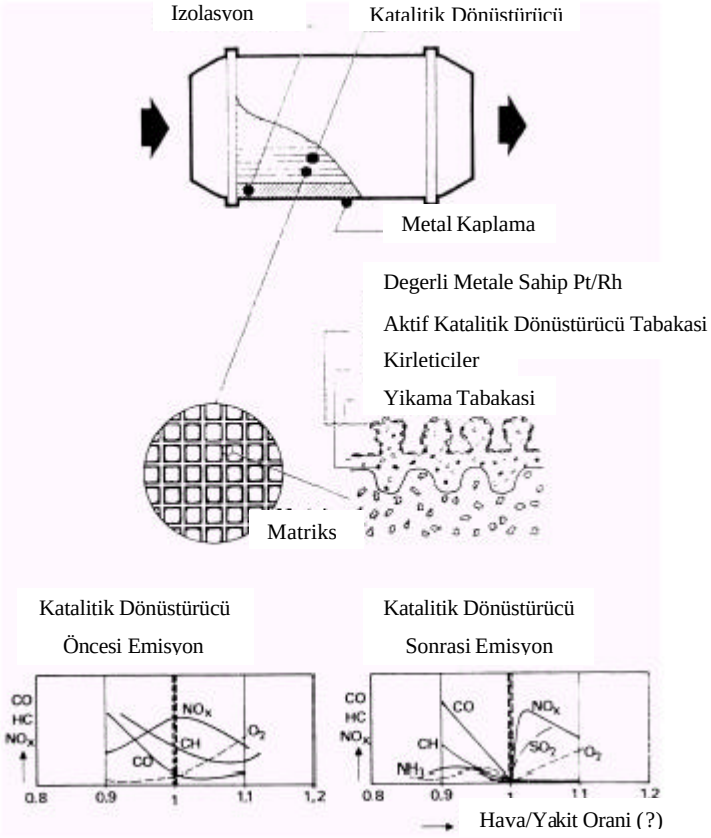
Fakir karisimda çalisan motorlarda ise, CO ve HC egzoz emisyonlarini düsürmek için genelde oksidasyon katalitik dönüstürücüyü kullanilmaktadir. Özellikle oksitlenme kosullarinda NO_x degerini düsüren katalitik dönüstürücünün gelistirilmesi lazimdir. Bunun için ya seçici katalitik düsürücü (selective catalytic reduction-SCR) ya da fakir karisimda NO_x tutucu (lean- NO_x trap-LNT) teknolojilerinin gelistirilmesi lazimdir.

SCR sistemlerinde, NO_x degerini düsürmek için katalitik dönüstürücüde üre veya hidrokarbon püskürtülmesi yapilmaktadir. Alman Siemens firmasinin üre bazli SCR sistemi dizel motorlari için uygundur (Sekil 8.1). LNT fakir çalismada NO_x'u düsürmek için periyodik olarak yakit karisimini zenginlestirir. Günümüzde sadece direkt püskürtmeli benzin tasitlarinda kullanilmaktadir [15].



Sekil 8.1. Siemens SI-NO_x SCR Katalitik Dönüstürücü Sistemi [15]

Üç yollu katalitik dönüstürücü (TWC) çalismasinda NO_x emisyonunu düsürmek için CO ve HC kullanilir (oksijeni alarak). Bunun yaninda hem CO hem de HC'nin oksitlenmesi için oksijenin bosaltilmasini saglar. Üç yollu katalitik dönüstürücü, hem oksitlenmesini hem de reaksiyonlari düsürmeyi bir dengede tutarak saglamaktadir (Sekil 8.2) [15].



Sekil 8.2. Üç Yollu Katalitik Dönüstürücünün (TWC) Yapisi ve ?'nin Emisyonlar Üzerindeki Etkisi [15]

Hava/Yakit orani kontrolü, yakit kimyasi ve egzoz sicakligi, katalitik dönüstürücünün performansini büyük ölçüde etkilemektedir. Katalitik dönüstürücü için optimum çalisma sicakligi 300-800 ^{0}C'dir [2].

Stokiyometrik LPG motorlarinda katalitik dönüstürücünün ayarlanmasi ve performansi hususunda bir problem yoktur. Stokiyometrik motordan egzoz, optimum çalisma sicakliginda katalitik dönüstürücüyü isletmek için yeterince sicaktir. Propan kolay oksitlenir ve benzin motorlari, katalitik dönüstürücü ayarlanmasi açisindan propanla çok iyi çalismaktadir. Bunun yaninda katalitik dönüstürücünün boyutlari ve

degerli metal yükleme orani da; katalitik dönüstürücünün performansina ve dayanikliligina büyük etkileri bulunmaktadir [2].

Metan, katalitik dönüstürücü açisindan hem fakir hem de stokiyometrik karisimda çalisan motorlar için çok zordur. Metan kararli bir moleküldür ve oksitlenmesi bayaga zordur. Bu da düsük sicaklikta fakir karisimda çalisan motorlarda bir problem yaratir. Egzoz sicakligi düsük oldugu zaman, metan degisim orani da düsük olur.

Stokiyometrik karisimda çalisildiginda; yüksek egzoz sicakligi, katalitik dönüstürücünün performansini artirir. Stokiyometrik dogal gazli motorlar için konvansiyonel Pt/Rh katalitik dönüstürücüyü kullanilmaktadir ve genelde de gayet iyi çalismaktadir. Meydana gelen problemler, daha çok dogru hava/yakit orani kontrolü ile ilgilidir [2,15].

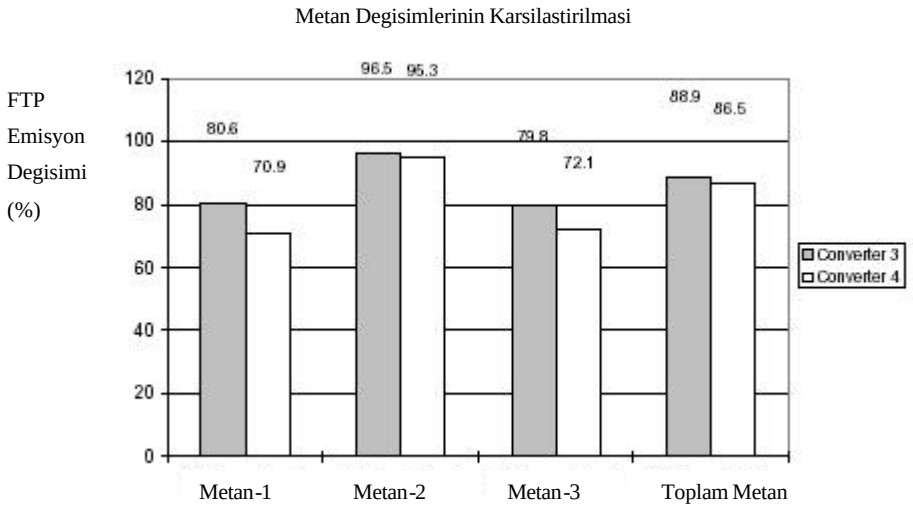
Sekil 8.2'de ?'nin TWC'nin performansina olan etkisi görülmektedir. Zengin karisimda CO ve HC emisyonlari yüksek, fakir karisimda ise NO_x emisyon degerleri yüksektir. Bu da CO ile NO_x arasindaki iliskiyi dogrulamaktadir. Hava/yakit oraninda, eszamanli olarak CO, HC ile NO_x degerleri düsük ve degisim oranlari yüksektir [15].

Agir hizmet gaz motorlarinin egzoz emisyonu performansinda TWC katalitik dönüstürücü performansi ile CO/NO_x arasindaki iliskinin manasi, toplam CO+ NO_x degeri iyi ayarlanmis motorlarda 3 g/kWh'in altinda olmasi demektir (Avrupa ECE R49 Test) [15].

Metanla çalismada benzinliye göre daha az CO egzoz emisyonu meydana gelmektedir. CO oldugu gibi; NO_x emisyon degerinin düsürülmesine ihtiyaç vardir. Uygun katalitik dönüstürücü çalismasi için, karisimin benzinliden daha zengin olmasi gereklidir. Dogal gaz çalismasi için uygun ? degeri 0,99'tur [15].

Katalitik dönüstürücü performansi için uygun ? araligi çok dardir. Katalitik dönüstürücünün yipranmasi, hem araligin dar olmasi hem de minimum ulasilabilir CO ve NO_x esdeger seviyelerinin yükselmesinden dolayidir. Bunlardan baska bir diger problem de; metanla uygun çalisma için; hava/yakit oraninda konvansiyonel ? sensörünün pek seçici olmamasidir [2,15].

Sekil 8.3'te US FTP (Federal Test Prosedürü) tipi egzoz emisyon testinde dogal gazli yolcu tasitlarinin metan degisimi görülmektedir. Genelde tüm testlerde, metan degisimi %85-90 katalitik dönüstürücü ile optimize edilir. Katalitik dönüstürücülerde iki tane petek yüzey bulunmaktadir. Ilki genelde Pt/Rh kaplamali, ikincisi ise paladyum kaplamali olmaktadir. Katalitik dönüstürücü 3'te, katalitik dönüstürücü 4'ten daha fazla paladyum bulunmaktadir. Siradan benzin katalitik dönüstürücünün metan degisimine karsilik gelen test %70 zorluktadir [15].



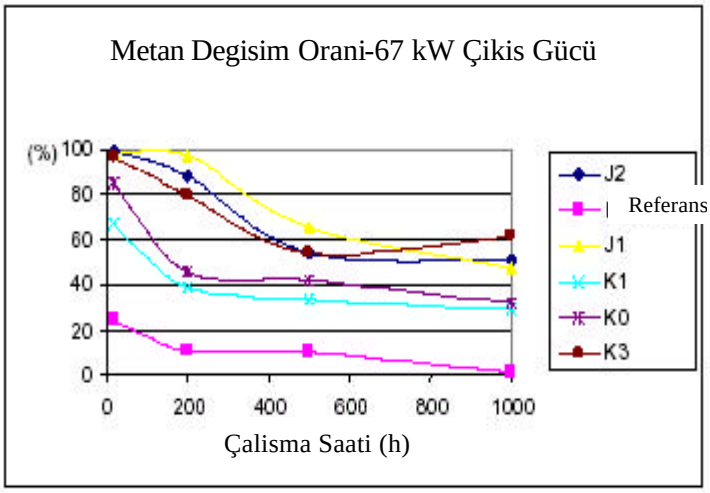
Sekil 8.3. Iyilestirilmis Dogal Gaz Katalitik Dönüstürücünün Metan Degisimi [15]

Fakir karisimda çalisan motorlarinda; oksidasyon katalitik dönüstürücüsündeki metan miktari düsürülmesi için tipik degerler %30-50 düsük olmalidir. Sülfür bazli tetrodiofene (THT) dogal gaz konsantrasyonunda ihtiyaç gösterilir. Dogal gazdaki 10-15 mg/m^3 miktari bile oksidasyon katalitik dönüstürücünün degisim verimine çok zararli etkilemektedir [15].

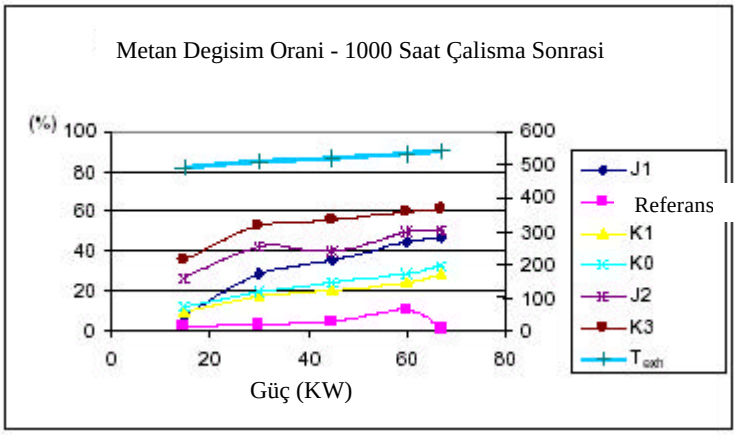
Sekil 8.4'te çesitli katalitik dönüstürücüler için, metanin degisim oranin çalisma zamanina karsi olan konfigrasyonlari görülmektedir. Katalitik dönüstürücülerden bir tanesinde degisim verimi bayaga düsüktür. En iyi katalitik dönüstürücünün tahvil orani; (1000 saatlik yipranmadan sonra) %60'tir. En iyi katalitik dönüstürücüde tetrodiofen (THT) bulunmaktadir ki; bu da zehirleyici bir maddedir.

Sekil 8.5'te ise, Sekil 8.4'teki katalitik dönüstürücüler için; metanin motor yüklemesi (egzoz sicakligi) fonksiyonu için degisim verimi gösterilmektedir. Buna karsilik gelen katalitik dönüstürücü performansinda büyük farkliliklar görülmektedir.

Metan ayirici katalitik dönüstürücünün gelistirilmesi halen devam etmektedir. Bunlardan bir tanesi metan degisimi için katalik dönüstürücünün isinma sicakligi 500 ^{0}C'den 300 ^{0}C'ye düsürülmüstür. Beklenen metan indirimi yaklasik %86'tir. Dogal gazli tasitlarin oksidasyon katalitik dönüstürücüsü için platin kullanilmasina devam edilmektedir. Bununla beraber metan degisiminde paladyum daha etkilidir. CO emisyonu daha kolay oksitlenir ve oksidasyon katalitik dönüstürücünün kullanimi ile CO egzoz emisyonun düsüsü %90'dan fazladir [2,15].



Sekil 8.4. Farkli Katalitik Dönüstürücüler için Metan Degisimini (?=1,5, BMEP7,3bar) [15]



Sekil 8.5. Egzoz Sicakliklari için Motor Yüklemesinin Metan Degisimine Fonksiyonu (?=1,5, 1000 saat çalisma sonrasi) [15]

Emisyon degerleri, yanma optimizasyonu sonucu, "aftertreatment-egzoz" islemiyle beraber degerlendirilir. Bunun yaninda katalitik dönüstürücüdeki oksidasyon için metanin çok saglam moleküler yapisi problem yaratir. Katalitik dönüstürücü sicakligi 580 ^{0}C oldugunda; metanin çevrim yüzdesi %50 daha yüksek olur. Bu arada daha yüksek hidrokarbonlar için, katalitik dönüstürücü sicakligi 280 ^{0}C'nin altina düserse; çevrim yüzdesi %50 civarinda olmaktadir [2,15].

Dogal gazli tasitlarda, benzinli tasitlar için uygulanan katalitik dönüstürücü islemi basarili olmustur. Ortalama çevrim yüzdeleri [15]:

- %60-70 metan ve metan olmayan hidrokarbon (NMHC) için
- %80-85 karbonmonooksit (CO)
- %95 azot oksit (NO_x) için

Bu çevrim yüzdeleri Euro2 limitlerini kapsamaktadir. Fakat Euro3 ve 4'ün limitlerini yerine getirmemektedir. Dogal gazli tasitlar için; katalitik dönüstürücü çevrim yüzdelerinde ciddi indirimler yapilmasi gerekmektedir.

Yapilan testlerde çevrimdeki yanmamis hidrokarbonlarin katalitik dönüstürücü verimleri arastirilmistir. Çift yakitli (Bi-fuel) bir X tasiti, dogal gazli çalismada 40000 km. lik performansi test edilmistir. 3-yollu katalitik dönüstürücü degisim oranini hesaplarken; soy metalin ortalama agirligi 50 g/ft^3 olarak alinir ve benzinli tasitlara uygulanan formüller uygulanir. Katalitik dönüstürücü degisim oranini hesaplarken her iki hal (dogal gaz ve benzinli) göz önünde tutulur [12].

Sekil 8.6-a'da dogal gaz kisminda ve 0 kmde X tasitinin degisim orani görülmektedir. Optimum degisim oranlari (NO_x / CO / THC = %98, %99, %83) bayagi yakindir (?= 0,985 - 0,995) ve zengin bölgede (?<1) asimetrik bir sekilde degismektedir [12].

Sekil 8.6-b'de 40000 km. den sonra; optimum degisim oraninin onaylanmasinin mümkün olmayacagi görülmektedir. Toplam HC degisimi %48 ve bu arada NO_x ile CO emisyonunda herhangi bir degisim olmamistir. Bunun sebebi dogal olarak CNG' nin %90'nin metan olmasindan kaynaklanmaktadir. Buna bagli olarak da HC %48 degismistir [12].

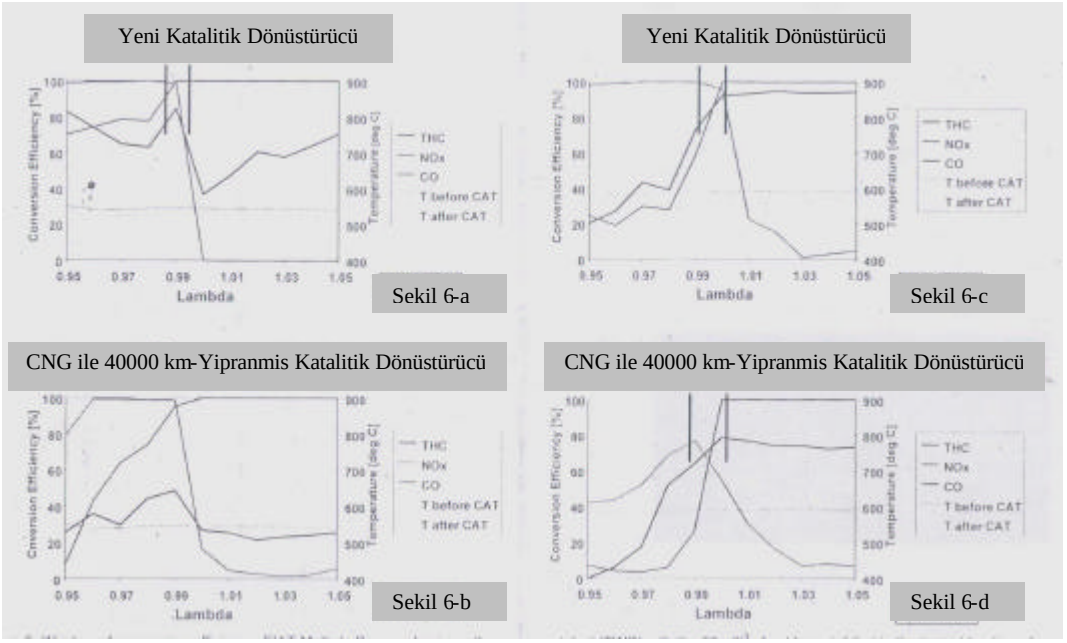
Sekil 8.6-c'de benzinle çalisan ve 0 km.deki X tasitinin optimum degisim oranlari (NO_x / CO / THC = %98, %99, %83) genistir (?= 0,992 - 1,004), dogal gazli motor

testlerine göre daha genistir. Sekil 8.6-d' de 40000 km.den sonrasinda benzinli tarafinda; optimum degisim oranlari araligi (?= 0,989 - 1,001) ile iyi bir (NO_x / CO / THC = %77, %99, %79) degisim oranlarina sahiptir [12].

Dogal gazli tasitlardaki CH_4 degisim oranindaki düsüs sadece dayaniklilik testlerinde incelenebilmistir. Dogal gazla kisminda çalisirken degisim oranindaki kaybin çözümü, CNG için özel TWC ile özel yikama kaplama ve benzine oranla CNG' de degerli metal yüklemesinde önemli miktarda artis olmaktadir. Bunun anlami benzinli tasitlarin katalitik dönüstürücüsüne oranla; dogal gazli tasitlarda en az 1,5 kat daha pahali katalitik dönüstürücü bulunmasidir.

80000 km. yol kat etmis bir dogal gazi tasitin katalitik dönüstürücüsünün eskimesi, yüksek oranda yeniden rafine etmek (özellikle NO_x kontrolünde) için; "closed-loop" kapali çevrim kontrolü tarafindan stokiyometrik oraninin degisimi dengeli yapilmaktadir. Yeni katalitik dönüstürücü ile kalibrasyon oranlari yüklenmelidir. Kötülestirme oranlari [12]:

- 2-2,5 THC için
- 2 CO için
- 2 NO_x için



Sekil 8.6. X Çift Yakitli Tasitinin Üç Yollu Katalitik Dönüstürücünün (TWC) Degisim Oranlari [12]

9. EGZOZ EMISYONU TEST YÖNTEMLERI VE STANDARTLARI

Tasitlar tarafindan üretilen kirletici maddelerin miktarlarinin ölçülmesine iliskin test yöntemleri ve bu madde miktarlarina getirilen sinirlandirmalardir. ABD, AB ve Japonya'da uygulamada olan yasalarla belirlenmistir. Bu yasalar tasitlarin tipi (benzin veya dizel motorlu) ve boyutlarina (tasitin agirligi, motor hacmi vb.) göre farkli siniflandirmalar içerisinde uygulanmaktadir. Artan dünya nüfusu ve teknoloji düzeyi ile birlikte tasit sayisinin hizli artisi özellikle kentsel alanlarda tasitlarin neden oldugu hava kirliliginin önemli boyutlara ulasmasini saglamaktadir. Bu bakimdan, kirletici emisyona getirilen yasal sinirlamalar da zaman içerisinde daraltilmaktadir.

Kirletici emisyonu sinirlandiran standartlar ve test yöntemleri farkli ülkelerde farkli olarak uygulanmaktadir. Ancak test yöntemlerinde ana prensip olarak tasitin kent içi trafigindeki rölanti, hiz arttirma, hiz düsürme ve ekonomi kosullari da dikkate alinarak bir hiz-zaman diyagrami hazirlanmaktadir. Ölçümü yapilacak tasit yer freni üzerinde çalistirilir ve standartta belirtilmis hiz-zaman egrisine göre yol kosullari simüle edilerek; bu süre boyunca üretilen egzoz gazlari içerisindeki kirletici bilesenlerin miktari ölçülür. Standartlarda degismez hacimde örnek alma yöntemi kullanilmaktadir.

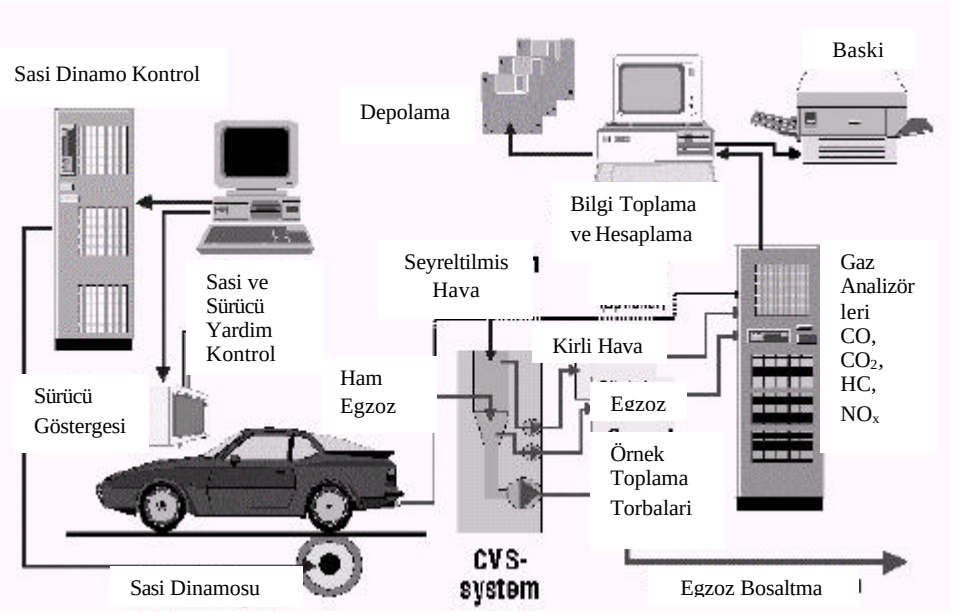
9.1. Test Yöntemleri

Degismez hacimde örnek alma (DHÖA) yöntemi 1982 yilindan itibaren AB test standartlarinda olup, ABD Federal Test yönteminde ve Japonya'da da uygulanmaktadir. Motorlu karayolu tasitlarinin egzoz gazlarindaki kirletici emisyonun ölçümüne iliskin Türk Standartlarinda (TS 5648 Mart 1988) da bu yöntem uygulanmaktadir.

Test çevrimi boyunca motorun degisik hiz ve yük durumlarinda çalismasi nedeniyle egzoz gazlarinin debisi de zamana bagli olarak degismektedir. DHÖA yönteminde

egzoz gazlari sabit hacimsel debi saglanacak sekilde ek hava ile seyreltilmektedir. Ancak karisimin hava içerisindeki bulunan bazi bilesenlerden etkilenmemesi için öncelikle sogutularak kömür filtresinden geçirilmesi gerekmektedir. Böylece seyreltme havasi içinde bulunan nem ve organik maddeler aritilmis olacaktir. Ayrica filtrelenmesi için de siklon filtre kullanilarak 10 mikrometrenin üzerindeki partiküller filtrelenmektedir. Bu yöntem esas olarak karisimin kütlesel debisinin sabit tutulmasi amaçlanmaktadir. Bu nedenle, belirlenmis sabit bir havasi karistirilarak debinin sabit tutulmasi saglanir.

Test süresi boyunca, bilesenlerin miktarlari ve toplam debi ölçümü sürekli olarak aninda yapildigindan örnek gazlarin depolanmasina gerek kalmamaktadir. Ayrica bu yöntemle kirletici bilesenlerin hem toplam miktarlari, hem de konsantrasyonlari bulunacaktir. Genellikle DHÖA yönteminde de örnek gazlarin belirli bir orani naylon torbalarda toplanarak degerlendirilmektedir. Sekil 9.1'de egzoz emisyonlarinin ölçümünde kullanilan donanim semasi görülmektedir.



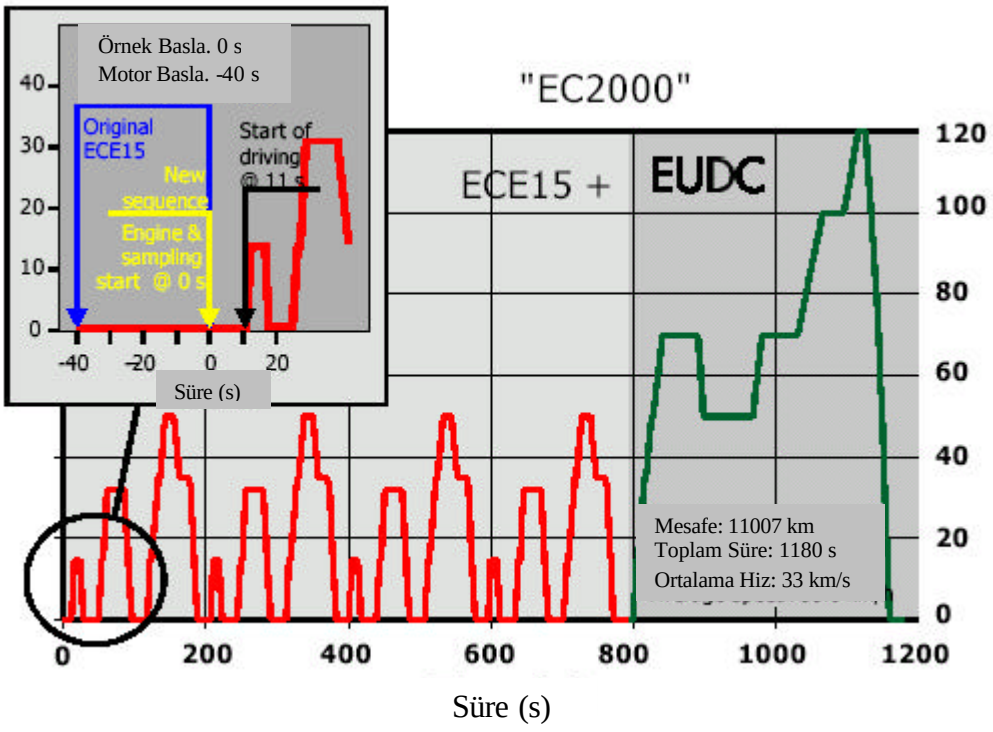
Sekil 9.1. Hafif Hizmet Tasitlari Egzoz Ölçüm Yönteminin Semasi [15]

9.1.1. Avrupa Birligi Test Metodu - Hafif Hizmet Tasiti

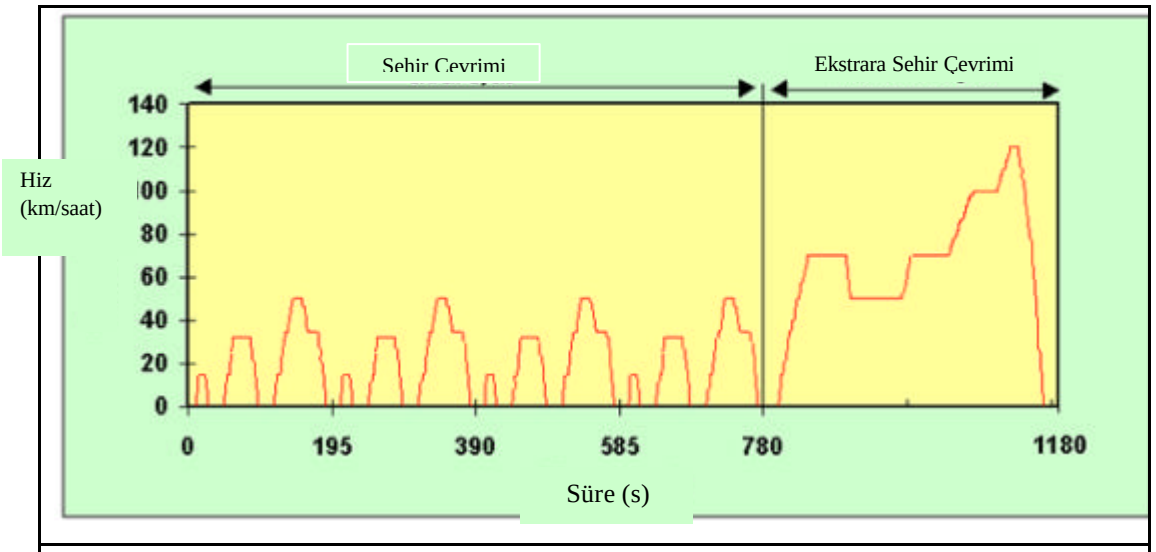
Avrupa çevrim metodu 2 bölümden olusmaktadir. Ilk bölümüne sehir çevrimi-ECE15 (max. hiz 50 km/sa. tir) denir. Ikinci bölümüne ise ekstra sehir çevrimi-EUDC (max. hiz 120 km/sa. tir.) olarak adlandirilir.

2000 yilina kadar Avrupa çevrim metodunda egzoz gazi örnek almadan evvel 40 sn.lik bir bölümde tasit bosta çalismaktaydi. Fakat 2000 yilindan itibaren bu bölüm kaldirildi ve egzoz gazi örnek almasiyla beraber tasit çalistirilmaya baslanmistir.

2002'nin basindan beri, Avrupa için de düsük sicaklik emisyon testleri öngörülmüstür. Bu test US (-7 ^{0}C) testine benzemektedir. Fakat buradaki Avrupa limitleri sadece CO ve HC için geçerlidir [15].



Sekil 9.2. Avrupa Test Çevrimi-Hafif Hizmet Tasiti [15]



Sekil 9.3. Avrupa Test Çevrimi - Hafif Hizmet Tasit [18]

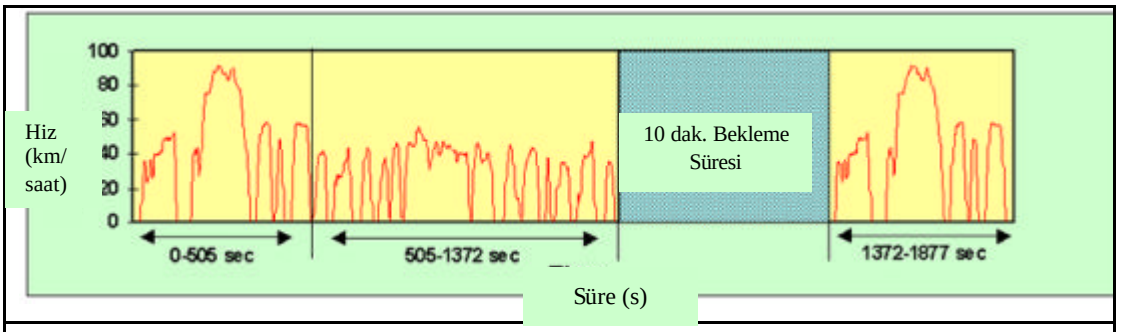
9.1.2. Amerikan Test Çevrimi

ABD'de ilk kullanilan test çevrimi 1966 yilinda Kaliforniya eyaletinde baslanmistir. 7-konumlu bu test çevriminden olusan bu test yöntemi 1967 model araçlarla birlikte uygulanmaya baslanmistir. Çevrim süresi 137s sürmekte olup, 7 kez tekrarlanarak 959 sn.de tamamlanmaktadir. Motor soguk halde iken harekete geçirilir. Test boyunca bosta çalisma, hiz arttirma, ekonomi ve hiz düsürme konumlari uygulanmaktadir [1].

1972 yilinda bu test yöntemi sehir içinde 7.5 millik tasit kullanimini temsil edecek sekilde gelistirilmis ve bu durumu tanimlayan 22 dakika 52 saniyelik hiz-zaman diyagrami belirlenmistir. Bu test 2 kademeden olusmaktaydi ve max. hiz ise 57 mph'tir. Tasitin agirligi ile iliskili ayarlamalar yapildiktan sonra bu çevrim de yer freni üzerinde simüle edilmekteydi [1].

ABD'de halen kullanilmakta olan FTP 75 (Federal Test Prosedürü) standardinda çevrim uzunlugu 11.115 mil, çevrim süresi 1877s + 600s bosta çalisma seklinde olup, ortalama hiz 34.1 km/saat, max. hiz ise 91.2 km/sa.'tir (Sekil 4). Bu test çevrimi üç kademeden olusmaktadir. Bunun ilk iki kademesi US-72'dir. FTP 75'te US-72 testinin üzerine 10 dakikalik bir bekleme süresi eklenmistir. Bu bekleme süresinden sonra US-72 nin ilk kademesi olan 505 sn.lik ilk kademe tekrarlanmaktadir. Bu test

sirasinda seyreltilmis hava üç farkli torbada toplanarak degerlendirilmektedir. Getirilen sinirlamalar tasitin agirligi veya motor hacminden bagimsiz olarak tüm otomobiller için en az 50000 millik bir süre boyunca geçerlidir [1,15,17].

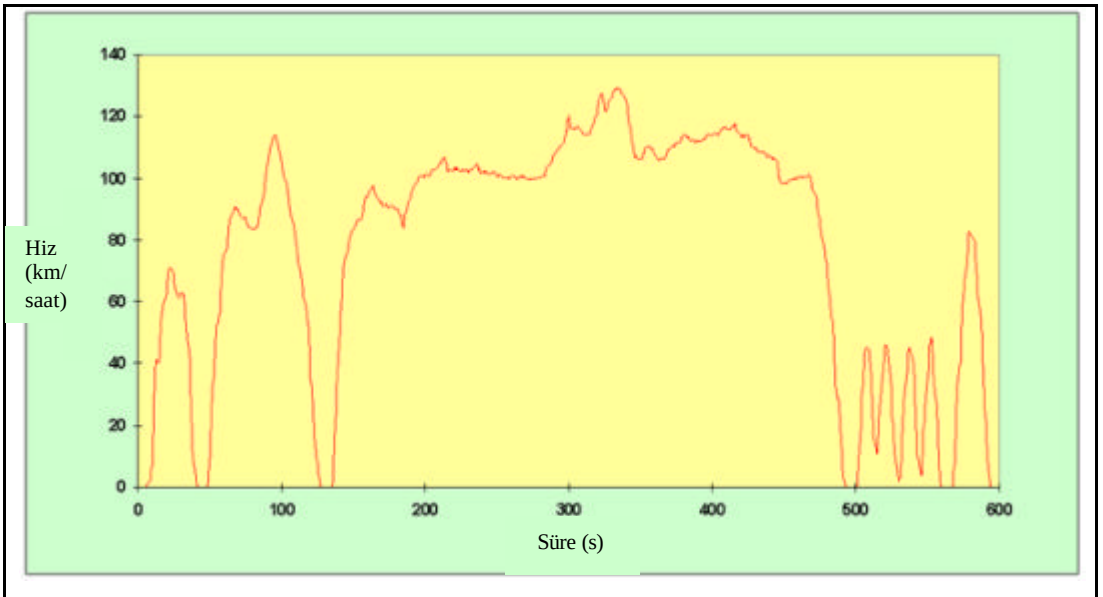


Sekil 9.4. FTP 75 Amerikan Test Çevrimi [18]

Son zamanlarda Amerikan otoriteleri test çevrimlerine ilave olarak iki yeni test çevrimi eklemislerdir. Bu çevrime SFTP ("Supplemental Federal Test Procedure" Ek Federal Test Prosedürü) denir. Bu iki yeni çevrimler ise: US06 ve SC03

9.1.2.1. US06

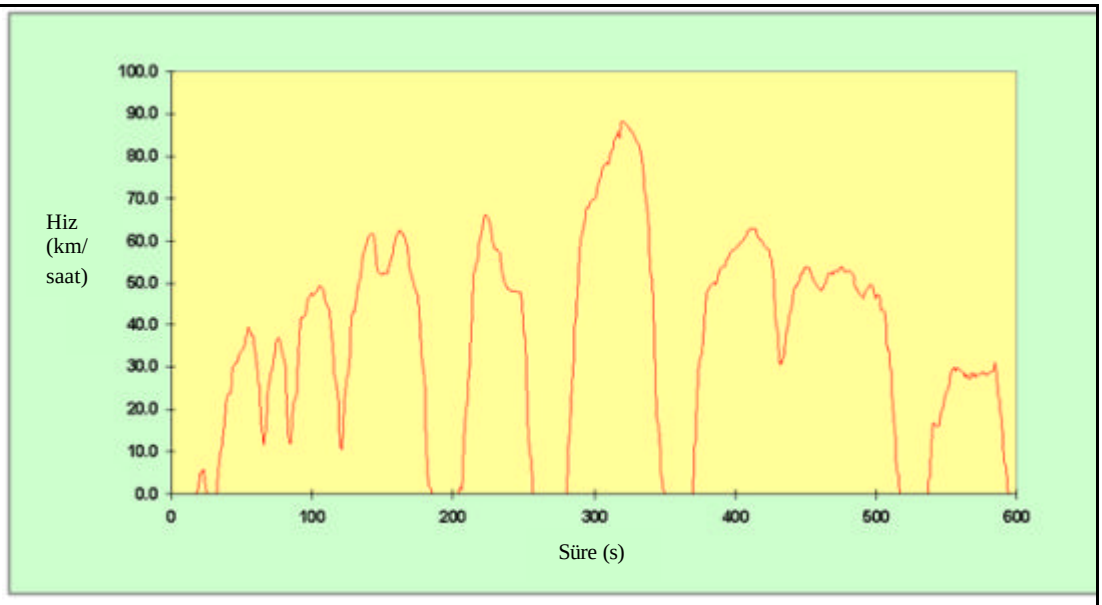
US06 çevrimi sicak bir testtir (motor ve katalitik dönüstürücü tam olarak isitilir). Bunun sonucu agresif, yüksek hiz ve/veya ani hizlanma kullanim seklidir (Sekil 9.5). Ortalama hiz 77.9 km/saat, max. hiz ise 129.2 km/saat'tir. Toplam çevrim uzunlugu 12.8 km ve 596sn.dir [17].



Sekil 9.5. US06 Amerikan Test Çevrimi [18]

9.1.2.2. SC03

SC03 test çevrimi tasitin havalandirilmasi sirasindaki egzoz emisyonun belirlenmesidir. Bu test ortam sicakliginin altinda ve nem kontrolü saglanarak ve buna ilave günes isisi yüklenerek yapilmaktadir (Sekil 9.6). Toplam çevrim uzunlugu 5.8 km. ve çevrim süresi 596 sn.dir. Ortalama hiz 34.8 km/saat ve max. hiz ise 88.2 km/saat' tir [17].

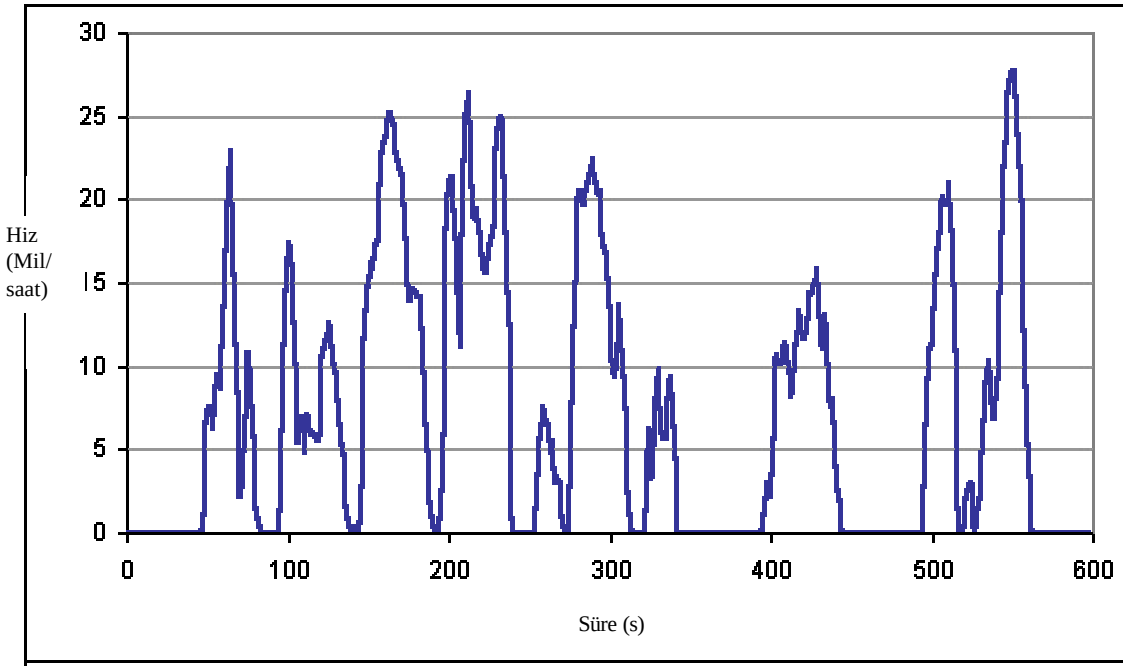


Sekil 9.6. SC03 Amerikan Test Çevrimi [18]

Bu test çevrimlerinden baska 4 tane daha çevrim bulunmaktadir.

9.1.2.3. EPA New York City Cycle (NYCC) - New York Sehir Çevrimi

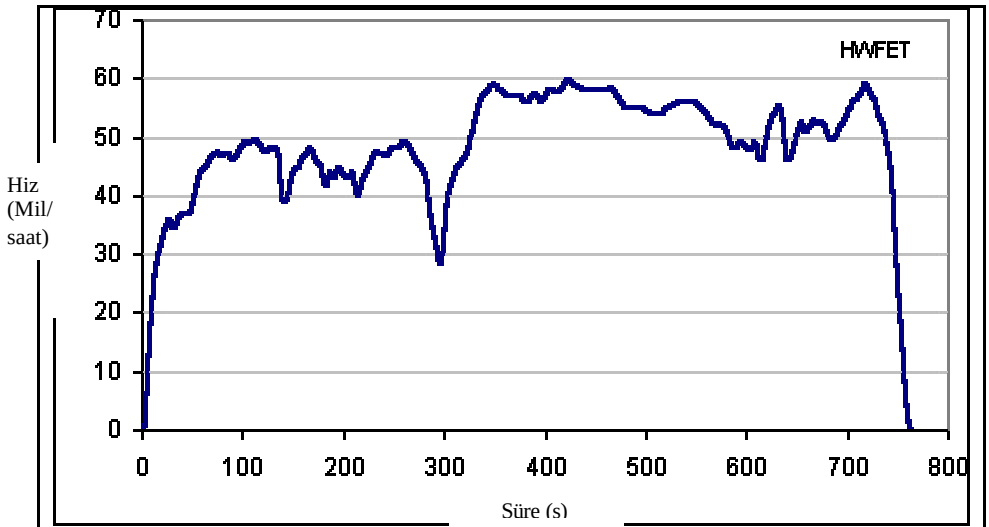
EPA NYCC testi, hafif hizmet tasitlarinin sasi dinamometresindeki testi için gelistirilmistir. Bu testin simülasyonu sik sik duran düsük hizlardaki sehir içi trafigine göre yapilmaktadir. Çevrim uzunlugu 1.89 km (1.18 mil), çevrim süresi 598 sn.dir. Ortalama hizi 11.4 km/saat (7.1 mil/saat), max hizi ise 44.6 km/saat (27.7 mil/saat) tir (Sekil 9.7) [17].



Sekil 9.7. EPA New York Sehir Çevrimi (NYCC) [17]

9.1.2.4. EPA Highway Fuel Economy Cycle (HWFET) - Otoban Yakit Ekonomik Çevrimi

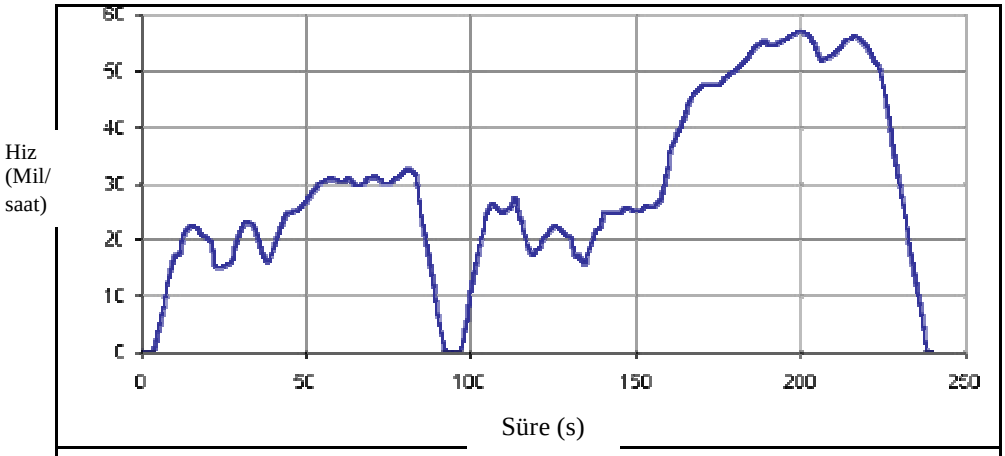
HWFET, hafif ticari tasitlarinin yakit ekonomisini belirlemek için US EPA tarafindan gelistirilmistir (Sekil 9.8). Toplam çevrim süresi 765 sn, toplam çevrim mesafesi 16.45 km (10.26 mil) ve ortalama hizi 77.7 km/sa. (48.3 mil/sa.) [17] dir.



Sekil 9.8. EPA Otoban Yakit Ekonomik Çevrimi(HWFET) [17]

9.1.2.5. "Inspection & Maintenance Driving Cycle IM240" Muayene&Bakim Sürüs Çevrimi

IM240 testi hafif ticari tasitlarin egzoz emisyonlarinda muayene ve bakim için yürütülen bir testtir (Sekil 9.9). Kisa bir testtir. Toplam test süresi 240 sn. ve toplam çevrim mesafesi 3.1 km.(1.96 mil). Ortalama hiz 47.3 km/saat (29.4 mil/saat) ve max. hiz ise 91.2 km/saat (56.7 mil/saat) tir [17].

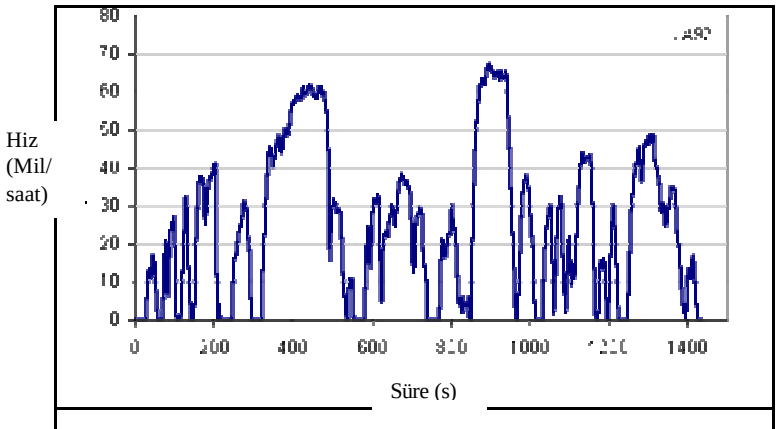


Sekil 9.9. Muayene&Bakim Sürüs Çevrimi

IM240 [17]

9.1.2.6. "California LA92 Cycle"-Kaloforniya Los Angles 92 Çevrimi

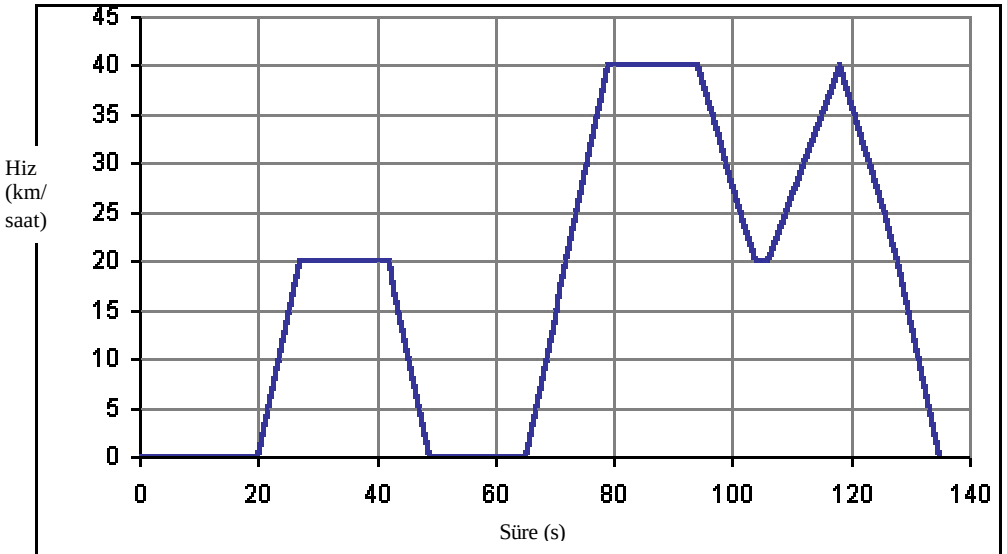
Bu test Kaliforniya Hava Arastirma Meclisi (California Air Resources Board) tarafindan hafif ticari tasitlarin gelisimi için yapilan bir testtir. FTP 75 den daha agresif bir sürüs çevrimidir (Sekil 9.10). Yüksek hiz, ani hizlanma, mil basina birkaç durus ve daha düsük rölanti zamani bulunmaktadir. Toplam çevrim mesafesi 15.74 km (9.82 mil), toplam çevrim süresi 1435 sn ve ortalama hizi ise 39.61 km/saat (24.61 mil/saat) tir [17].



Sekil 9.10. Kaliforniya LA92 Çevrimi [17]

9.1.3. Japon Test Çevrimi

Japonya'da eskiden kullanilan çevrim 10 konumlu olup; sicak test olarak tanimlanmaktadir (Sekil 9.11). Su anda bu çevrimin yerini 10-15 konumlu çevrim almistir. Çevrimin baslangicinda tasit 40 km/saat hizinda 15 dakikaligina isitilmaktaydi. Bu testte çevrim 6 kez tekrar edilmekte, ancak ölçümler son 5 çevrimde yapilmaktaydi. Böylece sicak motor ile ölçümler gerçeklesmekteydi. Bu çevrimin uzunlugu 0.644 km, ortalama hizi 17.7 km/saat ve max. hizi 40 km/saat'tir. 10 konumlu çevrimde bosta çalisma zamani, çevrimin %26.7 si kadardir [1,17].

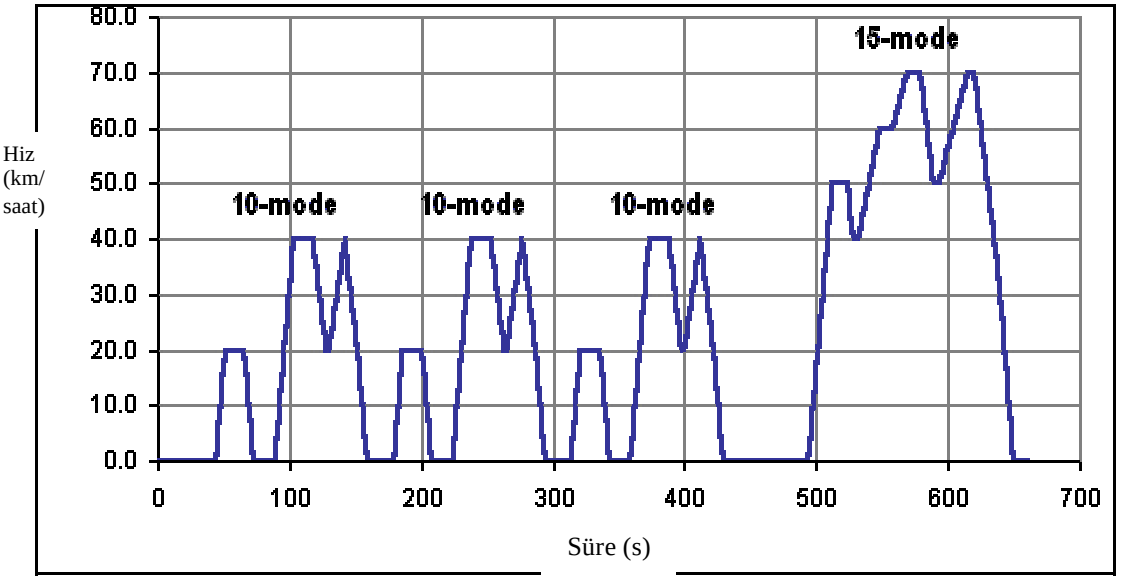


Sekil 9.11. 10-Konumlu Japon Test Çevrimi [17]

Su anda kullanilan test çevrimi 10-15 konumlu test çevrimidir. 10 konumlu test çevrimin üzerine max. hizi 70 km/sa olan 15 konumlu bir çevrim eklenmistir. Teste

baslarken ard arda 60 km/saat hizda 15 dakika sonra bosta çalisma daha sonra da 5 dakika 60 km/saat hizda isitma yapilir. Bunlara ek olarak da 15 konumlu bir çevrim + 3 kez 10 konumlu + 15 konumlu bir çevrim uygulanir. Emisyon ölçümler yapilan son 4 çevrime göre degerlendirilmektedir (3 x 10 konumlu + 1 x 15 konumlu, Sekil 9.12).

Toplam çevrim uzunlugu 4.16 km, ortalama hiz 22.7 km/saat ve toplam çevrim süresi 660 sn dir yada ilk bastaki 15 konumlu çevrimi de katarsak toplam çevrim uzunlugu 6.34 km , ortalama hiz 25.6 km/saat ve toplam çevrim süresi 892 sn dir [1,17].



Sekil 9.12. 10-15 Konumlu Japon Test Çevrimi [17]

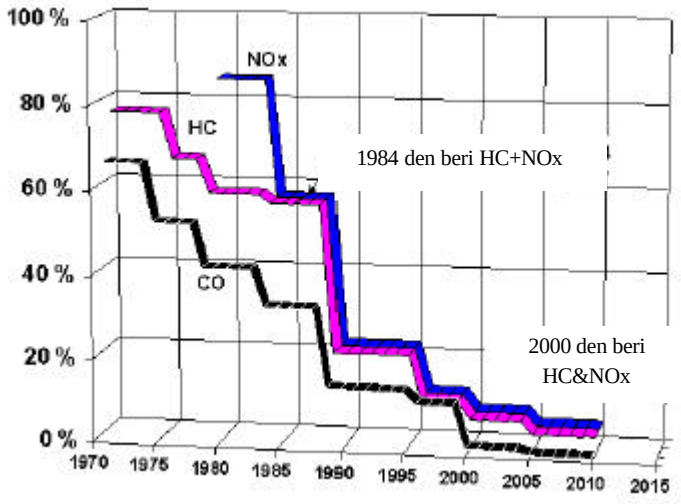
9.2. Egzoz Emisyon Standartlari

9.2.1. Avrupa Egzoz Emisyon Standartlari - Hafif Hizmet Tasitlari

Otomobiller için Avrupa Emisyon Standartlarinin orjinali, 70/220/EEC Avrupa Direktifinde belirtilmistir. 1992 Euro 1, 1996 Euro 2, 2000 yilinda Euro 3 degerleri getirilmistir. 2005 yilinda ise Euro 4 degerleri uygulanmaya baslanacaktir. Euro 3 ve Euro 4 ile yakitlar daha nitelikli hale getirilmektedir. 2000 yilindan itibaren dizelde minimum setan sayisi 51 olarak uygulanmaya baslanmistir. Dizelde max. sülfür miktari 350 ppm (2000 yilinda), 50 ppm (2005 yilinda); benzinde max. sülfür miktari 150 ppm (2000 yilinda), 50 ppm (2005 yilinda) olarak uygulanacaktir [17].

Bu Regulasyon için emisyon test çevrimi ECE15 + EUDC prosedürüdür. 2000 yilinda test prosedürü gelistirilmistir. Egzoz emisyonu örnegi almaya baslamadan evvel tasit 40 sn. isitilirdi. Bu olay kaldirildi.

Hafif ticari tasitlari için Avrupa Birligi Standartlari, dizel ve benzinle çalisan tasitlari farklidir. Dizelle çalisan tasitlar için CO degeri daha düsüktür. Fakat NO_x degeri daha yüksektir. Benzinle çalisan tasitlar PM (Partikül Miktari) standartlarinda muaf tutulmaktadir.



Sekil 9.13. Avrupa Hafif Hizmet Tasiti Emisyonu Gelisimi [15]

Tablo 9.1. Yolcu Tasitlari için Avrupa Emisyon Standartlari, g/km [17]

	Yil	**CO**	**HC**	**HC+NOx**	**NOx**	**PM**
Dizel						
Euro 1	1992	2.72	-	0.97	-	0.14
Euro 2-IDI	1996	1.0	-	0.7	-	0.08
Euro 2-IDI	1999	1.0	-	0.9	-	0.10
Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05
Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025
Benzin						
Euro 3	2000.01	2.30	0.20	-	0.15	-
Euro 4	2005.01	1.0	0.10	-	0.08	-

Tablo 9.2.Hafif Hizmet Tasitlari için Avrupa Emisyon Standartlari, g/km [17]

Sinif	Sira	Yil	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Dizel							
N1 <1305 kg	Euro 1	1994.10	2.72	-	0.97	-	0.14
	Euro 2	1998.01	1.0	-	0.60	-	0.10
	Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05
	Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025
N2 1305-1760 kg	Euro 1	1994.10	5.17	-	1.40	-	0.19
	Euro 2	1998.01	1.2	-	1.1	-	0.15
	Euro 3	2002.01	0.80	-	0.72	0.65	0.07
	Euro 4	2006.01	0.63	-	0.39	0.33	0.04
N3 >1760 kg	Euro 1	1994.10	6.90	-	1.70	-	0.25
	Euro 2	1998.01	1.35	-	1.3	-	0.20
	Euro 3	2002.01	0.95	-	0.86	0.78	0.10
	Euro 4	2006.01	0.74	-	0.46	0.39	0.06
Benzin							
N1 <1305 kg	Euro 1	1994.10	2.72	-	0.97	-	-
	Euro 2	1998.01	2.2	-	0.50	-	-
	Euro 3	2000.01	2.3	0.20	-	0.15	-
	Euro 4	2005.01	1.0	0.1	-	0.08	-
N2 1305-1760 kg	Euro 1	1994.10	5.17	-	1.40	-	-
	Euro 2	1998.01	4.0	-	0.65	-	-
	Euro 3	2002.01	4.17	0.25	-	0.18	-
	Euro 4	2006.01	1.81	0.13	-	0.10	-
N3>1760 kg	Euro 1	1994.10	6.90	-	1.70	-	-
	Euro 2	1998.01	5.0	-	0.80	-	-
	Euro 3	2002.01	5.22	0.29	-	0.21	-
	Euro 4	2006.01	2.27	0.16	-	0.11	-

Euro3 degerleri 80000 km (ya da 5 yasini asmis), Euro4 degerleri ise 100000 km yol almis araçlar için belirlenmistir. Bu kadar yol alan tasitlarin eskimesi sonucu olusacak olan emisyon artislarina da sinirlar koyulmustur. Araç tiplerine ve emisyon limitlerine göre belli bir bozulma katsayisiyla çarpilarak elde edilmektedir.

Tablo 9.3. Euro3 ve Euro4'deki Bozulma Katsayilari [17]

Motor Tipi	CO	HC	NO_x	$HC+NO_x$	Partikül
Benzinli	1.2	1.2	1.2	-	-
Dizel	1.1	-	1.0	1.0	1.2

2000-2005 yillari arasinda bazi ek hükümler getirilecektir. Bunlar:

- AB üyesi ülkelere 2005 yili öncesi imal edilen araçlara vergi getirilmektedir.
- 2000-2005 tarihleri arasinda "on-board diagnostics system" (OBD) fazi gereklidir.
- 2002 yilindan itibaren benzinli tasitlara soguk ortam çevrimi (-7 ^{0}C) yapilmasi gereklidir.

9.2.1.1. EOBD (European On Board Diagnosis)

OBD sistemine uygun araçlarda bulunan motor elektronik kontrol üniteleri, norm üzerinde kirlilige yol açan anormalligi belirler. Bunu katalitik konvektör öncesi ve sonrasinda bulunan iki O_2 sondasindan aldigi bilgiler dogrultusunda ortaya çikarir. Bu araçlarda böyle bir durum söz konusu oldugunda gösterge tablosunda bir ikaz isigi (MIL - Mulfunction Indicator Led) yanarak sürücüyü anormallige karsi uyarir. Ayrica sistemin en büyük özelligi motor elektronik kontrol ünitesinin teshis soketinin standart olmasi ve emisyon miktarinin her an her yerde yetkili kisilerce kontrol edebilmesidir. Sistem okudugu degerleri kilometreye bagli olarak sürekli hafizasinda tutar. Asagida, araç ve motor tipine göre uygulamaya baslama tarihleri görülmektedir. Tabloda M yolcu tasimaciliginda kullanilan araçlari, N ise yük tasimaciliginda kullanilan araçlari ifade etmektedir. Verilen agirlik degerleri ise izin verilen azami yüklü agirligi ifade etmektedir [15,17].

Tablo 9.4. Kivilcim Ateslemeli Motorlarda OBD Uygulama Tarihleri [17]

Kivilcim Ateslemeli	Yeni Tipler	Bütün Tipler
M < 2.5 ton ve N Sinifi 1	1.1.2000	1.1.2001
M> 2.5 ton ve N Sinifi 2,3	1.1.2001	1.1.2002

Tablo 9.5. Sikistirma Ateslemeli Motorlarda (Dizel) OBD Uygulama Tarihleri [17]

Sikistirma Ateslemeli	Yeni Tipler	Bütün Tipler
M < 6 Kisi , M < 2.5 ton	1.1.2003	1.1.2004
M> 6 Kisi, N Sinif 1	1.1.2005	1.1.2006
M> 2.5 ton ve N Sinif 2,3	1.1.2006	1.1.2007

Asagidaki sistemin ikaz vermesine neden olacak maksimum sinirlar g/km olarak verilmistir. Bu sistem Euro 3'ten itibaren gündeme gelmistir. Euro 4'te de bulunmaktadir.

Tablo 9.6. Araç Tipine ve Motoruna Göre OBD Esik Degerleri [17]

	CO		**HC**		**NO_x**		**Part.**
	Benzin	**Dizel**	**Benzin**	**Dizel**	**Benzin**	**Dizel**	**Dizel**
Hususi	3.20	3.20	0.40	0.40	0.60	1.20	0.18
Sinif 1 Ticari	3.20	3.20	0.40	0.40	0.60	1.20	0.18
Sinif 2 Ticari	5.80	4.00	0.50	0.50	0.70	1.60	0.23
Sinif 3 Ticari	7.30	4.80	0.60	0.60	0.80	1.90	0.28

9.2.1.2. Soguk Ortam Çevrimi

Euro 3 ve Euro 4'te yer alan bu çevrim sadece benzinle çalisan motorlara uygulanir. Bu çevrimde motor -7 ^{0}C'lik ortam sicakliginda çalistirilir. Elde edilen CO emisyonu 15 g/km, HC emisyonu ise 1.8 g/km'nin altinda olmak zorundadir. Izin verilen maksimum tasit agirligi 2.5 ton' dan büyük ve tasima kapasitesi 6 kisiden fazla olan araçlar hariç tüm hususi ve Sinif 1 ticari araçlar Ocak 2002, izin verilen maksimum tasit agirligi 2.5 ton ' dan büyük ve tasima kapasitesi 6 kisiden fazla olan hususi, Sinif 2 ve 3 ticari araçlarin yeni tipleri için Ocak 2003 tarihi ön görülmüstür.

9.2.2. Amerikan Egzoz Emisyon Standartlari

Amerikan Egzoz Emisyonu Standartlari yapil olarak biraz karmasiktir. Federal Standartlar ve Eyalet Standartlari (Kaliforniya Standartlari) olmak üzere ikiye ayrilmaktadir. Bununla beraber düsük emisyon tasitlar ve alternatif yakitla çalisan tasitlar için farkli programlara sahiptirler.

9.2.2.1. Federal Standartlar

Bu standartlari Tier 1 ve Tier 2 olmak üzere iki grup halinde düsünmek gerekmektedir. 1990 yilinda "Clen Air Act Amendments (CAAA)" bir düzeltme yapilmistir. Tier 1 Regulasyonu 5 Haziran 1991 yilinda yayimlanmis, 1997 yilina kadar devam etmistir. Tier 2 standartlari 21 Aralik 1999 yilinda benimsenmistir, 2004 yilinin basinda yürürlülüge girecektir ve 2009 yilina kadar devam edecektir.

9.2.2.1.1. Tier 1 Standartlari

Tier 1 standartlari, tüm hafif hizmet tasitlarina (yolcu tasitlari, hafif hizmet kamyonlari, "sport utility vehicles-SUV- spor arazi araçlari ", "minivan-küçük kapali kasa kamyonet" ve "pick-up trucks-yari kapali kamyonet") uygulanmaktadir. Hafif hizmet tasit kategorisi, 8500 Ib gross agirliginin altinda araçlari kapsamaktadir. Hafif hizmet tasit kategorisini, üç alt kategoride toplamak mümkündür [17].

a) Yolcu Tasitlari
b) Çok Hafif Hizmet Tasitlari (LLDV) - 6000 Ib gross agirliginin altinda
c) Az Hafif Hizmet Tasitlari (HLDV) - 6000 Ib gross agirliginin üstünde

Tier 1 standartlari 1994-1997 yillari arasinda uygulanmistir. Tüm araçlarsa kullanim süresi 100,000 mil olarak uygulanmistir. Regulasyonu, ara standart olarak 50,000 millik periyotlar halinde düzenlenmistir. Dizel ve benzinli tasitlari standartlari ayri olarak düzenlenmis; dizel NO_x limiti o kadar uygun oldugundan 2003 yili tasitlarina bile uygulanmaktadir (Tablo 9.7) [17].

Araba ve hafif hizmet kamyon emisyonlari, Federal Test Prosedürü (FTP75) ile ölçülmüstür ve g/mil olarak hesaplanmistir. FTP75 testine ilave getirilerek; "Supplemental Federal Test Procedure-Ilave Federal Test Prosedürü" (SFTP) 2000-2004 yillari arasinda uygulanmaktadir. SFTP'de ek test olarak agresif sürüs (US06) çevrimi ile havalandirma ile sürüs (SC03) çevrimi ilave edilmistir.

9.2.2.1.2. National (Ulusal) LEV Programi

16 Aralik 1997'de EPA tarafindan NLEV programi için regulasyon sonuçlandirmistir. NLEV gönüllü bir programdir. Kuzeydogu eyaletleri ve 23 otomobil üreticisi tarafindan yapilan bir programdir. Tier 2 standartlari öncesi daha iyi geçisi saglamak için; çok daha siki sinirlari olan bir programdir.

Kuzeydogu eyaletleri 1999 model araçlarda ve 2001 yili tüm ulusal araçlarda (otomobil ve çok hafif hizmet kamyonlari) uygulanmaya baslanmistir. EPA' ya göre daha siki sinirlari bulunmaktadir ve kanunen 2004 yilina kadar uygulanacaktir.

National LEV programi, Federal ve Kaliforniya motor tasitlari standartlari ve emisyon indirimlerinin bir harmonizasyonudur. Temelde "California Low Emission Vehicle-Kaliforniya Düsük Emisyonlu Tasit" programina esittir.

National LEV programi sadece hafif tasitlara uygulanir. Az hafif hizmet tasiti (GVW>6000 Ibs), tasit kategorisine uygulanmaz [15,17].

Tablo 9.7.Yolcu Tasitlari ve Hafif Hizmet Kamyonlari için EPA Tier 1 Standartlari, FTP 75, g/mil [17]

Kategori	50,000 mil/5 yil						100,000 mil/10 yil					
	THC	NMHC	CO	NOx Dizel	NOx Benzin	PM	THC	NMHC	CO	NOx Dizel	NOx Benzin	PM
Yolcu Tasiti	0.41	0.25	3.4	1.0	0.4	0.08	-	0.31	4.2	1.25	0.6	0.10
LLDT, LVW <3,750 lbs	-	0.25	3.4	1.0	0.4	0.08	0.80	0.31	4.2	1.25	0.6	0.10
LLDT, LVW >3,750 lbs	-	0.32	4.4	-	0.7	0.08	0.80	0.40	5.5	0.97	0.97	0.10
HLDT, ALVW <5,750 lbs	0.32	-	4.4	-	0.7	-	0.80	0.46	6.4	0.98	0.98	0.10
HLDT, ALVW >5,750 lbs	0.39	-	5.0	-	1.1	-	0.80	0.56	7.3	1.53	1.53	0.12

Kisaltmalar:
LVW - "loaded vehicle weight-Yüklü Tasit Agirligi" (agirlik + 300 lbs)
ALVW - "adjusted LVW-ayarli yüklü tasit agirligi"
LLDT - çok hafif hizmet kamyonu (6,000 lbs GVWR altinda)
HLDT - az hafif hizmet kamyonu (6,000 lbs GVWR üstünde)

9.2.2.1.3. Tier 2 Standartlari

Tier 2 standartlarinda, Tier 1 standartlarina göre önemli ölçüde emisyon sinir degerlerinde düsürülme olmustur. Buna ek olarak büyük araçlar için daha siki ve önemli degisiklikler yapilmistir. Tier 2 standartlari altinda; tüm tasitlara (otomobiller, "minivan-küçük kapali kamyonetlere", hafif hizmet kamyonlarina ve "sport utility vehicles-SUV-spor arazi tasitlari") benzer emisyon limitleri uygulanmaktadir. Hafif hizmet standartlari g/mil kirlilik ile ifade edilir. Büyük motorlarda (hafif hizmet kamyonlari ve SUV-spor arazi tasitlari) küçük motorlulara göre; daha gelismis bir emisyon kontrol teknolojisi kullanilmaktadir [15,17].

Tier 2'de hafif hizmet emisyon standartlari bazi agir araç kategorilerini alacak sekilde uzatilmistir. Tier 1 emisyon standartlarinda 8500 Ibs GWVR agirligina kadar ki araçlara uygulanirdi. Buna ek olarak Tier 2'de "medium-duty passengers vehicle-orta hizmet yolcu tasitlari" (MDPV) sinifi araçlarda kapsama altina alinmistir. Bu sinif araçlarda 8500-10,000 Ibs GWVR agirliginda ve personel tasimasinda kullanilan

araçlar, Tier 2 hafif ticari emisyon standartlarina girmektedir. Bu kategoriye büyük SUV araçlari ve yolcu kapali kasa kamyonetleri girmektedir. 8500 Ibs GWVR'den daha agir ticari araçlar (kargo kapali kasa kamyonetleri ve hafif hizmet kamyonlari) agir hizmet motor emisyon standartlari altinda incelenmeye devam edecektir.

Tasitin yakit türü ne olursa olsun (benzin, dizel ve alternatif yakitlarda) ayni emisyon limitleri uygulanacaktir.

Tier 2 standartlari, "certifications bins-sertifika kademeleri" adlandirilan her biri birbirinden daha siki 8 sertifika bölümünden meydana gelmektedir. NO_x limitleri içinse ortalama bir deger alinmaktadir. Ortalama NO_x standardi 0.07 g/mil dir.

Buna ek olarak, transit periyotlarinda daha rahat emisyon degerleri olarak geçici sertifikasyon bölümleri (kademe 9, 10 ve MDVP kademesi) bulunmaktadir. Fakat bu bölümler 2008 yili model tasitlardan sonra kaldirilacaktir.

Tier 2 standartlari 2004-2009 yilinda uygulanacaktir. Otomobiller ve çok hafif hizmet kamyon (LLDT) tasitlari için Tier 2 standartlari, 2004 yilinda uygulanmaya baslanacaktir. Tier 2 standartlari tam olarak söylenen tasitlara ise 2007 yilinda uygulanmaya baslanacaktir. Az hafif hizmet kamyonlari (HLDT) ile orta hizmet yolcu tasitlari (MDVP) için, Tier 2 standartlari 2008'de uygulanmaya baslanacak ve 2009 yilinda sona erecektir. 2004-2007 uygulama periyodunda; otomobiller ve çok hafif hizmet tasitlarinda baslangiç-Tier 2 standartlariyla sertifika yerine ara program olarak, NO_x limitleri için ortalama deger 0.30 g/mil uygulanacaktir ki; bu deger su anki NLEV standartlarinda hafif hizmet tasitlari için geçerli olan degerdir. 2004-2008 uygulama periyodunda; az hafif hizmet tasitlari ve orta hizmet yolcu tasitlari (MDVP) için sonuç-Tier 2 standartlari sertifika yerine ara program olarak, NO_x limitleri için ortalama deger 0.60 g/mil (az hafif hizmet tasitlari-HLDT için), 0.90 g/mil (orta hizmet yolcu tasitlari-MDVP için) uygulanacaktir.

Tablo 9.8'de Tier 2 emisyon standardi için tüm kirli bilesenler için sertifikasyon bölümleri gösterilmektedir. Bu standartla, tasitlarin kullanim süresi de 120,000 mile yükseltilmistir.

Tier 2 Regulasyonu yakit kalitesi için çesitli zorunluluklar getirmektedir. Yakiti temizletmek için "aftreatment" cihazlarinda (katalitik dönüstürücüler), emisyonlari gelistirmek için bir takim zorunluluklar getirmektedir.

Benzindeki Sülfür Seviyesi : Bu programla beraber 2004 yilindan itibaren benzindeki ortalama sülfür miktari 120 ppm ve üst sinir ise 300 ppm olacaktir. 2006 yilinda ise 30 ppm ile 80 ppm sülfür miktarlarina düsmektedir. Geçici olarak 2007 yilinda standartlar biraz daha sikilasmaktadir. Buna ek olarak geçici olarak, biraz daha siki standartlari, Amerikanin bati bölgesinde 2004-2006 periyotta uygulamaya konulacaktir.

Tablo 9.8. Tier 2 Emisyon Standartlari, FTP 75, g/mil [17]

Kademe	**50,000 mil**					**120,000 mil**				
	NMOG	**CO**	**NOx**	**PM**	**HCHO**	**NMOG**	**CO**	**NOx**	**PM**	**HCHO**
Geçici Kademeler										
MDPV						0.280	7.3	0.9	0.12	0.032
10	0.125 (0.160)	3.4 (4.4)	0.4	-	0.015 (0.018)	0.156 (0.230)	4.2 (6.4)	0.6	0.08	0.018 (0.027)
9	0.075 (0.140)	3.4	0.2	-	0.015	0.090 (0.180)	4.2	0.3	0.06	0.018
Sürekli Kademeler										
8	0.100 (0.125)	3.4	0.14	-	0.015	0.125 (0.156)	4.2	0.20	0.02	0.018
7	0.075	3.4	0.11	-	0.015	0.090	4.2	0.15	0.02	0.018
6	0.075	3.4	0.08	-	0.015	0.090	4.2	0.10	0.01	0.018
5	0.075	3.4	0.05	-	0.015	0.090	4.2	0.07	0.01	0.018
4	-	-	-	-	-	0.070	2.1	0.04	0.01	0.011
3	-	-	-	-	-	0.055	2.1	0.03	0.01	0.011
2	-	-	-	-	-	0.010	2.1	0.02	0.01	0.004
1	-	-	-	-	-	0.000	0.0	0.00	0.00	0.000

9.2.2.2. Kaliforniya Standartlari

Su anki Tier 1/ LEV Kaliforniya emisyon standartlari 2003 yilina kadar uzatilmistir. 2004 yilinda yerine daha siki emisyon degerleri olan LEV 2 geçecektir.

9.2.2.2.1. "Low Emission Vehicle" -LEV- (Düsük Emisyonlu Tasit) Standartlari

Su anki Kaliforniya emisyon standartlari asagidaki su emisyon kategorilerini ifade etmektedir [15].

- Tier 1
- Transitional Low Emission Vehicles (TLEV)
- Low Emission Vehicles (ULEV)
- Super Ultra Low Emission Vehicles (SULEV)
- Zero Emission Vehicles (ZEV)
- Equivalent Zero Emission Vehicles (EZEV)

Araba üreticileri için üretim yüzdelerinde daha siki emisyon kategorilerinde sertifika edilmesini istemektedir. Bu kategori biraz daha komplekstir. 2003 yilindan sonra Tier 1 ve TLEV emisyon kategorileri elimine edilecektir. Benzin ve dizel yakitli tasitlar için ayni standartlar uygulanacaktir. Sadece dizel için PM (partikül miktari) standartlari uygulanacaktir. FTP75 g/mil seklinde ölçümleri yapilacak ve buna ilaveten SFTP prosedürleri 2001-2005 yillarinda uygulanacaktir. Tablo 9.9'da yeni hafif hizmet tasitlari için Kaliforniya standartlari gösterilmektedir [10,15,17].

Low Emission Vehicle 2 -LEV 2- (Düsük Emisyonlu Tasit) Standartlari

5 Kasim 1998 yilinda ARB tarafindan kabul edilen LEV 2 2004-2010 yillari arasinda geçerli olacaktir. LEV 2 regulasyonu altinda; 8500 Ibs gross agirliginin altindaki hafif hizmet ve orta sinif hizmet tasitlari yeniden siniflandirilmaktadir ve yolcu tasitlarinin ihtiyaçlariyla karsilasacaktirlar (Tablo 9.10). Sonuç olarak birçok "pick-up trucks-yari kapali kasa kamyonetler" ve "sport utility-spor arazi" tasitlari için; yolcu tasitlarinin emisyon standartlariyla karsilasacaktir. Yeniden siniflandirma 2007 yilinda yürürlülüge girecektir [10,15,17].

LEV 2 standardi altinda; NO_x ve PM standartlari, tüm emisyon kategorileri için önemli derecede sikistirilmistir. Dizel ve benzinle çalisan tasitlar için ayni standartlar uygulanacaktir. 15 Kasim 2001 tarihinde benimsenen karara göre benzinli tasitlar PM standartlarinda göz ardi edilecektir. Hafif ticari LEV ve ULEV standartlarinda; 2004 model tasitlarda NO_x emisyonu siniri 0.05 g/mil olarak yürürlülüge girecektir. LEV, ULEV ve SULEV standartlarinda; dizel hafif hizmet araç ve kamyonlari için PM emisyonu siniri 0.010 g/mil olacaktir. TLEV emisyon kategorisi, final emisyon

kategorisinde elimine edilecektir. Kaliforniya'da, dizel hafif hizmet tasitlari sertifikasyonun daha gelismis kontrol teknolojisi kullanilmasi (partikül ve NO_x katalitik dönüstürücüsündeki gelismeler) mümkündür [10,15,17].

EZEV (Equivalent Zero Emission Vehicles), hibrid tasitlar için yapilan bir standarttir [15].

Tablo 9.9. Hafif Hizmet Tasitlari için Kaliforniya Emisyon Standartlari, FTP 75, g/mil [17]

Kategori	**50,000 mil/5 yil**					**100,000 mil/10 yil**				
	NMOG[a]	**CO**	**NOx**	**PM**	**HCHO**	**NMOG[a]**	**CO**	**NOx**	**PM**	**HCHO**
Yolcu Tasitlari										
Tier 1	0.25	3.4	0.4	0.08	-	0.31	4.2	0.6	-	-
TLEV	0.125	3.4	0.4	-	0.015	0.156	4.2	0.6	0.08	0.018
LEV	0.075	3.4	0.2	-	0.015	0.090	4.2	0.3	0.08	0.018
ULEV	0.040	1.7	0.2	-	0.008	0.055	2.1	0.3	0.04	0.011
LDT1, LVW <3,750 lbs										
Tier 1	0.25	3.4	0.4	0.08	-	0.31	4.2	0.6	-	-
TLEV	0.125	3.4	0.4	-	0.015	0.156	4.2	0.6	0.08	0.018
LEV	0.075	3.4	0.2	-	0.015	0.090	4.2	0.3	0.08	0.018
ULEV	0.040	1.7	0.2	-	0.008	0.055	2.1	0.3	0.04	0.011
LDT2, LVW >3,750 lbs										
Tier 1	0.32	4.4	0.7	0.08	-	0.40	5.5	0.97	-	-
TLEV	0.160	4.4	0.7	-	0.018	0.200	5.5	0.9	0.10	0.023
LEV	0.100	4.4	0.4	-	0.018	0.130	5.5	0.5	0.10	0.023
ULEV	0.050	2.2	0.4	-	0.009	0.070	2.8	0.5	0.05	0.013

a - Tüm Tier 1 standartlari için NMHC(Metan Olmayan Hidrokarbon)

Kisaltmalar:

LVW - "loaded vehicle weight-Yüklü Tasit Agirligi" (agirlik + 300 lbs)

LDT - Hafif Hizmet Kamyonu

NMOG - Metan Olmayan Organik Gazlar

HCHO - formaldehit

Tablo 9.10. Yolcu Tasitlari ve Hafif Hizmet Tasitlari < 8500lbs için Kaliforniya LEV II Emisyon Standartlari [17]

Kategori	50,000 mil/5 yil					120,000 mil/11 yil				
	NMOG	CO	NOx	PM	HCHO	NMOG	CO	NOx	PM	HCHO
LEV	0.075	3.4	0.05	-	0.015	0.090	4.2	0.07	0.01	0.018
ULEV	0.040	1.7	0.05	-	0.008	0.055	2.1	0.07	0.01	0.011
SULEV	-	-	-	-	-	0.010	1.0	0.02	0.01	0.004

Tablo 9.11. Hafif Hizmet Tasitlari için Su an Kullanilan ve Gelecekte Kullanilacak US Federal Emisyon Regulasyonlari ile Kaliforniya Standartlari [15]

Kategori	CO (g/mil)	NHMC/NMOG (g/mil)	NOx (g/mil)	Formaldehit (g/mil)	Partikül (g/mil)
Tier 1-Benzin	3,4 (4,2)	0,25 (0,31)	0,4 (0,6)	--- (---)	--(--)
Tier 1-Dizel	--- (4,2)	--- (0,31)	- (1,0)	--- (---)	--(0,08)
TLEV	3,4 (4,2)	0,125 (0,156)	0,4 (0,6)	0,015 (0,018)	--(0,08)
LEV	3,4 (4,2)	0,075 (0,090)	0,2 (0,3)	0,015 (0,018)	--(0,08)
ULEV	1,7 (2,1)	0,04 (0,055)	0,2 (0,3)	0,008 (0,011)	--(0,04)
ZEV	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EZEV	0,17	0,004	0,02	---	0,004
SULEV	1,0	0,01	0.02	?	?
NOT: () Parantez içindeki degerler 50000 mil ile 100000 mil arasina ait egzoz emisyon limitleridir.					

9.2.3. Japon Egzoz Emisyon Standartlari

Japon emisyon standartlari, Japon Ulastirma Bakanligi tarafindan kabul edilmistir. Ulastirma bakanligi emisyon hedeflerini ve düsüs oranlarini; Çevre Bakanligi tarafindan yayimlanan "Central Council for Environmental Pollution Control" (CCEPC) genelgesini temel alarak ayarlamaktadir.

Japon dizel motorlu tasitlarin emisyon standartlari Tablo 9.12'de gösterilmektedir. Su anki test yöntemi de 10-15 konumlu test çevrimidir.

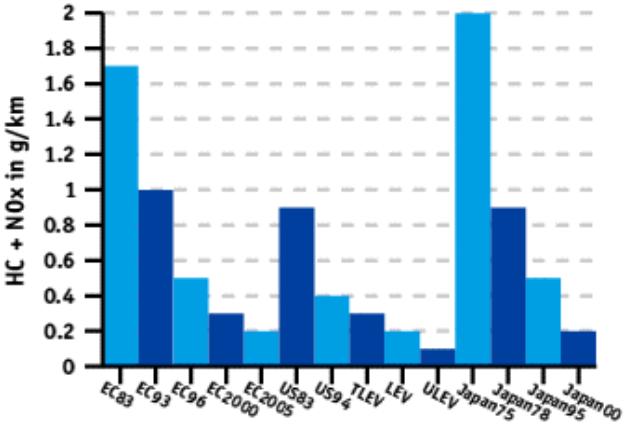
Dizel ticari tasitlardaki, Japon emisyon standartlari Tablo 9.13'te gösterilmektedir. Hafif ticari tasitlar için 10-15 konumlu test çevrimi kullanilmaktadir. Agir hizmet tasitlari için test prosedürü olarak önceleri 6 konumlu test çevrimi kullanilmaktaydi. Bunun yerine 13 konumlu test çevrimi kullanilmaktadir. Sekil 9.14'te HC-NO_x açisindan üç büyük emisyon standartlarinin (Avrupa, Amerika ve Japonya) karsilastirilmasi gösterilmektedir [1,17].

Tablo 9.12. Dizel Tasitlari için Japon Emisyon Standartlari, g/km [17]

Tasit Agirligi	Tarih	CO		HC		NOx		PM	
		max	ortalama	max	Ortalama	max	ortalama	max	mean
< 1265 kg	1986	2.7	2.1	0.62	0.40	0.98	0.70		
	1990	2.7	2.1	0.62	0.40	0.72	0.50		
	1994	2.7	2.1	0.62	0.40	0.72	0.50	0.34	0.20
	1997	2.7	2.1	0.62	0.40	0.55	0.40	0.14	0.08
	2002		0.63		0.12		0.28		0.052
> 1265 kg	1986	2.7	2.1	0.62	0.40	1.26	0.90		
	1992	2.7	2.1	0.62	0.40	0.84	0.60		
	1994	2.7	2.1	0.62	0.40	0.84	0.60	0.34	0.20
	1998	2.7	2.1	0.62	0.40	0.55	0.40	0.14	0.08
	2002		0.63		0.12		0.30		0.056

Tablo 9.13. Dizel Hizmet Tasitlari için Japon Emisyon Standartlari [17]

Tasit Agirligi	Tarih	Test	Birim	CO		HC		NOx		PM	
				max	mean	max	Mean	max	mean	max	mean
< 1700 kg	1988	10-15 mode	g/km	2.7	2.1	0.62	0.40	1.26	0.90		
	1993			2.7	2.1	0.62	0.40	0.84	0.60	0.34	0.20
	1997			2.7	2.1	0.62	0.40	0.55	0.40	0.14	0.08
	2002				0.63		0.12		0.28		0.052
1700 - 2500 kg	1988	6 mode	ppm	980	790	670	510	500 (DI) 350 (IDI)	380 (DI) 260 (IDI)		
	1993	10-15 mode	g/km	2.7	2.1	0.62	0.40	1.82	1.30	0.43	0.25
	1997/98			2.7	2.1	0.62	0.40	0.97	0.70	0.18	0.09
	2003				0.63		0.12		0.49		0.06
> 2500 kg	1988/89	6 mode	ppm	980	790	670	510	520 (DI) 350 (IDI)	400 (DI) 260 (IDI)		
	1994	13 mode	g/kWh	9.20	7.40	3.80	2.90	7.80 (DI) 6.80 (IDI)	6.00 (DI) 5.00 (IDI)	0.96	0.70
	1997-99			9.20	7.40	3.80	2.90	5.80	4.50	0.49	0.25
	2003/ 2004				2.22		0.87		3.38		0.18
"max" - maksimum limitler "mean" - onayli ve ortalama üretim limitleri											



Sekil 9.14. Avrupa, Amerika ve Japon Egzoz Standartlarinin Karsilastirilmasi [19]

9.2.4. Arjantin Egzoz Emisyon Standartlari

Dizel yolcu tasitlari için standartlar Tablo 9.14'te gösterilmektedir. Avrupa ECE15+EUDC test çevrimi yapilmaktadir.

Tablo 9.14. Dizel Otomobiller için Arjantin Emisyon Standartlari [17]

Yil	CO	HC	NOx	PM
	g/km			
1994	24.0	2.1	2.0	-
1996	12.0	1.2	1.4	0.373
1998	6.2	0.5	1.43	0.16*
2000	2.0	0.3	0.6	0.124
* - 0.31 g/km1700 kg'dan daha agir tasitlar için				

Dizel yakitli kamyonlar, otobüsler ve hafif hizmet tasitlari için Arjantin egzoz emisyonu standartlari, Avrupa agir hizmet tasitlari regulasyonu baz alinarak yapilmistir ve Tablo 9.15'de gösterilmektedir. Kamyonlar ve otobüsler için, ECE R-49 motor dinamometre test çevrimi uygulanmaktadir [17].

Tablo 9.15.Dizel Kamyonlar ve Otobüsler için Arjantin Emisyon Standartlari [17]

Yil	Kategori	Referans Standart	CO	HC	NOx	PM
			g/kWh			
1994	Sehir içi Otobüs	Euro 0	11.2	2.45	14.4	-
1995	Sehir içi Otobüs	Euro I	4.9	1.23	9.0	-
1996	LCV / Kamyonlar	Euro I	4.9	1.23	9.0	0.4[a]
1998	Sehir içi Otobüs	Euro II	4.0	1.1	7.0	0.4[a]
2000	LCV / Kamyonlar	Euro II	4.0	1.1	7.0	0.15[a]
a - Gücü 85 kW altinda olan tasitlar için 1,7 faktörü ile bölünür.						

9.2.5. Brezilya Egzoz Emisyon Standartlari

Brezilya egzoz emisyon standartlari, 'Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renovaveis" (IBAMA) tarafindan kabul edilmistir. Emisyon limitleri ve test çevrimleri, Avrupa Birligi normlari temel alinarak yapilmistir. Ilk tasit egzoz emisyon regulasyonu, Euro 0/2 standartlari temel alinarak Agustos,1993 yilinda kabul edilmistir. Ikinci egzoz emisyon regulasyonu ise, Euro 3/4 standartlari temel alinarak 29 Ekim 2002'de kabul edilmistir ve 2006-2009 yillari arasinda yürürlüge girecektir [17].

Brezilya'da ilk egzoz emisyon standartlari, agir hizmet tasitlarina (kamyon ve otobüsler); hafif hizmet tasitlarina uygulandigi gibi uygulanir fakat yolcu tasitlarina uygulanmamistir. Dizel yolcu tasitlarinda ise, komsu ülkelerin egzoz emisyonu standartlari uygulanmaktadir.

1993-2005 model dizel yakitli kamyon ve otobüslerin egzoz emisyon sinirlari Tablo 9.16'da gösterilmektedir. Hafif ve agir hizmet kamyonlari için ayni standartlar uygulanmaktadir. Tüm kamyon ve otobüsler ile birçok hafif hizmet kamyonlari için ECE R-49 testi çevrimi kullanilmaktadir.

Tablo 9.16. Dizel Yakitli Kamyon ve Otobüsler için Brezilya Emisyon Standartlari [17]

Yil	Kategori	Referans Standart	CO	HC	NOx	PM
			g/kWh			
1993	Tüm	Euro 0	11.2	2.45	14.4	-
1994	Sehir içi Otobüs	Euro 1	4.9	1.23	9.0	-
1996	Tüm	Euro 1	4.9	1.23	9.0	0.4[a]
1998	Sehir içi Otobüs	Euro 2	4.0	1.1	7.0	0.15[b]
2000	Tüm	Euro 2	4.0	1.1	7.0	0.15[b]
a - Gücü 85 kW altinda olan tasitlar için 1,7 faktörü ile bölünür. b - Motor hacmi 0,7 litrenin üstünde yada hiz orani 3000 rpm in üstündeyse; 0.25 g/kWh						

Üstteki standartlara ek olarak; serbest hizlanma duman limitleri eklenmistir (Mart, 1994) [17].

- 0.83/m (30 HSU) dogal emisli motorlar için
- 1.19/m (40 HSU) turbosarjli motorlar için

2006 / 7 ve sonrasi model agir hizmet tasitlari için 2006 yilinda, yolcu tasitlari ve hafif hizmet tasitlari için ise 2007 yillindan itibaren daha siki egzoz emisyon limitleri uygulanmaya baslanacaktir. Tablo 9.17-9.19'da çesitli standartlar gösterilmektedir. Hafif hizmet tasitlari için test çevrimlerinde, F75 test çevrimi temel alinmistir.

Tablo 9.17. Dizel Yakitli Hafif Hizmet Tasitlari için Brezilya Emisyon Standartlari (FTP-75 Test Çevrimi) [17]

Sira	Tarih	Kategori	CO	THC	NMHC	NOx	PM
			g/km				
PROCONVE L-4	1.1.2007	=1700 kg	2.0	-	0.16	0.60	0.08
PROCONVE L-5	1.1.2009	=1700 kg	2.0	-	0.05	0.25	0.05
PROCONVE L-4	1.1.2007	>1700 kg	2.7	-	0.20	1.00	0.10
PROCONVE L-5	1.1.2009	>1700 kg	2.7	-	0.06	0.43	0.06

Tablo 9.18. 2006 Yili ve Sonrasi HD Dizel Motorlari için Brezilya Emisyon Standartlari[17]

Sira	Tarih	Test	CO	THC	NMHC	NOx	PM	Duman
			g/kWh					m^{-1}
PROCONVE P-5	1.1.2006	ESC	2.1	0.66	-	5.0	0.10	0.8
PROCONVE P-6	1.1.2009		1.5	0.46	-	3.5	0.02	0.5
PROCONVE P-5	1.1.2006	ETC	5.45	-	0.78	0.03	-	-
PROCONVE P-6	1.1.2009		4.0	-	0.55			

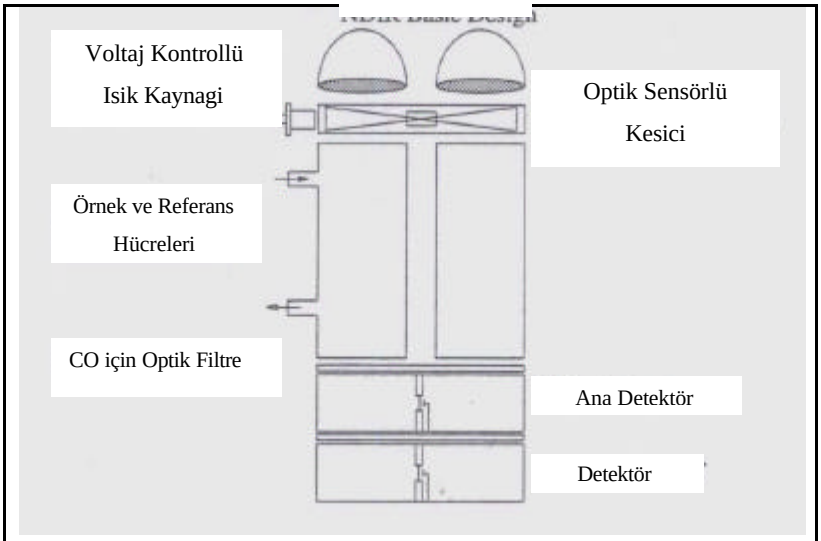
Tablo 9.19. Dizel Yakitli Yolcu Tasitlari için Brezilya Emisyon Standartlari (FTP-75 Test Çevrimi) [17]

Sira	Tarih	CO	THC	NMHC	NOx	PM
		g/km				
PROCONVE L-4	1.1.2007	2.0	-	0.16	0.60	0.05
PROCONVE L-5	1.1.2009	2.0	-	0.05	0.25	0.05

10. EGZOZ GAZLARI EMIYONU ANALIZÖRLERI

10.1. CO ve CO_2 Ölçüm Yöntemi

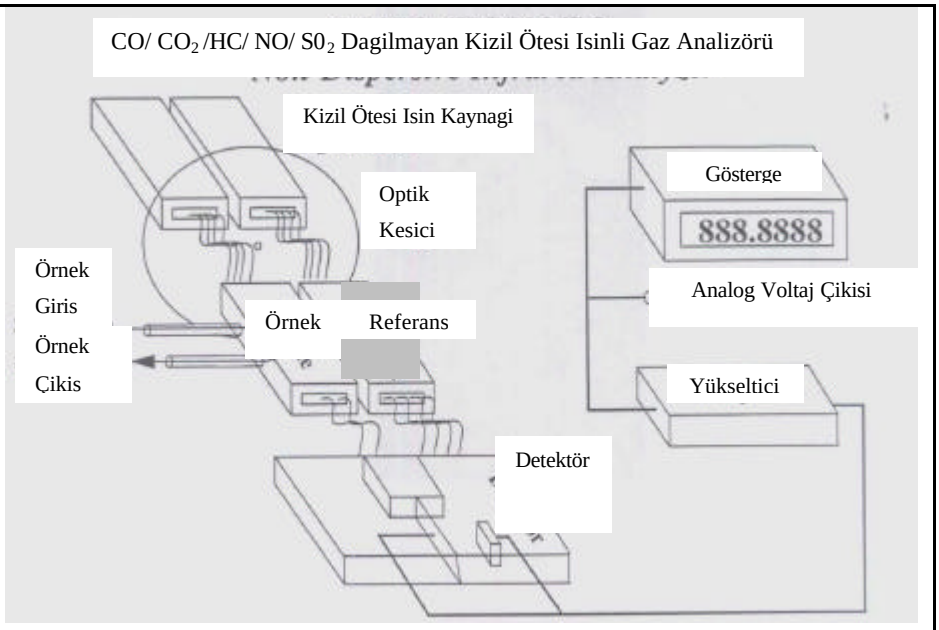
Egzoz gazlari içerisindeki CO ve CO_2 miktarinin belirlenmesi için kullanilan AIA analizörü, Dagilmayan Kizil Ötesi Isinli gaz analizörüdür. Bu sistemde kizil ötesi isinlarin, ölçümü yapilacak örnek gazlar içerisinden geçerken, farkli bilesenler tarafindan radyasyon enerjisinin farkli oranlarda absorbe edilmesi prensibi kullanilmaktadir. Kizil ötesi kaynak tarafindan üretilen isik ikiye ayrilarak referans hücresi ve örnek gazlara ait hücre içerisinden geçip, detektöre ulasmaktadir (Sekil 10.1). Içerisinde ölçümü yapilmakta olan kimyasal bilesenlerden bulunmayan referans gazlarinin absorbe ettigi enerji miktari belirlenirken, diger hücrede ise CO ve CO_2 bilesenleri farkli dalga boylarindaki kizil ötesi isindan enerji absorbe etmektedir. Bundan yararlanilarak detektörde, referans ve ölçüm hücrelerinden absorbe edilen enerji miktari farki elektriksel akima dönüstürülerek, kalibre edilmekte ve bilesenin konsantrasyonu cinsinden ölçüm yapilmaktadir (Tablo 10.1 ve Sekil 10.2) [1].



Sekil 10.1. Dagilmayan Kizil Ötesi Gaz Analizörünün Temel Dizayni- Horiba [14]

Tablo 10.1. Horiba AIA-721 ve AIA-722 Gaz Analizörlerinin Özellikleri [14]

	AIA-721	**AIA-722**
	CO (L)	CO(H) / CO_2
Ölçüm Araligi	CO 50-2500 ppm CO 100-2500 ppm	CO 5000 ppm - 10 vol % CO_2 5000 ppm - 20 vol%
Tekrarlayabilme (Sifir)	< ± 1% FS	< ± 1% FS
Tekrarlayabilme (Aralik)	< ± 1% RS	< ± 1% RS
Isletme (Sifir)	(>100 ppm) < ± 1% FS/24 h (50-100 ppm)< ± 2% FS/24 h	< ± 1% FS/24 h
Isletme (Aralik)	(>50 ppm) < ± 1% FS/24 h	< ± 1% FS/24 h
Gürültü	< ± 0.5% FS	< ± 0.5% FS
Dogrusallik	< ± 1% FS veya < ± 2% RS	< ± 1% FS veya < ± 2% RS
T90	(< 100 ppm) < 3 sn. (>100 ppm) < 2 sn.	< 1.5 sn.
Akis Miktari	4 l/dak.	2 l/dak.
Güç gereksinimleri	24V, ± 15V DC, 5V DC	24V, ± 15V DC, 5V DC
Özellikler Boyutlari	76(W)x160(H) x 400 (D)mm 3 (W)x 6.3 (H) x 15.8 (D) inç	76(W)x160(H) x 400 (D)mm 3 (W)x 6.3 (H) x 15.8 (D) inç



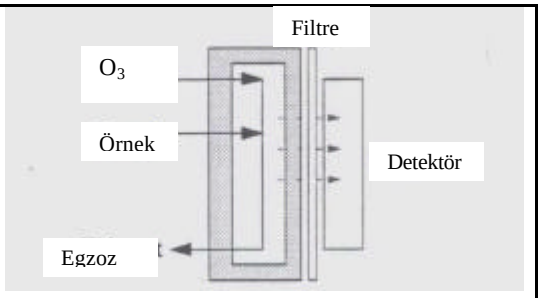
Sekil 10.2. Horiba AIA-721 ve AIA-722 ile Dagilmayan Kizil Ötesi Gaz Analizörünün Semasi [14]

Diger absorbe edici kaynaklarin etkisini önlemek amaciyla kaynaktan çikan isik, gerekli dalga boylarinda çalisilmak üzere filtreden geçirilmektedir. Ayrica isik kaynagi periyodik olarak bir kesici tarafindan saniyede yaklasik 10 kez kesilip, açilmaktadir. Bu durumda, birim zamandaki miktari belirleyecek sekilde periyodik olarak enerji absorbsiyonu saglanmakta ve sonuçta bu miktar ölçülmektedir [1,14].

10.2. NO_x Ölçüm Yöntemi

NO_x ölçümünde CLA analizörü kullanilmaktadir. Bu yöntem Kimyasal Isin ölçümüdür (Sekil 10.3). Bu yöntemde, ana prensip NO ile ozon (O_3) reaksiyonu sonucu olusan uyarilmis NO_2'nin, uyarilmamis duruma dönüstürülmesi sirasinda açiga çikan foton enerjisi NO_x miktarinin ölçümü sonucu miktarinin belirlenmesidir. Bu enerji miktarinin ölçümü ile buna karsi gelen NO_2 miktari belirlenir. Böylece baslangiçtaki NO miktari belirlenmis olmaktadir. Örnek gaz içerisinde mevcut NO_2'nin ölçümünde ise, gazlar isitilarak NO_2/NO dengesi, NO yönüne çevrilir. Yaklasik 315 ^{0}C degerinde %90 degisim saglanmaktadir. NO ve NO_2 içeren egzoz gazlarinda ölçümün ayri ayri yapilmasi istenildiginde, önce NO miktari, sonra da dönüstürücüden geçirilen gazlardaki NO_x miktari belirlenir. Böylece her iki ölçümün farkindan da NO_2 miktari bulunur [1].

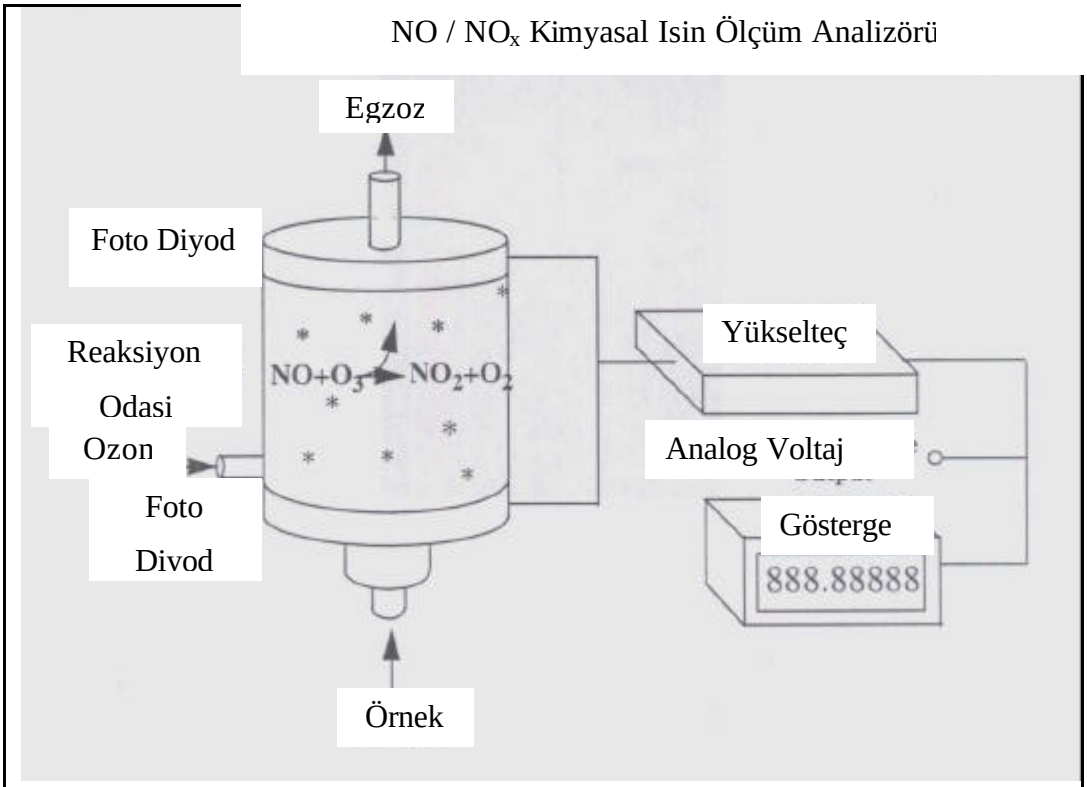
Horiba 7000 CLA serisi analizörleri hem atmosferik hem de vakum tipi modelleri bulunmaktadir. CLA gaz analizörü, 190 ^{0}C'de yüksek verim gösterecek sekilde dizayn edilmistir. Özel kaplamasiyla katalitik dönüstürücüdeki "white powder" denilen beyaz tozlarda da azalma görülmektedir (Tablo 10.2 ve Sekil 10.4) [14].



Sekil 10.3. Kimyasal Isin Ölçümünün Temel Sekli [14]

Tablo 10.2. Horiba CLA-720 ve CLA-750 Gaz Analizörlerinin Özelikleri [14]

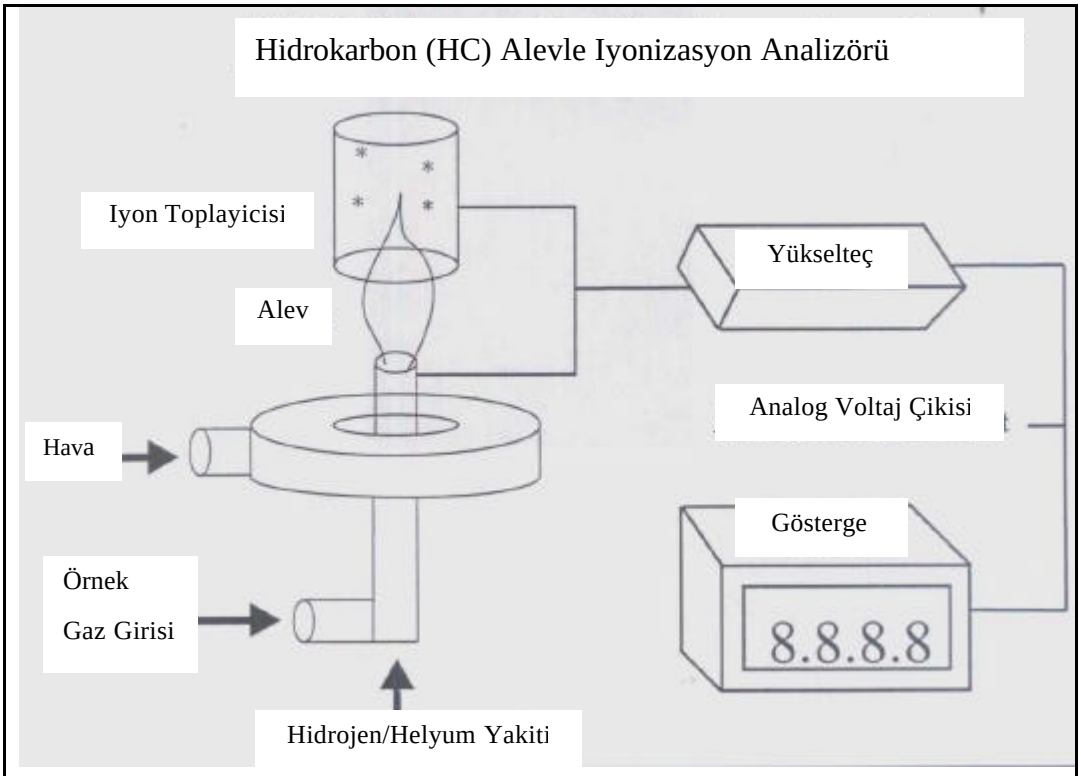
	CLA-720 / 720M	**CLA- 750 / 755**
	Atmosferik Tip	Vakum Tipi
Ölçüm Araligi	NO/ NO_x 10-10000 ppm	NO/ NO_x 10-10000 ppm
Tekrarlayabilme (Sifir)	< ± 1% FS	< ± 1% FS
Tekrarlayabilme (Aralik)	< ± 1% RS	< ± 1% RS
Isletme (Sifir)	< ± 1% FS/24 h	< ± 1% FS/24 h
Isletme (Aralik)	< ± 1% FS/24 h	< ± 1% FS/24 h
Gürültü	< ± 1% FS	< ± 1% FS
Dogrusallik	< ± 1% FS veya < ± 2% RS	< ± 1% FS veya < ± 2% RS
T90	CLA-720 (NO/ NO_x) (< 50 ppm) < 2.0 sn. (>50 ppm) < 1.5 sn. CLA-720M NO NO_x (< 50 ppm) < 2.5 sn. : <3.0 sn. (>50 ppm) < 2.0 sn. : < 2.5sn.	CLA-755 (NO/ NO_x) < 1.5 sn. CLA-755 (NO) < 1.5 sn. CLA-755 (NO_x) < 2.0 sn.
Akis Miktari	CLA-720 : CLA 720M 0.5 l/dak. : 1.0 l/dak.	CLA-750 : CLA-755 0.5 l/dak. : 1.0 l/dak.
Baglanti ($CO_2$16%)	-3.0%	-2.0%
Güç gereksinimleri	24V, ± 15V DC, 5V DC	24V, ± 15V DC, 5V DC
Boyutlari	76 (W) x 160 (H) x 400(D)mm 3 (W)x 6.3 (H) x 15.8 (D) inç (CLA-720M Hariç)	76 (W) x160 (H) x 400 (D)mm 3 (W)x 6.3 (H) x 15.8 (D) inç (CLA- 755 Hariç)



Sekil 10.4. Horiba 7000-CLA Analizörünün NO_x Ölçüm Semasi [14]

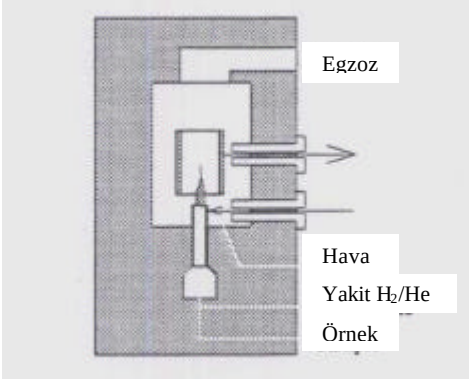
10.3. HC Ölçüm Yöntemi

FIA, HC'larin ölçülmesinde kullanilan analizördür ve Alevle Iyonizasyon prensibinde çalismaktadir (Sekil 10.5 ve Sekil 10.6). Bu sistem prensip olarak H_2-O_2 alevinden olusmaktadir. Burada H_2, O_2 ve soy gazlardan (Horibanin analizöründe kullanilan soy gaz, He'dur.) meydana gelen karisim; iyonlardan arinmis durumdadir. Bu alev içerisine HC'lar eklendiginde, eklenen miktara orantili olarak iyon akisi artmaktadir. Alevdeki bu iyonizasyon miktarinin ölçümü de HC konsantrasyonunu belirlemektedir. Temel olarak Alev Iyonizasyon Detektörü, H_2 ve O_2 'den olusan bir difüzyon alevidir. Sisteme uygulanan polarizasyon akimi sonucu saglanan elektrostatik alan içerisinde, HC'larin eklenmesi ile olusan pozitif iyonlar kolektöre, negatif iyonlar ise aleve dogru giderek iki elektrod arasinda iyonizasyon akimi olusturmaktadir. Bu akim, alevin içindeki HC miktari ile dogru orantilidir. Böylece dogru akim yükselticisinden geçirilerek, HC konsantrasyonu cinsinden kalibre edilmis çikis saglanir. Tablo 3'te FIA-720 ve FIA-725 gaz analizörlerinin özellikleri gösterilmektedir [1].



Sekil 10.5. Horiba FIA ile HC Ölçülmesi - Alev Iyonizasyon Sistemiyle [14]

Genelde alev sicakligini azaltmak amaciyla saf hidrojen yerine soy gazlarla karistirilmis hidrojen kullanilmaktadir. Ölçümler hava ve yakitin debisine bagli olarak daha hassaslasmaktadir. Normalde örnek gaz debisi 3-5 ml/dakika, hidrojen-gaz karisimi debisi 75 ml/ dakika, hava debisi 200 ml/dakika mertebelerindedir. Bu sistem su buharindan etkilenmedigi için örnek gazin kurutulmasina gerek yoktur. Ancak cihazin içerisine sivinin veya partiküllerin girmesine, orifislerin ve küçük çaptaki borularin korunmasi açisindan izin verilmemelidir [1].



Sekil 10.6.Alev Iyonizasyon Prensibinin Temel Sekli [14]

Tablo 10.3. Horiba FIA-720 ve FIA-725 Gaz Analizörlerinin Özellikleri [14]

	FIA-720	**FIA-725**
	Soguk tip	Sicak Tip
Ölçüm Araligi	10-20000 ppmC	10-50000 ppmC
Tekrarlayabilme (Sifir)	< ± 1% FS	< ± 1% FS
Tekrarlayabilme (Aralik)	< ± 1% RS	< ± 1% RS
Isletme (Sifir)	< ± 1% FS/24 h	(>10 ppm) < ± 1% FS/24 h
Isletme (Aralik)	< ± 1% FS/24 h	(>10 ppm) < ± 1% FS/24 h
Gürültü	< ± 0.5%FS	< ± 0.5%FS
Dogrusallik	< ± 1% FS veya < ± 2% RS	< ± 1% FS veya < ± 2%RS
T90	< 1.5 sn.	(>10 ppm) < 1.5 sn.
Akis Miktari	0.5 l/dak.	0.5 l/dak.
Boyutlari	76(W)x 160(H) x 400(D) mm 3 (W)x 6.3 (H) x 15.8 (D) inç	OVN' a yerlestirilmistir.

10.4. GFA Analizörü

7000 serisi GFA analizöründe bulunan iki sütun; örnek gazlardaki metan moleküllerini diger moleküllerden ayirirlar. Ilk sütun metan olmayan hidrokarbonlar ile diger molekülleri tutar. Fakat metan ve oksijen buradan geçer. Ikinci sütun ise oksijeni tutar, metan ise alev iyonizasyon detektörüne dogru ilerler [14].

GFA 720 genis dinamik bir ölçüm araligi ile mükemmel bir dayaniklilik gösterir. Sütunlardaki hava tüketim orani sadece 200 cc/ dak'dir. Yavas akista bile; detektörde sicaklik kontrolünü tam olarak yapmak mümkündür. Hatta ana sütunun içine suyun girisini engellemek için selonoid valf ile korunur. Tablo 10.4'te GFA-720 gaz analizörünün özellikleri gösterilmektedir [14].

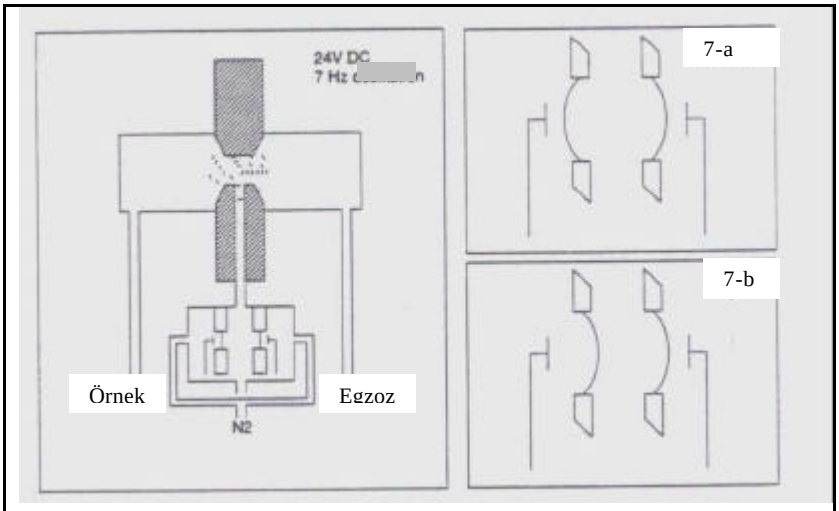
Tablo 10.4. Horiba GFA-720 Gaz Analizörünün Özellikleri [14]

	GFA-720
Ölçüm Araligi	5-2500 ppm
Tekrarlayabilme (Sifir)	< ± 1% FS
Tekrarlayabilme (Aralik)	< ± 1% RS
Isletme (Sifir)	< ± 1% FS/24 h
Isletme (Aralik)	< ± 2% FS/24 h
Gürültü	-
Dogrusallik	< ± 1% FS veya < ± 2% RS
Ölçüm Duraklamasi	< 15 ± 1 sn.
Akis Miktari	0.5 l/dak.
Güç gereksinimleri	24V, ± 15V DC, 5V DC
Boyutlari	76 (W) x 160 (H) x 400 (D) mm 3 (W)x 6.3 (H) x 15.8 (D) inç

10.5. MPA Analizörü

7000 MPA serisi analizörünün avantaji, O_2 ölçümü sirasindaki magnetik özellikleridir. Örnek gazdaki oksijen; nitrojen aksini geçtigi sirada alternatif bir magnetik alan olusur [14].

Iki detektör arasindaki basinç; örnek gazdaki O_2 'nin davranislarina bagli olarak degisir. Analizörde tek halka/çift detektör sistemine göre çalisir. Çift detektör sisteminin performansi, mekanik titresimden olusan önemli derecedeki gürültüyü azaltir. Analizörün hassasliginin artmasi; %1 oksijendir. Çift detektörün birlikte çalismasiyla; dogru sinyal (Sekil 10.7-a) ile titresim (Sekil 10.7-b) farkli hassaslik gösterir. Çift detektörden gelen sinyaller artar ve titresim otomatik olarak iptal olur. Tablo 10.5'te MPA-720 gaz analizörünün özellikleri gösterilmektedir [14].



Sekil 10.7. Horiba MPA Analizörünün Çalisma Prensibi [14]

Tablo 10.5. Horiba MPA-720 Gaz Analizörünün Özellikleri [14]

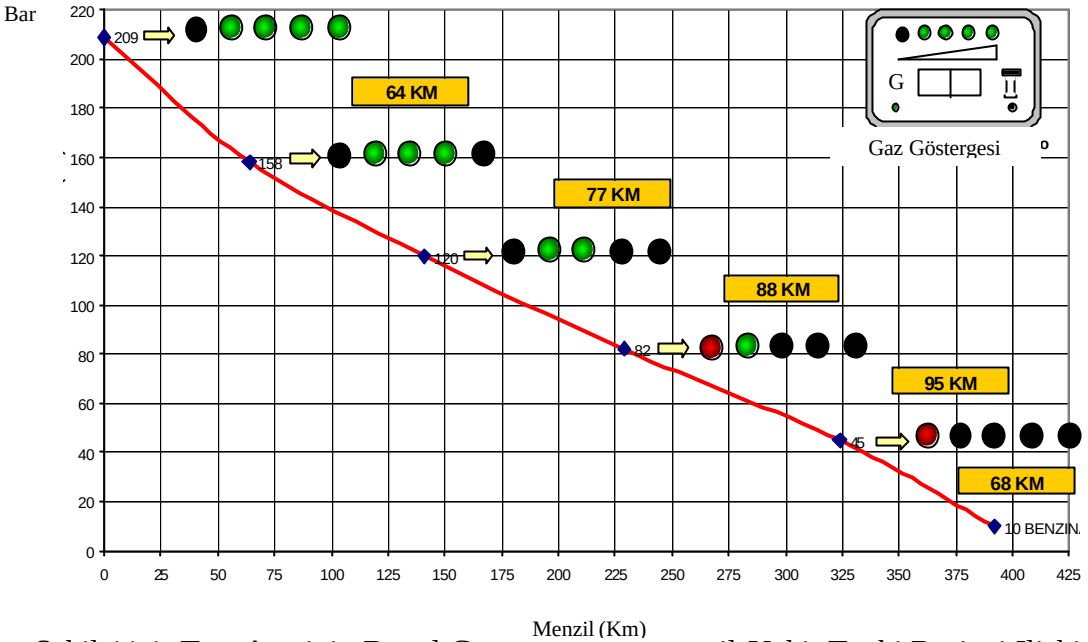
	MPA-720
Ölçüm Araligi	1-25 vol%
Tekrarlayabilme (Sifir)	< ± 1% FS
Tekrarlayabilme (Aralik)	< ± 1% RS
Isletme (Sifir)	< ± 1% FS/24 h
Isletme (Aralik)	< ± 2% FS/24 h
Gürültü	(< 5 vol%) < ±1.0 % FS (> 5 vol%) < ±0.5 % FS
Dogrusallik	< ± 1% FS veya < ± 2% RS
T90	(< 5 vol%) < 2.0 sn. (> 5 vol%) < 1.5 sn.
Akis Miktari	0.5 l/dak.
Güç gereksinimleri	24V, ± 15V DC, 5V DC
Boyutlari	76 (W) x 160 (H) x 400 (D) mm 3 (W)x 6.3 (H) x 15.8 (D) inç

5311. ÇIFT YAKITLI (BENZIN/CNG) TASITIN EGZOZ EMISYON TESTLERI

11.1. Test Aracinin Özellikleri

Motor Hacmi	: 1596,09 cc
Motor Silindir Sayisi	: 4
Motor Valf Sayisi	: 16
Silindir Iç Çapi	: 80,5 mm
Silindir Kurs Boyu	: 78,4 mm
Sikistirma Orani	: 10,50 ± 0,15
Atesleme Sirasi	: 1-3-4-2
Maksimum Güç (Benzin)	: 73,3 kW (99,7 HP) / 5500 d/dak.
Maksimum Tork (Benzin)	: 143 Nm (14,6 kgm) / 4000 d/dak.
Maksimum Güç (Dogal Gaz)	: 67,5 kW / 5500 d/dak.
Maksimum Tork (Dogal Gaz)	: 128,9 Nm (12,89 kgm) / 4000 d/dak.
Tank Hacmi (CNG)	: 126 litre - 200 bar basinçta 15 ^{0}C
Tasit Menzili (CNG)	: 350-400 km
Tank Hacmi (Benzin)	: 60 litre
Tasit Menzili (Benzin)	: 700 km
Yakit Besleme Sekli	: Sirali Çok Noktadan Yakit Püskürtme
Yakit Karisim Tipi	: Stokiyometrik Karisimda Çalisan Motor
Emisyon Seviyesi	: Euro 3

Hafif hizmet tasiti olan test aracinda OBD ve EGR bulunmamaktadir.

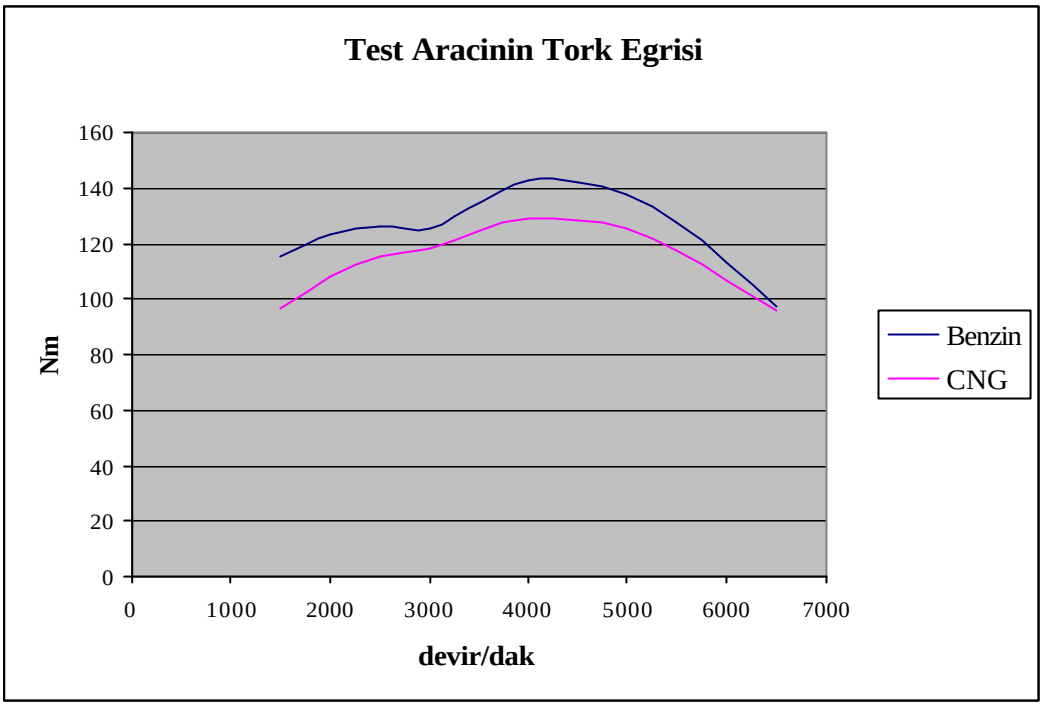


Sekil 11.1. Test Aracinin Dogal Gaz Açısından Menzil-Yakit Tanki Basinci Iliskisi

Tablo 11.1. Test Yakitinin (CNG) Özellikleri (%)

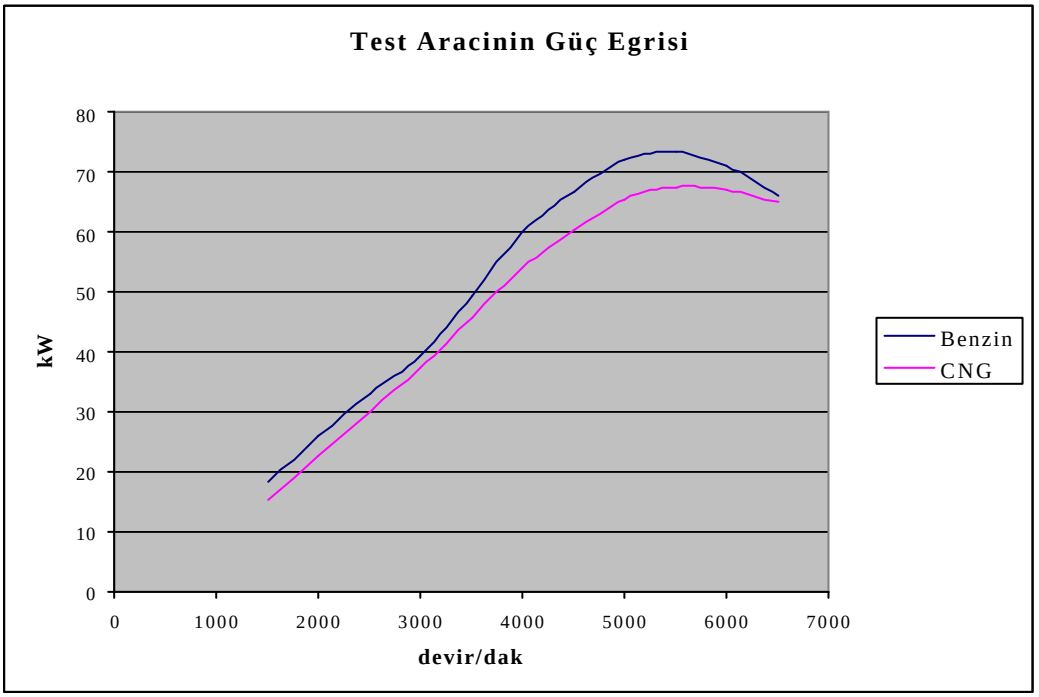
Tarih	Metan	Propan	Etan	I-Bütan	N-Bütan	Nitrojen	CO2	Alt Isil	Üst Isil
31.10.02	95,174	0,7541	3,039	0,111	0,144	0,721	0,031	8400,46	9322,59
01.11.02	95,032	0,7393	2,975	0,108	0,141	0,946	0,037	8373,42	9292,76
02.11.02	95,162	0,7608	3,002	0,111	0,145	0,775	0,028	8393,33	9314,71
03.11.02	95,752	0,6531	2,555	0,096	0,123	0,715	0,031	8345,08	9252,22
04.11.02	96,140	0,5782	2,172	0,086	0,109	0,865	0,031	8299,48	9212,37
05.11.02	96,461	0,5222	1,929	0,079	0,098	0,808	0,033	8281,54	9192,97
06.11.02	95,576	0,6829	2,683	0,101	0,131	0,777	0,031	8358,74	9277,06
07.11.02	94,909	0,7988	3,266	0,117	0,153	0,759	0,028	8415,88	9339,31
08.11.02	96,361	0,5508	2,089	0,084	0,109	0,757	0,033	8298,41	9212,49
09.11.02	96,273	0,5746	2,151	0,086	0,105	0,754	0,032	8305,66	9219,29
10.11.02	96,169	0,5826	2,262	0,087	0,111	0,738	0,031	8316,37	9231,03
11.11.02	98,443	0,5357	2,057	0,081	0,101	0,735	0,031	8305,66	9289,29
12.11.02	97,458	0,3513	1,264	0,055	0,084	0,755	0,033	8208,41	9113,83
13.11.02	96,392	0,5351	1,981	0,061	0,101	0,911	0,028	8275,41	9187,18
14.11.02	96,300	0,5663	2,112	0,085	0,106	0,779	0,031	8300,67	9213,83
15.11.02	95,941	0,6471	2,393	0,096	0,122	0,757	0,027	9335,33	9251,54
16.11.02	95,738	0,6512	2,456	0,099	0,125	0,875	0,025	8332,35	9248,07
17.11.02	95,255	0,7513	2,876	0,112	0,143	0,874	0,028	8381,19	9301,36

18.11.02	94,894	0,8333	3,181	0,123	0,157	0,773	0,024	8418,02	9342,37



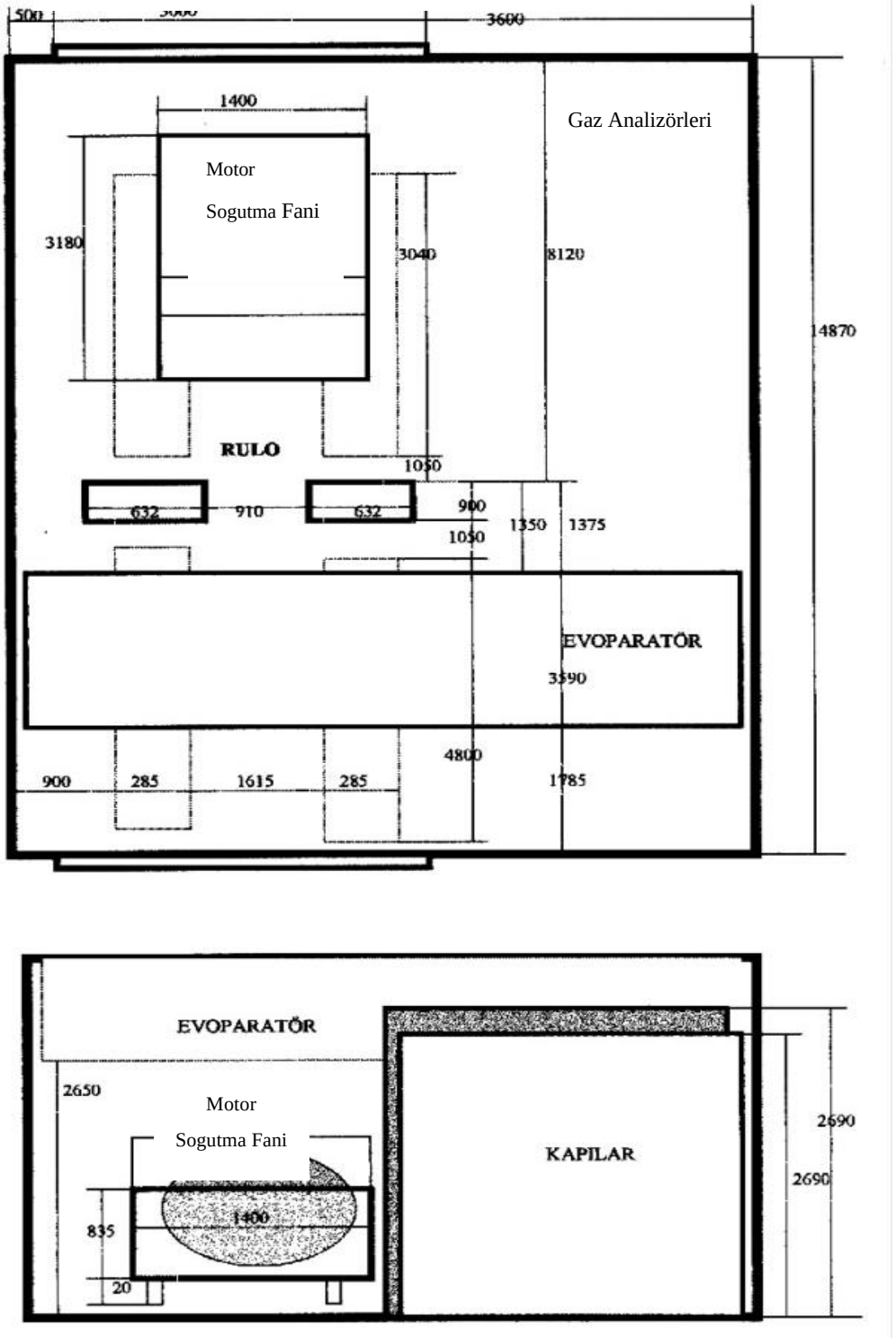
Sekil 11.2. Test Aracinin Çift Yakitli Çalismadaki Tork Egrileri

Test aracinin benzinli kisminda max. tork 143 Nm (4000 d/d), max. güç ise 73,3 kW (5500 d/d); dogal gazli kisimda çalismada max tork 128,9 Nm (4000 d/d), max. gücü ise 67,5 kW (5500 d/d) tir.



Sekil 11.3. Test Aracinin Çift Yakitta Çalismadaki Güç Egrileri

11.2. Test Ortaminin Incelenmesi



Sekil 11.4. Emisyon Laboratuari Test Odasi Ölçüleri

11.3. Testin Yapilisi ve Egzoz Emisyon Sonuçlari

Test araci, "blower" motor sogutma faninin önüne ve ön tekerlekleri, rulonun üzerine yerlestirerek; Avrupa yol çevrimi uygulanmistir. Testten önce katalitik dönüstürücü öncesi ve sonrasina açilan delikler sayesinde; saniye saniye elde ettigimiz bilgilerle katalizör verimi bulunmustur. Bunun yani sira egzoz borusundan elde edilen örnekler, örnek gaz torbalarinda toplanarak ve her bir gaz analizöründen geçirilerek egzoz emisyon sonuçlarini elde edilmistir. Ayrica ECU' da (Elektronik Kontrol Ünitesi) toplanan bilgileri, Hellios programi kullanarak çevrimdeki püskürtme süresi dagilimi, hava/yakit orani dagilimi ve atesleme avansi gibi bir takim motor çalisma kosullarinin verilerini elde edilmistir. Buradaki degisimlerin egzoz emisyonuna etkisini incelenmistir.

Tablo 11.2. Test Aracinin Ölçüm Sonuçlari

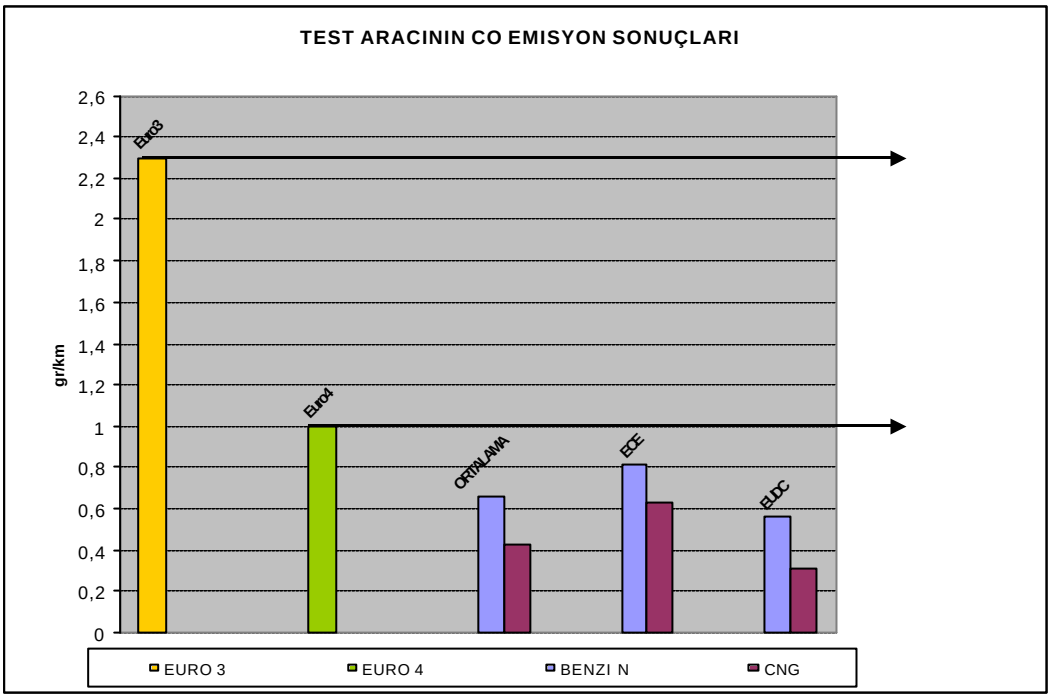
TEST ARACININ ÖLÇÜM SONUÇLARI							
		Emisyon Degerleri (g/km)				**Yakit Tüketimi**	
	Tarih	**CO**	**HC**	**NO_x**	**CO_2**	**L/100 Km(Benzin) m^3/100 Km (CNG)**	**Yakit**
	29.01.03	0,625	0,059	0,013	217,9	9,12	**Benzin**
	29.01.03	0,685	0,063	0,015	218,2	9,13	
Ortalama		0,655	0,061	0,014	218,1	9,13	
	30.01.03	0,411	0,078	0,067	164,7	9.23	**CNG**
	30.01.03	0,436	0,068	0,081	164,8	9,24	
Ortalama		0,424	0,073	0,074	164,8	9,24	
% Fark		-35,3	19,7	429	-24	1,2	
Limit Degerler		2,3	0,2	0,15	Test Agirligi: 1590 kg.		

Tablo 11.3. Test Aracinin Sehir Içi Ölçüm Sonuçlari

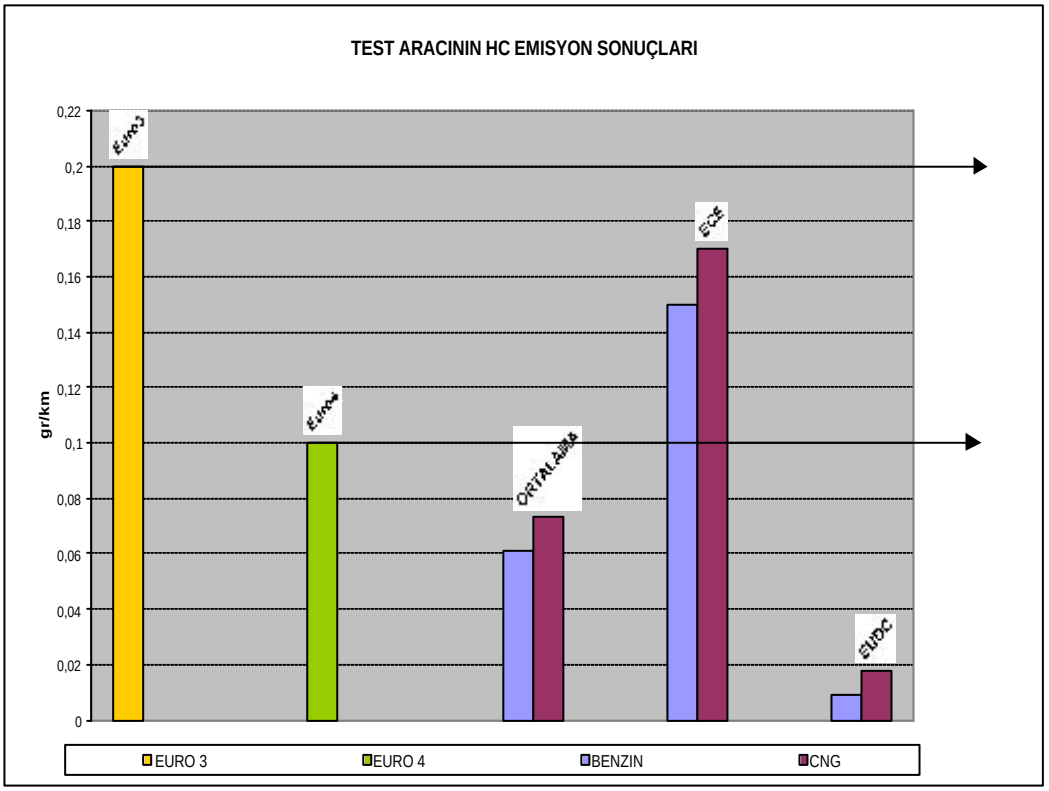
TEST ARACININ SEHIR IÇI ÖLÇÜM SONUÇLARI							
		Emisyon Degerleri (g/km)				Yakit Tüketimi	
	Tarih	CO	HC	NO_x	CO_2	L/100 Km(Benzin) m^3/100 Km (CNG)	Yakit
	29.01.03	0,756	0,145	0,028	282,3	11,82	Benzin
	29.01.03	0,877	0,154	0,031	283,3	11,87	
Ortalama		0,817	0,150	0,030	282,8	11,84	
	30.01.03	0,616	0,187	0,147	219,4	12,32	CNG
	30.01.03	0,645	0,152	0,180	215,4	12,09	
Ortalama		0,631	0,170	0,164	217,4	12,21	
% Fark		-22,8	13,4	454,2	-23,1	3,1	

Tablo 11.4. Test Aracinin Sehir Disi Ölçümleri

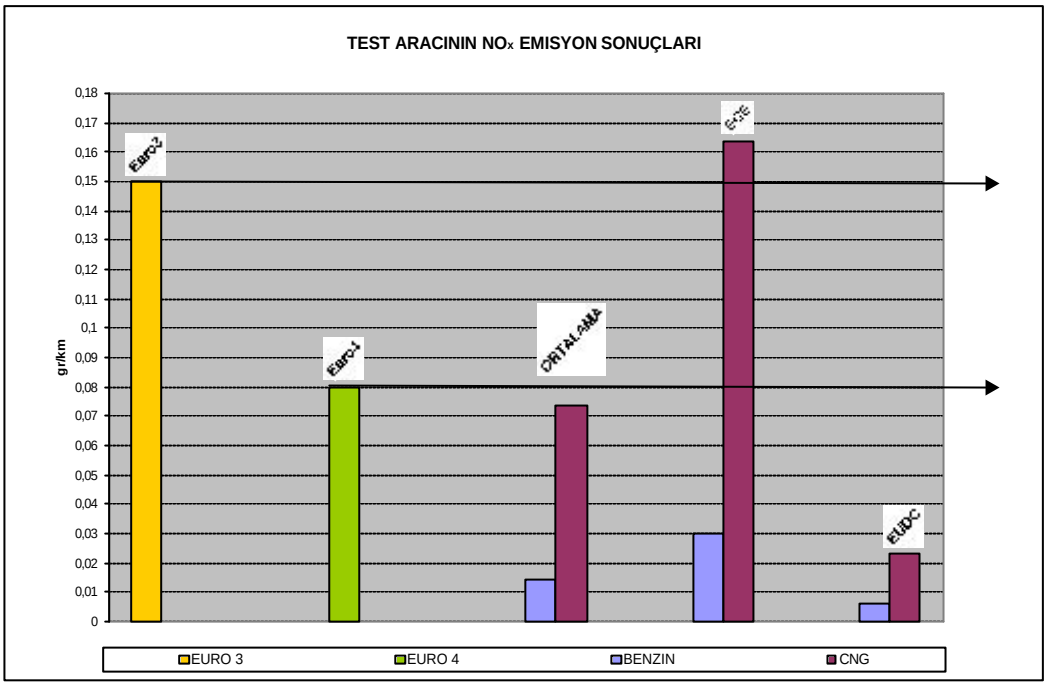
TEST ARACININ SEHIR DISI ÖLÇÜM SONUÇLARI							
		Emisyon Degerleri (g/km)				Yakit Tüketimi	
	Tarih	CO	HC	NO_x	CO_2	L/100 Km(Benzin) m^3/100 Km (CNG)	Yakit
	29.01.03	0,548	0,009	0,005	180,0	7,53	Benzin
	29.01.03	0,573	0,009	0,006	180,0	7,53	
Ortalama		0,561	0,009	0,006	180,0	7,53	
	30.01.03	0,298	0,018	0,022	134,4	7,53	CNG
	30.01.03	0,312	0,018	0,023	134,9	7,56	
Ortalama		0,305	0,018	0,023	134,7	7,54	
% Fark		-45,6	100	309	-25,2	0,2	



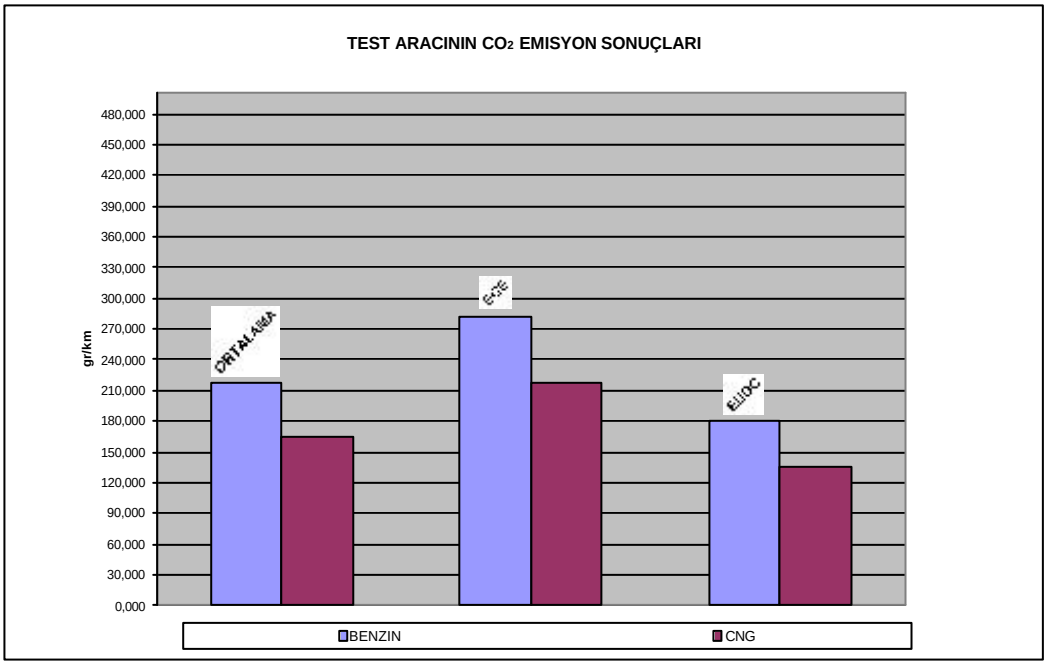
Sekil 11.5. Test Aracinin CO Emisyon Sonuçlari



Sekil 11.6. Test Aracinin HC Emisyon Sonuçlari



Sekil 11.7. Test Aracinin NO_X Emisyon Sonuçlari



Sekil 11.8. Test Aracinin CO_2 Emisyon Sonuçlari

Tablo 11.5. Çift Yakitli Test Aracinin Katalitik Dönüstürücü Verimi

Test 1					Km: 2100
	Gaz	**Faz**	**Katalitik Dönüstürücü Öncesi (g/km)**	**Katalitik Dönüstürücü Sonrasi (g/km)**	**Katalitik Dönüstürücü Verimi %**
B E N Z I N	THC	ECE	2,291	0,079	96,544
		EUDC	0,910	0,008	99,164
	CO	ECE	8,31	0,315	96,21
		EUDC	5,604	0,357	96,637
	NOx	ECE	1,983	0,022	98,883
		EUDC	3,494	0,005	99,866
C N G	THC	ECE	1,013	0,062	93,867
		EUDC	0,441	0,011	97,421
	CO	ECE	7,815	0,136	98,257
		EUDC	5,328	0,286	94,633
	NOx	ECE	0,948	0,131	86,118
		EUDC	2,136	0,018	99,154

Tablo 11.6. Çift Yakitli Test Aracinin Katalitik Dönüstürücü Verimi

	Test 2				Km: 2100
	Gaz	**Faz**	**Katalitik Dönüstürücü Öncesi (g/km)**	**Katalitik Dönüstürücü Sonrasi (g/km)**	**Katalitik Dönüstürücü Verimi %**
B	THC	ECE	2,045	0,079	96,150
E		EUDC	0,797	0,008	99,034
N	CO	ECE	7,753	0,392	94,942
Z		EUDC	4,967	0,423	91,477
I	NOx	ECE	1,770	0,025	98,597
N		EUDC	3,058	0,005	99,832
	THC	ECE	0,939	0,062	93,379
C		EUDC	0,428	0,011	97,320
N	CO	ECE	8,24	0,137	98,332
G		EUDC	5,512	0,294	94,664
	NOx	ECE	1,048	0,148	85,888
		EUDC	2,202	0,017	99,229

11.4. Test Tasiti Motor Çalisma Kosullarinin Egzoz Emisyonuna Etkileri

Test aracinin benzin ECU' sunda (Elektronik Kontrol Ünitesi) toplanan bilgileri Hellios programi kullanarak; çevrimdeki püskürtme süresi dagilimi, hava/yakit orani dagilimi ve atesleme avansi gibi bir takim motor çalisma kosullarinin verileri elde edilmistir. Buradaki degisimlerin egzoz emisyonuna olan etkisi incelenmistir.

Benzin motorlarinda ilk hareket, ivmelenme, maksimum güç vb. Bazi çalisma durumlari hariç hava/yakit oraninin stokiyometrik degerler civarinda tutulmasi, karisimin tüm yanma odasinda homojen olmasi, bütün silindirlere gönderilen yakit ve hava miktarinin esit olmasi ve çevrimden çevrime farkliliklar bulunmamasi amaçlanmaktadir.

CO emisyonunu azaltmak için hava/yakit oranini (?) mümkün oldugunca arttirmak lazimdir. Bu durumda CO'nun CO_2 ye dönüsümü için yeterli oksijen saglanmaktadir. HC emisyonu da artan hava/yakit orani (?) ile yeterli oksijen saglandigi için azalmaktadir. Fakat belli bir degerin üzerine çikildiginda, çok fakir karisimlarda alevin sönmesi söz konusu olacagindan; artan hava/yakit orani (?) ile HC emisyonu da tekrar artis göstermektedir [1].

Yanma odasinin soguk cidarlarinda olusan alev sönme bölgesi de karisim orani ile etkilenmektedir. Karisimin fakirlesmesi sonucu, yakit konsantrasyonu azalirken, alev sönme bölgesi kalinligi da hizla artmaktadir. Sonuç olarak, çok fakir karisim oranlarina dogru gidildikçe HC emisyonu artacak, ancak egzoz gazlari içerisindeki HC miktari, yanma odasindaki miktardan yüksek egzoz sicakliklarindaki oksidasyon nedeniyle biraz daha az olacaktir. Alev sönme bölgesinde cidara yakin kisimlarda oksidasyon isleminin çok az olmasi ve yanmanin gerçeklesmemesi nedeniyle CO üretimi de azalmaktadir. Cidardan iyice uzaklasildiginda da oksidasyon tamamlandigi için CO_2 olusmakta ve CO üretimi yine azalmaktadir. Alev sönme bölgesinde olusturmamaktadir. Ancak HC üretimi için ana kaynak bu bölgededir [1].

Hava/yakit oraninin (?) degisimi yanma sirasinda ulasilan sicakliklari etkilerken ayni zamanda yanma odasinda mevcut oksijen miktarini da belirlemektedir. NO_x 'lerin olusumu hem sicakligin, hem de mevcut oksijen miktarinin fonksiyonu oldugu için

hava/yakit oranindan (?) önemli ölçüde etkilenmektedir. Karisimin fakirlestirilmesi sonucunda yanma sicakligi düstügü için, karisimin zenginlesmesi sonucunda da oksijen konsantrasyonu azaldigi için NO_x emisyonu azalmaktadir. Ancak NO_x emisyonu, hava/yakit oranina (?) göre degisimi stokiyometrik karisimdan biraz daha fakir tarafta (?=1,1) bir tepe noktasina sahiptir [1].

Test aracinin benzinli kisim çalismasinda; hava/yakit oraninin zenginlestigi kisimlarda HC ve CO emisyonlari artmaktadir. Testimizin 95-140. saniyeleri arasinda HC ve CO emisyonlari artmaktadir (Sekil 11.10, Sekil 11.11 ve Sekil 11.15). Testin 930-970. saniyeleri arasi ?=1,1'e yaklasmaktadir. Burada da NO_x egzoz emisyonu çok fazla artmaktadir (Sekil 11.12 ve Sekil 11.15). Test aracimizin dogal gaz kismindaki çalismada; püskürtme kesildiginden benzin ECU'su hava/yakit oranini sürekli ?=1 algilamaktadir. Fakat CNG ECU'sü ile sonda lamda arasinda direkt bir iliski oldugundan hava/yakit orani degisim bilgileri direkt CNG ECU' süne iletilmektedir. Bu yüzden tasit testlerimizde dogal gazin hava/yakit orani degisimleri bulunmamaktadir.

Benzin motorlarinda atesleme avansinin degisimi sonucu motorun gücü, sogutma suyuna giden isi miktari ve egzoz gazlari sicakligi degismekte ve sonuç olarak motor performansi etkilenmektedir. Bu durum motorun HC, CO ve NO_x egzoz emisyonlarini da dogal olarak etkilemektedir.

Atesleme avansinin arttirilmasiyla; krank milinden alinan is artmakta, sogutma suyuna giden isi artmakta, egzoz gazlarina giden isi azalmakta ve yanma odasi sicakligi ile basinci artmaktadir. Bunun sonucu olarak alev sönme bölgesi küçülecektir. Ancak gene de egzoz sicakligi düstügü için, egzoz sürecindeki oksidasyon azalacagindan toplam HC emisyonun da artis görülecektir.

Atesleme avansinin CO emisyonu üzerindeki etkisi oldukça azdir. Ateslemenin çok geç yapilmasi durumunda yanmanin tamamlanmasi için yeterli zaman bulunamayacagindan, yanma bitmeden egzoz supabi açilacak ve daha oksidasyon islemi tamamlanmamis CO gazlari disari atilacaktir. Ancak atesleme avansi bir miktar önceye alindiginda hala çok sicak olan egzoz gazi sicakliklari etkisi ile CO okside olacak ve CO emisyonunda bir düsüs görülecektir.

Atesleme avansinin arttirilmasiyla NO_x emisyonun da bir artis görülmektedir. Fakat bu fakir karisimlarda daha fazla, zengin karisimlarda daha az olmaktadir.

Test aracimizin benzinli kisim çalismasinda; 173-180. saniyeleri arasinda atesleme avansi artmaktadir ve bu bölgedeki HC emisyon degerleri çok fazla artmaktadir. Test aracimizin 900-1100. saniyeleri arasinda atesleme avansi artmaktadir ve bu bölgedeki NO_x emisyon degerleri fazla artmaktadir (özellikle 930-970 saniyeleri arasinda daha fazla artmaktadir. Çünkü ayni zamanda ?=1,1'dir.).

Test aracimizin dogal gaz kisminda çalismasinda; 172-181. saniyeleri arasinda atesleme avansi artmaktadir ve bu bölgedeki HC emisyon degerleri çok fazla artmaktadir (Sekil 11.17 ve Sekil 11.20). Test aracimizin 795-837. ve 906-973 saniyeleri arasinda atesleme avansi artmaktadir ve bu bölgedeki NO_x emisyon degerleri çok fazla artmaktadir (Sekil 11.19 ve Sekil 11.20).

Emme manifoldu basincinin artmasiyla, dolgu debisi de artmaktadir. Bunun sonucu olarak hem HC, hem de CO debisinde bir artis görülmektedir. Atesleme avansi degistirilmeden emme manifoldu basincinin arttirilmasi durumunda, yanma geç tamamlanacaktir. Bu durumda yanmanin son kisimlari genisleme zamaninda gerçeklesecegi için sicakliklar düsecek ve NO_x egzoz emisyonu azalacaktir. Ancak genelde atesleme avansi da degistirildiginden NO_x egzoz emisyonu da basincin artisi ile artmaktadir [1].

Test aracimizin dogal gaz kisminda çalismasinda; 695-724. ve 837-896. saniyeleri arasinda emme manifoldu basinci artmaktadir ve bu bölgedeki NO_x egzoz emisyon degerleri artmaktadir. Ayni sekilde 896-1062. saniyeleri arasinda emme manifoldu basinci azalmaktadir ve bu bölgedeki NO_x egzoz emisyon degerleri azalmaktadir (Sekil 11.19 ve Sekil 11.21). 733-749. Saniyeleri arasinda emme manifoldu basinci azalmaktadir ve bu bölgede de CO egzoz emisyonlari düsmektedir (Sekil 11.18 ve Sekil 11.21).

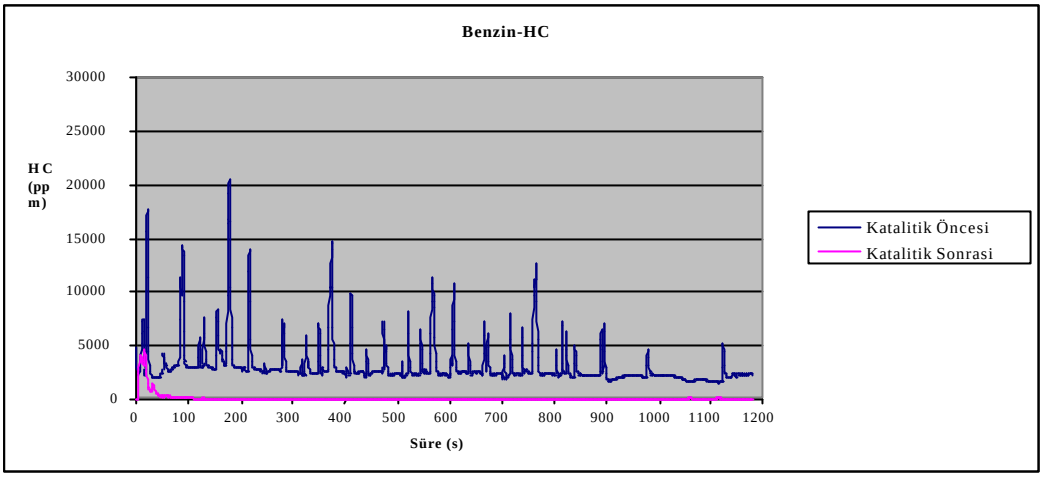
Püskürtme süresi ve tasit hizi arttiginda; motordan elde edilen güç artmaktadir. Bunun için karisim zenginlesmektedir. Fakat yanmanin kalitesi (yakit damlacik çaplari büyümektedir) de düsmektedir. Ayrica motor tam güçle çalistigindan sicaklik da artmaktadir. Bu nedenle NO_x ,CO ve HC egzoz emisyon degerleri yükselmektedir.

Test aracimizin benzinli kisimda çalismasinda; 256-288. ile 350-386. saniyelerinde püskürtme süresi ve tasit hizi azalmaktadir. Bu bölgelerde NO_x , CO ile HC egzoz emisyon degerleri azalmaktadir. 95-140. , 762-836. saniyeler arasinda ise püskürtme süresi ve tasit hizi artmaktadir. Bu bölge de ise; NO_x ,CO ve HC egzoz emisyon degerleri artmaktadir (Sekil 11.10, 11.11, 11.12,11.13 ve 11.16).

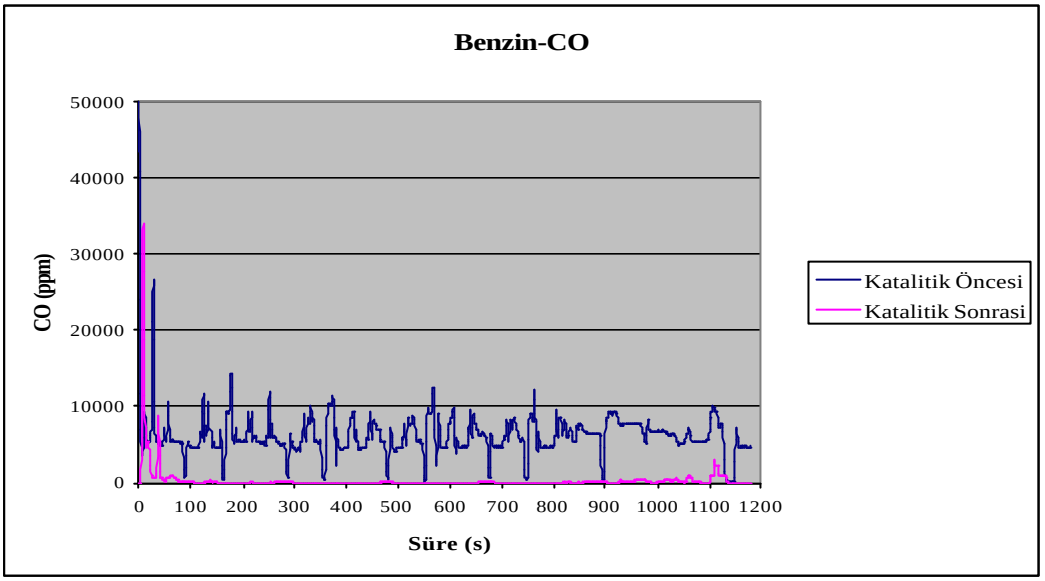
Test aracimizin benzinli kisminda; 800-860. saniyeleri arasinda tasit hizi 0 km/saat den 70 km/saat e çikmistir. Bu aralikta hava/yakit orani daha zenginlesmekte, püskürtme süresi ve atesleme avansi da artmaktadir. Bu periyotta tasitin ; NO_x (çok fazla artmaktadir), CO ve HC egzoz emisyon degerleri artmaktadir. Ayni periyotta dogal gazli çalismada ise; emme manifold basinci artmaktadir. Bunun sonucunda NO_x (çok fazla artmaktadir), HC egzoz emisyon degerleri artmaktadir. Fakat CO'daki artis çok düsüktür.

Test aracimizin benzinli kisminda; 1130-1180. saniyeleri arasinda tasit hizi 120 km/saat ten 0 km/saat e düsmektedir. Bu periyotta hava/yakit karisimi zenginden stokiyometrik karisima dogru sürmektedir. Püskürtme süresi ile atesleme avansi azalmaktadir. Bu periyotta tasitin; NO_x (çok fazla azalmaktadir), CO ve HC egzoz emisyon degerleri azalmaktadir. Ayni periyotta dogal gazli çalismada ise; emme manifold basinci önce azalmakta (1155. saniyeye kadar) sonra artmaktadir. Atesleme avansi da bir hayli azalmaktadir. Bunun sonucunda NO_x (çok fazla azalmaktadir), HC egzoz emisyonu da azalmaktadir.

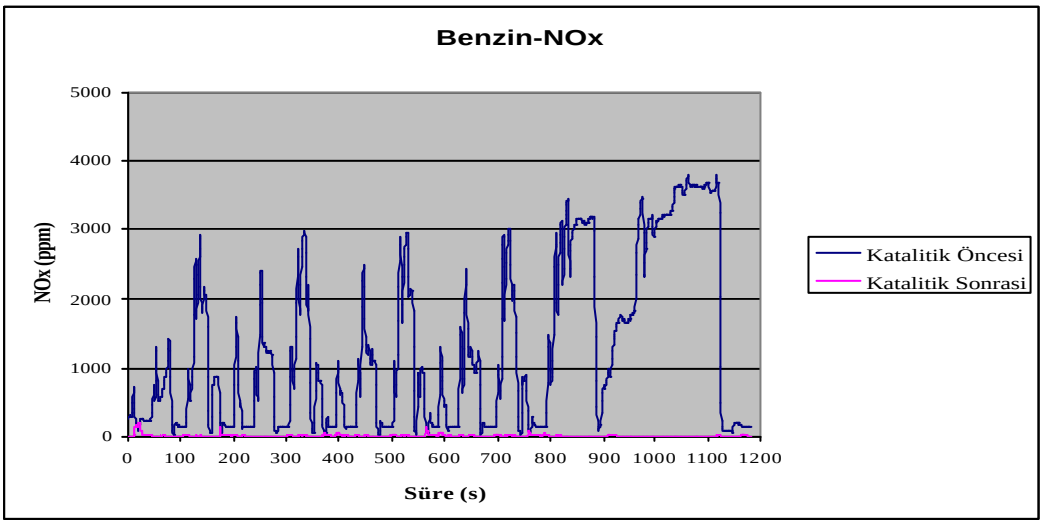
Test aracimizin benzinli kisminda; 860-890. saniyeleri arasinda tasit hizi 70 km/saattir. Bu periyotta hava/yakit karisimi, stokiyometriktir. Püskürtme süresi (5100 milisaniye) ve atesleme avansi (30 ^{0}KMA) sabittir. Bu degerler sonucunda aracin hiçbir egzoz emisyonunda bir degisme görülmemektedir. Test aracimizin dogal gaz kisminda ise; ayni periyotta atesleme avansi pek degismemektedir (29-26 ^{0}KMA), emme manilfold basinci ise 860-880 saniyelerde sbt sonra bir miktar artmistir. Tasit hizinin sabit oldugu bu periyotta HC ve CO emisyonlari da sabittir. NO_x egzoz emisyonu ise 860-880 saniyeleri arasinda sabit; sonrasinda artmaktadir.



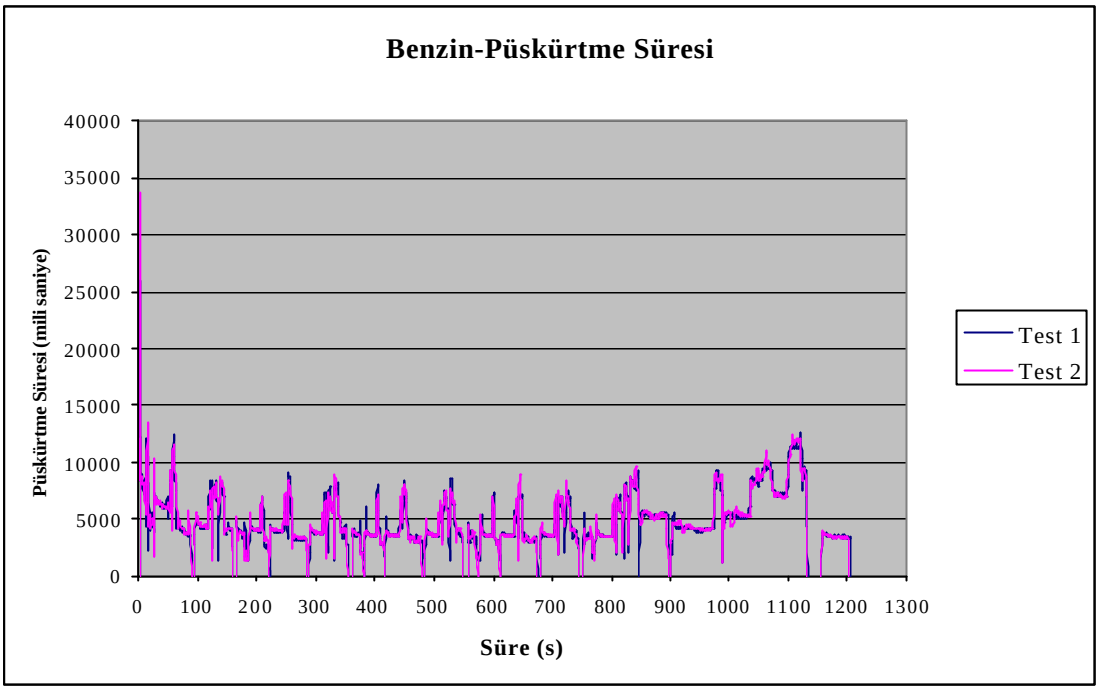
Sekil 11.9. Test Aracinin Benzinli Kisminin HC Emisyon Dagilimi



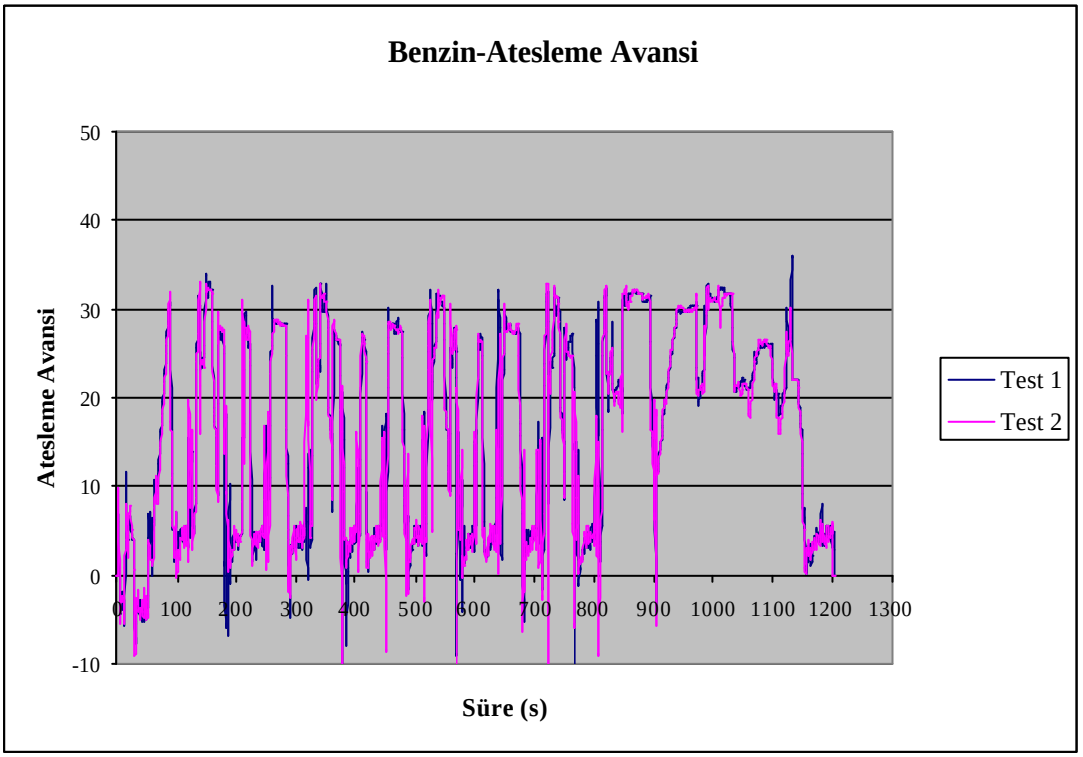
Sekil 11.10. Test Aracinin Benzinli Kisminin CO Emisyon Dagilimi



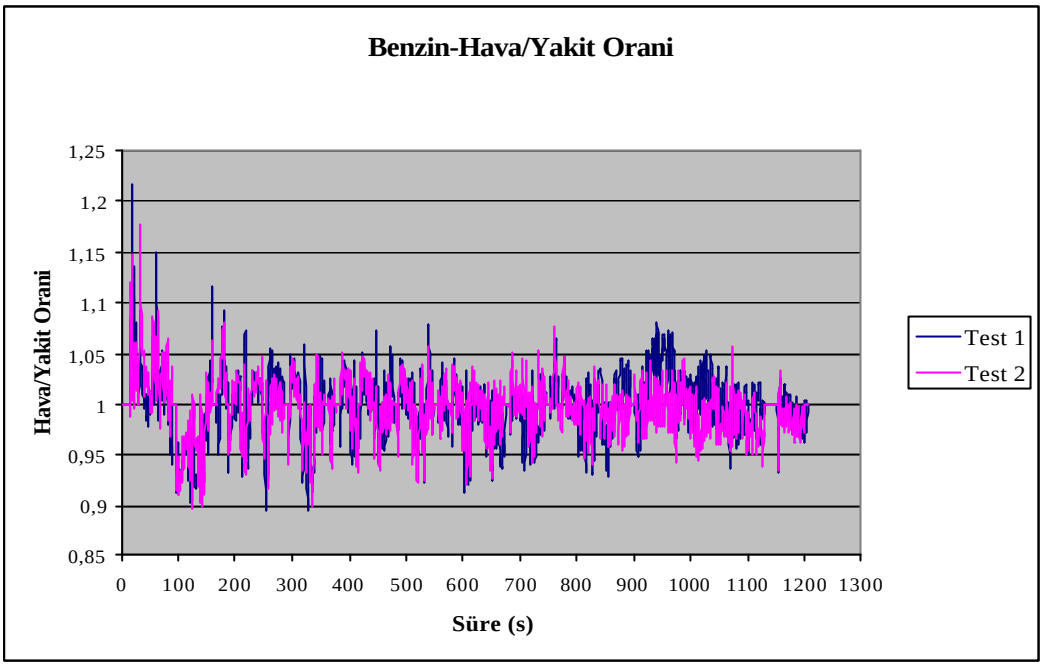
Sekil 11.11. Test Aracinin Benzinli Kisminin NO_x Emisyon Dagilimi



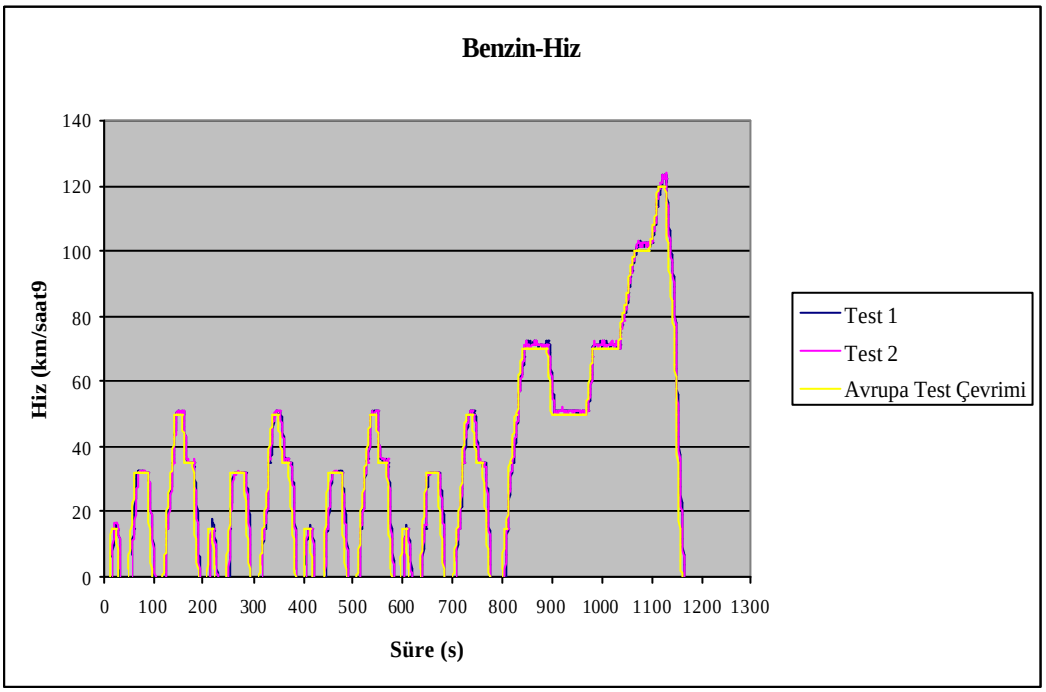
Sekil 11.12. Test Aracinin Çevrim Boyunca Benzin-Püskürtme Sürelerinin Dagilimi



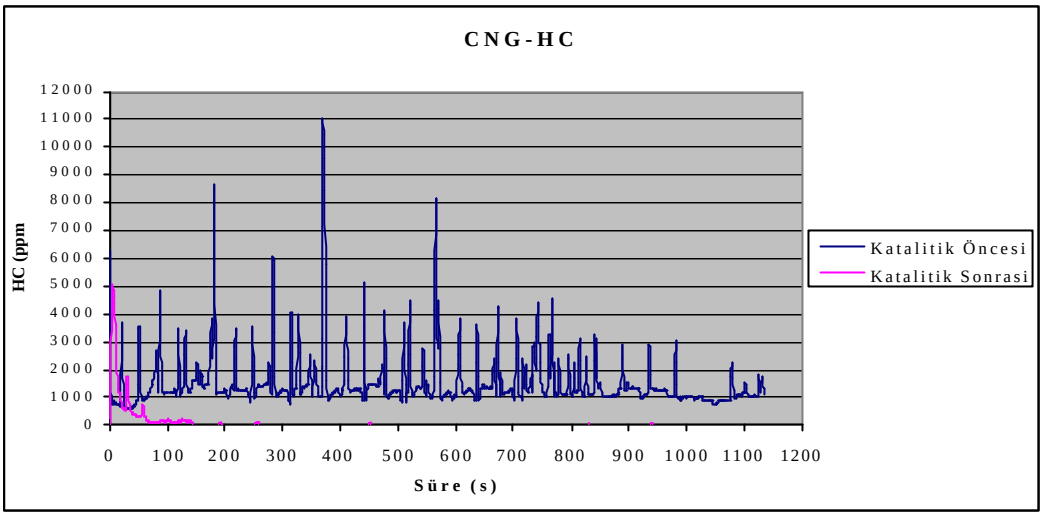
Sekil 11.13. Test Aracinin Çevrim Boyunca Benzin-Atesleme Avansinin Dagilimi



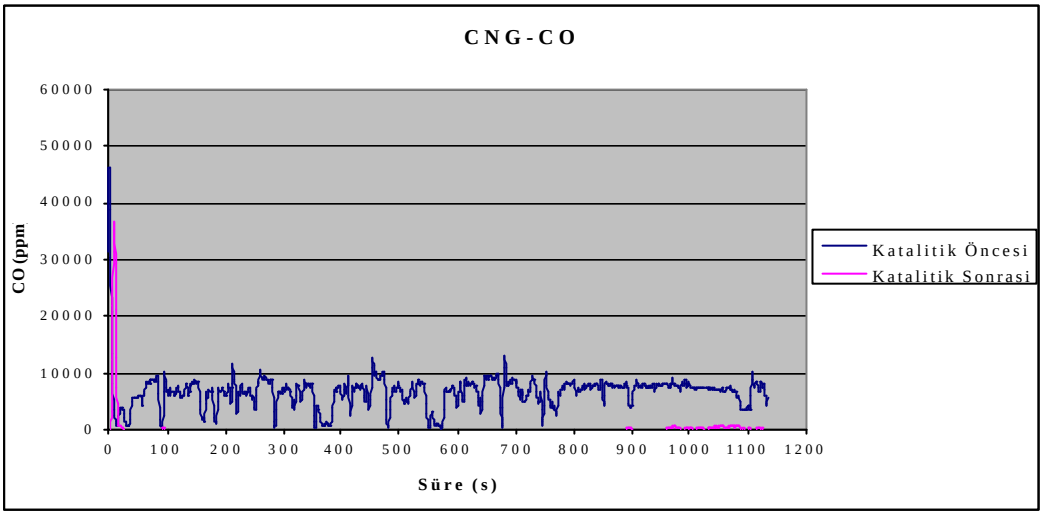
Sekil 11.14. Test Aracinin Çevrim Boyunca Benzinli Kismindaki Hava/Yakit Oraninin Dagilimi



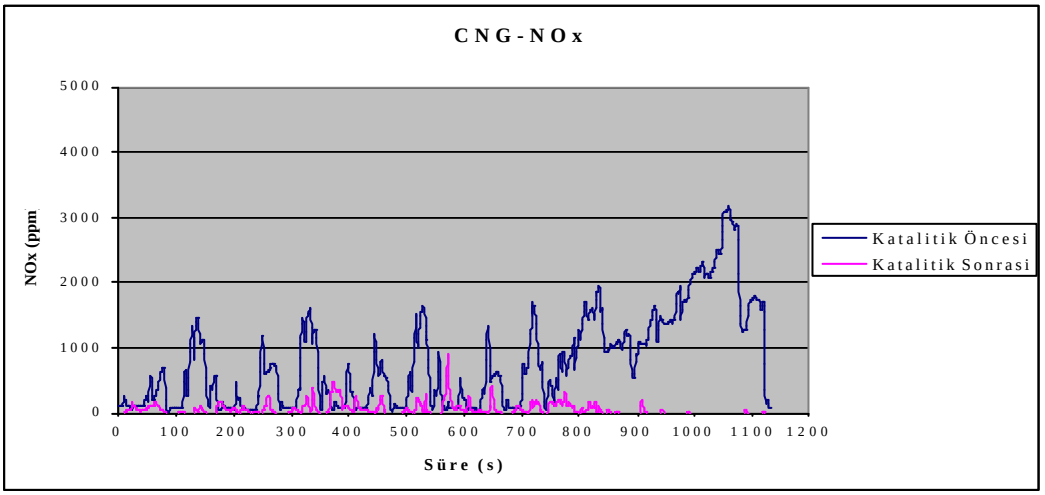
Sekil 11.15. Test Aracinin Çevrim Boyunca Benzinli Kismindaki Tasit Hiz Dagilimi



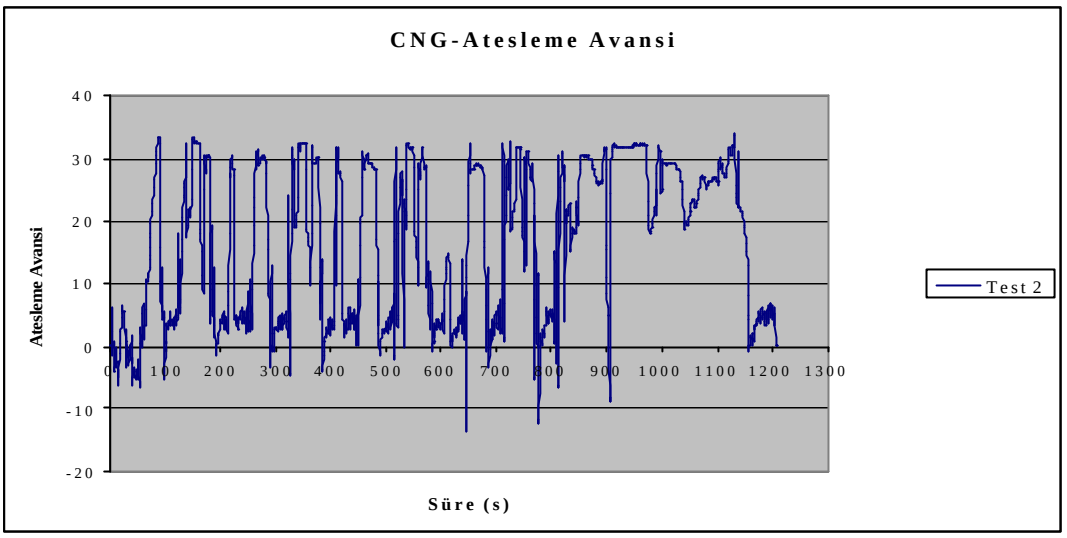
Sekil 11.16. Test Aracinin Dogal Gaz Kisminin HC Emisyon Dagilimi



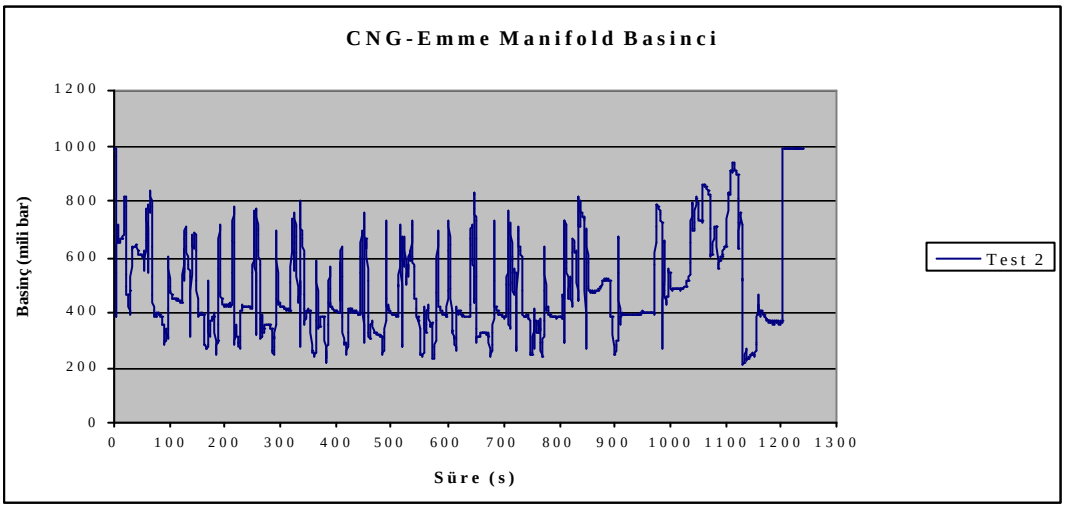
Sekil 11.17. Test Aracinin Dogal Gaz Kisminin CO Emisyon Dagilimi



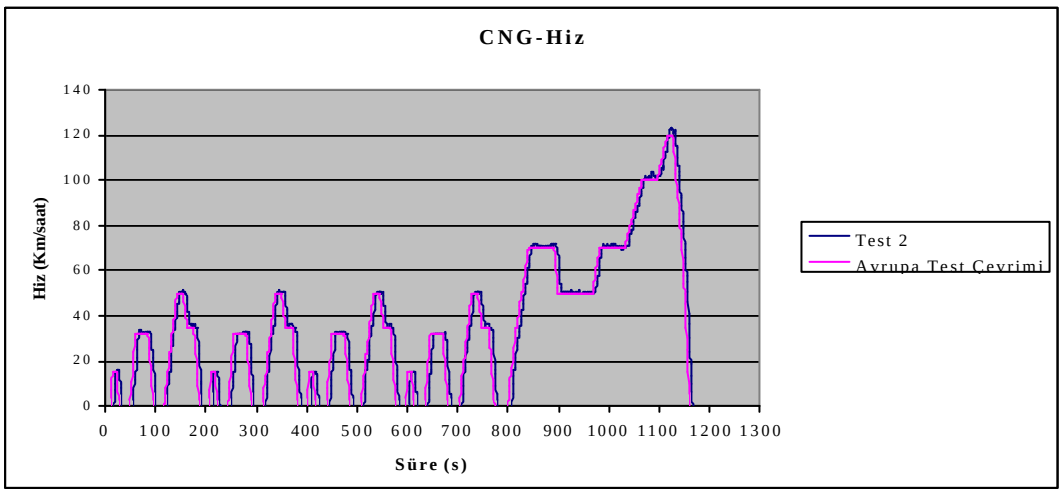
Sekil 11.18. Test Aracinin Dogal Gaz Kisminin NO_x Emisyon Dagilimi



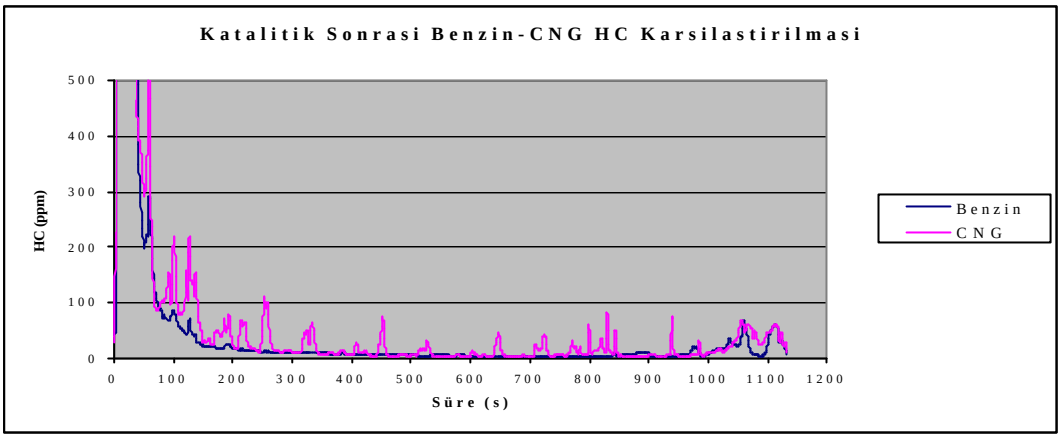
Sekil 11.19. Test Aracinin Çevrim Boyunca CNG-Atesleme Avansinin Dagilimi



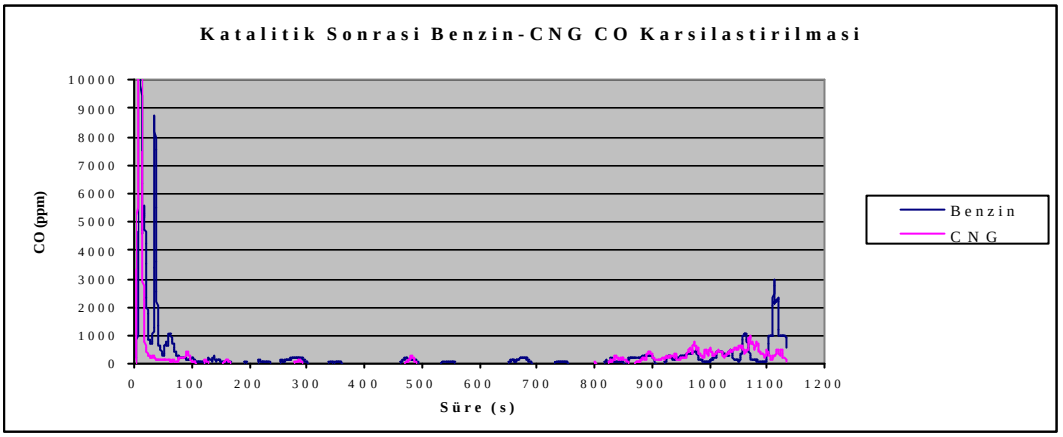
Sekil 11.20. Test Aracinin Çevrim Boyunca CNG-Emme Manifold Basinç Dagilimi



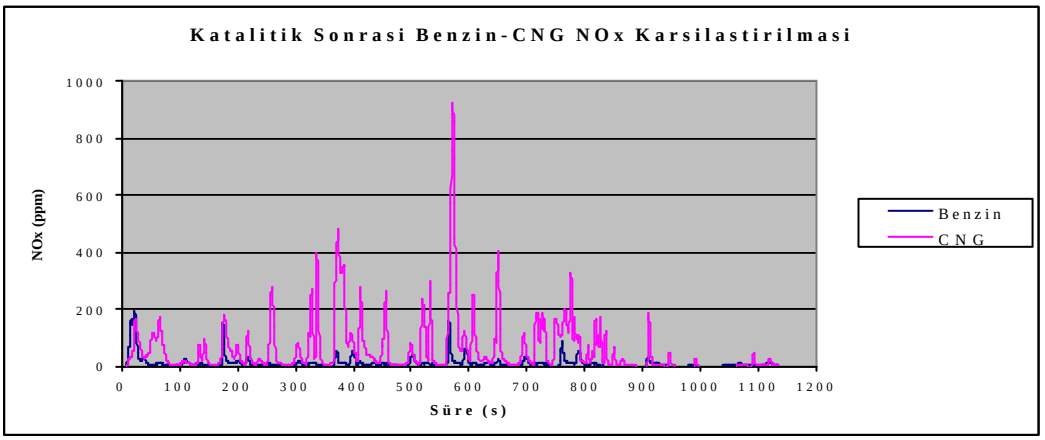
Sekil 11.21. Test Aracinin Çevrim Boyunca CNG Kismindaki Tasit Hizi Dagilimi



Sekil 11.22. Test Aracinin Çevrim Boyunca Katalitik Dönüstürücü Sonrasi Çift Yakitta (Benzin-CNG) HC Emisyonlarinin Karsilastirilmasi



Sekil 11.23. Test Aracinin Çevrim Boyunca Katalitik Dönüstürücü Sonrasi Çift Yakitta (Benzin-CNG) CO Emisyonlarinin Karsilastirilmasi



Sekil 11.24. Test Aracinin Çevrim Boyunca Katalitik Dönüstürücü Sonrasi Çift Yakitta (Benzin-CNG) NO_x Emisyonlarinin Karsilastirilmasi

12. SONUÇLAR VE ÖNERILER

Stokiyometrik karisimda çift yakitla çalisan (Dogal gaz/Benzin) test aracinin motorunun temeli benzinli bir motordur. Test aracinin benzinli versiyonundan çift yakitli hale getirilirken; aracin katalitik dönüstürücüsündeki soy metal miktarlari ve çesitleri arttirilmistir (Benzinli versiyonunda katalitik dönüstürücüde toplam soy gaz miktari 1,766 g/dm^3 tür. Bunun 1,471 g/dm^3 ü paladyum, 0,294 g/dm^3 rodyumdur. Çift yakitli (Dogal gaz/Benzin) versiyonunda ise toplam soy metal miktari 10,594 g/dm^3 tür. Bunun dagilimi ise, 0,342 g/dm^3 platin, 9,569 g/dm^3 paladyum ve 0,684 g/dm^3 rodyumdur), egzoz emisyon kalibrasyonu degistirilmis ve egzoz valfinin malzemesi ile bagalarinin malzemeleri vuruntuya daha dayanikli hale gelecek sekilde degistirilmistir.

Tablo 12.1. Test Aracinin Ölçüm Sonuçlari

TEST ARACININ ÖLÇÜM SONUÇLARI							
		Emisyon Degerleri (g/km)				**Yakit Tüketimi**	
	Tarih	**CO**	**HC**	**NO_x**	**CO_2**	**L/100 Km**	**Yakit**
	29.01.03	0,625	0,059	0,013	217,9	9,12	**Benzin**
	29.01.03	0,685	0,063	0,015	218,2	9,13	
Ortalama		0,655	0,061	0,014	218,1	9,13	
	30.01.03	0,411	0,078	0,067	164,7	9.23	**CNG**
	30.01.03	0,436	0,068	0,081	164,8	9,24	
Ortalama		0,424	0,073	0,074	164,8	9,24	
% Fark		-35,3	19,7	429	-24	1,2	
Limit Degerler		2,3	0,2	0,15	Test Agirligi: 1590 kg.		

Tablo 12.1'de Euro3 motorunun ölçüm sonuçlari görülmektedir. Ölçüm sonuçlarini degerlendirilirse; tüm egzoz emisyonlari Euro3 limitlerini saglamaktadir. Hedeflenen Euro3 limitlerinin yani sira tüm egzoz emisyonlari Euro4 limitlerini de saglamaktadir. "Bi-Fuel" (Çift yakitli) test aracimizin dogal gazli kismi ile benzinli kisminin çalismasini karsilastirirsak; dogal gaz kisminda benzine göre CO (%35,3) ve CO_2 (%24,4) egzoz emisyon degerleri daha düsüktür. Fakat NO_x (%429) ve THC (Toplam hidrokarbon) (%19,7) egzoz emisyonlari daha yüksektir (Tablo 12.1).

Testte dogal kisimda çalismada CO egzoz emisyonun düsük, NO_x egzoz emisyonun yüksek olmasi (benzinli çalismaya göre) aralarindaki ters iliskiyi dogrulamaktadir. Genelde tüm gaz motorlarinda stokiyometrik çalismada NO_x egzoz emisyonun yüksek çikmaktadir.

NO_x egzoz emisyonundan baska çift yakitli test aracimizin dogal gaz kisminda elde edilen THC (toplam hidrokarbon) egzoz emisyonu da benzinli kismindan daha fazla oldugu görülmektedir (Tablo 12.1). Ancak bunun büyük bir kismi metan kaynakli hidrokarbonlardir. Bu egzoz emisyonu hiçbir zaman aktif olmamakta ve ozon formasyonuna da etkisi bulunmamaktadir. Bu nedenle metan kaynakli olmayan hidrokarbon miktari, benzinli kisimda elde edilen hidrokarbon degerinden daha düsüktür.

Dogal gazli tasitlarin CO_2 egzoz emisyon miktari, benzinli tasitlara göre %20 civarinda daha düsüktür. Bunun sebebi dogal gaz içeriginde benzine göre daha az miktarda karbon (C) atomunun bulunmasidir. Test aracimizda elde ettigimiz CO_2 egzoz emisyon degerlerine göre bu fark %24,4'tür (Tablo 12.1). Bu yüzden dogal gaz "greenhouse-sera" gazdir ve her geçen gün kirlenen günümüz dünyasinda önemli bir yere sahip olmalidir. Metanin sehirsel alanlardaki ozon formasyonunda önemli bir rol oynamaktadir.

Dogal gaz içerigindeki kükürt miktari, benzin ve motorine göre daha az oldugundan SO_2 ve sülfürik asit orani daha düsüktür. Çünkü dogal gazin CO egzoz emisyonun düsük olmasi; SO_2 egzoz emisyonunu etkilemektedir. SO_2 egzoz emisyonu için hidrojen peroksit gerekmektedir ve CO egzoz emisyonu, atmosferdeki hidrojen peroksit üretilmesinde önemli bir rol oynamaktadir.

Test aracinda yakit tüketimi benzinli çalismada 9,13 litre/100 km, dogal gazli çalismada 9,24 m^3/100 km dir. Dogal gazin m^3 fiyati, benzinin litre fiyatindan çok daha düsük oldugundan çok daha ekonomiktir.

Literatüre göre dogal gazli ve benzinli tasitlar arasindaki çikis gücü ve torku arasindaki fark yaklasik %10'dur. Test aracimizin benzinli kisminda (Çikis Gücü = 73,3 kW ve Torku = 143 Nm.), dogal gaz kisminda ise (Çikis Gücü = 67,6 kW ve Torku = 128,9 Nm.) dir. Test sonuçlarindan da anlasildigi gibi aralarindaki fark yaklasik %10'dur ve literatüre uygundur.

Test aracinin temeli benzinli oldugundan çift yakita dönüstürülürken; üzerinde çok fazla bir degisiklik yapilmamistir. Buna ragmen Euro4 limitlerini karsilamasi önemli bir gelismedir. Test aracinin dogal gaz kisminda çalismasi sirasindaki egzoz emisyonlarini, yakit tüketimini ve performansini gelistirmek için bir takim önlemler alinabilir:

1. Test tasitinin sikistirma orani yükseltilmelidir (Dogal gaz, benzine göre daha yüksek sikistirma oranlarinda daha verimli çalismaktadir. Fakat test aracinin sikistirma orani yükseltilmemistir.).

2. Valf zamanlamasi ile ateslemesi iyilestirilmelidir.

3. Dogal gaza özel daha gelismis bir katalitik dönüstürücü kullanilmalidir. Bunun için stokiyometrik çalismada NO_x egzoz emisyonuna etki eden SCR (Seçici Katalitik Dönüstürücü) kullanilabilir.

4. Katalitik dönüstürücüdeki egzoz emisyonlarini düsürücü soy metal oranini yükseltmelidir (Kullanilan soy metallerden platin ve paladyum CO ve HC egzoz emisyonlarini düsürmek; Rodyum ise NO_x egzoz emisyonunu düsürmek için kullanilmaktadir. Test aracinda ise NO_x egzoz emisyonu daha yüksek çiktigindan rodyum miktarinin yükseltilmesi lazimdir.).

5. Yüksek NO_x egzoz emisyonu için EGR (Egzoz Gazlari Resirkülasyonu) kullanilabilir. (Test aracimizin temeli olan benzinli versiyonunda EGR kullanilmadigindan; test aracimizda da EGR bulunmamaktadir).

6. Direkt püskürtme teknolojisine geçilebilir (Test aracimizda su anda çok noktadan püskürtme yapilmaktadir. Direkt püskürtme teknolojisi, en yeni püskürtme teknolojisi olup; yakitin daha homojen yanmasini saglamaktadir.).

7. Dogal gaz püskürtmesine özel enjektör gelistirilip, kullanilabilir.

8. Test aracinin dogal gaz yakit tankinin malzemesi degistirilebilir. (Test aracimizin dogal gaz yakit tankinin malzemesi çeliktendir. Bunun metal/kompozit ya da tamamen kompozit malzemeli tank haline getirilirse; kütle/hacim orani düser. Bu da tasit agirliginin azalmasi demektir. Dolaysiyla bu degisiklik tasit performansina ve yakit tüketimine olumlu yönde etkilemektedir).

9. Test aracinin bagaj hacminin genislemesi için; bagaj kisminda bulunan dogal gaz yakit tanki aracin alt kismina yerlestirilebilir.

Dogal gazli tasitlarin gelisiminde bir takim sorunlar da bulunmaktadir.

1. Avrupa'da alternatif yakitli tasitlarda 2005 yilina kadar OBD nin zorunlu hale getirilmesi.

2. Metana özgü hidrokarbon egzoz emisyon limitlerinin regulasyonlarda yer almamasi. Metan kaynakli hidrokarbonlarin atmosfere olumsuz bir etkisi olmamasina ragmen; metan olmayan hidrokarbonlarin egzoz emisyonlariyla toplanarak toplam hidrokarbon egzoz emisyon degeri ölçülmektedir. Bunun için direkt metan kaynakli hidrokarbonlarin miktarini ölçebilen tekniklerin gelistirilmesi lazimdir.

3. Türkiye'de tasitlar için kullanilan dogal gazdan çok yüksek vergi alinmasi. Konutlarda kullanilan dogal gazin m^3 yaklasik 330.000 TL (KDV Hariç) iken, tasitlarda kullanilan dogal gazin m^3 ü 1.100.000 TL civarindadir. Bu da tüketiciye yeni kullanilacagi bir yakit için yüksek bir miktardir ve yayilmasini önleyici bir unsurdur.

Test aracinin egzoz emisyonlarini, yakit tüketimini ve performansini gelistirici bu önlemlerin alinmasi ile tasit maliyeti artacaktir. Dolaysiyla bu artis tüketiciye yansiyacaktir. Fakat egzoz emisyonunda Euro4 limitlerini saglayan, yakit tüketimi ve tasit performansi açisindan da literatür bilgilerini dogrulayan test aracinda simdilik

böyle bir maliyet artisina gerek yoktur. Bu test sonuçlariyla dogal gazli tasitlarin gelisen motor teknolojisiyle; sahip olduklari egzoz emisyon degerleri ve yakit tüketimi ile mevcut benzinli tasit teknolojisine en iyi alternatif oldugunu göstermektedir. Düsük emisyon degerleri ve yakit tüketimi ile dogal gazli tasitlar 21. yüz yil ulasim sektöründe önemli bir yer saglayacaktir.

KAYNAKLAR

[1] **Sorusbay C.,** 1999. Içten Yanmali Motorlarda Egzoz Gazlari Emisyonu Ders Notu, I.T.Ü. Makina Fakültesi Otomotiv Anabilim Dali, Istanbul

[2] **Silver R.G. and Summers J.C.,** 1995. Catalysts for Natural Gas Emission Control Applications, Catalysis and Automotive Pollution Control III, Oklohoma.

[3] **Stadart A., Aitchison, I.and Lapetz J.,** 2001. Emissions Performance of Bi-fuel CNG and Bi-fuel LPG Passenger Cars Using Sequential Multi-point Injection Systems, SAE Paper No: 2001-01-1195, Detroit, Michigan, USA, March 5-8.

[4] **Walkowicz K., Stephens D. and Stork K.,** 2001. The DOE/NREL Next Generation Natural Gas Vehicle Program - An Overview, SAE Paper No: 2001-01-2068, Washington, May 14-16.

[5] **Weaver S. C.,** 1989. Natural Gas Vehisles - A Review of the State of the Art, SAE Paper No: 892133, Sacremento.

[6] **Wozniak J.J., Wienhold P. and Hildebrand R.,** 2000. Advanced Natural Gas Vehicle Development - The 7th International Conference and Exhibition on Natural Gas Vehicles, Yokohama.

[7] **Oguchi M. And Maita S.,** 2000. Development of a High-Efficiency Natural Gas Engine - The 7th International Conference and Exhibition on Natural Gas Vehicles, Yokohama.

[8] **Durell E., Allen J., Law D. And Health J.,** 2000. Installation and Development of a Direct Ignition System for a Bi-Fuel Gasoline and Compressed Natural Gas Engine - The 7th International Conference and Exhibition on Natural Gas Vehicles, Yokohama.

[9] **Heitzer M., Langen P. and Kramer F.,** 2000. Achieving a Low Emissions and High Engine with Natural Gas - The 7th International Conference and Exhibition on Natural Gas Vehicles, Yokohama.

[10] **Kemena R. T.,** 2000. Natural Gas Vehicles in California: Programs, Policies and Emission Standards - The 7th International Conference and Exhibition on Natural Gas Vehicles, Yokohama.

[11] **Suga T. And Bienenfeld R.,** 2000. Potential of a Low-Emission Natural Gas Vehicle for the 21st Century - The 7th International Conference and Exhibition on Natural Gas Vehicles, Yokohama.

[12] **Ferrera M. Miletto G. and Volpi E,** 2002.Ultra low emission & fuel efficient CNG vehicles, The Global Alternative Fuels Forum 2002, Stuttgart.

[13] **Gazzelino R., Rinalfi R. and Volpi E.,** 2000. Global Technical Strategy for the development of CNG Vehicles Environmental Potential, Torino.

[14] 1997. Training Manual VETS 7000 Vehicle Emissions Test System

[15] **Nylund N.O. and Lawson A.,** 2000. Exhaust Emissions From Natural Gas Vehicles, IANGV (International Association for Natural Gas Vehicles) 2000 Report

[16] **Ly H.,** 2002. Effects of Natural Gas Composition Variations on the Operation, Performance and Exhaust Emissions of Natural Gas-Powered Vehicles - IANGV (International Association for Natural Gas Vehicles) 2002 Report, Sydney.

[17] http://www.diesel.net/standards/cycles/nycc.html

[18] http://www.mira.co.uk/vept/powertrain/Emission/

[19] http://www.fisita.com/exhibit/emissions/harmonisation.html

[20] http://www.cseindia.org/html/cmp/air/myths_facts/myth13.htm

[21] http://www.greenhouse.gov.au/transport/comparison

[22] http://www.naturalfuels.com/ford_crown_victoria.htm

[23] http://www.naturalfuels.com/2000_ng_lightduty.htm

ÖZGEÇMIS

Hakan Turhan, 14 Kasim 1977 tarihinde Istanbul'da dogdu. Ilk ve orta egitimini Istanbul'da tamamladiktan sonra lise ögrenimini Kabatas Erkek Lisesi'nde, lisans ögrenimini Yildiz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisligi bölümünde tamamladi.

Yüksek lisans çalismasina devam ederken; "Endüstride Uygulama Destekli Tez Programi" çerçevesinde TOFAS Ar-Ge Motor Mühendisligi Servisinde arastirma görevlisi olarak çalismaktadir.