

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BENZİNLİ BİNEK ARAÇLARDA, İŞLETME KOŞULLARININ SERA
GAZI VE DİĞER KİRLETİCİ EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ender SEL

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Otomotiv

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BENZİNLİ BİNEK ARAÇLARDA, İŞLETME KOŞULLARININ SERA
GAZI VE DİĞER KİRLETİCİ EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ender SEL
(503081705)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30 Nisan 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2010

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cem SORUŞBAY (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Metin ERGENEMAN (İTÜ)
Prof. Dr. Kadir ALP (İTÜ)**

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Temeli insan kaynaklı olan, direkt ve dolaylı sera gazları ile diğer kirletici egzoz gazlarının son yıllardaki ciddi artışının, ulaştırma sektörünün bir bölümü ele alınarak incelendiği ve küresel ısınmanın sebeplerinden biri olarak görülen egzoz emisyonlarının limitlerinin değerlendirildiği bu çalışmada, tüm bilgi ve birikimiyle bana yol gösteren yüksek lisans tezi danışmanım Sayın Prof. Dr. Cem SORUŞBAY ve değerli hocam Sayın Prof. Dr. Metin ERGENEMAN'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Ayrıca tüm eğitim ve öğretim hayatım boyunca olduğu gibi, bu çalışmam boyunca da benden yardımlarını esirgemeyen, yoğun ve stresli günlerimde bana sabır gösteren, başta ailem olmak üzere, tüm dostlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana sağlamış olduğu maddi ve manevi katkılardan dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Haziran 2010

Ender Sel

(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SEMBOLLER	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. HAVA KİRLİLİĞİ VE SERA GAZI ETKİLERİNİN DURUMU.....	5
2.1 Hava, İklim Ve İklim Değişikliklerinin Etkileri	5
2.2 Taşıtlardan Kaynaklanan Ve Yanma Sonucu Oluşan Kirleticiler.....	6
2.2.1 Karbondioksit (CO ₂) emisyonları	7
2.2.2 Karbonmonoksit (CO) emisyonları.....	8
2.2.3 Hidrokarbon (HC) emisyonları	8
2.2.4 Azot oksit (NO _x) emisyonları	8
2.2.5 Kükürt dioksit (SO ₂) emisyonları	9
2.2.6 Kurşun bileşikleri (Pb)	9
2.2.7 İS, partiküller	9
2.3 Küresel Isınma Tehlikesine Karşı Atılan Adımlar	9
2.3.1 Kyoto Protokolü	10
2.3.2 Daha sonraki ‘Taraflar Protokolleri’	11
2.3.3 Türkiye’nin iklim değişikliği için yürüttüğü diyaloglar	12
3. EGZOZ EMİSYONLARINA GETİRİLEN SINIRLAMALAR.....	13
3.1 Emisyon Denetimlerinin Amacı Ve Geçmişi	13
3.2 Yeni Taşıtların Tip Testleri	13
3.3 Egzoz Emisyonlarına Getirilen Sınırlamalar.....	14
3.3.1 Amerika Birleşik Devletleri’nde taşıt emisyon uygulamaları.....	14
3.3.2 Avrupa’da taşıt emisyon uygulamaları	14
3.3.3 Türkiye’de taşıt emisyon uygulamaları.....	17
4. TESTLERDE KULLANILAN ÇEVİRİMLER VE DENEY DÜZENEGİ.....	21
4.1 Test Çevrimleri.....	21
4.1.1 Deneylerde kullanılan test çevrimlerinin değerlendirilmesi	22
4.1.1.1 Amerika test çevrimi (FTP 75).....	22
4.1.1.2 Avrupa test çevrimi (NEDC).....	23
4.1.1.3 İstanbul test çevrimi.....	24
4.2 Deney Düzeneginin Özellikleri	32
5. TÜRKİYE İÇİN ÖRNEKLEME SAYISININ BELİRLENMESİ	39
5.1 Örneklem Gereksinimi	39
5.1.1 Örneklem yapılmasındaki zorunluluklar	39

5.2 Türkiye Benzinli Araç Parkı İçin Örneklem Sayısının Tespiti	40
6. DENEYSEL ANALİZLER.....	47
6.1 Deneylerde Kullanılan Araçların Tanıtılması	47
6.2 Hidrokarbon Emisyonlarının Değerlendirilmesi	49
6.2.1 Hidrokarbon emisyonları ağırlıklı ortalamalarının değerlendirilmesi ..	49
6.2.2 Hidrokarbon emisyonlarının taşıt kategorilerine göre analizi.....	53
6.2.3 Hidrokarbon değerleri için güven aralığı hesabı	54
6.3 Karbonmonoksit Emisyonlarının Değerlendirilmesi.....	61
6.3.1 Karbonmonoksit emisyonu ağırlıklı ortalamalarının değerlendirilmesi ...	61
6.3.2 Karbonmonoksit emisyonlarının taşıt kategorilerine göre analizi	65
6.3.3 Karbonmonoksit değerleri için güven aralığı hesabı	67
6.4 Azot Oksitlerin Emisyonlarının Değerlendirilmesi.....	70
6.4.1 Azot oksit emisyonlarının ağırlıklı ortalamalarının değerlendirilmesi .	70
6.4.2 Azot oksit emisyonlarının taşıt kategorilerine göre analizi.....	75
6.4.3 Azot oksit değerleri için güven aralığı hesabı	76
6.5 Karbondioksit Emisyonları Ve Yakıt Tüketiminin Değerlendirilmesi	78
6.5.1 Karbondioksit ve yakıt tüketimi ortalamalarının değerlendirilmesi	78
6.5.2 Karbondioksit ve yakıt tüketiminin taşıt kategorilerine göre analizi	83
6.5.3 Karbondioksit ve yakıt tüketimi değerleri için güven aralığı hesabı	84
7. ANLIK EMİSYON DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ	87
7.1 Kullanım Şeklinin, Motorlu Taşıtların Egzoz Emisyonlarına Etkisi.....	87
7.1.1 Boşta çalışma rejimi (rölanti).....	87
7.1.2 Hız kesme rejimi	88
7.1.3 Sabit hız rejimi	88
7.1.4 İvmelenme rejimi (hız artırma)	89
7.2 Örnek Taşıtın Egzoz Emisyonlarının Anlık Değişiminin İncelenmesi	89
7.2.1 Avrupa test çevrimi sonuçlarının incelenmesi	89
7.2.2 Amerika test çevrimi sonuçlarının incelenmesi	94
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	101
KAYNAKLAR.....	103
ÖZGEÇMİŞ	105

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
COP	: Tarafalar Konferansı (Conference of the Parties)
COPERT	: Computer Programme To Calculate Emissions From Road Transport
ECE	: Avrupa Ekonomik Komisyonu (Economic Commission For Europe)
EEC	: Avrupa Ekonomik Topluluğu (European Economic Community)
EKB	: Emisyon Kontrolü Bulunmayan
EUDC	: Şehir Dışı Sürüş Çevrimi (Extra Urban Driving Cycle)
FTP	: Federal Test Prosedürü (Federal Test Procedure)
G.A.	: Güven Aralığı
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
İETT	: İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel On Climate Change)
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
NEDC	: Avrupa Test Çevrimi (New European Driving Cycle)
OECD	: İktisadi Kalkınma Ve İşbirliği Örgütü (Organization For Economic Development And Cooperation)
OSD	: Otomotiv Sanayii Derneği
OTAM	: Otomotiv Teknolojileri Araştırma Merkezi
ÖHO	: Özel Halk Otobüsü
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UNFCCC	: İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change)
Y.T.	: Yakıt Tüketimi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Türkiye’de sera gazı emisyonlarının yıllara göre değişimi.....	2
Çizelge 2.1 : Türkiye’de doğrudan CO ₂ dağılımlarının sektörel yüzdeleri	8
Çizelge 3.1 : Avrupa Topluluğu ülkelerinde binek taşıtlar için uygulanan egzoz emisyonu sınır değerleri gelişim süreci.....	15
Çizelge 3.2 : Euro 1 ve Euro 2 emisyon standartları.....	16
Çizelge 3.3 : Euro 3 ve Euro 4 emisyon standartları.....	17
Çizelge 4.1 : Türkiye’de illere göre toplam otomobil sayıları.....	25
Çizelge 4.2 : Türkiye’deki farklı illere göre otomobillerin sayısal dağılımının yüzdeleri.....	26
Çizelge 5.1 : Türkiye’de bulunan benzinli otomobillerde emisyon standartları.....	41
Çizelge 5.2 : Türkiye’de benzinli otomobillerde kademeli geçişteki araçların emisyon seviyelerine göre yüzdeleri.....	41
Çizelge 5.3 : Yıllara ve emisyon standartlarına göre benzinli otomobil sayıları (kümülatif).....	42
Çizelge 5.4 : Yıllara ve emisyon standartlarına göre benzinli otomobil sayılarının artış ve azalış miktarları.....	43
Çizelge 5.5 : Yıllara ve emisyon standartlarına göre benzinli otomobil sayılarının yüzdelik değerleri.....	44
Çizelge 5.6 : Yıllara ve emisyon sınıflarına göre otuz araç için yüzdelik değerler...	45
Çizelge 6.1 : Proje kapsamında test edilen araçların bilgileri.....	48
Çizelge 6.2 : HC emisyonlarının çevrim ortalaması değerleri.....	50
Çizelge 6.3 : Taşıtların HC değerlerinin emisyon türlerine göre karşılaştırılması...	54
Çizelge 6.4 : Çeşitli $1 - \alpha$ değerlerine karşılık gelen $z_{\alpha/2}$ değerleri.....	58
Çizelge 6.5 : EKB taşıtların HC değerlerinin güven aralığı.....	59
Çizelge 6.6 : 15.04 taşıtların HC değerlerinin güven aralığı.....	60
Çizelge 6.7 : Euro taşıtların HC değerlerinin güven aralığı.....	61
Çizelge 6.8 : CO emisyonlarının çevrim ortalaması değerleri.....	62
Çizelge 6.9 : Taşıtların CO değerlerinin emisyon türlerine göre karşılaştırılması...	66
Çizelge 6.10 : IPCC tarafından belirlenmiş emisyon faktörleri.....	67
Çizelge 6.11 : EKB taşıtların CO değerlerinin güven aralığı.....	68
Çizelge 6.12 : 15.04 taşıtların CO değerlerinin güven aralığı.....	69
Çizelge 6.13 : Euro taşıtların CO değerlerinin güven aralığı.....	70
Çizelge 6.14 : NO _x emisyonlarının çevrim ortalaması değerleri.....	71
Çizelge 6.15 : Taşıtların NO _x değerlerinin emisyon türlerine göre karşılaştırılması.	76
Çizelge 6.16 : EKB taşıtların NO _x değerlerinin güven aralığı.....	77
Çizelge 6.17 : 15.04 taşıtların NO _x değerlerinin güven aralığı.....	77
Çizelge 6.18 : Euro taşıtların NO _x değerlerinin güven aralığı.....	78
Çizelge 6.19 : CO ₂ emisyonları ve yakıt tüketimi çevrim ortalaması değerleri.....	79
Çizelge 6.20 : Taşıtların CO ₂ değerlerinin emisyon türlerine göre karşılaştırılması.	83
Çizelge 6.21 : Taşıtların yakıt tüketiminin emisyon türlerine göre durumu.....	84
Çizelge 6.22 : EKB taşıtların CO ₂ ve yakıt tüketimi değerlerinin güven aralığı.....	85

Çizelge 6.23 : 15.04 taşıtların CO ₂ ve yakıt tüketimi değerlerinin güven aralığı.....	85
Çizelge 6.24 : Euro taşıtların CO ₂ ve yakıt tüketimi değerlerinin güven aralığı.	86
Çizelge 8.1 : Çalışmadaki çevrimlerde elde edilen CO ₂ , CO ve NO _x ortalamalarının IPCC ortalamalarıyla karşılaştırılması.....	102

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : 1860 yılından günümüze kadar tutulan sıcaklık kayıtları.	1
Şekil 2.1 : Benzinli motorda hava fazlalık katasayısı 1 ($\lambda=1$) iken, egzoz gazı bileşenlerinin ortalama yüzdeleri.	7
Şekil 4.1 : Amerika test çevrimi (FTP 75).	23
Şekil 4.2 : Avrupa test çevrimi (NEDC).	24
Şekil 4.3 : Türkiye’de, otomobil sayısı en fazla olan ilk yirmi ilin yıllara göre toplam otomobil sayısı değişimi.	27
Şekil 4.4 : Türkiye’deki şehirlerde yıllara göre otomobil sayısındaki değişim.	27
Şekil 4.5 : Avrupa’da 1000 kişiye düşen toplam taşıt ve otomobil sayıları.	28
Şekil 4.6 : Maslak – Göztepe (E 5) rotası.	29
Şekil 4.7 : Maslak – Kozyatağı (TEM) rotası.	29
Şekil 4.8 : Maslak – Bakırköy (E 5) rotası.	30
Şekil 4.9 : Tarihi Yarımada rotası.	30
Şekil 4.10 : İstanbul şehir çevrimi.	31
Şekil 4.11 : İstanbul kent içi ulaşım sistemlerinin dağılımı.	31
Şekil 4.12 : İstanbul kent içi karayolu ulaşımındaki araçların dağılımı.	32
Şekil 4.13 : Egzoz emisyon ölçüm odası.	33
Şekil 4.14 : İTÜ-OTAM laboratuvarı test düzeneği.	34
Şekil 4.15 : Deney aracının test düzeneği ile bağlantısı.	35
Şekil 6.1 : Üç farklı çevrim tipi için HC emisyonu seviyeleri.	52
Şekil 6.2 : Standart normal dağılım ve $\pm z_{\alpha/2}$ değerleri.	56
Şekil 6.3 : $\bar{X}$ ’ın örneklem dağılımında güven sınırları.	56
Şekil 6.4 : Üç farklı çevrim tipi için CO emisyonu seviyeleri.	64
Şekil 6.5 : Benzinli motorlarda hava fazlalık katsayısının emisyonlara etkisi.	72
Şekil 6.6 : Üç farklı çevrim tipi için NO _x emisyonu seviyeleri.	74
Şekil 6.7 : Üç farklı çevrim tipi için CO ₂ emisyonu seviyeleri.	81
Şekil 6.8 : Üç farklı çevrim tipi için yakıt tüketimi ortalaması seviyeleri.	82
Şekil 7.1 : Avrupa test çevriminde anlık HC değişimi.	90
Şekil 7.2 : Avrupa test çevriminde anlık HC değişimi (kümülatif).	91
Şekil 7.3 : Avrupa test çevriminde anlık CO değişimi.	92
Şekil 7.4 : Avrupa test çevriminde anlık CO değişimi (kümülatif).	92
Şekil 7.5 : Avrupa test çevriminde anlık CO ₂ değişimi.	93
Şekil 7.6 : Avrupa test çevriminde anlık CO ₂ değişimi (kümülatif).	93
Şekil 7.7 : Avrupa test çevriminde anlık NO _x değişimi.	94
Şekil 7.8 : Avrupa test çevriminde anlık NO _x değişimi (kümülatif).	94
Şekil 7.9 : Amerika test çevriminde anlık HC değişimi.	96
Şekil 7.10 : Amerika test çevriminde anlık HC değişimi (kümülatif).	96
Şekil 7.11 : Amerika test çevriminde anlık CO değişimi.	97
Şekil 7.12 : Amerika test çevriminde anlık CO değişimi (kümülatif).	98
Şekil 7.13 : Amerika test çevriminde anlık CO ₂ değişimi.	98
Şekil 7.14 : Amerika test çevriminde anlık CO ₂ değişimi (kümülatif).	99

Şekil 7.15 : Amerika test çevriminde anlık NO _x değişimi.....	99
Şekil 7.16 : Amerika test çevriminde anlık NO _x değişimi (kümülatif).	100

SEMBOLLER

a_1, a_2, a_3	: Taşıt katsayıları
α	: Yol eğimi (derece)
CH_4	: Metan
cm	: Santimetre
cm^3	: Santimetre küp
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
e	: Hata payı
g	: Gram
HC	: Hidrokarbon
l	: Litre
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
kW	: Kilowatt
λ	: Hava fazlalık katsayısı
M	: Ortanca
m	: Metre
mm	: Milimetre
n	: Örneklem büyüklüğü
N	: Newton
NO _x	: Azot oksit
N ₂ O	: Diazot oksit
μ	: Kitle ortalaması, aritmetik ortalama
θ	: Kitle parametresi
$\hat{\theta}$	: Kitle parametresinin nokta tahmincisi
θ	: Kitle parametresinin bir nokta tahmini
P	: Oran
ppm	: Milyonda bir (parts per million)
$\bar{x}$	: Örneklem ortalaması
ρ	: Yoğunluk
s	: Saniye
SO ₂	: Kükürtdioksit
σ	: Standart sapma
t	: Zaman
V	: Taşıt hızı

BENZİNLİ BİNEK ARAÇLARDA, İŞLETME KOŞULLARININ SERA GAZI VE DİĞER KİRLETİCİ EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİ

ÖZET

En önemli çevre sorunlarından birisi olan küresel ısınma etkisi, ekonomik büyüme ve nüfus artışı etkisi ile birlikte artan fosil yakıt tüketiminin sonucu olarak insanlığı tehdit etmektedir. Dünyada ulaştırma sektörü, direkt sera gazı olan CO₂ salımında, yaklaşık %17'lik payıyla önemli bir rol oynamaktadır. Türkiye'de ki tüm ulaştırma seçenekleri içerisinde, karayolu ulaşımı en büyük paya sahiptir.

Bu çalışmada, Türkiye benzinli binek taşıt parkını temsil eden farklı otuz adet araç, emisyon faktörleri ve yakıt tüketimi hakkında bazı veriler elde etmek için Amerikan test çevrimi (FTP 75), Avrupa test çevrimi (NEDC) ve İstanbul test çevrimlerinde test edilmişlerdir. İstanbul test çevrimi, Türkiye'nin büyük şehirlerindeki sıkışık trafik koşullarını yansıtmak amacıyla oluşturulmuştur. Bu sürüş çevrimi, İstanbul'un kalabalık yolları sebebiyle, düşük hız dönemlerine ve düşük maksimum hız değerine sahiptir.

İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesindeki OTAM Laboratuvar'ında elde edilen test sonuçları, farklı sürüş dinamiklerinin, toplam ve anlık süreçlerdeki emisyon ve yakıt tüketimi değerlerini ne şekilde etkilediğini göstermiştir. Her bir aracın emisyon seviyesi CO₂, HC, CO, NO_x gazları açısından tespit edilmiştir. Bazı sonuçlar Avrupa Birliği ve IPCC tarafından kullanılan standart emisyon limitleriyle mukayese edilmiştir. Bunun yanı sıra, her bir aracın emisyon ve yakıt tüketim değerleri, taşıtların kilometre, model yılı ve bakım faktörlerine göre yorumlanmıştır. Sonunda, testler genel olarak İstanbul test çevrimindeki araçların emisyon miktarı ve yakıt tüketimi değerlerinin Avrupa ve Amerika test çevrimlerinden daha yüksek olduğunu göstermiştir.

THE EFFECTS OF OPERATING CONDITIONS ON GREENHOUSE GAS AND OTHER POLLUTANT EXHAUST EMISSIONS AT PASSANGER CARS WITH GASOLINE ENGINE

SUMMARY

The global warming effect which is the one of the biggest environmental problem, threat the humankind as a consequence of economic growth and increase in the population along with increase in the fuel consumption. All over the world, transportation sector plays an important role on the release of CO₂ which is direct greenhouse gas with the approximately part of %17. In Turkey, road transportation have the largest contribution in the all transportation options.

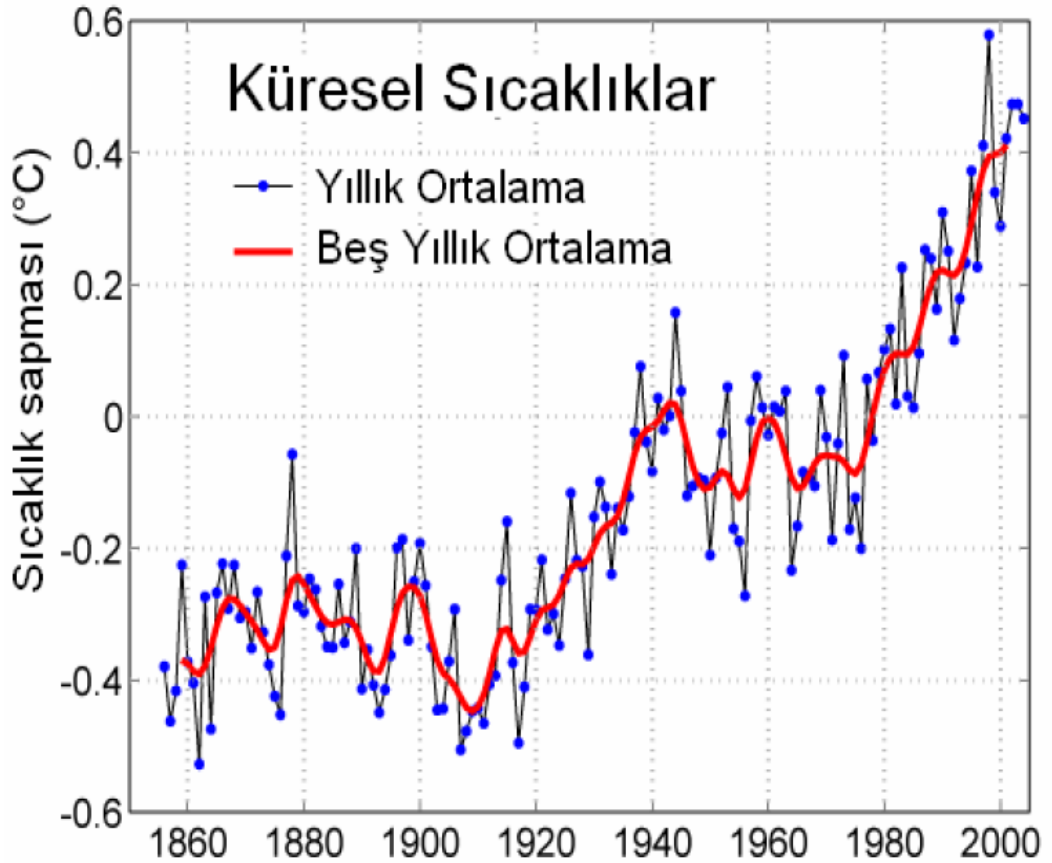
In this study, thirty different vehicles which represent fleet of the passenger cars with gasoline engine in Turkey, were tested to take some datas about emission factors and fuel consumptions on American driving cycle (FTP 75), New European driving cycle (NEDC) and İstanbul driving cycle. İstanbul test cycle was created to represent the congested traffic conditions in large cities of Turkey. This driving cycle has lower velocity periods and lower maximum velocity because of the busy roads of İstanbul.

The results of the test which are performed in OTAM Laboratory within İstanbul Technical University, showed how different driving dynamics effected the values of emissions and fuel consumptions in the total and instantaneous duriations. Emission results of every vehicle were ascertained from the point of CO₂, HC, CO, NO_x gases. Some results were compared with standart emission levels by using European Union and IPCC. Besides, the values of emissions and fuel consumptions for every car were commented depending on the kilometer, model year and maintenance factors of the vehicles. After all, tests showed that generally emission amounts and fuel consumption results of the vehicles at the İstanbul city cycle has higher than FTP 75 and NEDC.

1. GİRİŞ

Dört buçuk milyar yıllık jeolojik tarih boyunca güneş, atmosfer ve yerkürenin etkileşim mekanizmalarının değişmesi sonucu, yerkürenin ikliminde de değişimler meydana gelmiştir. 1860'lı yıllardan günümüze kadar devam eden araştırmalara ve toplanan verilere göre, yüz bin yıl süren bir buzul çağı sonrası, on ila yirmi bin yıl süren ara iklim tipine geçildiği belirtilmektedir. Gezegenimizin doğal ısınmasını tamamlamış olmasına rağmen, insanoğlunun yarattığı etkiler ile ısınma halen devam etmektedir.

Sanayi devrimi sonrası atmosfere salınma miktarları artış gösteren sera gazları, dünyanın son yüz elli yıllık döneminde, 0,5~0,6 °C civarında bir ortalama sıcaklık artışına sebep olmuşlardır. Şekil 1.1'den de görüldüğü üzere, en yoğun artış son yıllarda gerçekleşmiştir. [1,2]



Şekil 1.1 : 1860 yılından günümüze kadar tutulan sıcaklık kayıtları. [1]

Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) verilerine göre, son yüz elli yılın en sıcak yılı 1998'dir. İkinci sırada ise 2002 yılı vardır. 1990 ile 2100 yılları arasında yeryüzünün ortalama sıcaklığının bölgelere göre 1,4 ile 5,8 °C arasında artacağı tahmin edilmektedir. Bu artışların, doğanın tüm dengesi üzerinde olumsuz etkileri olacağı birçok bilimadamı tarafından sürekli dile getirilmektedir. [3]

Sıcaklık artışlarının temel sebebi, sanayi devrimi sonrası fosil kökenli yakıt kullanımının hızla artması sonucu, sera gazlarının da hızla artmasıdır. Sera gazları; karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), diazotmonoksit (N₂O) gibi gazlardır. Ancak sera gazı etkisinin dünyaya zararlı yapısının %60'ından fazlasını CO₂ gazı oluşturmaktadır ve diğer gazlardan çok daha önemli bir konumdadır. Bu durum Çizelge 1.1'de de görülmektedir. Temel sera gazlarının yanı sıra, çevreye ve insanlığa zararlı olan birçok gaz türeviden fosil kaynaklı yakıtların kullanılması sonucu ortaya çıkmakta ve ulaştırma sektöründe de bu tip gazların zararları üzerinde durulmaktadır. [4]

Çizelge 1.1 : Türkiye'de sera gazı emisyonlarının yıllara göre değişimi. [5]

Sera gazı emisyonları					
(milyon ton CO ₂ eşdeğeri)					
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	F Gazları	Toplam
1990	139,59	29,21	1,26	0	170,06
1991	146,55	33,17	2,25	0	181,96
1992	152,93	36,66	4,04	0	193,64
1993	160,91	38,98	4,09	0	203,98
1994	159,10	39,19	2,17	0	200,46
1995	171,85	42,54	6,33	0	220,72
1996	190,67	44,99	6,07	0,37	242,09
1997	203,72	46,45	4,73	0,61	255,51
1998	202,71	47,71	5,56	0,66	256,63
1999	201,71	48,83	5,72	0,52	256,78
2000	223,81	49,27	5,74	1,14	279,96
2001	207,38	48,70	4,84	1,18	262,10
2002	216,43	46,87	5,41	1,90	270,62
2003	230,99	47,76	5,25	2,29	286,28
2004	241,88	46,29	5,49	2,93	296,60
2005	256,43	49,32	3,43	3,24	312,42
2006	273,70	50,33	4,59	4,05	332,67
2007	304,47	54,38	9,65	4,13	372,64

Yapılan bu çalışmanın en genel amacı, küresel ısınmada etkin rol oynayan direkt ve dolaylı sera gazları ile diğer kirleticilerin emisyonlarının, Türkiye'deki ulaştırma sektöründe bulunan benzinli araçlar bazında değerlendirilmesidir. Taşıtların emisyon faktörlerinin belirlenebilmesi için, gerekli kullanım koşullarının simülasyonunun yapıldığı laboratuvar ortamı ve uygun test çevrimi gereklidir. Her ülkenin, hatta şehrin kendine özgü trafik şartları olsada, dünyada kabul görüp uygulanmakta olan test çevrimleri vardır. Her ne kadar Sydney veya Hong Kong gibi bölgesel koşulları baz alan çevrimler olsada, genellikle taşıtların tip onayları için Amerika test çevrimi olarak bilinen FTP 75 (Federal Test Prosedürü - Federal Test Procedure) veya Avrupa test çevrimi olarak bilinen NEDC (Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi – New European Driving Cycle) gibi resmi ve standart çevrimler kullanılır.

Türkiye'deki tip onayları için Avrupa test çevrimi kullanılmaktadır. Bu çalışma ile bölgesel bir çevrim olan İstanbul test çevrimi kullanılarak, İstanbul'un trafik koşullarında ortaya çıkan emisyon durumunun sonuçları incelenmiş ve anlık emisyon miktarlarının değişiminin gözlemlenmesi sonucu, benzinli otomobillerden kaynaklanan zararlı emisyonlara daha detaylı bir yorum getirilmeye çalışılmıştır.

2. HAVA KİRLİLİĞİ VE SERA GAZI ETKİLERİNİN DURUMU

2.1 Hava, İklim Ve İklim Değişikliklerinin Etkileri

Hava, yerküreyi saran atmosfer adlı gaz tabakası oluşumudur. Yer çekimi etkisiyle yer kabuğuna yakın yerlerde, atmosferin yoğunluğu ve basıncı artar. Bu bağlamda güneş ışınlarının, yer kabuğu ve yoğun olan atmosferin alt bölgesinde daha fazla absorblanmasıyla, alt bölgede sıcaklık artışı olur.

Kuru havanın ortalama bileşimi, %78 azot, %21 oksijen, %1 kadar da diğer gazları içermektedir. Bu karışım, sürekli devam eden jeofiziksel, biyolojik ve kimyasal reaksiyonlardan etkilenmektedir. Yerden itibaren yüz elli kilometre kalınlığında olan atmosferin ilk birkaç kilometresinde, bu reaksiyonlar dolayısıyla, bir miktar su buharı ve CO₂ bulunur. Hava da tıpkı su ve toprak gibi kirlenen bir ortamdır. [6]

İklim ise kapsamlı bir değişim olayıdır. Atmosfer ve dolayısıyla hava, okyanuslar, kara ve deniz biyosferi, kara yüzeyleri gibi elemanları kapsayan, uzun zaman periyodu içerisinde her gün gerçekleşen hava olaylarının toplamına ve ortalamasına iklim denir. Hava bileşim oranı ve iklim değişimlerinin temel parametresi sıcaklıktır.

Güneşten gelen enerji, atmosferi geçip dünyaya ulaşır. Bu ışınların bir kısmı dünyayı ısıtırken, bir kısmı da geri yansır. Atmosferde bulunan sera gazları, geri gönderilen bu enerjiyi hapsetmektedir. Bu doğal etki olmasaydı, dünya şu an daha soğuk ve yaşanması mümkün olmayan bir yer olurdu. Ancak bu etkinin artması da insan yaşamını tehdit etmektedir. Sanayi devriminden günümüze, atmosferdeki CO₂ oranının %30, N₂O oranında %15 arttığı düşünülürse, dünyanın dengesindeki bozulma da açık bir şekilde görülmektedir. Bir başka bakış açısıyla, bitkilerin solunumu ve organik maddelerin yapısal değişiklikleri sonucu, insan faaliyetleriyle oluşan CO₂ miktarından on kat daha fazla CO₂ salımı gerçekleşmektedir. Ancak bu denge yüzyıllarca korunmuştur. Sanayi devrimi sonrası ise bu oranın ciddi şekilde değişmeye başlamasıyla, dünya iklim yapısında da farklılıklar gözlemlenmiştir. [4]

Küresel ısınmanın fiziksel sonuçları, özellikle yirminci yüzyılın son çeyreğinden günümüze kadar önemli can ve mal kayıplarına sebep olmuştur. Küresel olarak deniz

seviyesi geçtiğimiz yüzyılda 10~20 santimetre civarında yükselmiştir. A.B.D.'de, bir yıl içerisinde 562 tornado kaydedilmiştir. 2001 yılında, on milyar dolar seviyesindeki ekonomik kayıplar, 2004'te doksan milyar dolara kadar çıkmıştır. IPCC (Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli – Intergovernmental Panel on Climate Change) raporuna göre, Kuzey yarım kürede 1960'lı yıllardan bu yana kar örtüsü %10 azalmıştır.

1990~2100 periyodunda, öngörülere göre sıcaklıklar, bölgeler bazında değişmekle birlikte, önemli boyutlarda artacaktır. Deniz seviyesinde de 0,09~0,88 metre aralığında bir yükselme beklenmektedir. Özellikle tropikal bölgelerde yiyecek azlığında önemli bir sorun haline gelecektir. [7]

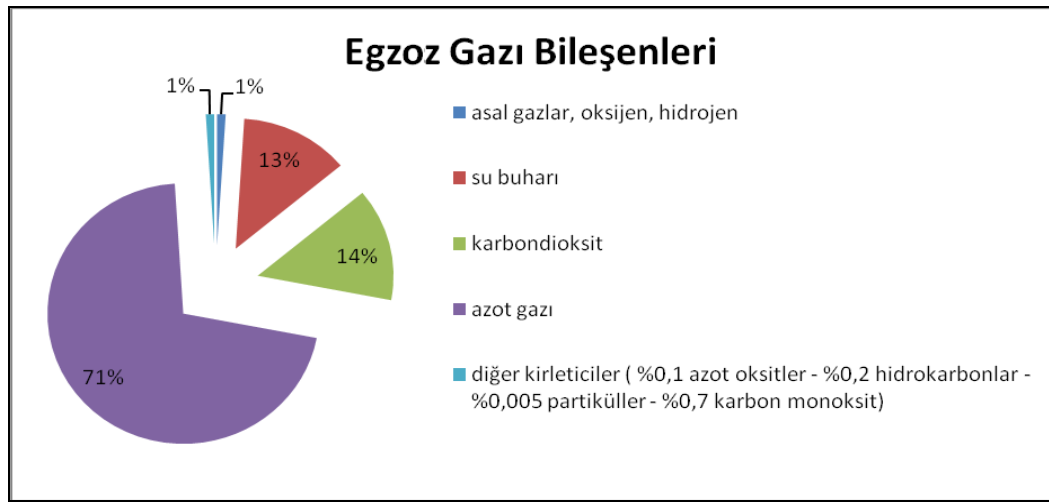
2.2 Taşıtlardan Kaynaklanan Ve Yanma Sonucu Oluşan Kirleticiler

Dünyada hava kirliliği ve sera gazı etkisinin artmasında, sıcaklık, nem, basınç gibi birçok değişkeni kapsayan meteorolojik, topoğrafik ve organik doğa olayları etkin rol oynasada ana kirlilik kaynağı yanmadır. Dünyada her ne kadar yanmasız enerji üretimi gerçekleşse de, toplam enerjinin %70'i fosil yakıtların yakılması ile sağlanmaktadır.

Yanma reaksiyonu sonucu, ulaştırma açısından, insanların ve birçok farklı ürünün seyahatlerine imkan sağlanılmasına karşın, çevre bu durumdan olumsuz etkilenmektedir. Taşıtlar günümüzün vazgeçilmez araçları olmalarına karşın, hava kirliliğinin temel sebeplerindendirler. Fosil yakıtlı enerji tesisleri ve aygıtları düşünüldüğünde, yakıt enerjisindeki gizli enerjiden en az istifade edilen sistemler arasında benzinli motorlar özel bir yer tutar. Bu verim azlığı sebebiyle, havaya eksik yanma ürünleri salınır.

Fosil yakıt adını verdiğimiz maddelerin yakılmasıyla oluşan CO₂ ve ayrıca bu yakıtlarda bolca bulunan hidrojenin oksitlenmesiyle, su buharı ve ısı açığa çıkmaktadır. Ancak yakıt içerisinde bulunan safsızlıklara, oksijenin veriliş oran ve şekline, yanma sıcaklığına, sıcak ve soğuk bölgelerdeki gazların duruşlarına bağlı olarak CO₂'nin yanı sıra karbonmonoskit (CO), yanmamış hidrokarbonlar (HC), azot oksitler (NO_x), aldehitler (R.CHO), is ile partiküller, kükürt dioksit (SO₂), kurşun bileşikler (Pb) gibi kirleticiler açığa çıkar. [6,7]

Çalışmanın uygulama kısmında benzinli araçlar kullandığı için ölçümlerde is ve partikül araştırması yapılmamıştır. Direkt sera gazı olan CO₂, direkt olmayan sera gazı sınıfındaki CO ve NO_x, ayrıca bu iki sınıfa da girmeyerek lokal bir kirletici olan HC emisyon değerleri için analizler yapılmıştır. CO₂ temel sera gazı olduğu için, emisyon seviyesi çok önemlidir. CH₄ ve N₂O'da direkt sera gazıdır. CO ve NO_x gazları ise direkt olmayan sera gazı sınıfında yer alırlar. İs ve partikül değerleri, benzinli araçlarda, dizel araçlara göre önemli seviyelerde etkin değildir denebilir. Şekil 2.1'de benzinli bir aracın yanması sonucu ortaya çıkan kirleticilerin genel oranı verilmiştir. Bu oranlar genel yaklaşımlar sonucu belirlenmiş ve ortalama değerlerdir.



Şekil 2.1 : Benzinli motorda hava fazlalık katsayısı 1 ($\lambda=1$) iken, egzoz gazı bileşenlerinin ortalama yüzdeleri. [8]

2.2.1 Karbondioksit (CO₂) emisyonları

Yanma sonucu ortaya çıkan, birçok araştırmacı ve farklı bilim dalı yetkililerinin üzerinde çalıştığı en önemli direkt sera gazıdır. Dış özellikleri incelendiğinde renksiz ve kokusuz tespiti yapılabilir. En etkili sera gazı olması sebebiyle, küresel ısınmanın başrol oyuncusu olan CO₂, ulaştırma alanında olduğu gibi diğer tüm alanlarda da salımı azaltılmak istenen ilk kimyasaldır. Çizelge 2.1'den anlaşılacağı gibi ulaştırma sektöründeki CO₂ oranlarının, ülkemizde önemli seviyelerde olduğu görülmektedir. Geleceğe yönelik yapılan araştırmalarda, 2020 yılında ulaştırmanın payının ülkemizde biraz azalarak %13 seviyelerinde olacağı öngörülmektedir. Dünyada ise CO₂ salımı açısından ulaştırmanın payı, ortalama %18 karayolu, %3 havayolu, %2 denizyolu ve %1 diğer ulaşım seçenekleri olmak üzere, toplamda %24 seviyesindedir ve her geçen yıl artmaktadır. Avrupa ülkelerinde ise CO₂ salımının %28'i ulaşımdan oluşmaktadır ve bunun %84'ü karayolu taşımacılığından kaynaklanmaktadır. [7,9]

Çizelge 2.1 : Türkiye’de doğrudan CO₂ dağılımlarının sektörel yüzdeleri. [10]

Yıl	CO ₂ (%)				
	1990	1995	2000	2005	2007
Enerji	90,76	90,4	92,52	92,05	92,77
1. Çevrim ve Enerji Sektörü	24,37	27,53	34,31	34,53	35,01
2. Sanayi	26,89	24,43	26,75	26,17	26,28
3. Ulaştırma	18,59	19,1	15,62	15,8	16,75
4. Diğer Sektörler	20,92	19,33	15,83	15,55	14,73
Endüstriyel İşlemler	9,24	9,6	7,48	7,95	7,23
1. Mineral Üretimi	7,96	8,61	7,08	7,54	7,23
2. Kimya Endüstrisi	0,59	0,56	0,07	0,23	0
3. Maden Üretimi	0,69	0,44	0,34	0,18	0

2.2.2 Karbonmonoksit (CO) emisyonları

Dolaylı sera gazı sınıfında yer alan ve zehirli bir gaz olan CO, kokusuz ve renksizdir. Bu gazın, oksijen taşıyıcı olarak bilinen hemoglobine bağlanma yeteneği oksijene göre ortalama iki yüz kat daha fazladır. CO ortamında uzun süre kalmak, kandaki normal hemoglobin dengesini bozacağı için zehirlenme ve boğulma olaylarına maruz kalınabilir. Atmosferdeki yarılanma ömrü oldukça uzundur. Taşıtlarda CO oluşumu, yanma verimine ve yanma sonrası emisyon kontrol teknolojilerine bağlıdır. [9]

2.2.3 Hidrokarbon (HC) emisyonları

Lokal emisyon türü olarak, kötü kokulu ve tahriş edici maddeler olan hidrokarbonlar, yakıt deposu ve karbüratörden buharlaşma yoluyla veya motordan egzoz gazları ile birlikte atmosfere atılan, yanmamış veya kısmen yanmış gazlardır. Gaz halindeki hidrokarbonlar, güneş ışığında azot oksitlerle birleşerek ‘fotokimyasal smug’ olarak adlandırılan bir sis tabakası oluştururlar. Bu durum, atmosferde insan faaliyetleri sonucu yapay sis oluşması halidir. Bu tabaka, gözlerin yanması, solunumun zorlaşması ve bitkilerin zarar görmesi gibi olumsuz etkilere sebep olur. [9]

2.2.4 Azot oksit (NO_x) emisyonları

Dolaylı sera gazı olan azot oksitler, CO’ya benzer olarak kandaki hemoglobinle birleşmektedir. Fakat NO_x’in en dikkat çekici yanı, ciğerlerde nem ile birleşip nitrik asit oluşturmasıdır. Düşük konsantrasyonlarda az etkisi olsada, zamanla biriken asit, solunum hastalıklarına sebep olabilir. Azot, su ile birleşerek nitrik asit oluşturup, daha sonra asit yağmuru olarak bitki örtüsüne ve doğaya zarar verir.

Azot oksitler içerisinde, yanma ürünlerinde renksiz ve kokusuz bir gaz olan NO yoğun olsada, atmosferde, bir kısmı, kırmızı-kahverengi tonlarında ki NO₂'ye dönüşür. NO daha çok NO₂ hammaddesi olduğu için önem taşır. Azot moleküllerinin atmosferdeki yarılanma ömürleri düşük olup, normalde dünya atmosferinde 1 ppm seviyesinden daha az yoğunlukta olmaları beklenir. Oysa kentsel atmosferde, bu değişimler 40~80 ppm seviyelerindedir, hatta bazı bölgelerde 300~1400 ppm değerlerine kadar çıkar. [9]

2.2.5 Kükürt dioksit (SO₂) emisyonları

Renksiz, sert kokulu bir kimyasal olan SO₂ gazı, solumun yolları, akciğer ve karaciğer hastalıklarına neden olmaktadır. Su buharı ile birleşen SO₂ gazı, sülfirik asite dönüşerek tüm canlılara zarar verir. [9]

2.2.6 Kurşun bileşikleri (Pb)

Benzine, yakıtın oktan sayısını artırmak maksadıyla eklenen kurşun tetraetil gibi katkı maddeleri, yanma ürünleri arasında kurşun bileşenlerinin de bulunmasına neden olmaktadır. Bu bileşikler, doğrudan veya dolaylı yollarla insan vücuduna geçmektedir. Kurşun birikerek, zamanla vücudu olumsuz etkileyen bir maddedir. [9]

2.2.7 İs, partiküller

İs, yanmamış karbon parçacıklarıdır. İs, zararlı bileşenleri bünyesinde taşıyarak ve solunum sisteminde birikerek insan sağlığına zararlı olmaktadır. Benzin motorlarında is oranı dizellere göre çok daha düşük seviyelerdedir.

2.3 Küresel Isınma Tehlikesine Karşı Atılan Adımlar

Küresel ısınmanın etkisinin ciddi boyutlarda hissedildiği son yıllarda, özellikle uluslararası alanda önemli adımlar atılmaya başlanmıştır. Bu konuda ilk adım, 1988 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve Dünya Meteoroloji Örgütü'nün desteği ile kurulan ve IPCC olarak bilinen 'Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'dir. Kuruluş, iklim değişikliği sürecini ve sonuçlarını bilimsel açıdan değerlendirmek üzere görev yapmaktadır. Bu panel, 1990, 1996 ve 2001 yıllarında üç geniş rapor yayınlamıştır. Birçok ülkenin bu panel üzerinde görüş ağırlığı ve dolayısıyla raporlar üzerinde de ortak kanaati vardır. Ancak özellikle son yıllarda artan bilimsel araştırmalar, iklim değişikliğinin durumunu daha dikkat çekici hale getirmiştir.

Küresel ısınmanın ciddi tehditlerine karşı Birleşmiş Milletler himayesinde görüşmeler başlamış ve 1992 yılında Rio Zirvesi yapılmıştır. Buradaki konferansta ‘İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC)’ imzaya açılmıştır. Buradaki anlaşma ile 1994 Mart’ında, elli ülkenin imzası ile emisyonların azaltılması adına, ülkelere ortak yükümlülükler verilmiştir. Bu yükümlülüklerin ne şekilde gerçekleştirileceği ve konuşulan maddeler, temel iki ek ile netleştirilmiştir. Bu iki ekin kapsamı ise ülke katagorilerine göre belirlenmiştir. Bu katagorileşmede temel nitelik, ülkelerin ekonomik ve teknolojik durumlarının yanı sıra, kalkınma üyelikleridir.

Birinci ekte, pazar ekonomisine geçiş yapmış Doğu Avrupa ve Sovyet ülkeleri ile OECD (İktisadi Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) üyesi ülkeler vardır. İkinci ekte ise sadece OECD üyesi ülkeler vardır. Rio Sözleşmesi’ne göre, Ek 1’deki ülkelerin temel sorumluluğu, 2000 yılına kadar toplam sera gazı emisyonlarını 1990 yılı seviyesine çekmektir. Ek 2’de bulunan ülkeler ise ilaveten, ekler dışındaki, gelişmekte olan ülkelere, küresel ısınmayı önleyici maddi ve teknolojik destek sağlamakla da yükümlü olmuşlardır. [11]

2.3.1 Kyoto Protokolü

Üçüncü Taraflar Konferansı (Conference of Parties 3 – COP 3), 1997 yılında Japonya’nın Kyoto şehrinde düzenlenmiş ve sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik detaylı kararlar alınmıştır. Kyoto Protokolü’nün en öne çıkan maddesi, Ek 1’de bulunan ülkelerin sera gazı salımlarını, 2008-2012 yılı bütçe döneminde, 1990 yılı seviyesinin %5 altına indirmelerinin öngörülmesidir. Kyoto Protokolü olarak bilinen bu konferansın kararlarında, bazı ülke ve blokların emisyon azaltma hedefleri farklılık göstermektedir. Şöyle ki; 1990 yılı emisyon seviyesinin altına inilmesi hususunda, Avrupa Birliği ülkeleri ortalaması %8, Kanada, Japonya, Polonya ve Macaristan %6, Hırvatistan, Rusya, Ukrayna ve Yeni Zelanda %0 limitlerine sahip iken, emisyon değerlerinde indirime gidemeyeceği tahmin edilen Avustralya’nın %8, İzlanda’nın %10 ve Norveç’in %1 değerlerinde artış yapabileceği belirlenmiştir.

Türkiye’nin A.B.’ne adaylığı da düşünülürse, yük paylaşım ilkesi kararını belirtmek gerekir. Yük paylaşımına göre bazı ülkeler 1990 yılı seviyelerinin altına inmekle yükümlüyken, bazı ülkeler 1990’ın üzerinde sera gazı üretebileceklerini belirtmektedir. Bu yükümlülüklerin gerçekleşmesi esası farklı madde ve

mekanizmalar ile korunacaktır. Özellikle emisyon ticareti mekanizmasını kapsayan Kyoto Protokolü ile birlikte, uluslararası piyasada milyarlarca dolar dolaşacaktır. Bu tutar, A.B.D.'nin Kyoto'yu imzalaması durumuna göre büyük değişiklik getirecektir. Protokolün 17. maddesi esasınca, emisyon hedefi belirlemiş ülkelerin, taahhüt ettikleri emisyonu tutturmak amacıyla, ek olarak kendi aralarında emisyon ticareti yapabilmelerine olanak tanınmıştır. Son yılların salımlarına bakıldığında, en büyük alıcılar A.B.D., Japonya ve bazı A.B. üyeleri iken, en büyük satıcılar Rusya, Ukrayna ve Kazakistan olarak tahmin edilmektedir. [11, 12]

2.3.2 Daha sonraki 'Taraflar Protokolleri'

Kyoto Protokolü'nün uluslararası alanda geçerliliği olması için, 1990 yılındaki toplam CO₂ emisyonunun en az %55'inden sorumlu ve Ek 1'deki ülkelerin de içinde olduğu, en az 55 ülkenin imzalaması şartı öngörülmüştür. 1997'de yapılan bu protokol sonrası toplanan yıllık Taraflar Konferansı'nın temel hedefi, protokolün hayata geçirilmesi amacıyla uygulanacak politikaların belirlenmesine yönelik olmuştur. 1998'de Bounes Aires'te yapılan konferansta (COP 4) bir hareket planı yapılmıştır. Ancak 2000'de Lahey'de toplanan Altıncı Taraflar Konferansı'nda (COP 6), büyük tartışmalar yaşanmış ve bir birlik sağlanamamıştır. Sorun A.B.D.'nin istediği esneklikleri diğer ülkelerin kabul etmemesidir. A.B.D. dünya nüfusunun %4'ünü oluşturmalarına karşın, küresel sera gazı emisyonunun %25'inden sorumlu olmaktadır. Özellikle önümüzdeki dönemlerde küresel nüfusun artacağı, ayrıca ekonomik yapısı ve sanayi seviyesi açısından birçok ülkede büyümelerin yaşanacağı açık olduğu için önlemlerin erkene çekilmesi oldukça hassas bir konudur. Ancak A.B.D.'nin durumunun, diğer ülkelere göre oldukça farklı ve adaletsiz koşullarda olduğu düşünüldüğünde, çözüme ulaşma sürecinin niçin bu kadar uzun sürdüğü de açıklığa kavuşmaktadır.

COP6'da bir karara varılamamasının ardından, Bonn'da COP 6.5 olarak adlandırılan yeni bir oturum yapılmıştır. Ancak A.B.D., oturum öncesi Çin ve Hindistan gibi gelişme sürecindeki ülkelerin, sorumluluğu gelişmiş ülkelere attığı gerekçesiyle 2001'de Kyoto Protokolü'nden çekilme kararı almıştır.

Marakeş toplantısı olarak bilinen COP 7'de ise önemli adımlar atılmış ve uygulamaya esneklik getiren kararlar alınmıştır. [11]

2.3.3 Türkiye'nin iklim değişikliği için yürüttüğü diyaloglar

Türkiye OECD yesi olduğu için, taslağı 1992'deki imzaya sunulan 'İklim Değişikliği ereve Sözleşmesi' kapsamında hem sera gazı salımını azaltacak Ek 1, hem de az gelişmiş ülkelere finansal ve teknik destek verecek Ek 2 lkeleri grubuna dahil edilmiştir. Ancak bu yükümlülükleri yerine getirebilme konusunda ciddi tereddütleri olan Türkiye, sözleşmeye imza atmamıştır. 1997 Kyoto Protokolü'nde de, Türkiye aynı gerekçelerle taraf olmamıştır. 2000'de Lahey'de ise Türkiye'nin Ek 2'den çıkarılması ve eski sosyalist ülkelere sağlanan kolaylıklardan faydalandırılması koşuluyla, Ek 1 lkesi olarak taraf olabileceği belirtilmiştir. 16 şubat 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü'ne, uygun koşullar çerçevesinde imza atacağını 30 Mayıs 2008'de resmen açıklayan Türkiye, şubat 2009 itibari ve meclis kararı ile 2013 yılına kadar Ek 2 lkeleri içinde yer almak ve karbon salım azaltımına bu tarihe kadar gitmemek şartı ile imza atmıştır. Ek 2'de A.B.D., Almanya, Avustralya, Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Hollanda, İngiltere, İrlanda, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, İzlanda, Japonya, Kanada, Lüksemburg, Norveç, Portekiz, Yeni Zelanda, Yunanistan bulunurken, Ek 1'de Estonya, Slovakya, Bulgaristan, Letonya, Belarus, Rusya, Litvanya, Polonya, Romanya, Macaristan, Hırvatistan, Slovenya gibi ülkeler vardır. [11]

3. EGZOZ EMİSYONLARINA GETİRİLEN SINIRLAMALAR

3.1 Emisyon Denetimlerinin Amacı Ve Geçmişi

Artan otomobil sayısı ile birlikte, taşıt kaynaklı egzoz emisyonlarının çevreye olan olumsuz etkisi sebebiyle, tüm dünya bu doğrultuda bazı çalışmalar yapma ve önlem alma yoluna gitmiştir. Hava kirliliğine karşı ilk yasal önlemler Fransa'da alınmaya başlanmıştır. 15 Ekim 1810'da, Fransa'da çıkarılan yasa bunun ilk örneğidir. 1821'de buhar makinelerinin etkilerini, 1957 yılında ise hava kirliliğini önlemek amacıyla birer yasa çıkarılmıştır. 1881 yılında da Chicago'da benzer bir yasanın yürürlüğe girdiği bilinmektedir. Hava kirliliğinin etkileri yirminci yüzyılda, teknolojik gelişmelerle birlikte daha dikkatle incelenmeye başlanmıştır.

Taşıt egzoz emisyonlarının azaltılması amacıyla ilk çalışma, 1960 yılında Kaliforniya'da başlamıştır. 1961'de, taşıt motorlarında, yağ dolu karter ile silindir altında bulunan hacimde biriken yakıt ve yağ buharının atmosfere atılmayıp, emme kanalına tekrar gönderilmesiyle ilgili çalışmalar başlamış ve 1963'te, bu uygulamanın trafiğe çıkacak tüm araçlarda kullanılması için yasa çıkarılmıştır. 1966 yılında, CO ve HC emisyonlarına limitler konulmuştur. Hava fazlalık katsayısının 1~1,05 arası ayarlanmasıyla bu limitler aşılmada, motor iç sıcaklıklarının artması nedeniyle yeni bir sorun ortaya çıkmıştır. Bu sebeple 1970 ve 1971 yıllarında çıkarılan yeni kanunlarla, HC, CO ve NO_x emisyonları üçlüsüne bir arada kontrol getirilmiştir. [9]

3.2 Yeni Taşıtların Tip Testleri

Günümüzde piyasaya çıkacak yeni taşıtlara tip testleri yapılmaktadır. Test edilecek modelden bir örnek, özel aletlerle donatılmış bir deney düzeneğinde emisyon ölçümüne tabi tutulur. Boş ağırlığı 3500 kilogramın altında bulunan taşıtlarda, genellikle taşıt bir deney düzeneğine bağlanıp, trafik koşullarını modelleyen bir seyir çevrimi boyunca kullanılır. 3500 kilogramın üzerindeki taşıtlarda ise motor bir deney düzeneğine bağlanır. [9]

3.3 Egzoz Emisyonlarına Getirilen Sınırlamalar

Cadde seyir şartlarında çıkan gazların miktarlarını ölçmek için, taşıt bir şasi dinamometresi bulunan deney düzeneğine bağlanır. Burada taşıtın, belli bir mesafeyi, belli bir hız ve vites değerlerinde katetmesini sağlayan çevrimler kullanılır. Bu deneyler sonucu, elde edilen emisyon miktarlarına göre limit değerler saptanmıştır. Dünyada bu çevrimler ve limit değerlerden birkaçı yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.3.1 Amerika Birleşik Devletleri'nde taşıt emisyon uygulamaları

A.B.D.'de 1975 yılı sonrasında FTP 75 çevrimi kullanılmaya başlamıştır. Aynı çevrim ve emisyon faktörleri, dünyanın diğer bölgelerinde ki bazı ülkeler tarafından da kullanılmaktadır. A.B.D.'nin içerisinde bulunan Kaliforniya'da ise daha zorlayıcı emisyon değerlerine sahip CARB (California Air Resources Board) tarafından belirlenmiş limitler yürürlükte. A.B.D. eyaletlerinde, araçların rutin kontrolleri esnasında da önemle incelediği emisyon miktarları için oldukça detaylı bir yasaya göre hareket edilmektedir. Buradaki yönetmelikler, araçların sadece tip onayları için değil, ilerleyen süreçlerdeki emisyon miktarları içinde önemli sınırlar çizmektedir. Araçların yaşı ve kilometre bilgileri temel alınarak, emisyon düzeyleri için detaylı aralıklar oluşturulmuştur. [8]

3.3.2 Avrupa'da taşıt emisyon uygulamaları

Avrupa ülkelerinde ilk emisyon sınırlamaları 1972'de getirilmiştir. İlk uygulama ECE-R.15.00 (ECC 70/220) yönetmelikleriyle başlamıştır. 70/220 ifadesinde, 70 sayısı yayın tarihini, 220 ise yayın sayısını belirtmektedir. ECE-R.15.01 ile 1975 yılında bu sınır değerler daha da aşağıya çekilmiştir. ECE-R.15.02 regülasyonunun devreye girmesiyle, 1977 yılından itibaren NO_x emisyonları da sınırlandırılmaya başlanmıştır. ECE-R.15.03 ile 1979 yılında HC, CO ve NO_x için verilen sınır değerler daha da aşağıya çekilmiştir.

ECE-R.15.04 regülasyonu, 1984 yılından başlayarak HC ile NO_x emisyonlarının ayrı ayrı sınırlandırılması yerine toplama ait sınır değerler belirlenmiştir. ECE-R.15.05 ile 1989 yılından itibaren oldukça mühim bir değişikliğe gidilerek, taşıtların motor hacimlerine göre farklı sınır değerleri getirilmesi uygulamasına başlanmıştır. Bu yapılan değişiklik ile sınır değerleri yakalayabilmek için taşıtların egzoz sistemine katalizör takılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Ayrıca dizel motorlu

taşıtların önemli sorunlarından biri olan egzoz gazlarındaki partikül emisyonu da aynı yönetmelik ile sınırlanmıştır. [9]

Çizelge 3.1 : Avrupa Topluluğu ülkelerinde binek taşıtlar için uygulanan egzoz emisyonu sınır değerleri gelişim süreci. [9]

Uygulama Başlangıç Yılı	Uygulanan Yönetmelik	CO	HC	NO _x	HC+NO _x	Partikül	Yakıt Buharı(6)
1972 (1),(4)	ECE-R.15.00 (EEC 70/220)	100-220	8.0-12.8				
1975 (1),(4)	ECE-R.15.01 (EEC 74/290)	80-176	6.8-10.9				
1977 (1),(4)	ECE-R.15.02 (EEC 77/102)	80-176	6.8-10.9	10-16			
1979 (1),(4)	ECE-R.15.03 (EEC 78/665)	65-143	6.0-9.6	8.5-13.6			
1984 (1),(4)	ECE-R.15.04 (EEC 83/351)	58-110			19-28		
1989 (2),(4)	ECE-R.15.05 (EEC 88/76)						
	Benzinli Ön yanma odali	25-45			6.5-15	1.1	
	Dizel Direkt püskürtmeli	30			8		
	Dizel	58-110			19-28	1.1	
1993 (3),(5)	EURO 93 (EEC 91/441)						
	Benzinli Ön yanma odali	2.72			0.97		2
	Dizel(93) Direkt püskürtmeli	2.72			1.36	0.14	
	Dizel(95)	2.72			1.36	0.14	
1996 (3),(5)	EURO 96	1			0.7-0.9	0.08-0.1	-

(1): Sınır değerler taşıtın ağırlığına göre değişmektedir.

(2): Sınır değerler taşıtın motor hacmine göre değişmektedir.

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

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

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

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

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

Avrupa’da uygulanan ve tarihsel gelişimi anlatılan yönetmeliklerin taşıt egzoz emisyonlarına getirdiği sınır değerler Çizelge 3.1’de verilmiştir. [9]

Binek araçlar için Avrupa Birliği yönetmelikleri daha da geliştirilerek günümüze kadar getirilmiştir. 1 Temmuz 1992’de yürürlüğe giren Euro 1 emisyon standartları, 1 Ocak 1996’da, yerini Euro 2 standartlarına bırakmıştır. Euro 1, yönetmelik 91/441 EEC veya 93/59/EEC (EC 93)’ye bağlıdır. Euro 2 ise yönetmelik 94/12/EC veya 96/69/EC (EC 96)’ye bağlıdır. 1 Ocak 2000’de ise Euro 3 limitleri yürürlüğe girmiştir. 1 Ocak 2005’te ise Euro 4 limitlerinin kullanımına geçilmiştir. Euro 1 ve Euro 2’de, HC+NO_x değeri toplam olarak standartlaştırılmış iken, Euro 3 ve Euro 4’te bu uygulama değiştirilmiş ve HC ile NO_x için ayrı ayrı limitler öngörülmüştür. Bu durum Çizelge 3.2 ve 3.3’te görülmektedir. Ne yazık ki bu yönetmelikler A.B.’ye aday olan ülkemizde tam olarak uygulanamamış, örneğin Euro 2 normu ülkemizde hiç kullanılmamıştır. Dolayısıyla A.B.’nin Euro 2 yönetmeliklerine geçişine rağmen, ülkemizde satılan araçlarda bu kriterleri sağlama şartı aranmamış, ilerleyen yıllarda Euro 1’den Euro 3’e direkt geçiş yaşanmıştır. Türkiye’nin bu yönetmelikler konusundaki tavrı ilerleyen bölümlerde daha detaylı incelenmiştir. [13]

Çizelge 3.2 : Euro 1 ve Euro 2 emisyon standartları. [13]

Test	Emisyonlar	Birim	Euro 1 ²⁾		Euro 2	
			Tip Onayı	İlk Kayıt	Tip Onayı	İlk Kayıt
			7/92	1/93	1/96	1/97
			Benzin	Benzin	Benzin	Dizel*
Şehir içi	HC+NO _x		0,97 (1,13)		0,5	0,7
+						
şehir dışı	CO	g/km	2,72 (3,16)		2,2	1
çevrim	PM ¹⁾		0,14 (0,18)		-	0,08

1)Dizel taşıtlar.

2)Parantez içindekiler üretim uygunluğu değerleridir.

* Doğrudan olmayan püskürtmeli dizel için geçerli olan değerlerdir.

Doğrudan püskürtmeli dizel için (30/9/1999)'e kadar geçerli olan değerler:

HC+NO_x : 0,9 g/km, CO : 1 g/km, PM: 0,1 g/km

Çizelge 3.3 : Euro 3 ve Euro 4 emisyon standartları. [13]

			Euro 3		Euro 4	
			Tip Onayı/ İlk Kayıt		Tip Onayı/ İlk Kayıt	
			1/2000-1/2001		1/2005-1/2006	
			Benzin, LPG, NG		Benzin, LPG, NG	
Test	Emisyonlar	Birim	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel
Yeni	HC		0,2	-	0,1	-
şehir içi +	NO _x		0,15	0,5	0,08	0,25
şehir dışı çevrimi	HC+NO _x	g/km	-	0,56	-	0,3
	CO		2,3	0,64	1	0,5
	PM		-	0,05	-	0,025

3.3.3 Türkiye’de taşıt emisyon uygulamaları

3.3.3.1 Türkiye’de taşıtlardan kaynaklı kirleticilere getirilen sınırlamalar

Türkiye’de bölüm 3.1’de anlatıldığı gibi yeni taşıtlara tip testi ve trafikteki taşıtların egzoz emisyonlarına periyodik kontroller yapılmaktadır.

Avrupa topluluğu ülkelerinde 1984 yılından başlayarak, boş ağırlığı 3500 kilogramdan az olan benzin ve dizel motorlu taşıtlara uygulanan ECE-R.15.04 standardı ve sınır değerleri, TSE tarafından uyarlanarak, TS 4236 ve TS 5648 standartları olarak yayınlanmıştır. Ancak emisyon tespit çalışmaları için gerekli laboratuvar ortamı bulunmadığından, uygulamaya hızlı bir geçiş gerçekleşmemiştir.

Sanayi ve Ticaret Bakanlığı’nın isteği üzerine, İTÜ Makine Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı’na bağlı olarak, 1993 yılından itibaren ölçüm uygulamaları gerçekleştirmeye başlamıştır. Halen ülkemizdeki bu tip araçlara egzoz emisyonu uygunluk raporu bu birim tarafından verilmektedir. Tarafsız laboratuvarlarca onaylanmış bu tip bir rapora sahip olmayan araçlara, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından imalat ve ithalat izni verilmemektedir.

Çevre ve Orman Bakanlığı ile Otomotiv Sanayicileri Derneği’nin ortaklaşa yayınladıkları bir bildirge ile 1995 yılından başlayarak boş ağırlığı 3500 kg.’ın

altında olan taşıtların, EURO 93 standartlarına uygunluk sağlamaları kararlaştırılmıştır. [9]

Boş ağırlığı 3500 kilogramı geçen dizel motorlu taşıtlar için Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından 1993 yılından başlayarak Türkiye’de üretilmiş olan ve ithal edilen ağır taşıtların ECE-R.24 ile tanımlanan ölçüm yöntemi ile belirlenen is emisyonu sınır değerleri sağlaması istenmektedir. Bu tür ölçümler, İTÜ ve ODTÜ laboratuvarlarında veya üretici firmaların deney düzenekleri kullanılarak, üniversitelerden katılan konu ile ilgili uzmanların gözetiminde gerçekleştirilmektedir. [9]

AB direktifleri ile uyumlu egzoz emisyonlarıyla alakalı, yürürlükteki temel standartlar şöyle sıralanabilir; ağır dizel taşıtlar için 88/77/AT (2005/55/AT) Egzoz Emisyonu, benzinli ve dizel araçlar için 70/220/AT Egzoz Emisyonu, 80/1268/AT CO₂ Emisyonları ve Yakıt Tüketimi, 80/1269/AT Motor Gücü, 1999/94/AT Yeni Binek Otomobillerin Yakıt Ekonomisi ve CO₂ Emisyonları. [13]

Emisyon mevzuatına uyum aşamaları ise şöyledir:

Benzinli Araçlar (70/220/AT):

- Yeni Araçlar :

01.01.2001: EURO 3

01.01.2008: EURO 4

- Mevcut Araçlar

30.09.2001: EURO 3

01.01.2009: EURO 4

Hafif Dizel Araçlar (70/220/AT):

- Yeni Araçlar:

01.01.2001: EURO 1 Öncesi (EURO 93)

01.01.2008: EURO 4

- Mevcut Araçlar:

31.12.2002: EURO 1 Öncesi (EURO 93)

01.01.2009: EURO 4

Ağır Dizel Araçlar (88/77/AT – 2005/55/AT):

- Yeni Araçlar

01.01.2001: EURO I

01.01.2008: EURO IV

- Mevcut Araçlar

31.12.2002: EURO I

01.01.2009: EURO IV. [13]

3.3.3.2 Türkiye’de trafikteki taşıtların egzoz emisyonlarının periyodik kontrolü

Türkiye’de trafikte yer alan taşıtların egzoz emisyonlarının periyodik kontrolleri, Çevre ve Orman Bakanlığı’nın, 8 Temmuz 2005 tarihinde çıkarttığı yönetmeliğe göre yapılmaktadır. Egzoz gazı emisyon ölçümü yaptırma periyotları, hususi otomobiller ilk üç yaş sonunda ve devamında her iki yılda bir, resmi otomobiller ilk iki yaş sonunda ve devamında her yılda bir, diğer motorlu taşıtlar, ilk bir yaş sonunda ve devamında yılda bir ve trafikte seyreden tüm motorlu taşıtlar, on yaş sonunda yılda bir olarak belirlenmiştir.

Araç sahipleri bu periyodlarla kontrol yaptırıp, karşılığında ölçüm pulu almak zorundadırlar. Sınır değerlere uymayan taşıtlara bir ay ek süre tanınmakta, bu süre içerisinde aracının bakımını yaptırıp, egzoz emisyon pulu almayan sürücülere, Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından ceza kesilmesiyle birlikte aracın trafikten men edilmesine karar verilmektedir. [13]

4. TESTLERDE KULLANILAN ÇEVİRİMLER VE DENEY DÜZENİĞİ

4.1 Test Çevrimleri

Otomotiv sektöründe önemli bir yeri olan test çevrimleri, taşıtların egzoz emisyonlarını ve yakıt tüketimlerini hesaplayarak, emisyon faktörlerinin belirlenmesi için kullanılan hız-zaman grafikleridir. Test çevrimlerinin en temel amacı, araçların tip testlerinin yapılmasında işlev sahibi olmalarının yanısıra, farklı alanlarda da insanların ihtiyaçlarını belirlemede kullanılmalarıdır. Otomobil sektöründeki üreticiler, bu çevrimler ile tasarımlarını ve araç özelliklerini geliştirirler, yani teknolojinin gelişiminde çevrimler önemli birer referanstır. Ayrıca trafik mühendisleri, trafik kontrol sistem dizaynı, trafik akışı ve aksamalarının simülasyonunun geliştirilmesinde, test çevrimlerine ihtiyaç duyarlar. Bir çevrimden beklenen, kısıtlı bir zaman aralığında (5-60 dakika), söz konusu taşıt tipi ve bölge için geçerli olan gerçek sürüş şablonunu yansıtmak, yani bölgedeki trafik olaylarını en genel halde simule etmektir. Bir bölgedeki trafik akış yoğunluğunun detaylı olarak belirlenebilmesi için izlenecek yol, bölgede seyir verilerinin (durma, hızlanma, frenleme, sabit hızda seyir, kullanılan vites vb.) sistematik olarak toplanması ve kafi miktarda toplanan verinin işlenmesi sonucu, şehir çevrimi olarak sunulmasıdır.

Test çevrimleri iki ana sınıfta incelenmektedir. Birincisi, resmi olarak hükümetlerce kullanılan çevrimlerdir. Bunlar A.B.D.'de kullanılan FTP 75 ve Avrupa Birliği'nde kullanılan NEDC gibi çevrimlerdir. İkincisi ise taşıt kaynaklı emisyon ve yakıt tüketim değerlerinin daha doğru tespiti için geliştirilen, yasal standart olmayan çevrimlerdir. Bunlar Hong Kong ve Sidney örneklerindeki gibi çevrimlerdir. Bu çevrimler ile daha bölgesel trafik analizleri yapılp, o bölgenin gerçekleri hakkında, daha doğru yaklaşımlar yapılabilinmektedir. Bu çalışmada kullanılan İstanbul test çevrimide, Türkiye'nin en yüksek nüfusuna sahip şehrinin yoğun trafik koşullarının, en doğru şekilde yansıtılması için oluşturulmuştur. İstanbul test çevrimi, belli bir şehrin bölgesel trafik yoğunluğunu anlatan ikinci sınıfa girmektedir.

Şüphesiz birçok ülkede kullanılmasına rağmen, NEDC çevrimi oldukça genel bir trafik koşulunu yansıtmaktadır. Birçok ülkenin, hatta şehrin, kendine özgü trafik dinamikleri vardır. Bu sebeple, çalışmada, dünyanın en yaygın kullanıma sahip çevrimleri olan FTP 75 ve NEDC çevrimleri yanında, uzun çalışmalar sonucu oluşturulmuş İstanbul şehir çevriminde de aynı araçlar test edilmiştir. Bu çevrimin oluşturulmasındaki en temel amaç, İstanbul'daki yoğun trafik dinamiklerinin daha doğru bir çevrimle yansıtılmak istenışidir. Resmi olarak Türkiye'de ve dolayısıyla İstanbul'daki araçlarda, tip onayı için NEDC çevrimi kullanılmaktadır. Ancak bu çevrimin, İstanbul ve Türkiye trafiğine uygunluğu tartışma konusudur. Oluşturulan İstanbul çevrimi sayesinde, İstanbul trafiğine daha uygun ve gerçekçi bir simülasyon yaratılmak istenmiştir.

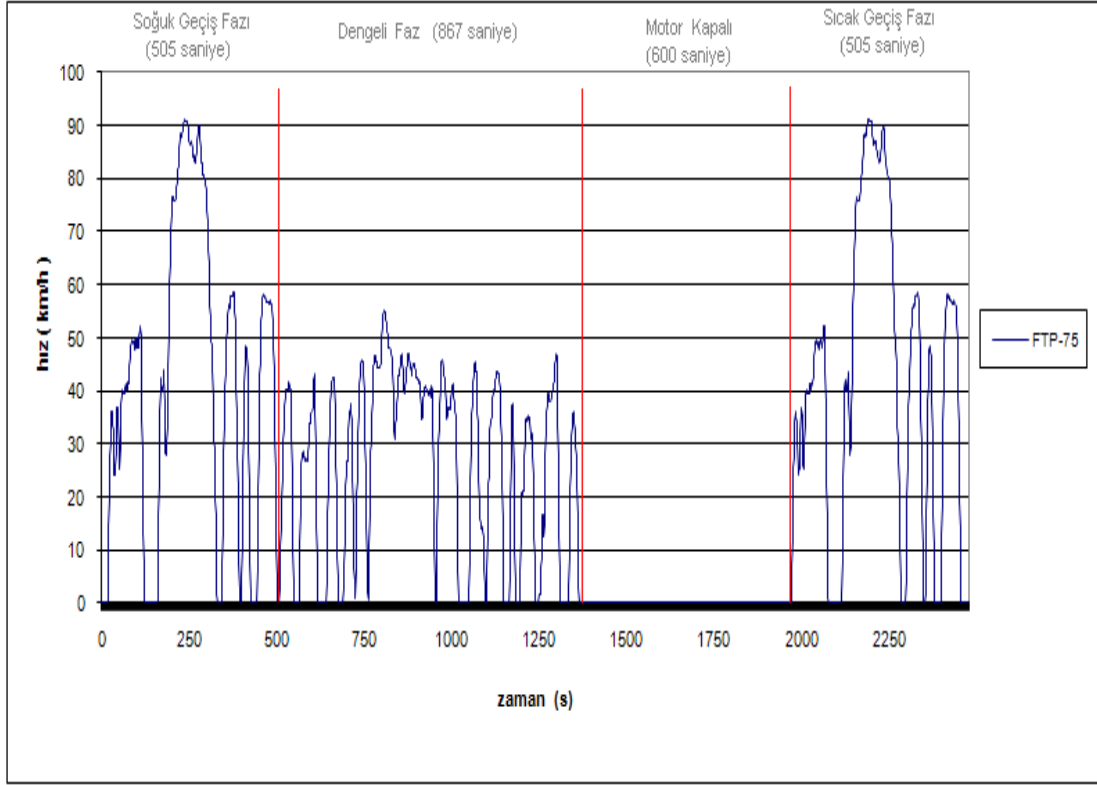
4.1.1 Deneylerde kullanılan test çevrimlerinin değeriendirilmesi

4.1.1.1 Amerika test çevrimi (FTP 75)

Hava kirliliğı ile ilgili araştırmalar, enerji tüketim yoğunluğu ve coğrafi konumu dolayısıyla, ABD'nin Los Angeles şehrinde, 2. Dünya Savaşı sonlarında artarak devam etmiştir. Profesyonel çalışmaların devamı sonrası, ABD'de 1975 yılından sonra, FTP 75 olarak adlandırılan standart bir şehir içi çevrimi uygulanmaya başlanmış ve günümüzde de halen uygulanmaktadır. Aynı çevrim, Avustralya, Brezilya, Meksika, Suudi Arabistan, Güney Kore, Avusturya, İsviçre, İsveç, Danimarka, Finlandiya, Norveç gibi ülkelerde de egzoz gazlarındaki kirleticilerin ölçümü için bir dönem kullanılmış veya halen kullanılmaktadır. [13]

Amerika çevrimi, Los Angeles'taki günlük trafik koşullarının kaydedilmesi ve hız oranlarının çıkarılması ile oluşturulmuş bir resmi çevrimdir. Deneyin yapılış koşullarının sağlanabilmesi için, deney öncesi, aracın 6 ile 36 saat arasındaki bir zaman diliminde 20 ile 30 °C arasında sıcaklığa sahip bir ortamda bekletilmesi gerekir. Bu çevrim, üç farklı fazdan oluşmaktadır. Bunlar; soğuk geçiş fazı, dengeli faz ve sıcak geçiş fazıdır. Binek ve hafif ticari araçlar için geçerli olan FTP 75'te, motorun çalıştırılması ile egzoz gazlarının torbaya toplanması aynı anda başlar. Yirmi saniye süresince motor boşta çalışır. Her faz için açığa çıkan gazlar farklı torbalarda toplanır. Dengeli faz sonrası, motor altı yüz saniye boyunca kapalı tutulur. Bu esnada ilk iki torbadaki örneklerin analizi yapılır. Çünkü torbadaki gazların, deneyin hassasiyetini koruması açısından, yirmi dakikadan fazla torbada bekletilmesi

istenmez. Çevrim uzunluğu 17,87 kilometre, çevrim süresi ise üç fazda toplam 1877 saniye ve 600 saniyelik bekleme priyodu ile genel toplamda 2477 saniyedir. Çevrimde ortalama hız 34,1 km/h ve azami hız ise 91,2 km/h'tir. Şekil 4.1'de FTP 75 çevrimi görülmektedir.

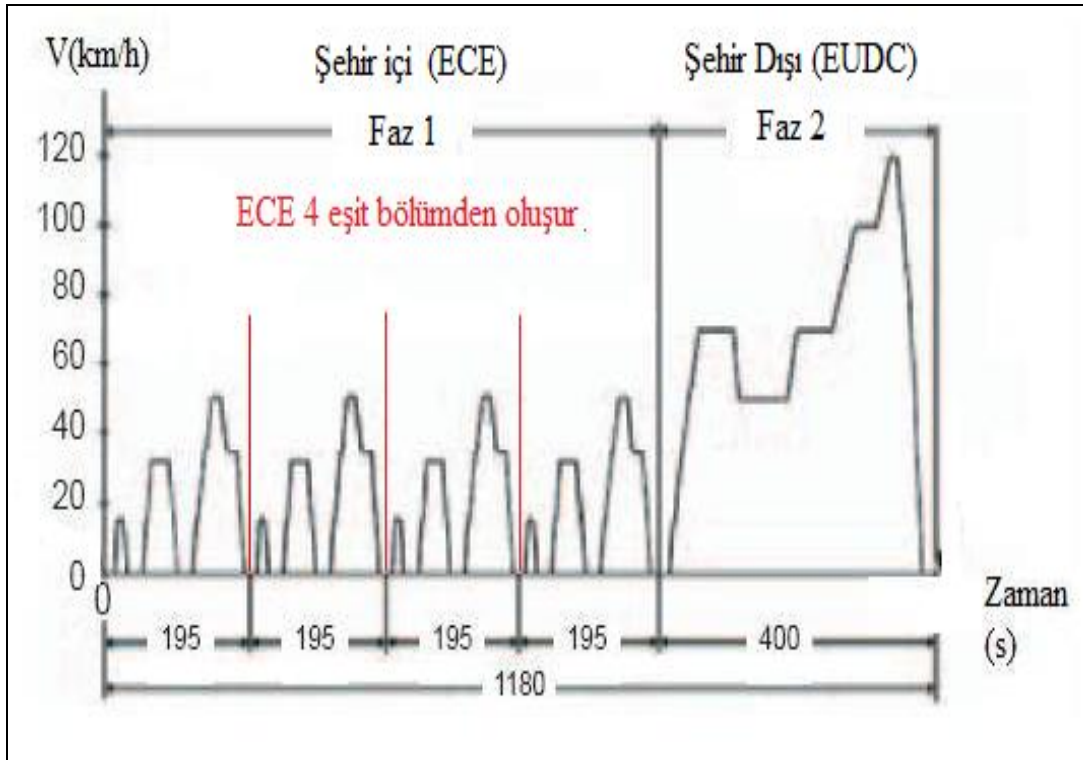


Şekil 4.1 : Amerika test çevrimi (FTP 75). [14 , 15]

4.1.1.2 Avrupa test çevrimi (NEDC)

Avrupa'da standartlaştırılıp, tip onayı için kullanılan ECE 15 adlı Avrupa test çevrimi, bir şehir içi çevrimi olup, 195 saniyelik aynı sürüş koşullarının, dört defa tekrarlanması ile 4,052 kilometrelik kısa bir ölçüm içermektedir. Ayrıca bu çevrimin boşta çalışma periyodları ile birlikte ortalama hızı 18,7 km/h ve azami hızı 50 km/h olarak tanımlanmıştır. Maksimum ve ortalama hızın düşük olması genel bir eleştiri konusuydu. Bu sebeple çevrime, ismi EUDC (Extra Urban Driving Cycle) olarak tanımlanan yüksek hız bölümleri eklenmiştir. Şehir dışı fazı olarak bilinen bu 400 saniyelik şehir dışı çevriminin ise ortalama hızı 62,6 km/h ve maksimum hızı 120 km/h olarak belirlenmiştir. Şehir içi ve şehir dışı çevrimlerin birleştirilmesi ile günümüzde kullanılan Avrupa test çevrimi ortaya çıkmıştır. Burada test çevrimi uzunluğu da 6,955 km mesafeli şehir dışı fazın, şehir içi faza eklenmesiyle 11,007 km'ye çıkarılmış olup, genel çevrimin maksimum hızı da 120 km/h'e yükseltilmiştir.

Ayrıca çevrimin ortalama hızıda 33,6 km/h olmuştur. Daha sonra ise bu çevrim tekrar modifiye edilmiştir. Bazı kaynaklar da Avrupa test çevrimi için MNEDC (Modified European Test Driving Cycle) tabiri kullanıldığı görülmektedir. Eski çevrimde örnek toplamaya başlamadan önce, motorun 40 saniye boşta çalışmasına müsaade edilirken, yeni çevrimde örnekleme hemen başlamaktadır. Yani, yeni çevrimde soğuk başlangıç fazı kullanılmaktadır. Bu geçiş Euro 3 regülasyonlarının yürürlüğe girmesi ile birlikte gerçekleşmiştir. Avrupa çevrimi Şekil 4.2’de görülmektedir. [8,13]



Şekil 4.2 : Avrupa test çevrimi (NEDC). [8 , 14]

4.1.1.3 İstanbul test çevrimi

Çalışmamızda asıl amaç, ulaştırma sektöründe, Türkiye’deki sera gazı durumuna genel bir öngöründe bulunabilmek ve gerçek İstanbul trafiği koşullarının emisyon düzeylerine etkisini gözlemlemektir. Türkiye’deki illerde yakıt türlerine göre taşıtların dağılımı bilinmemekte, ancak illere göre toplam otomobil sayıları bilinmektedir. Bu sayılara göre Türkiye’de en çok otomobil, sırasıyla İstanbul, Ankara ve İzmir’de bulunmaktadır. Tahmin edilebileceği üzere, araç sayısının fazlalığı, o şehrin nüfus yoğunluğu ve ekonomik seviyesi ile doğrudan orantılıdır. Mevcut sayılar Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1 : Türkiye’de illere göre toplam otomobil sayıları. [15]

	2000 yılı	2001 yılı	2002 yılı	2003 yılı	2004 yılı	2005 yılı	2006 yılı
	Otomobil	Otomobil	Otomobil	Otomobil	Otomobil	Otomobil	Otomobil
İller	Sayısı	Sayısı	Sayısı	Sayısı	Sayısı	Sayısı	Sayısı
İstanbul	999887	980635	938614	907935	1502720	1590283	1657320
Ankara	646495	665244	674336	694758	696157	738960	783198
İzmir	331712	341404	348039	353852	387776	409397	434863
Antalya	151298	160071	170038	180939	199570	218966	233830
Bursa	174132	181077	185636	189593	198419	212325	225275
Konya	110634	116061	121981	130234	135130	146840	159951
Adana	140706	144573	146286	152105	140505	148480	156865
Mersin	87374	90774	92825	96992	102061	109259	116262
Kayseri	77940	82683	86636	91807	93942	102238	111502
Muğla	68154	71240	75223	79198	84626	91330	98538
Balikesir	95624	96851	97855	98451	87206	93104	98868
Denizli	72745	75165	77860	81654	86308	92311	98216
Manisa	77903	79790	80914	83363	85399	90831	97294
Kocaeli	76832	80763	81722	83967	81817	85246	93947
Gaziantep	57898	61464	64422	68193	77050	84135	91673
Aydın	68891	71037	72894	74403	78230	83594	88827
Hatay	64780	68203	72365	75317	77061	83131	87666
Eskişehir	67239	69575	70645	70068	73108	78379	82738
Samsun	63695	65968	67219	69016	67991	72194	77791
Sakarya	46777	49450	50540	50699	51263	56005	59588
Diğer 60 il	936936	982596	1024091	1067799	1094101	1185737	1286780

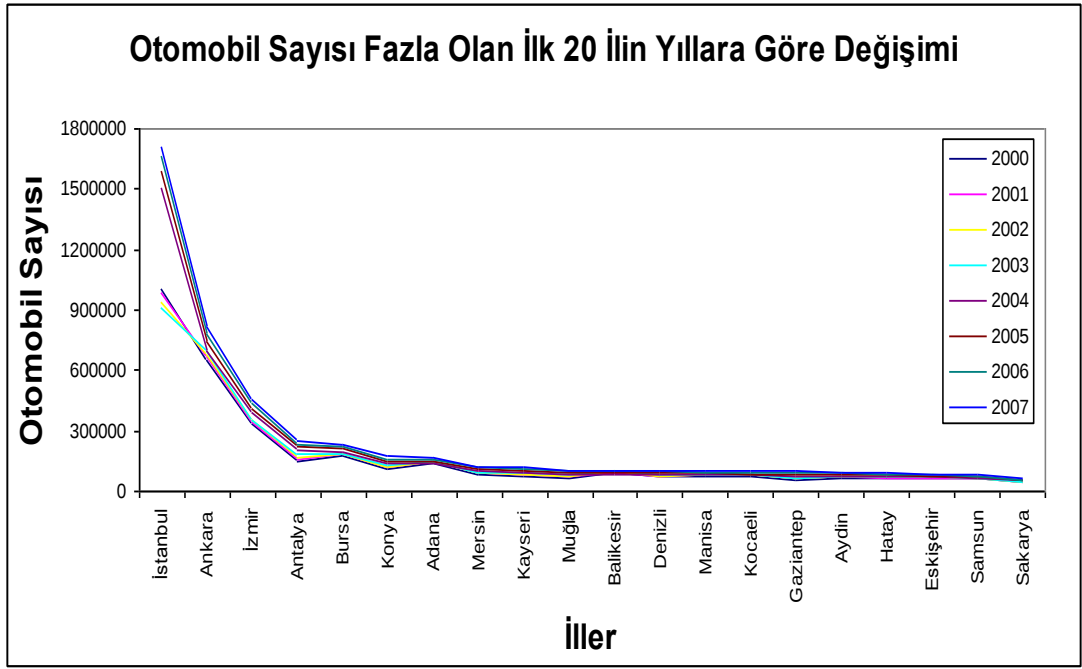
Açıkça görüldüğü gibi tüm şehirlerde, her geçen gün araç sayısında ciddi bir artış yaşanmaktadır. Ancak bu artışın oldukça büyük bir bölümü kırsal yaşamın daha yoğun olduğu şehir sınırları içerisinde pek görülmemektedir. Bu sayıları yüzdesel olarak değerlendirdiğimizde ise İstanbul’daki taşıt sayısının, diğer altmış il kategorisinde verilmiş toplamdan daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum Çizelge 4.2’de görülmektedir.

Bu tablonun diğer bir yorumunda, ülkenin en yüksek otomobil sayısına sahip üç ili olan İstanbul, Ankara ve İzmir’in, ülkenin toplam araç sayısının hemen hemen yarısını oluşturduğunu görmekteyiz. Bu illerdeki yoğun trafik koşullarında düşünüldüğünde, İstanbul için oluşturulacak bir şehir çevriminin, aslında Türkiye’yi de temsil etme özelliği taşıyacağı öngörülmüştür. Çalışmamızda İstanbul trafik koşulları ve parametreleri referans alınarak ortaya konmuş bir çevrim kullanılmış olmakla birlikte, aslında bu çevrimin, Türkiye’nin trafik koşullarını da yansıtmak için bir referans teşkil ettiği görülmektedir.

Çizelge 4.2 : Türkiye’deki farklı illere göre otomobillerin sayısal dağılımının yüzdeleri. [15]

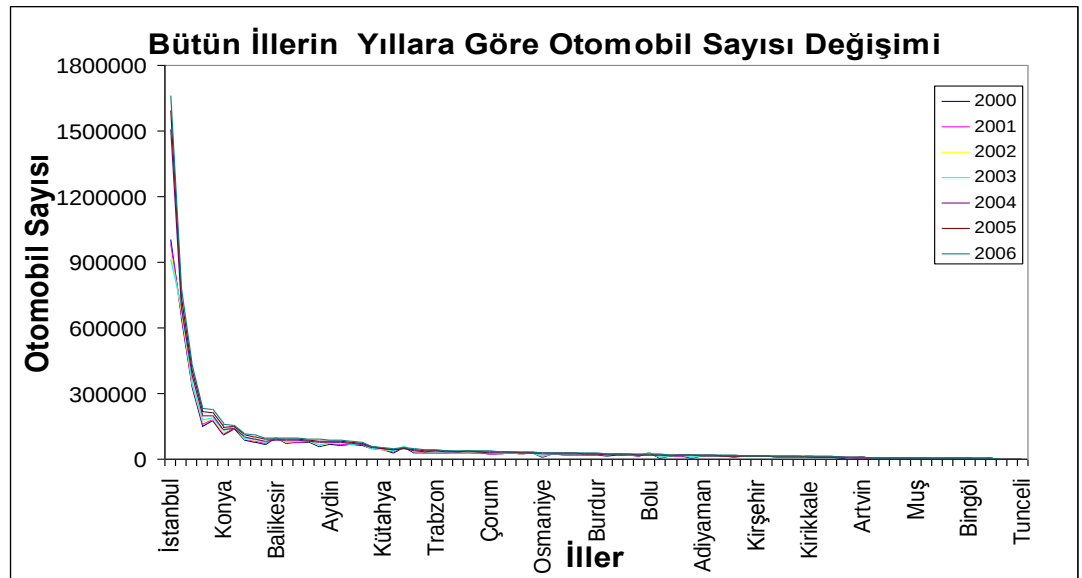
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
İller	%	%	%	%	%	%	%
İstanbul	22,6	21,6	20,4	19,3	27,8	27,5	27
Ankara	14,6	14,7	14,7	14,8	12,9	12,8	12,8
İzmir	7,5	7,5	7,6	7,5	7,2	7,1	7,1
Antalya	3,4	3,5	3,7	3,8	3,7	3,8	3,8
Bursa	3,9	4	4	4	3,7	3,7	3,7
Konya	2,5	2,6	2,7	2,8	2,5	2,5	2,6
Adana	3,2	3,2	3,2	3,2	2,6	2,6	2,6
Mersin	2	2	2	2,1	1,9	1,9	1,9
Kayseri	1,8	1,8	1,9	2	1,7	1,8	1,8
Muğla	1,5	1,6	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6
Balıkesir	2,2	2,1	2,1	2,1	1,6	1,6	1,6
Denizli	1,6	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6
Manisa	1,8	1,8	1,8	1,8	1,6	1,6	1,6
Kocaeli	1,7	1,8	1,8	1,8	1,5	1,5	1,5
Gaziantep	1,3	1,4	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5
Aydın	1,6	1,6	1,6	1,6	1,4	1,4	1,4
Hatay	1,5	1,5	1,6	1,6	1,4	1,4	1,4
Eskişehir	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3
Samsun	1,4	1,5	1,5	1,5	1,3	1,3	1,3
Sakarya	1,1	1,1	1,1	1,1	0,9	1	1
Diğer 60 il	21,2	21,7	22,3	22,7	20,3	20,5	21

2000 ile 2006 yılları arasındaki taşıt değişimlerine bakıldığında, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te taşıt sayısı en fazla olan ilk yirmi ilin değişim eğrileri görülmektedir. Taşıt sayısı en fazla olan ilk 20 ilden sonraki illerde, taşıt sayısındaki değişim çok düşüktür. Bu illerde her yıl taşıt parkına eklenen taşıt sayısının oldukça az miktarda olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, taşıt sayısında çok ufak artışlar olduğu görülen bu illerdeki araçların eski ve emisyon teknolojisi bakımından oldukça geri olduğu düşünülebilir. Son yıllarda, ekonomik ve teknolojik gelişmeler, insanların bilinçlenmesi ve otomotiv yatırımcılarının regülasyonlara göre araçlar üretmesi sonucu, araç satışlarının artmasıyla birlikte, emisyon seviyeleri düşmüştür. Teşvikler ile birlikte eski araçların piyasadan mümkün olduğunca çekilmesi sonucu, yeni araç sayısı artsa dahi, çevre kirliliği düşünüldüğü kadar artmamış olacaktır.



Şekil 4.3 : Türkiye’de, otomobil sayısı en fazla olan ilk yirmi ilin yıllara göre toplam otomobil sayısı değişimi. [16]

Türkiye’de, nüfusu az ve daha az gelişmiş illerde araç sayısının oldukça düşük olduğu bir gerçektir. Bu bağlamda, taşıt sayısında çok ufak artışlar olduğu görülen bu illerdeki araçların, eski ve emisyon teknolojisi bakımından oldukça geri olduğu düşünülebilir.

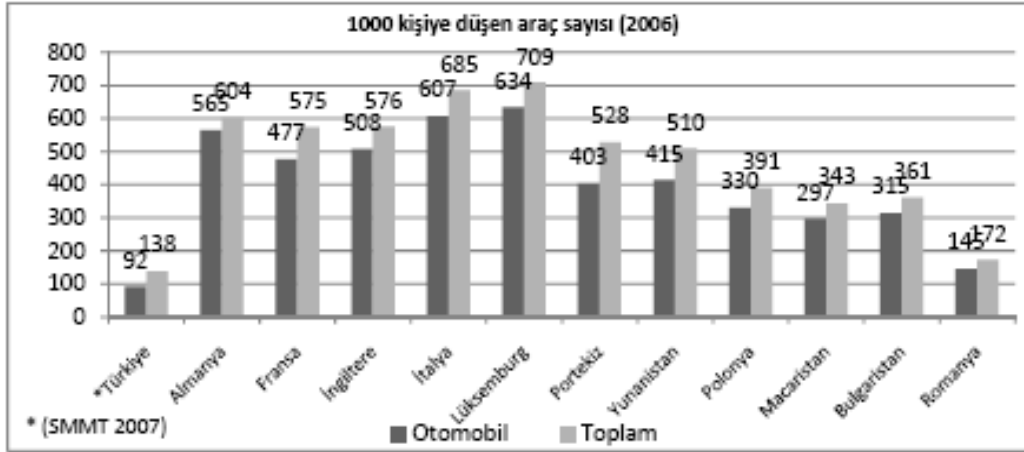


Şekil 4.4 : Türkiye’deki şehirlerde yıllara göre otomobil sayısındaki değişim. [16]

Bu veriler ışığında oluşturulacak çevrimin sadece İstanbul’u değil, esasen tüm Türkiye’yi temsil edebileceği oldukça gerçekçi bir düşüncedir. Bu analizlere göre,

İstanbul şehir çevrimi oluşturulmasına karar verilmiştir. Türkiye’deki taşıtların tip onayı ve ürün uygunluğu emisyon testleri için Avrupa test çevrimi kullanılmaktadır. Ancak Avrupa test çevrimi ile tahmin edilen toplam egzoz emisyonları, Türkiye’deki ulaştırma kaynaklı toplam egzoz emisyonlarını yeterince iyi temsil etmemektedir. Türkiye’ye özel emisyon faktörlerinin çıkarılması amacıyla, “İstanbul Şehir Çevrimi”, Tübitak-TARAL projelerinden 105G039 numaralı “Ulaştırma Sektöründe Sera Gazı Azaltımı” adlı proje kapsamında hazırlanmıştır. [15]

Ülkemizde araç yoğunluğu, dünya rakamlarına göre yüksek olmasada, yetersiz ve plansız çalışmalarla, İstanbul son derece sorunlu bir ulaşım yapısına sahiptir. Şekil 4.5’e bakıldığında, aslında ülkemizde kişi başına düşen araç sayısının, diğer gelişim ülkelere göre hiçte yüksek olmadığı görülmektedir. İstanbul için düşündüğümüzde, etrafi denizlerle de çevrili bir şehir olarak, deniz üzerinde de ulaşım seçeneği sunan bir yapıya sahip olmakla birlikte, artan göç ve buna bağlı nüfus yoğunluğunu, yetersiz altyapısı sebebiyle karşılayamamaktadır. Dolayısıyla her geçen gün artan araç sayısına karşın, karayolu yapımının oldukça yetersiz seviyelerde kalması, raylı sistem alternatiflerine yönelme amacıyla yapılan girişimlerin oldukça geç zaman dilimlerine bırakılmış olması sebebiyle, günümüz trafik durumu, İstanbul için hiçte iç açıcı değildir.



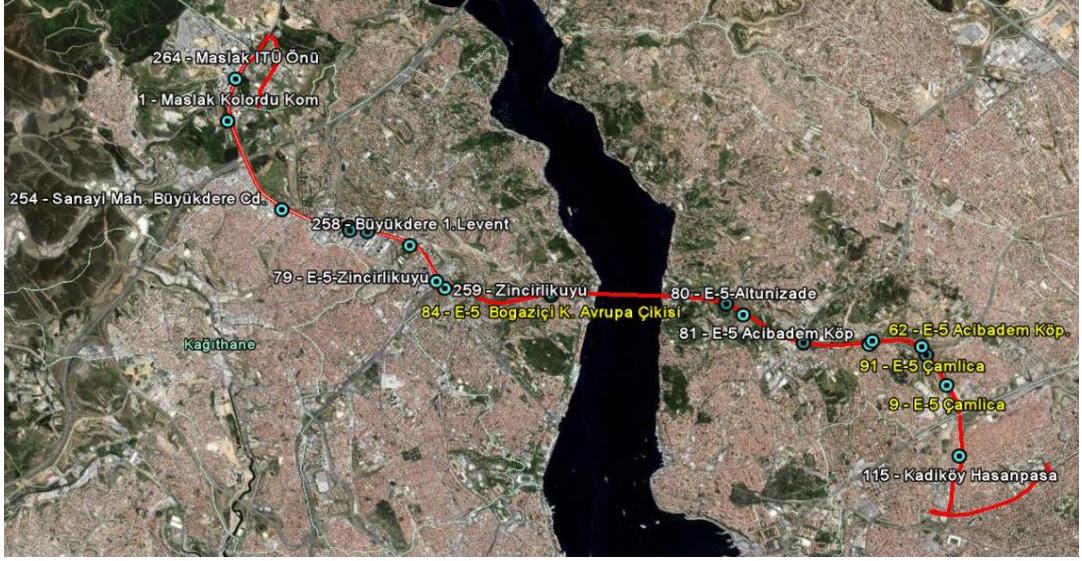
Şekil 4.5 : Avrupa’da 1000 kişiye düşen toplam taşıt ve otomobil sayıları. [16]

İstanbul trafiğini temsil eden tek bir çevrim elde etmek için başlangıç kriterlerinin iyi konulması gerekmektedir. Burada önemli olan husus, veri toplamak için seçilen rotaların, şehrin trafik karakterini (trafik akım hızı, akım hacmi ve yoğunluğu vb.) ne

derecede doğru temsil ettiğidir. Ayrıca hangi rotanın ne kadarlık bir yüzde ile temsil edilmesi gerektiği de belirlenmelidir.

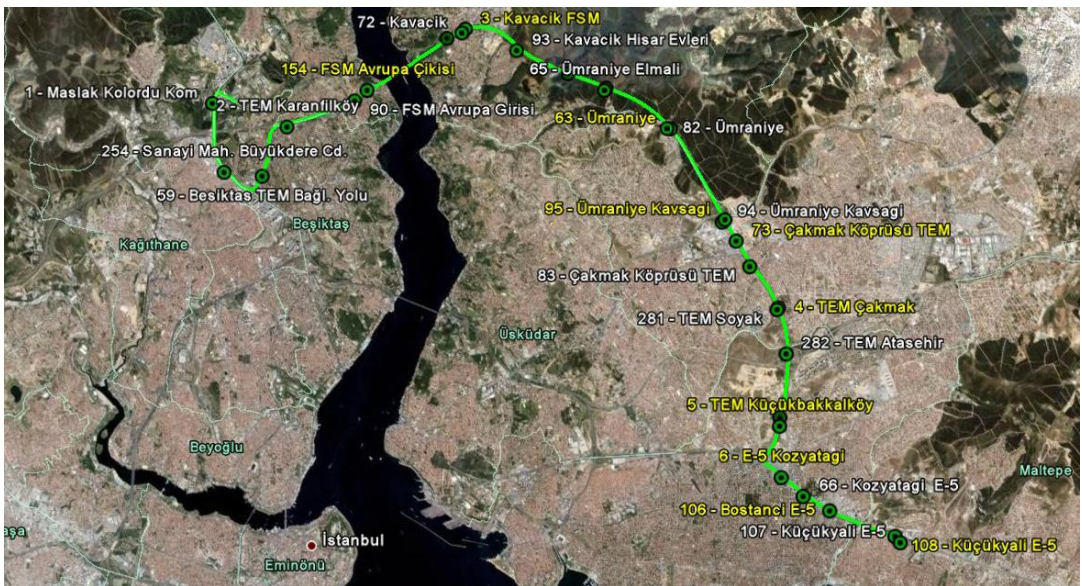
Kısaca, İstanbul çevriminin oluşturulma mantığından bahsedersek, bu çalışmada temel olarak dört farklı rotada toplanan veriler esas alınmış ve bu rotaların içerisinde, yukarıda bahsi geçen kriterler açısından İstanbul'un trafik davranışını en iyi temsil eden bölümler seçilmiştir. Bu rotalar şunlardır;

1- Maslak – Göztepe (Boğaziçi Köprüsü üzerinden),



Şekil 4.6 : Maslak – Göztepe (E 5) rotası. [15]

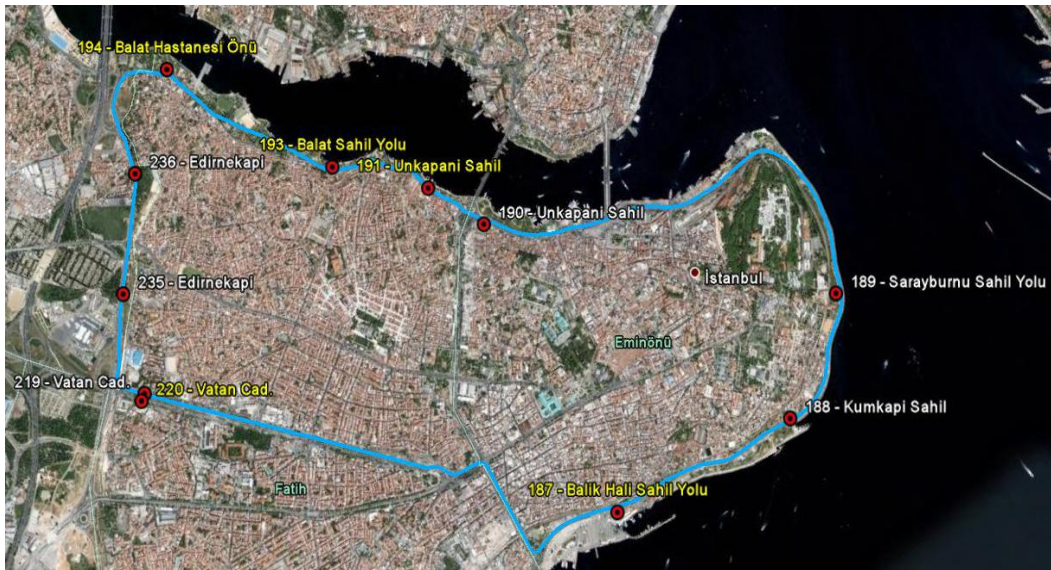
2- Maslak–Kozyatağı (Fatih Sultan Mehmet Köprüsü üzerinden),



Şekil 4.7 : Maslak – Kozyatağı (TEM) rotası. [15]

[illegible]

4. Tarihi Yarımada

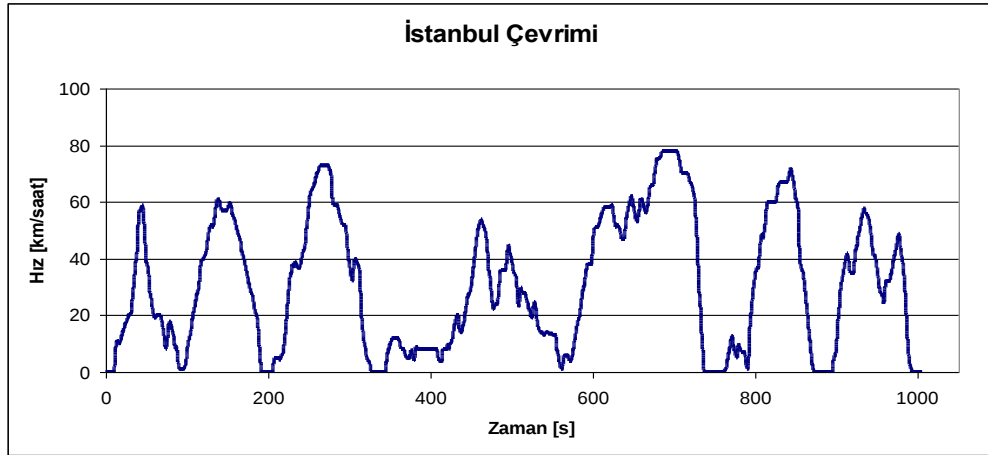


Bu rotalarda bulunan sensörler yardımıyla trafik akışına ilişkin gerekli analizler ile İstanbul şehir çevrimi ortaya çıkarılmıştır. Günün farklı saatlerinde yapılan ölçümler ile şehrin birçok bölgesindeki trafik akışı kaydedilmiş, daha sonra farklı rotalarda elde edilen verilerin yorumlanması sonucu birkaç alternatif çevrim oluşturulmuştur. Bu çalışmada kullanılan nihai çevrim ise laboratuvar ortamında kullanılacak en uygun zaman ve hata payını ön gören çevrimin seçilmesi sonucu ortaya çıkmıştır.

İstanbul şehir çevriminin özellikleri:

- Çevrim uzunluğu: 8,61 km
- Çevrim süresi 1003 saniye
- Ortalama hız 30,9 km/h
- Azami hız: 78,0 km/h

İstanbul Şehir Çevrimi Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 : İstanbul şehir çevrimi. [15]

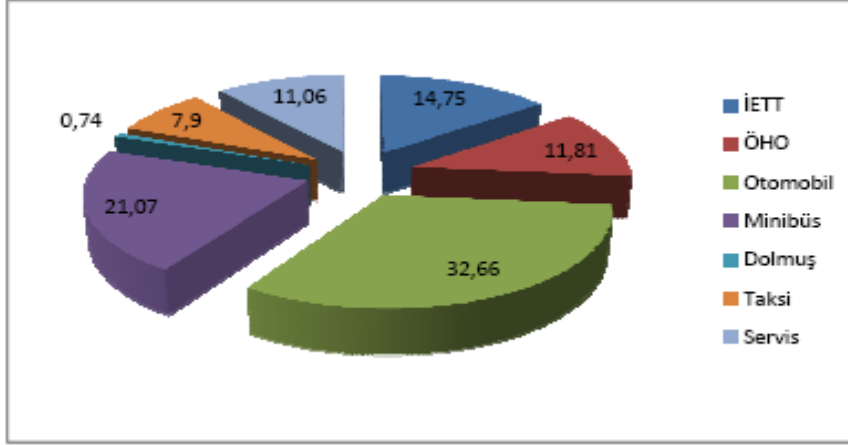
İstanbul'un şehir içi toplam ulaştırma seçeneklerinde ki ana pay, Çizelge 4.11'de de net olarak görülebileceği gibi karayolu sistemlerine aittir.



Şekil 4.11 : İstanbul kent içi ulaşım sistemlerinin dağılımı. [17]

Boğazın ayırdığı iki yakadan oluşan ve etrafı denizlerle çevrili bir coğrafyası olan İstanbul'da, ne yazık ki ulaşım tek bir tekele bağlanmış gibi görünmektedir. Karayolları arasında ise özel taşıtlar ile yapılan yolculukların ciddi oranda olduğu

saptanmıştır. Şekil 4.12’de, şehirde, yolculuklarda kullanılan araç türlerinin durumu açıkça görülmektedir. Çalışmada, deneyleri benzinli otomobillerde yaparak, aslında İstanbul trafiğinin önemli bir bölümünü temsil etmişte olduğumuz bir gerçektir.



Şekil 4.12 : İstanbul kent içi karayolu ulaşımındaki araçların dağılımı. [17]

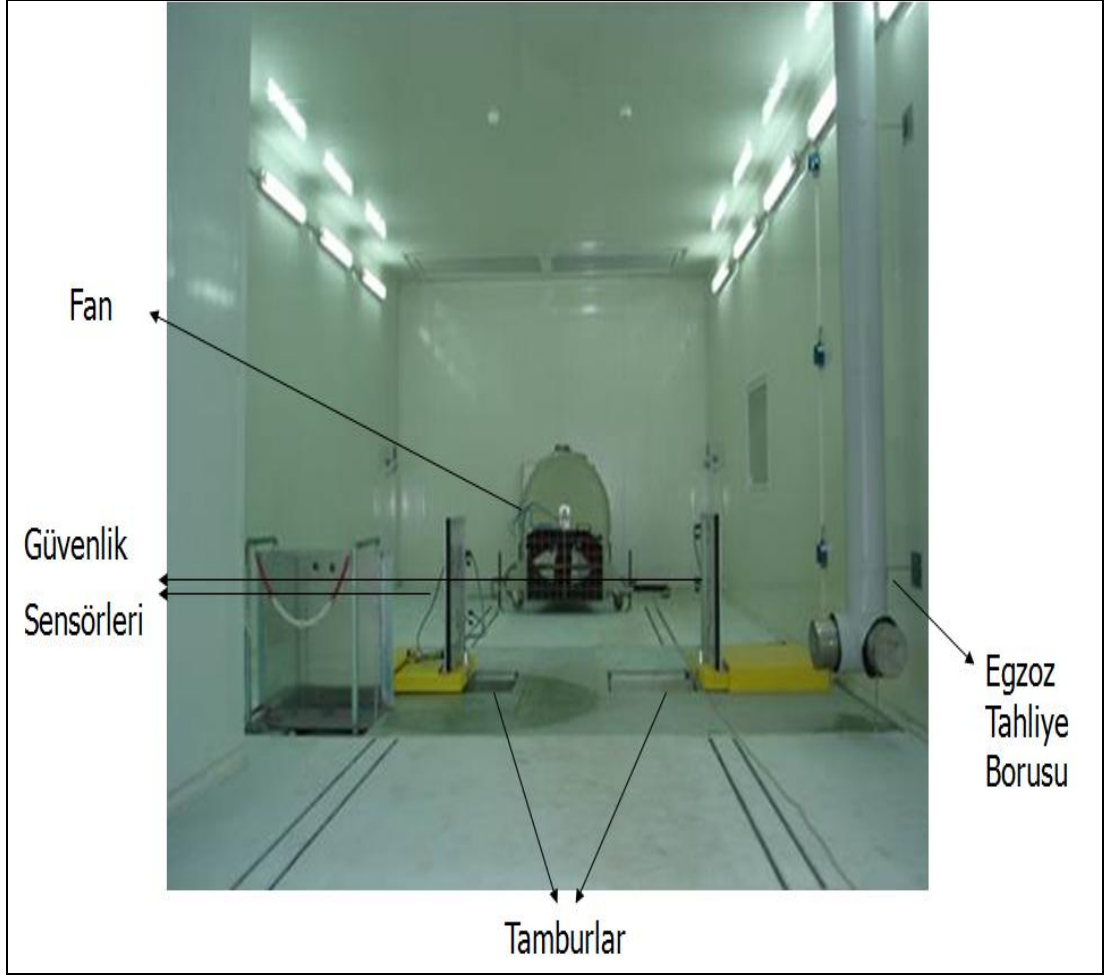
4.2 Deney Düzenineğinin Özellikleri

Çalışmada yer alan tüm deneyler, İ.T.Ü. Maslak Kampüsü’nde bulunan Otomotiv Teknolojileri Ar-Ge Merkezi’nin (OTAM) imkanlarından faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Test odası Euro V standartlarına uygun şekildedir.

Yeni motor test odası ile sistem;

- Motor egzoz emisyonu (88/77/AT)
- Yakıt tüketimi (80/1268/AT)
- Motor gücü (80/1269/AT)
- Motor akustik testlerinin yapılmasına imkan sağlamıştır.

Deneylerin yapıldığı odanın resmi Şekil 4.13’de görülmektedir. Bu odada birçok binek ve hafif ticari olarak sınıflandırılan taşıta, direkt, dolaylı ve lokal bazı kirletici emisyonları ile yakıt tüketimine yönelik testler yapılmaktadır. Odanın iç boyutları ise 13 x 5,3 x 2,8 metredir.



Şekil 4.13 : Egzoz emisyon ölçüm odası. [13]

Taşıt boyutları:

- Yükseklik: 278 cm.
- Aks aralığı: Önden çekişli taşıtlar için 430 cm , arkadan çekişli taşıtlar için 480 cm.
- İz genişliği: Asgari 120 cm, azami 180 cm.

Egzoz Emisyonu Test Sistemi Elemanları:

- İki set (biri ham gaz analizi için) CO, toplam HC, NO_x ve CO₂ analizörleri (EURO IV için gereken düşük konsantrasyon ölçmeye elverişli (5 ppm maks. skala NO_x, 20 ppm maksimum skala HC, 100 ppm maksimum skala CO))
- CVS: Sabit debili örnekleme birimi (motoru 5 litreye kadar olan araçları test etmeye uygun).
- Kontrol ve veri toplama ünitesi.
- Buharlaştırma testi hücresi ve ekipmanı.



Şekil 4.15 : Deney aracının test düzeneği ile bağlantısı.

Odanın zemininde bulunan şasi dinamometresi, taşıtların üzerine gelen yüklerin simule edilmesini sağlar. Burada gerçekleştirilen testlerin, yol şartlarındaki testlerden farkı, havanın durumundan ve insan faktöründen etkilenmemesidir. Sistemin çalışması için tambura tanjant bir F kuvvetinin dışarıdan uygulanması gerekmektedir. Bu kuvvet 4.1'deki formülün bilgisayarda gerçek zamanlı çözümü ile ortaya çıkar :

$$F = \text{aerodinamik kuvvetler} + \text{araç ağırlık ve yol eğilimi} + \text{ivmelenme}$$

$$F = a_2 v^2 + a_1 v + a_0 + mgsin\alpha + m(\Delta v/\Delta t) \quad (4.1)$$

Burada; α derece cinsinden yol eğimini, a değerleri taşıt katsayılarını, V hızı, t ise zamanı göstermektedir. Kısaca, motora bilgisayardan elde edilen kuvveti uygulayarak bir aracın yoldaki performansı benzetimi (simulasyon) yapılmaktadır. Genellikle bu kuvvet, tambura bağlı hem fren hem ivmelendirici olarak çalışan bir elektrik motoru kullanılarak elde edilir. Motora bağlı bir yük hücresi veya şafta bağlı bir torkmetre tarafından elde edilmek istenen tork yaratılır, böylece istenen kuvvet açığa çıkmış olur. Bu sistemin tek dezavantajı dinometreden kaynaklanan kayıplardır. Sistem kayıpları en küçük kareler metoduyla, ikinci dereceden bir polinom olarak 4.2’de şöyle ifade edilir:

$$P = p_2 v^2 + p_1 v + p_0 \quad (4.2)$$

Elde edilecek kuvvet (4.1) ve (4.2) numaralı formülün bileşkesinden :

$$F = (a_2 - p_2) v^2 + (a_1 - p_1) v + (a_0 - p_0) + mgsin\alpha + m(\Delta v/\Delta t) \quad (4.3)$$

elde edilir. Tüm yol simülasyonlarında, frenleme eğrisi, bazı bilgisayar programları aracılığıyla tamburun operasyonlarının doğruluğunun test edilmesinde kullanılır. [13]

Winroll yazılımı ile frenleme eğrisi 4 metotla uygulanabilir :

1- Nokta Eğrisi (point curve)

Yazılım, hız-kuvvet çiftlerinden maksimum yirmi nokta kullanarak bir eğri uydurur.

2- Yavaşlama-Zaman Eğrisi (deceleration curve)

Yazılım, başlangıç, son hız ve yavaşlama zamanı verilerini kullanarak, her nokta için ortalama hız ve çekiş gücü için eğri uydurur.

3- Katsayılar Eğrisi (coefficient curve)

F_0 , F_1 ve F_2 parametreler olmak üzere, $Y = F_0 + F_1 V + F_2 V^2$ ikinci derece polinomu çözülerek eğri oluşturulur.

4- ECE Katsayılar Eğrisi

Bu halde, araçların ağırlık gruplarına göre katsayılar kullanılarak, egzoz emisyonu için analiz yapılır. Bu işlemde de $Y = F_0 + F_1 V + F_2 V^2$ ikinci derece polinomu kullanılarak bir eğri oluşturulur.

Şasi dinamometresi yedi farklı şekilde çalıştırılabilir. Bunlar; conditioning (dinamometrenin mekanik parçalarının ısıtılarak sürtünme kayıplarının minimuma indirilmesini sağlar), losses (dinamometrenin kayıp eğrisinin hesaplanması için kullanılır), coast down (dinamometrenin, yolu doğru bir şekilde simüle edip etmediğinin belirlenmesi, etmiyorsa taşıt yol katsayılarının dinamometreye uygun şekilde adapte edilmesi için kullanılır), constant torque (taşıtın sabit bir tork ile hızlandırılmasını veya frenlenmesini sağlar), constant speed (taşıt sabit bir tambur hızında test edilir), speed limit (seçilen bir limit hız değerine kadar tamburlar hızlandırılır, bu değerden sonra “constant speed” modundaymış gibi çalışılır) ve road simulation (taşıtın yolda sürülüyormuşçasına test edilmesini sağlar, dinamometre yolu simüle eder) olarak sıralanabilir.

Şasi Dinamometresinin Mekanik Özellikleri:

- Tambur Çapı: 1219,2 mm
- Tamburun Çevresi: 3830 mm
- Tambur Genişliği: 700 mm
- Aks Başına Maksimum Yük: 1500 kg
- Maksimum Hız: 206 km/h
- Maksimum Güç: 210 kW
- Maksimum Kuvvet: 7300 N
- Maksimum İvmelenme: 5 m/s²

Test odasında resmi deneyler yapabilmek için standartlara bağlı kalınma zorunluluğu vardır. Taşıtın yolda karşılaştığı kuvvetlerin simülasyonunu yapabilmek için test odasında tambur bulunmaktadır. Bu tambur bir motor tarafından tahrik edilmektedir. Taşıta etkiyen direnç kuvvetleri bilgisayar tarafından analiz edilir ve hesaplanır. Taşıta etkiyen direnç kuvvetleri yuvarlanma, ivmelenme, yokuş ve hava direnci olmak üzere dört tanedir. Örneğin Avrupa test çevriminde, bu dört dirençten yokuş direnci hariç, diğer tüm dirençler mevcuttur. Farklı bir deyişle, düz yolda giderken taşıtın maruz kaldığı kuvvetler dikkate alınır. Sürücünün önüne gelen ekran vasıtasıyla, sürücü Avrupa test çevriminin grafiğini görmektedir. Testin kabul edilebilmesi için Avrupa test çevrimi boyunca standartlarda belirtilen toleransların

dışına sürücünün çıkmaması gerekir. Taşıta direnç uygulayan tamburun mekanik kayıplarını azaltmak amacıyla taşıt tambur üzerinde bir Avrupa test çevrimi boyunca sürülerek tambur ısıtılır. Tambur ısıtıldıktan sonra tamburun direnç katsayıları bilgisayar tarafından hesaplanır. Tamburun direnç katsayılarının, taşıtın direnç katsayılarına eşit olabilmesi için bilgisayar iterasyon yaparak tamburun direnç katsayılarını taşıtın direnç katsayılarına eşitlemektedir. Bu hesaplama işine coast down denilmektedir. Burada bahsedilen taşıt katsayıları, taşıtı üreten firma tarafından deneyi yapılarak hesaplanır. [13]

5. TÜRKİYE İÇİN ÖRNEKLEME SAYISININ BELİRLENMESİ

5.1 Örneklem Gereksinimi

İnsanoğlunun günlük yaşamında amatör veya profesyonel olarak yaptığı tüm araştırmalarda, mantık çerçevesinde sonuçlar elde etmek için örneklerden yararlandığı yadsınamaz bir gerçektir. Herhangi bir konuda araştırma yapmak için başvurulabilecek ilk ve en temel yöntem, o evreni oluşturan tüm birimler üzerinde, araştırma konusuyla ilgili bilgi derlemektir, yani tam bir sayım yapmaktır. Fakat teoride mantıklı görünen bu yaklaşımı, pratikte uygulamak her zaman mümkün olmaz. Çünkü bir konuyla ilgili yapılacak araştırmada, tüm birimlerden bilgi derlemeye kalkışmak, çeşitli nedenlerden dolayı imkansızdır. Bu sebeplerle, araştırılacak konuyla ilgili belirli gruplar, belirli temsiller oluşturmak ve bu yaklaşım ile de genel konu hakkında bir yoruma gitmek gerekmektedir. [18]

Bu çalışmada da Türkiye'deki araçlardan salınan egzoz emisyonları hakkında bir sonuca varmak için, Türkiye'deki bütün araçların teste sokulup ölçülmesinin imkansız olması sebebiyle, bilimsel bir örneklemeye gidilmiştir. Örneklem, kelime manası olarak belirli bir konunun özelliklerini yansıtmaya düşüncesiyle, bu konuyla ilgili belirli yöntemlerle seçilmiş birimlerin oluşturduğu topluluğa denir. Bilimsel bir sonuca varmak için, seçtiğimiz araçların belli bir yöntemle göre ve doğru bilimsel veriler ile seçilmesi gerekmektedir. Ancak bu şartla, elde ettiğimiz sonuçlar kitleye taşınabilir. Örneklem, örneklemi esas alan bir çalışmayı planlama ve yönetme sürecidir.

5.1.1 Örneklem yapılmasındaki zorunluluklar

- **Maliyet:** Herhangi bir konuda, tüm verileri ve parçaları incelemek yerine, konuyla ilgili belli birimleri incelemek, doğal olarak gözlem maliyetlerini düşürmektedir. Araştırmayla ilgili kısıtlı bir araştırma fonu söz konusu ise araştırmacılar örneklem yapmak zorunda kalacaklardır. Özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde araştırmaya ayrılacak fon olmadığı veya sınırlı olduğu için örneklem daha da önem kazanmaktadır.

- Zamandan tasarruf: Şüphesiz ki çok sayıda birimin gözlenmesine nazaran, az sayıda birimin gözlenmesi ve analizi kısa zamanda yapılacaktır. Belirli bir konu hakkında, verilere kısa zamanda ihtiyaç varsa, anakütleyi gözleyebilecek kadar araştırma fonu olduğu halde, zamandan tasarruf sağlamak için yine örneklemeye başvurulur.
- Doğruluk: Gözlemlenen birim ve veri sayısının daha az olması sebebiyle, yanlış payı, içgüdüsel veya belli bir standarta oturtulmayan tahminlere göre daha düşük kalır.
- Ayrıntılı bilgi: İncelenecek birim sayısı az olduğu için birimlere ait bilgiler ayrıntılı olarak elde edilebilir. Bütün anakütlenin gözlenmesi durumunda, fazla ayrıntıya girmek her zaman mümkün olamayabilir.
- Yok edici testler: Bazı araştırmalarda, araştırmaya konu olan malzemeler, deneyler esnasında kısmen veya tamamen hasar görmekte ve kullanılamamaktadır. Örneğin pillerin ve ampullerin dayanıklılık süreleri ile tuğla ve kiremit gibi maddelerin dayanıklılıkları test edilirken bu maddeler yok edilmektedir. Sonuçta tüm üretimin, bu mantık ile testlere tabi tutulamayacağı için örneklem yapmak şarttır.

5.2 Türkiye Benzinli Araç Parkı İçin Örneklem Sayısının Tespiti

Türkiye genelinde, araç parkında yer alan benzinli otomobillerin sayısı bilindiğine göre ve yıllara göre üretilen araçların emisyon standartları da bilindiği için, Türkiye'deki benzinli araçların emisyon standartlarına göre dağılımları hesaplanabilmektedir. 1994 yılından önce üretilen bütün araçlar emisyon kontrol teknolojisi içermezken, bu yıldan sonra üretilen araçların zaman içerisinde değişen emisyon standartlarına uyumu zorunlu hale gelmiştir. Dolayısı ile 1994 yılından itibaren araç parkına eklenen otomobillerin sayısı ve üretildikleri yıla göre, uymaları gereken emisyon standartları dikkate alınarak bu dağılım gerçekleştirilmiştir. Ayrıca her yıl hurdaya çıkan araçlar, araç parkından düşülmüştür. Hurdaya çıkan araçların tamamının 1994 öncesi taşıtlar olduğu (emisyon kontrol teknolojisi içermeyen) kabulü yapılmıştır.

Türkiye'deki araç parkının oldukça büyük bir bölümünün benzinli otomobillerden oluşmasından dolayı, örneklem yöntemi benzinli otomobillere uygulanarak, teste tabi tutulacak araç sayısına karar verilmiştir. Benzinli otomobil için Türkiye'de

geçerli beş temel emisyon grubu mevcuttur. Türkiye’de standartlar Avrupa Birliği’nden farklı zamanlarda, yıllar içinde kademeli olarak zorunlu hale gelmiştir.

Ülkemizde mevcut olan benzinli otomobiller için emisyon grupları Çizelge 5.1’de gösterilmiştir. Bu sınıflandırma OSD’den alınan veriler ışığında yapılmıştır. Türkiye’de bölüm üç içerisinde de değinildiği gibi EURO 1’den EURO 3’e doğrudan geçiş uygulamasına gidilmesi ve Euro 2 regülasyonu kullanılmadığı için çizelgede EURO 2 sınıflandırması bulunmamaktadır.

Çizelge 5.1 : Türkiye’de bulunan benzinli otomobillerde emisyon standartları. [15]

Yıllar	Emisyon Sınıfı
...-1993	EKB
1994-2001	15.04 ve Euro I
2002-2005	Euro III
2006	Euro IV
EKB=Emisyon Kontrolü Bulunmayan	

Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi 1994 ile 2001 yılları arasında trafiğe çıkan araçların bir kısmı 15.04 iken, bir kısmı ise Euro 1’dir. Bu dönemdeki kademeli geçişin ayrıntılı oranları Çizelge 5.2’de görülmektedir.

Çizelge 5.2 : Türkiye’de benzinli otomobillerde kademeli geçişteki araçların emisyon seviyelerine göre yüzdeleri. [15]

Benzinli Otomobiller İçin Emisyon Grupları	
Yıl	Emisyon Standardı
2008	EURO IV
2007	EURO IV
2006	EURO IV
2005	EURO III
2004	EURO III
2003	EURO III
2002	EURO III
2001	32% EURO I + 68% 15.04
2000	30% EURO I + 70% 15.04
1999	21% EURO I + 79% 15.04
1998	15% EURO I + 85% 15.04
1997	9,4% Euro I + 90,6% R15.04
1996	4% EURO I + 96% 15.04
1995	1.8% EURO I + 98.2% 15.04
1994	1% EURO I + 99% 15.04
1993	EKB
1992	EKB
1991	EKB
1990	EKB

Test edilen araçların, deneylerden önce emisyon sınıfları, araçların firmalarından alınan bilgiler doğrultusunda tespit edilmiştir. Bunun sebebi, bazı araçların yıl bazındaki emisyon sınıflarına uymamasıdır. Buradaki etken ise bazı firmaların teknolojik olarak daha ileride olup, Türkiye’deki regülasyonlardan daha önce, bir üst emisyon sınıfında araç satışlarına başlamalarıdır. Yıllara ve emisyon sınıflarına göre benzinli otomobillerin sayısı Çizelge 5.2’deki yüzdelerde kullanılarak, Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Yıllara ve emisyon standartlarına göre benzinli otomobil sayıları (kümülatif). [15]

	Emisyon					
	Kontrolsüz	15.04	Euro I	Euro III	Euro IV	Toplam
1990	1633380	-	-	-	-	1633380
1991	1843556	-	-	-	-	1843556
1992	2151089	-	-	-	-	2151089
1993	2572014	-	-	-	-	2572014
1994	2568594	230788	2331	-	-	2801713
1995	2565034	416012	5726	-	-	2986772
1996	2561700	611741	13881	-	-	3187322
1997	2558794	635903	16388	-	-	3211085
1998	2555519	769231	39916	-	-	3364666
1999	2552123	861355	64405	-	-	3477883
2000	2549123	920763	89865	-	-	3559751
2001	2547082	973940	114889	-	-	3635911
2002	2545186	973940	114889	41501	-	3675516
2003	2503261	973940	114889	94222	-	3686312
2004	2375447	973940	114889	425677	-	3889953
2005	2358896	973940	114889	541861	-	3989586
2006	2346624	973940	114889	541861	57098	4034412
2007	2098206	973940	114889	541861	153192	3882088

Emisyon gruplarının yıllara göre artış ve azalış miktarları Çizelge 5.4’te görülmektedir. Azalmalar hurdaya ayrılan ve trafikten çıkan araçları gösterirken, artışlar ise trafiğe yeni katılan araçları göstermektedir. 2007 yılındaki toplam araç sayısındaki azalmanın sebebi ise trafikten ayrılan araç sayısının, trafiğe yeni katılan araç sayısından daha yüksek olmasıdır. Bu dönemde gerçekleşen hurda teşvikleri ve yeni araçların alınmasına yönelik finansal teşvikler sonucu böyle bir tablo oluşmuştur.

Çizelge 5.4 : Yıllara ve emisyon standartlarına göre benzinli otomobil sayılarının artış ve azalış miktarları. [15]

	EKB	15.04	EURO I	EURO III	EURO IV	Toplam
1990	1633380^(*)	0	0	0	0	1633380
1991	210176	0	0	0	0	210176
1992	307533	0	0	0	0	307533
1993	420925	0	0	0	0	420925
1994	-3420	230788	2331	0	0	229699
1995	-3560	185224	3395	0	0	185059
1996	-3334	195729	8155	0	0	200550
1997	-2906	24162	2507	0	0	23763
1998	-3275	133328	23528	0	0	153581
1999	-3396	92124	24489	0	0	113217
2000	-3000	59408	25460	0	0	81868
2001	-2041	53177	25024	0	0	76160
2002	-1896	0	0	41501	0	39605
2003	-41925	0	0	52721	0	10796
2004	-127814	0	0	331455	0	203641
2005	-16551	0	0	116184	0	99633
2006	-12272	0	0	0	57098	44826
2007	-248418 ^(**)	0	0	0	96094	-152324 ^(**)
Toplam	2098206	973940	114889	541861	153192	3882088
^(*) 1990 yılı toplam binek araç sayısı						
^(**) 2007 yılında hurdaya çıkan araçlar nedeniyle olan azalma						

Çizelge 5.4 üzerinde görülen 2007 yılı sonu toplam benzinli araç sayısı, Türkiye’deki toplam benzinli araç miktarını yansıttığı için, %100 olarak belirtilir. Yani Türkiye’deki toplam benzinli araç miktarı olarak görünen 3882088 sayısı, 100 birim olarak alındığında, Çizelge 5.5 oluşturularak, her bir hücrenin yüzdesi elde edilmiştir. Bu yaklaşım ile 1990 yılından sonraki araç katılımlarının yüzdesel manada, hangi sınıflarda, ne miktarlarda gerçekleştiği daha kolay anlaşılmaktadır. En alt satırdaki toplam araç yüzdeleri ise Türkiye’deki araçların emisyon sınıflarına göre ne şekilde dağıldığını net bir şekilde göstermektedir. Resmi rakamların ortaya koyduğu yüzdesel tablo, gelişen araç teknolojisi ve pazarına rağmen, Türkiye’nin büyük bir kısmında, halen eski ve emisyon kontrolü bulunmayan taşıtların kullanıldığını göstermiştir. Her ne kadar bu araçların trafikteki kullanım yoğunluklarını bilemesekte, sayısal miktar olarak dahi, bu kadar yüksek adet içermeleri, yakıt tüketimi ve emisyon seviyeleri açısından olumsuz bir tabloyu ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.5 : Yıllara ve emisyon standartlarına göre benzinli otomobil sayılarının yüzdelik değerleri.

	Emisyon Kontrolsüz	15.04	Euro I	Euro III	Euro IV	TOPLAM
1990	42,08%	0%	0%	0%	0%	42,08%
1991	5,41%	0%	0%	0%	0%	5,41%
1992	7,92%	0%	0%	0%	0%	7,92%
1993	10,84%	0%	0%	0%	0%	10,84%
1994	-0,09%	5,95%	0,06%	0%	0%	5,92%
1995	-0,09%	4,77%	0,09%	0%	0%	4,77%
1996	-0,09%	5,04%	0,21%	0%	0%	5,17%
1997	-0,08%	0,62%	0,07%	0%	0%	0,61%
1998	-0,08%	3,43%	0,61%	0%	0%	3,96%
1999	-0,09%	2,37%	0,63%	0%	0%	2,92%
2000	-0,08%	1,53%	0,66%	0%	0%	2,11%
2001	-0,05%	1,37%	0,65%	0%	0%	1,96%
2002	-0,05%	0%	0%	1,07%	0%	1,02%
2003	-1,08%	0%	0%	1,36%	0%	0,28%
2004	-3,29%	0%	0%	8,54%	0%	5,25%
2005	-0,43%	0%	0%	2,99%	0%	2,57%
2006	-0,32%	0%	0%	0	1,47%	1,16%
2007	-6,40%	0%	0%	0	2,48%	-3,92%
Toplam	54,05%	25,09%	2,96%	13,96%	3,95%	100%

Teze konu olan bu çalışmanın, şüphesiz ki birçok araştırmada olduğu gibi gerçekleştirilmesi gereken bir zaman dilimi, bir bütçesi ve dolayısıyla bir organizasyon niteliği vardır. Tüm bu kriterler göz önünde bulundurularak, çalışma kapsamında, otuz adet aracın farklı çevrim tiplerinde test edilmelerine kanaat getirilmiştir. Bu otuz adet aracın ise birbirinden farklı marka, model, yıl ve menzil değerlerine sahip olmasına mümkün olduğunca dikkat edilmiştir. Bu otuz aracın, yukarıda bahsedilen örnekleme çalışması kapsamında, hangi emisyon sınıflarından seçileceği konusu Çizelge 5.6'da gösterilmiştir. Burada toplam 30 adet örnek taşıt için hangi emisyon grubundan ve hangi üretim yılından, kaç adet taşıtın teste tabi tutulması gerektiği görülmektedir. Tablonun sonundaki yüz birimlik değer, otuz birim olarak hesap edilmesi ile oluşturulduğu açıktır. Bu hesaplamalar ile tüm emisyon katagorilerinde, yüzdesel bir araç dağılımı tespit edilmiştir. Bu tabloya göre, test edilen otuz aracın dağılımları yaklaşık olarak şöyle olmaktadır; on altı adet EKB, yedi adet 15.04, bir adet EURO 1, dört adet EURO 3 ve iki adet EURO 4.

Çizelge 5.6 : Yıllara ve emisyon sınıflarına göre otuz araç için yüzdelik değerler.

	Emisyon					TOPLAM
	KontROLSÜZ	15.04	Euro I	Euro III	Euro IV	
1990	12,62%	0%	0%	0%	0%	12,62%
1991	1,62%	0%	0%	0%	0%	1,62%
1992	2,38%	0%	0%	0%	0%	2,38%
1993	3,25%	0%	0%	0%	0%	3,25%
1994	-0,03%	0,02%	0,06%	0%	0%	1,78%
1995	-0,03%	0,03%	0,09%	0%	0%	1,43%
1996	-0,03%	0,06%	0,21%	0%	0%	1,55%
1997	-0,02%	0,02%	0,07%	0%	0%	0,18%
1998	-0,03%	0,18%	0,61%	0%	0%	1,19%
1999	-0,03%	0,19%	0,63%	0%	0%	0,88%
2000	-0,02%	0,20%	0,66%	0%	0%	0,63%
2001	-0,02%	0,19%	0,65%	0%	0%	0,59%
2002	-0,02%	0%	0%	0,32%	0%	0,31%
2003	-0,32%	0%	0%	0,41%	0%	0,08%
2004	-0,99%	0%	0%	2,56%	0%	1,57%
2005	-0,13%	0%	0%	0,90%	0%	0,77%
2006	-0,10%	0%	0%	0	0,44%	0,35%
2007	-1,92%	0%	0%	0	0,74%	-1,18%
Toplam	16,22%	7,53%	0,89%	4,19%	1,18%	30%

Test edilen araçların adetlerini belirlerken bir konuyu daha dikkate almak gerekmektedir. Bu veriler 2007 yılına kadar olan otomobil sayılarını yansıtmaktadır. 2007 yılından sonra yeni araç sayısı ve hurdaya çıkan araç sayısı artmıştır. Bu mantık çerçevesinde, her geçen gün trafikten ayrılan taşıt sayısı artarken, trafiğede yeni araçlar girecektir. Trafikten ayrılan araçların oldukça büyük bir çoğunluğunu EKB araçlar oluşturmaktadır. Bu sebeple, 2007 yılı için elde edilen yüzdeler, her geçen gün büyük bir hızla değişmektedir. Bu gelişmelere ek olarak, çok eski araçların teste sokulması, hem test düzeneği açısından, hem de sağlıklı sonuçlar alınması açısından güçlük çıkarmaktadır. Bu düşünceler ışığında, laboratuvar koşullarında dikkate alınarak, otuz aracın dağılımı on adet EKB, dokuz adet 15.04, üç adet EURO 1, beş adet EURO 3 ve üç adet EURO 4 olarak belirlenmiştir.

6. DENEYSEL ANALİZLER

6.1 Deneylerde Kullanılan Araçların Tanıtılması

Çalışma kapsamında, örnekleme yöntemi ile toplam otuz adet aracın emisyon seviyesine göre katagorilerine nasıl ayrıldığını dördüncü bölümde detaylı bir şekilde açıklamıştık. İTÜ-OTAM Laboratuvar'ında üç farklı çevrim tipi içinde, bu araçlar ayrı ayrı testlere tabi tutulmuşlardır. Otuz aracın tamamı, Avrupa ve Amerika çevrimleri için testlere sokulmuşken, teknik sorunlar sebebiyle, İstanbul çevrimine, bu otuz aracın yirmi altı tanesi alınabilmektedir. Toplamda seksen altı farklı deney ile her araç için birçok veri saptanmıştır. Laboratuvar ortamında, teknik açıdan herhangi bir sakıncası olmaması sebebiyle, araçlar emisyon katagorilerine bakılmaksızın, temin edilebildiği zaman dilimi içerisinde testlere tabi tutulmuşlar ve böylece zamandan kazanç sağlanmıştır. Yani aynı gün içerisinde, hem Euro 1 emisyon seviyeli bir araç hem de Euro 4 emisyon seviyeli bir araç farklı anlarda deney düzeneğine bağlanarak testlere tabi tutulabilmektedirler. Aşağıdaki Çizelge 6.1'de araçların detaylı bilgileri görülmektedir. Araç seçimi yapılırken, genellikle İstanbul trafiğinde seyri yüksek miktarda olan küçük motorlu araçlar baz alınmıştır. Dolayısıyla testler genellikle 1,3 ile 1,6 litrelik motor hacmine sahip araçlara uygulanmıştır. Günümüzde kullanımı her geçen gün yaygınlaşan otomatik vites araçlardan da bazı örnekler yer verilmiştir. Testi yapılan tüm taşıtlar, yolcu taşıma aracı sınıfındaki şahsi binek otolardır. Testlerin başlaması ile birlikte, her taşıta bir test numarası verilmiş ve veriler bu referans numaralarına göre toplanmıştır. Her ne kadar Türkiye'de yıllara göre emisyon düzeylerinin yürürlüğe girişi resmi olarak açıklansada, birçok ithal oto, Avrupa veya Amerika'daki emisyon düzeylerine göre üretilip, ülkemize gönderilmektedir. Bu sebeple bazı araçların emisyon seviyeleri beklenenden daha iyi olarak ülkemize giriş yapmaktadır. Örneğin çalışma kapsamında kullanılan, Volkswagen markalı Polo model aracın, 1997 yılında piyasaya sürülmüş olmasına karşın, emisyon düzeyinin Euro 3 olduğu saptanmıştır. Araçların emisyon standartları, markaların Türkiye yetkili servisleri veya fabrikaları yardımıyla öğrenilmiştir. Oldukça eski olduğu için bazı araçlar da bu bilgilere

ulaşılamadığından, bu araçların sınıflandırılmasında Türkiye’de yürürlükte olan seviyeler kabul edilmiştir. Emisyon seviyelerinin saptanmasında az da olsa rastlanan bir diğer durumda, Türkiye’ye ithal edilen bazı araçların Euro 2 emisyon seviyesine sahip olmasıdır. Oysaki Türkiye’de Euro 2 seviyesi yürürlüğe girmeden, direkt Euro 1’den Euro 3’e geçiş yaşanmıştır. Bu sebeple testlerde kullanılan ve Euro 2 seviyesine sahip olduğu saptanan bir araç, bir alt grup katagoriye sokularak, Euro 1 olarak değerlendirilmiştir. Böylelikle araçtan beklenen emisyon limitleri biraz düşse de, proje açısından değerlendirme sınıflandırmasına uygunluk korunmuştur.

Çizelge 6.1 : Proje kapsamında test edilen araçların bilgileri.

Taşıt			Motor	Emisyon		Net	Vites	Menzil
No	Marka	Tip	Hacmi (cm ³)	Model Yılı	Standartı	Kütlesi (kg)	tipi	(km)
1	VW	Bora	1600cc	2004	EURO 4	1215	düz	56.625
2	Tofaş	Murat	1300cc	1979	EKB	935	düz	58.030
3	Mazda	3.23	1600cc	2003	EURO 3	1095	düz	40.195
4	Renault	Clio	1400cc	2007	EURO 4	1130	düz	17.277
5	Toyota	Corolla	1600cc	1996	15.04	1000	düz	252.492
6	Nissan	Micra	1300cc	1997	15.04	825	düz	126.276
7	Ford	Focus	1600cc	2008	EURO 4	1150	düz	8.200
8	Mazda	3.23	1840cc	1998	EURO 1	1090	düz	100.000
9	BMW	316 i	1600cc	1990	EKB	1065	düz	182.138
10	Tofaş	Kartal S	1600cc	1996	15.04	1100	düz	140.590
11	VW	Polo	1600cc	1998	EURO 3	920	düz	128.142
12	Tofaş	Şahin	1600cc	1990	EKB	1010	düz	50.202
13	Renault	Broadway	1400 cc	1989	EKB	880	düz	64.176
14	Opel	Corsa GSI	1600cc	1997	EURO 3	960	düz	138.497
15	Citroen	Xsara	1600cc	2000	EURO 3	1078	düz	93.895
16	Mitsubishi	Carisma	1600cc	1999	EURO 1	1175	düz	92.500
17	Honda	Civic	1400cc	1997	15.04	970	düz	36.932
18	Lada	Vega	1500cc	2000	EURO 1	1020	düz	115.280
19	Tofaş	Şahin 131	1600cc	1992	EKB	945	düz	88.426
20	Tofaş	Doğan	1600cc	1987	EKB	1050	düz	78.759
21	BMW	3.20	2000cc	1991	EKB	1270	düz	260.400
22	Tofaş	Serçe	1300cc	1990	EKB	900	düz	99.500
23	Hyundai	Elantra	1800cc	1998	15.04	1170	otomatik	291.900
24	Fiat	Palio	1400cc	2000	15.04	945	düz	49.500
25	Hyundai	Elantra	1800cc	1996	15.04	1140	düz	191.900
26	Honda	Civic A	1600cc	2002	EURO 3	1119	otomatik	112.880
27	Renault	12 SW	1400 cc	1979	EKB	950	düz	45.230
28	VW	Beetle	1272cc	1984	EKB	900	düz	99.000
29	Toyota	Corolla	1600cc	1998	15.04	1060	düz	176.445
30	Nissan	Infiniti	3000cc	1996	15.04	1437	düz	89.900

Çalışmada, araçların çevrim fazlarına ve ağırlıklı ortalamalarına göre veriler elde edilmiştir. Ancak tez kapsamındaki değerlendirme ve karşılaştırmalarda ağırlıklı ortalama sonuçlarına göre analizler yapılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ayrıntılı olarak değinildiği gibi, bir benzinli taşıtın, zararlı egzoz gazı bileşenlerinin en önemlisi karbondioksittir. Bunun yanında hidrokarbon, karbonmonoksit ve azot oksitlerin de yüzdeleri, çevre kirliliği ve küresel ısınma açısından oldukça etkindir. Ayrıca otomotiv endüstrisinin üzerinde önemle durduğu ve oldukça düşük miktarlarda dahi ilerlemesi için önemli paylar ayırdığı bir araştırma alanı da yakıt tüketimi konusudur. Son yıllarda motor üzerinde yapılan değişiklikler ve ilave ekipmanlar kullanılarak, özellikle yakıt tüketim miktarı konusunda ekonomik ve tasarruflu araç üretmek, her otomotiv üreticisinin temel hedeflerinin başında gelmektedir. Yukarıda belirtilen dört temel egzoz gazının yanında, gelişen teknoloji ile birlikte önemli ölçüde azaltılan yakıt tüketimi seviyeleride çalışmanın inceleme konusu olmuştur.

6.2 Hidrokarbon Emisyonlarının Değerlendirilmesi

6.2.1 Hidrokarbon emisyonları ağırlıklıklı ortalamalarının değerlendirilmesi

Üç çevrim için de elde edilen hidrokarbon miktarları Çizelge 6.2’de gösterilmiştir. Üç farklı çevrim içinde ayrı ayrı yapılan ölçümlerde, her bir aracın HC emisyon seviyesinin ölçümü gerçekleştirilmiş, sadece beş, dokuz, on bir ve on üç numaralı araçlar İstanbul çevrimine sokulamamıştır.

Çizelge 6.2 : HC emisyonlarının çevrim ortalaması değerleri.

Taşıt No	Avrupa Çevrimi (g/km)	Amerika Çevrimi (g/km)	İstanbul Çevrimi (g/km)
1	0,054	0,036	0,109
2	1,892	3,008	3,334
3	0,058	0,055	0,336
4	0,034	0,043	0,071
5	1,055	1,639	-
6	0,260	0,259	1,010
7	0,067	0,076	0,285
8	0,500	0,383	0,945
9	1,505	1,652	-
10	3,525	4,570	4,043
11	0,630	0,388	-
12	1,355	1,630	6,757
13	1,775	2,246	-
14	1,588	2,009	1,977
15	0,211	0,156	0,437
16	0,247	0,171	0,390
17	0,399	0,532	0,710
18	1,209	1,250	1,411
19	1,721	2,176	2,691
20	2,153	2,712	3,201
21	2,493	2,770	3,627
22	2,472	3,180	3,185
23	1,207	1,322	1,272
24	1,327	1,637	2,133
25	1,497	1,743	1,840
26	0,118	0,088	0,133
27	3,447	5,367	3,776
28	3,071	5,160	6,526
29	0,580	0,629	0,807
30	0,336	0,252	0,410

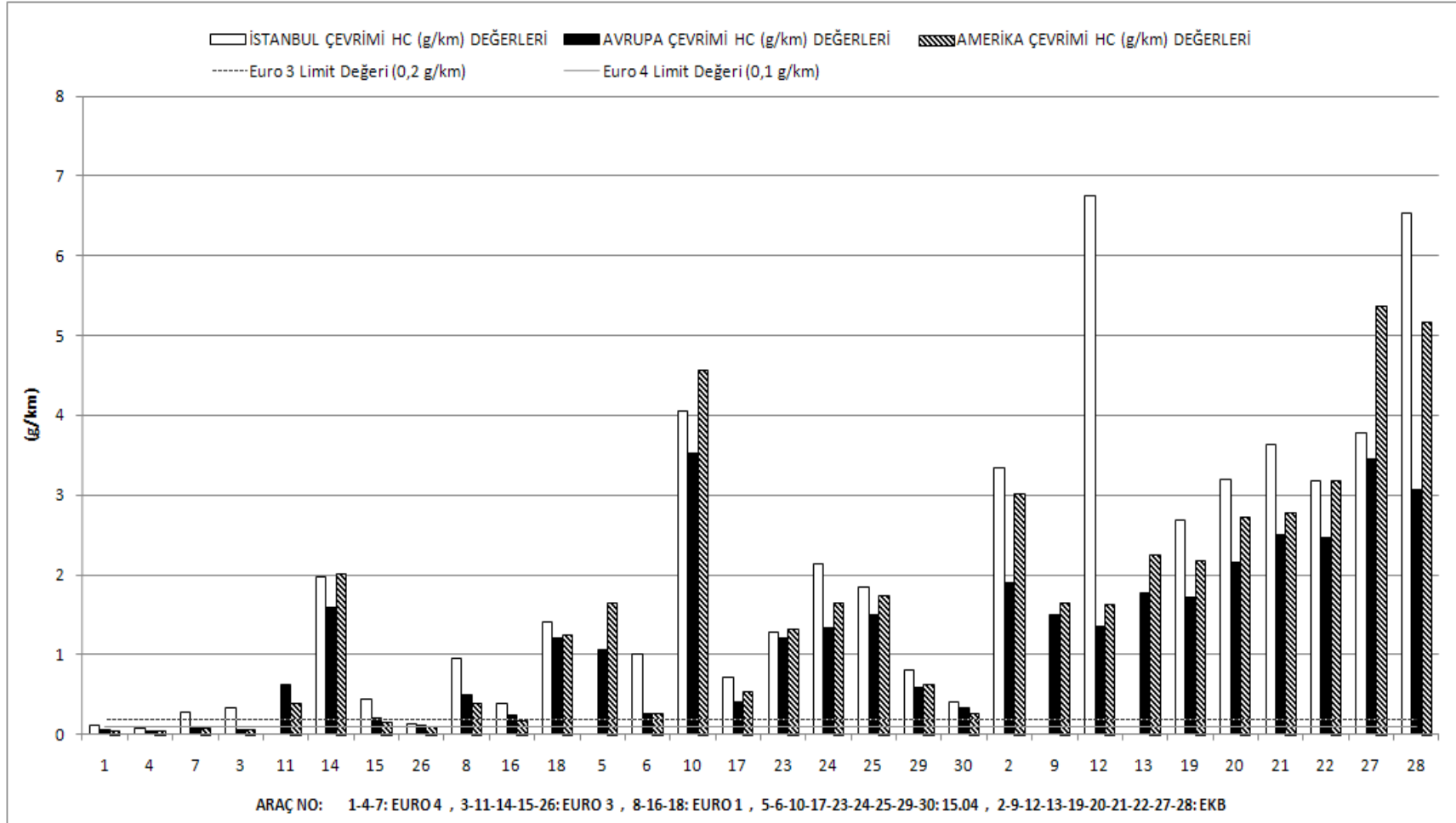
Egzoz gazlarının sebep olduğu zararlı yanma ürünlerinin genelini etkileyen en temel faktör, λ sembolü ile temsil edilen hava fazlalık katsayısıdır. Yakıtın içinde belli oranlarda karbon ve hidrojen bulunduğu düşünülürse, bir kilogram yakıtın yanması için gerekli miktardaki oksijen ve hava, yanma denklemleri ile tespit edilebilir. Örneğin, bir kilogram benzinin tam yanması için, yani bütün karbonun CO₂'ye ve bütün hidrojenin ise suya dönüşmesi için, yaklaşık olarak 14,6 kg hava gerektiği ortaya çıkmıştır. Ancak yanmaya katılan gerçek hava miktarı, birçok değişkene bağlı olarak, teoride daha az veya çok olabilir. Yanmaya katılan gerçek havanın, teorik havadan ne kadar saptığını belirtmek için hava fazlalık katsayısı kullanılır. Yanmaya

katılan hava ile teorik hava eşit olduğunda, $\lambda=1$ durumu sağlanır ve stokiyometrik karışım durumu gözlenir. Gerçek hava, teoridekinden az olduğunda, $\lambda<1$ durumu sonucu zengin karışım, gerçek hava çok olduğunda ise $\lambda>1$ durumu ile fakir karışım meydana gelir.

Hidrokarbon emisyonları için düşündüğümüzde , egzoz gazları içinde HC bulunması, yakıtın tam olarak yakılamadığını gösterir. HC emisyonunun temel nedeni sıcaklıkların veya oksijenin yetersiz olması sonucunda ($\lambda<1$ olması veya zengin karışım hali) yanmanın tamamlanamamasıdır. Yanmanın tamamlanamamasının nedenleri, silindir içinde bazı bölgelerde yakıt-hava karışım oranının çok zengin veya fakir olması sonucu oksidasyon tepkimelerinin yavaşlaması ve yanmanın tamamlanamaması, silindir içindeki soğuk cidarlar düşünüldüğünde (silindir, silindir kafası ve piston üst yüzeyi), ısı kayıpları nedeniyle bu bölgeye ulaşan alevin anında sönmesi ve piston silindir arası gibi dar bölgelerde alevin ilerleyemeyerek sönmesi olarak gösterilir.

Yanma odasının yüzey sıcaklığı, malzemenin dayanma sınırı nedeniyle, dizel motorlarında 350°C , benzin motorlarında ise 250°C 'yi aşmamalıdır. Ancak bu kadar düşük sıcaklıklarda, yanmanın yüzeye kadar ilerlemesi sağlanamamakta ve dolayısıyla alev yüzeye yakın alanlarda sönmektedir. Bu alev sönme bölgelerinde yanma tam olarak gerçekleşmediği için egzoztan HC atılımı gerçekleşir. Sonuç olarak, alev sönme bölgesindeki artış, HC emisyonunu artırmaktadır. Yanma odasındaki hava hareketlerindeki artış, alev hızını da artıracığı için HC emisyonunu azaltıcı etki yapar.

HC emisyonunu etkileyen bir diğer parametrede sıkıştırma oranıdır. Bu oranın artışı sonucu, yakıt-hava karışımının ısı sıcaklığı artırılmakla birlikte, yüzey/hacim oranını da artırılmaktadır. Bu sebeple alev sönme bölgesi büyür ve HC emisyonu artar. Diğer bir etken olan egzoz supabının erken açılması halinde, silindirde yanma tamamlanması olumsuz etkileneceği için HC emisyonunda artış olur. [9]



Şekil 6.1 : Üç farklı çevrim tipi için HC emisyonu seviyeleri.

Şekil 6.1’de yapılan inceleme sonucu, özellikle EKB katagorisindeki araçlarda, HC emisyon seviyesinin çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Öngörülerimiz doğrultusunda, araç teknolojisi gelişimi ve regülasyonların yürürlüğe girmesi sonucunda, emisyon seviyelerindeki düşüş gözle görülür seviyededir. Karbüratör ayarsızlıkları, bakım ve onarımdan kaynaklanan birçok etken, emisyon miktarlarının ve sera gazı etkisinin artışı doğurmaktadır.

Avrupa’da, Euro regülasyonlarına geçiş ile birlikte, 3. bölümde ayrıntılı olarak gösterilen limit değerler belirlenmiştir. Avrupa Birliği yönergelerine göre, HC emisyonu için Euro 3 araçlarda limit 0,2 g/km, Euro 4 araçlarda ise 0,1 g/km’dir. Avrupa çevrimi sonuçları incelendiğinde, teste tabi tutulan üç farklı Euro 4 aracında, bu limit değerlerin (0,1 g/km) altında olduğu tespit edilmiştir. Ancak, aynı incelemeyi, Euro 3 katagorisindeki araçlar için yaptığımızda, 3, 11, 14, 15, 26 nolu beş araçtan üçünün, bu limiti (0,2 g/km) aştığı tespit edilmiştir.

6.2.2 Hidrokarbon emisyonlarının taşıt katagorilerine göre analizi

Hidrokarbon emisyonları, zengin karışımlarda yanma tamamlanamadığı için artmakta, karışımın fakirleşmesi ile de azalmaktadır. Ancak çok fakir karışımlarda yanma tekrar kötüleştiği için, motorun tasarımına da bağlı olarak, belirli bir hava fazlalık katsayısından sonra HC emisyonu artış gösterir. Çizelge 6.3’te bulunan veriler incelendiğinde, en yüksek ortalama HC miktarının, tüm araç katagorilerinde, İstanbul çevrimi sonucu elde edildiği görülmektedir. Çalışmanın başındaki öngörülere uygun olarak, ortalama hızı düşük, yoğunluğu fazla olan İstanbul trafik koşullarında, HC seviyesinin yüksek çıkması, beklenen bir sonuç olarak meydana gelmiştir. Avrupa ve Amerika çevrimleri arasında bir karşılaştırma yapıldığında ise toplam otuz araçtan dokuz tanesinin Avrupa çevrimindeki HC miktarının, Amerika çevriminden daha yüksek olduğu, diğer yirmi bir araçta bu durumun tersi olduğu görülmektedir. Özellikle EKB ve 15.04 standartlarındaki araçlarda, yeni araçlara göre çok ciddi farklar görülmüştür. Ancak burada dikkat çekici bir noktada, özellikle günümüz teknolojisini yansıtan Euro 4 araçlarda, tüm çevrimlerde HC değerlerinin oldukça düşük seviyelerde seyretmesidir. Her ne kadar Euro 4 araçların, İstanbul çevrimi HC emisyon ortalaması, Avrupa ve Amerika çevrimlerinin ortalamasından yaklaşık üç kat daha fazla olsada, diğer emisyon katagorilerine göre, Euro 4 araçların HC emisyonu değerlerinin oldukça düşük olduğu rahatlıkla söylenebilmektedir.

Çizelge 6.3 : Taşıtların HC değerlerinin emisyon türlerine göre karşılaştırılması.

		Avrupa Çevrimi	Amerika Çevrimi	İstanbul Çevrimi
		HC Emisyonu Miktarı (g/km)		
Euro 4	En Yüksek	0,067	0,076	0,285
	En Düşük	0,034	0,036	0,071
	Ortalama	0,052	0,052	0,155
Euro 3	En Yüksek	1,588	2,009	1,977
	En Düşük	0,058	0,055	0,133
	Ortalama	0,521	0,539	0,721
Euro 1	En Yüksek	1,209	1,250	1,411
	En Düşük	0,247	0,171	0,390
	Ortalama	0,652	0,601	0,915
15.04	En Yüksek	3,525	4,570	4,043
	En Düşük	0,260	0,252	0,410
	Ortalama	1,132	1,398	1,528
EKB	En Yüksek	3,447	5,367	6,757
	En Düşük	1,355	1,630	2,691
	Ortalama	2,188	2,990	4,137

6.2.3 Hidrokarbon değerleri için güven aralığı hesabı

Çalışmada yapılan testlerin sonuçlarının belli bir tahmin niteliğini taşıması gerekmektedir. Yapılan deney sayısı ve birkaç farklı parametre de göz önünde bulundurularak, çalışmanın gerçeği yansıtmaya kabiliyetini de incelemek gerekir.

θ 'nın bir kitle parametresini, $\hat{\theta}$ simgesinin bu kitle parametresine bağlı olarak, bir nokta tahmincisi ve θ simgesinin ise aynı kitle parametresinin bir nokta tahminini temsil ettiğini kabul edelim. Burada düşünülen sistemin örneklem büyüklüğü ne boyutta olursa olsun, örnekleme sonrası, $\hat{\theta}$ 'nın alacağı değerin, yani nokta tahmini θ 'nın, kitle parametresi θ 'ya, tam olarak eşit olması beklenmemektedir. Çünkü nokta tahmincisi bir örneklem istatistiği olup, kesin bir tamsayı olarak, sayılamayan sonsuz sayıda noktadan oluştuğu düşünülen bir sürekli dağılımda, tek bir noktanın gerçekleşme olasılığı teoride sıfır kabul edilmektedir. Bu bağlamda, $P[\theta = \hat{\theta}] = 0$ yazılabilir. Burada P ile temsil edilen değer bir oranı göstermektedir. Doğal olarak, bir kitle parametresi tahmininin, tek bir değer ile ifade edilmesi güvenilir bir yaklaşım olamaz, yani bu türden bir çıkarsama “sıfır” güvenle ifade edilebilir. Çıkarsamanın güven seviyesini yükseltmenin tek yolu, tahminin belirli bir hata payı (e) içereceğini kabul etmek ve $\hat{\theta}$ etrafında bir hata aralığı oluşturmaktır. Böyle bir $[\hat{\theta} - e, \hat{\theta} + e]$ aralığı, θ 'nın aralık tahmincisi olarak adlandırılmaktadır. Aralık

tahmininin örneklemeden sonra gerçekleşen değeri, yani $[\theta - e, \theta + e]$ aralığı ise θ 'nın aralık tahmini olmaktadır. θ 'nın aralığına düşme olasılığı, e 'nin alacağı değere bağlı olup, $\hat{\theta}$ 'nın örnekleme dağılımı bilindiğinde bu olasılık hesaplanabilir.

Kitle ortalaması μ 'ye ilişkin çıkarsama yaparken, μ 'nün tek bir değer ($\bar{x}$) alacağını sıfır güvenle

$$P[\mu = \bar{x}] = 0 \quad (6.1)$$

ifade etmektedir.

Genel olarak ifade edildiğinde aşağıdaki eşitlik kullanılır;

$$P[\hat{\theta} - e \leq \theta \leq \hat{\theta} + e] = 1 - \alpha \quad (6.2)$$

Denklem 6.2'de $(1 - \alpha)$, θ 'nın $[\hat{\theta} - e, \hat{\theta} + e]$ aralığına düşme olasılığını göstermektedir. Buradan parantezin içi, nokta tahmini θ için yazılırsa aşağıdaki eşitlik sağlanır.

$$\theta - e \leq \theta \leq \theta + e \quad (6.3)$$

θ için, $\%100(1 - \alpha)$ güven aralığı elde edilir. $(1 - \alpha)$, $[\theta - e, \theta + e]$ aralık tahminine olan güven düzeyini göstermektedir.

İdeal bir güven aralığı, e 'nin minimum, $(1 - \alpha)$ 'nın maksimum olduğu bir aralıktır.

Kitle ortalaması μ 'nün güven aralığı oluşturulurken örneklem ortalaması $\bar{x}$ 'ya ve $\bar{x}$ 'nin örnekleme dağılımına başvurulacaktır. $\bar{x}$ 'nin örnekleme dağılımını belirleyen faktörler; kitlenin dağılımı, kitle varyansının bilinip bilinmemesi ve örneklem büyüklüğüdür. Güven aralıkları oluşturulurken de bu faktörler göz önünde bulundurulmaktadır. [19]

Kitle dağılımı normal: Kitle varyansı biliniyor,

$$P\left[\bar{X} - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right] = 1 - \alpha \quad (6.4)$$

Parantezin içi açılarak, $\bar{X}$ için yazarsak;

μ için, $\%100(1 - \alpha)$ güven aralığı denklem 6.5'teki gibidir.

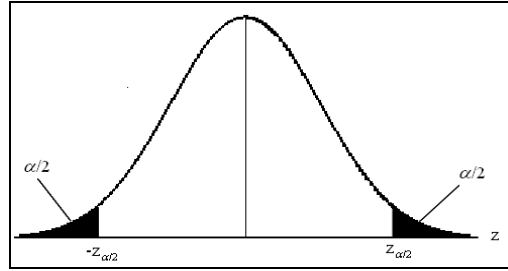
$$\bar{X} - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (6.5)$$

Burada n , gözlem sayısıdır.

Aynı aralık $\left[\bar{X} - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{X} + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right]$ olarak da ifade edilebilir.

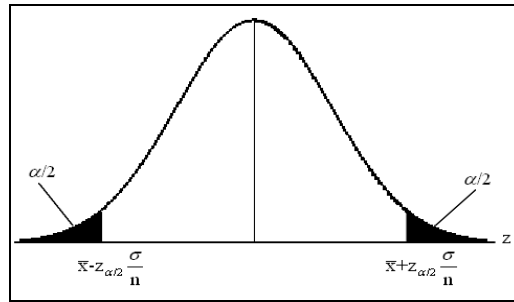
$\bar{X} \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ değerleri ise güven sınırlarıdır.

Standart normal dağılım ve $\pm z_{\alpha/2}$ değerleri Şekil 6.2’de gösterilmektedir.



Şekil 6.2 : Standart normal dağılım ve $\pm z_{\alpha/2}$ değerleri. [19]

$\bar{X}$ ’ın örnekleme dağılımında ki güven sınırları ise Şekil 6.3 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.3 : $\bar{X}$ ’ın örnekleme dağılımında güven sınırları. [19]

Kitle dağılımı normal, kitle varyansı bilinmiyor:

Kitlenin normal dağıldığı, ancak kitle varyansının bilinmediği durumda, μ için $\%100(1 - \alpha)$ güven aralığı denklem 6.6’da ifade edilmektedir.

$$\bar{X} - t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (6.6)$$

Bu çalışmada, HC, CO, NO_x, CO₂ ve yakıt tüketimi sonuçları açısından tespit değerlerinin güven aralığı hesaplamaları yapılmıştır. İncelemede taşıt kümeleri oluşturulurken, EKB ve 15.04 taşıtlar kendi aralarında değerlendirilmiştir. Fakat Euro 1, Euro 3 ve Euro 4 emisyon sınıflarında araçların sayısal olarak daha anlamlı bir tespit gurubunda yer alması için bu üç emisyon sınıfındaki araçların güven aralığı hesabı beraber yapılmıştır. Ayrıca güven aralığı hesabı yapılırken tanımlayıcı

istatistiklerden aritmetik ortalama, standart sapma, ortanca, çarpıklık, basıklık hesaplanmıştır.

Aritmetik ortalama, en çok bilinen ve kullanılan istatistik verisidir. Sadece ortalama olarak da kullanılır. Aritmetik ortalama, tüm gözlemlerin toplanması ve toplamın gözlem sayısına bölünmesi ile hesaplanır. [20]

x_1 ; herhangi bir X değişkeni için yapılan teksele gözlemi, n ; örneklem büyüklüğünü, $x_1, x_2, \dots, x_n$ ise tüm gözlemleri ifade ederse, gözlemlerin toplamı,

$$\sum_{i=1}^{i=n} x_i = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n \quad (6.7)$$

Bir X değişkeninin aritmetik ortalaması(μ) ;

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} x_i = \frac{1}{n} \sum x \quad (6.8)$$

Standart sapma, değerlerin ortalama değerden ne kadar uzaklaştığının ölçümüdür, σ ile gösterilir.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x - \mu)^2} \quad (6.9)$$

Ortanca, bir değişken için yapılan gözlemlerin büyükten küçüğe (veya küçükten büyüğe) sıralanmasından sonra, kendisinden küçük veya kendisinden büyük eşit sayıda gözlem bırakan değere denir ve M ile gösterilir. Buna göre ortanca frekans dağılımını iki eşit kısma böler.

Çarpıklık, bir dağılımın ortalaması etrafındaki asimetri derecesini belirtir. Pozitif ve negatif olmak üzere iki tip çarpıklık mevcuttur. Pozitif çarpıklık, asimetric ucu daha yüksek pozitif değerlere doğru genişleyen bir çarpıklığı belirtir. Negatif çarpıklık ise, asimetric ucu daha düşük negatif değerlere doğru genişleyen bir dağılımı belirtir. Çarpıklık denklemi, denklem 6.10'da gösterilmiştir.

$$\text{Çarpıklık} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^3 \quad (6.10)$$

Basıklık, normal dağılımla karşılaştırıldığında, bir dağılımın göreceli dikliğini ya da düzlüğünü verir. Pozitif basıklık, görece dik bir dağılımı belirtir. Negatif basıklık ise göreceli düz bir dağılımı belirtir.

Basıklık denklemi;

$$\text{Basıklık} = \left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-1)(n-3)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^4 \right\} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \quad (6.11)$$

Güven aralığı alt ve üst değerlerinin hesaplanmasında ise $\bar{X} \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ güven sınırları denklemi kullanılmıştır. Bu çalışmadaki güven aralığı hesapları %95'lik güven aralığı oluşturularak yapılmıştır, yani güven düzeyi $(1-\alpha)$ için 0.95 değeri kullanılmıştır. $1-\alpha=0.95$ olduğu için $\alpha/2=0.025$ olur. $Z_{0.025}$ değeri standart normal dağılımının ucunda, 0.025'lik alan bırakan z değeridir. Bu değer Çizelge 6.4 üzerinde görüldüğü gibi 1.96 olarak bulunur.

Çizelge 6.4 : Çeşitli $1-\alpha$ değerlerine karşılık gelen $z_{\alpha/2}$ değerleri.

$1-\alpha$	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.99
$z_{\alpha/2}$	1.15	1.28	1.44	1.64	1.96	2.58

Yani, μ için %95'lik güven aralığı;

$$\left[\bar{X} - 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{X} + 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right] \text{ olur.}$$

Güven aralığı alt ve üst değerler hesaplanırken bu denklem kullanılmıştır.

Yapılan hesaplamalarda ortalama değerler ile ortancalar arasındaki farkların istatistiksel olarak ihmal edilebilecek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle hesaplamalarda ortalama değerler kullanılmıştır.

Çizelge 6.5'de EKB taşıtların, tüm çevrim tipleri için HC değerleri görülmektedir. Bu değerlerden faydalanılarak, istatistiki değerler hesaplanmış ve güven aralığı tespit edilmiştir. Ayrıca ortalama, standart sapma, ortanca, çarpıklık, basıklık, standart sapma yüzdesi ile güven aralığı için alt ve üst değerler belirlenmiştir.

Çizelge 6.5 : EKB taşıtların HC değerlerinin güven aralığı.

EKB Taşıtlar			
Araç No	Avrupa Çevrimi	Amerika Çevrimi	İstanbul Çevrimi
	HC (g/km)	HC (g/km)	HC (g/km)
2	1,892	3,008	3,334
9	1,505	1,652	-
12	1,355	1,630	6,757
13	1,775	2,246	-
19	1,721	2,176	2,691
20	2,153	2,712	3,201
21	2,493	2,770	3,627
22	2,472	3,180	3,185
27	3,447	5,367	3,776
28	3,071	5,160	6,526
ORTALAMA	2,19	2,99	4,14
STANDART SAPMA	0,68	1,31	1,58
ORTANCA	2,02	2,74	3,48
ÇARPIKLIK	0,72	1,10	1,27
BASIKLIK	-0,37	0,26	-0,16
MAKSİMUM	3,45	5,37	6,76
MİNİMUM	1,36	1,63	2,69
TOPLAM	21,88	29,9	33,10
G.A. ÜST DEĞER	2,61	3,80	5,12
G.A. ALT DEĞER	1,77	2,18	3,16
STANDART SAPMA (%)	0,31	0,44	0,38
GÖZLEM	10	10	8
GÜVEN ARALIĞI	±19,3%	±27,1%	±23,7%

Çizelge 6.6, toplam dokuz adet 15.04 emisyon seviyesine sahip aracın güven aralığı hesaplamalarının detaylarını yansıtmaktadır.

Çizelge 6.5 incelendiğinde, EKB araçların ortaya çıkardığı güven aralığı değerlerinin üç çevrim içinde yüksek olduğunu düşünmekle birlikte, 15.04 ve Euro regülasyonuna sahip araçların çıkardığı güven aralığı daha da olumsuz bir durumu ortaya koymaktadır. Çizelge 6.7, Euro araçların güven aralığını ortaya koymaktadır ve toplam onbir adet Euro regülasyonlarına uygun aracın güven aralığı hesaplamalarının değerlerini vermektedir. Çizelge 6 ve 7’de görüldüğü gibi güven aralıkları oldukça yüksek seviyelerde çıkmıştır. Bunun en önemli nedeni örnek denek sayısının yetersizliğidir. İncelenen araç sayısının, otuz yerine üçyüz tane olması, şüphesiz, güven aralığının çok daha makul seviyelerde çıkmasını sağlayabilirdi. Ancak bu tarz bir çalışmanın, çok yüksek miktarda araca uygulanması, çalışma koşulları göz önüne alındığında uzun yıllar alacaktır. Ayrıca ortaya çok yüksek bir mali tabloda çıkacaktır. Bu çalışmanın, otuz araçlık deney sürecinin oldukça uzun olduğu düşünülürse, çok daha kalabalık bir filo ya benzer işlemleri yapmak için, maddi olanakların yanı sıra geniş bir çalışma kadrosu, uygun laboratuvar ve dolayısıyla çok daha geniş imkanlara sahip olunması gerektiği kaçınılmaz bir gerçektir.

Çizelge 6.6 : 15.04 taşıtların HC değerlerinin güven aralığı.

15.04 Taşıtlar			
	Avrupa Çevrimi	Amerika Çevrimi	İstanbul Çevrimi
Araç No	HC (g/km)	HC (g/km)	HC (g/km)
5	1,055	1,639	-
6	0,260	0,259	1,010
10	3,525	4,570	4,043
17	0,399	0,532	0,710
23	1,207	1,322	1,272
24	1,327	1,637	2,133
25	1,497	1,743	1,840
29	0,580	0,629	0,807
30	0,336	0,252	0,410
ORTALAMA	1,13	1,40	1,53
STANDART SAPMA	1,01	1,33	1,17
ORTANCA	1,06	1,32	1,14
ÇARPIKLİK	1,88	1,88	1,63
BASIKLIK	4,26	4,34	2,91
MAKSİMUM	3,53	4,57	4,04
MİNİMUM	0,26	0,25	0,41
TOPLAM	10,19	12,58	12,23
G.A. ÜST DEĞER	1,79	2,27	2,29
G.A. ALT DEĞER	0,47	0,53	0,76
STANDART SAPMA (%)	0,89	0,95	0,76
GÖZLEM	9	9	8
GÜVEN ARALIĞI	±58,2%	±62,4%	±50,0%

Çalışma sırasında yapılan yoğun literatür araştırmaları esnasında da bu tür bir araç filosuna test uygulama girişimine rastlanmamıştır. Çevrim ve araç emisyon araştırmalarına yönelik çalışmaların büyük çoğunluğunda, tek bir araç alınıp birkaç çevrimde denenmiş veya az sayıda araç, farklı sürüş koşullarında değerlendirilmiştir. Kapsam olarak otuz araçlık bir uygulama çalışmasına rastlanmamıştır. Ancak güven aralığı hassasiyeti için otuz aracın bile yetersiz kaldığı, elde edilen sonuçlarla ortaya çıkmaktadır. Şüphesiz çok daha fazla sayıda araçla, bu tarz bir çalışma yapılması çok daha doğru değerler verecektir. Ancak bu durumda bile, EKB ve 15.04 araçların emisyon değerlerinin, birbirlerinden çok farklı değerlerde seyretmesi, makul bir güven aralığına ulaşmayı zorlaştıracaktır. Karbüratörlü araçlarda yaşanan temel olumsuzluklardan dolayı, eski araçlar arasında, birbirlerinden oldukça farklı değerler elde edilmiştir. Bu sebeple, güven aralığının bu kadar geniş bir alanda seyretmesi inanılması güç bir durum değildir. Ayrıca Euro regülasyonlarına sahip daha çok sayıda aracın teste sokulabilmesi halinde, güven aralığı değerlendirmesi, her farklı Euro regülasyon seviyesindeki araç kümesi için ayrı ayrı yapılabilecek ve bu araçların emisyon seviyelerinin birbirlerine yakın seyretmesi öngörüsüyle, çok daha makul seviyelerde güven aralığı değerleri yakalanabilecektir.

Çizelge 6.7 : Euro taşıtların HC değerlerinin güven aralığı.

Araç No	Euro Taşıtlar		
	Avrupa Çevrimi	Amerika Çevrimi	İstanbul Çevrimi
	HC (g/km)	HC (g/km)	HC (g/km)
1	0,054	0,036	0,109
3	0,058	0,055	0,336
4	0,034	0,043	0,071
7	0,067	0,076	0,285
8	0,500	0,383	0,945
11	0,630	0,388	-
14	1,588	2,009	1,977
15	0,211	0,156	0,437
16	0,247	0,171	0,390
18	1,209	1,250	1,411
26	0,118	0,088	0,133
ORTALAMA	0,43	0,42	0,61
STANDART SAPMA	0,52	0,63	0,64
ORTANCA	0,21	0,16	0,36
ÇARPIKLİK	1,52	2,07	1,43
BASIKLIK	1,38	3,73	1,15
MAKSİMUM	1,59	2,01	1,98
MİNİMUM	0,03	0,04	0,07
TOPLAM	4,72	4,66	6,09
G.A. ÜST DEĞER	0,74	0,80	0,99
G.A. ALT DEĞER	0,12	0,05	0,23
STANDART SAPMA (%)	1,22	1,49	1,05
GÖZLEM	11	11	10
GÜVEN ARALIĞI	±72,2%	±88,3%	±61,8%

6.3 Karbonmonoksit Emisyonlarının Değerlendirilmesi

6.3.1 Karbonmonoksit emisyonu ağırlıklı ortalamalarının değerlendirilmesi

Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin (O₂) yetersiz olmasıdır. Daha öncede belirtildiği gibi 1 kg benzinin tam yanması için yaklaşık 14,6 kg hava gereklidir. Eğer hava fazlalık katsayısı, 1'den az ise yani yakıt-hava karışımı içinde gerekenden daha az hava var ise, yanma yetersiz oksijen ortamı içinde olacak ve yakıtın karbonunun tümü CO₂'ye dönüşemeyerek, CO olarak kalacaktır. Motorda silindir içinin tümü düşünüldüğünde, oksijen genel olarak yetersiz olabileceği gibi, karışımın tam homojen (silindir içinde her yerde aynı yakıt /hava oranı) olmaması durumunda, silindir içinde belirli bir konumda, yerel olarak da yetersizlik olabilir. Dolayısıyla CO oluşumu büyük ölçüde λ 'ya bağlıdır. [9]

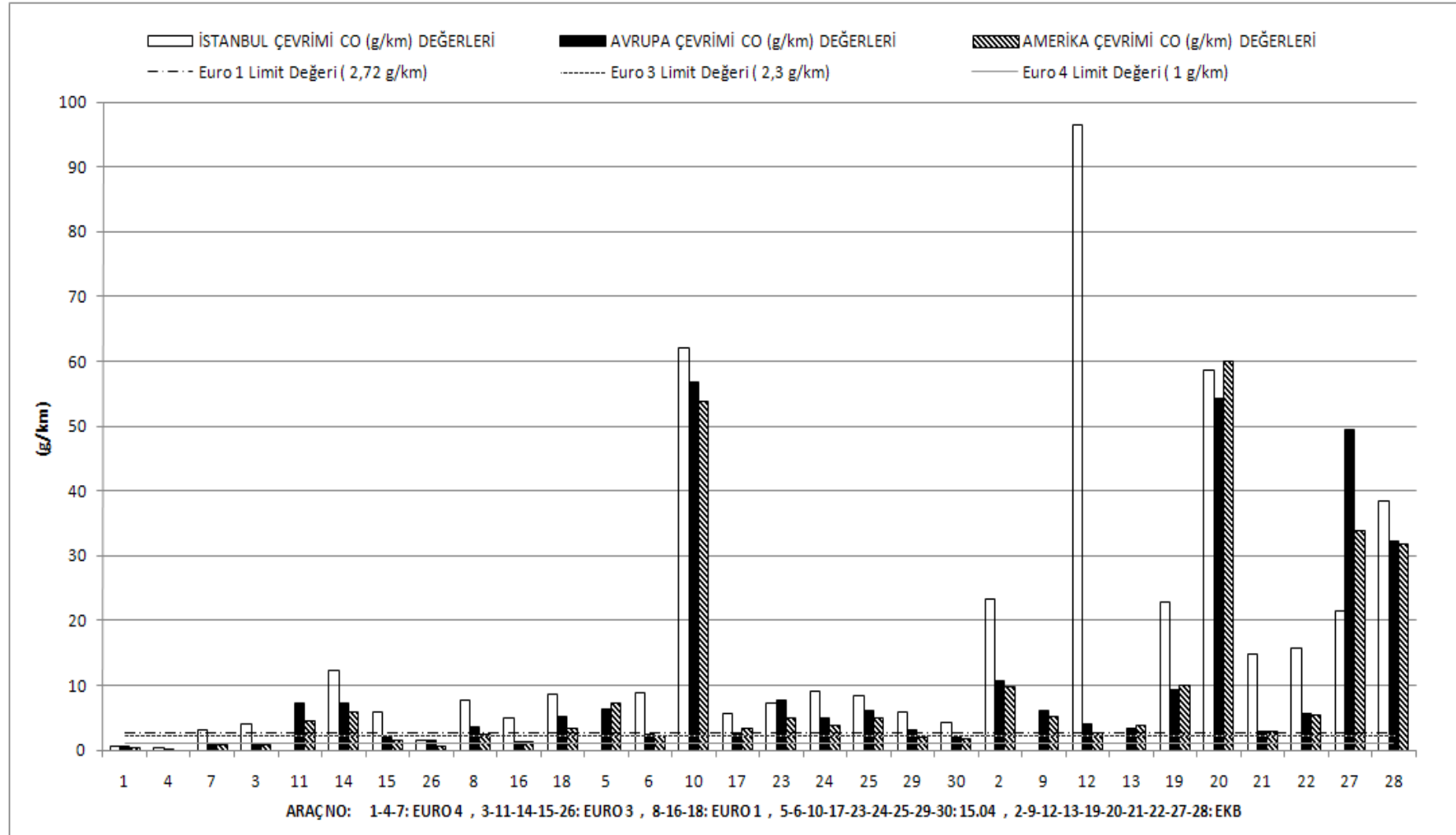
CO emisyonu, λ değerinin yeterince uygun olmamasından etkilendiği gibi tepkime sıcaklığından da etkilenmektedir. Avrupa test çevrimi, sabit ivmeli ve sabit hızlardan oluşurken, Amerika test çevrimi değişken ivmelerden oluşmaktadır. Dolayısıyla

Amerika test çevrimi sürecinde oluşan tepkime sıcaklığı ile Avrupa test çevrimi sürecinde oluşan tepkime sıcaklığının durumu, zaman bazında farklılık göstermektedir. Amerika çevrimindeki ivmelenmelerin fazlalığı sebebiyle tepkime sıcaklıklarının daha hızlı artması beklenir, ancak çevrimin ikinci fazından önce, tekrar on dakikalık bekleme süreci olması, ikinci fazdaki CO değerlerinin yüksek ortalamaya sahip olmasını etkilemiştir. Tepkime sıcaklığı yükselse de bu arada motor tekrar bir miktar soğumaktadır. Tepkime sıcaklığının yüksek olması, katalizörün ideal işletme sıcaklığına ulaşması için gereken zamanı kısaltmakadır. Bu durumda göz önünde bulundurulduğunda, Avrupa çevriminin CO değerlerinin Amerika'dan bir miktar daha yüksek olması beklenmektedir. Toplam otuz aracın yirmi üç tanesinde Avrupa çevrimi değeri, Amerika çevrimi değerinden yüksek çıkmıştır.

Çizelge 6.8 : CO emisyonlarının çevrim ortalaması değerleri.

Taşıt No	Avrupa Çevrimi (g/km)	Amerika Çevrimi (g/km)	İstanbul Çevrimi (g/km)
1	0,531	0,243	0,679
2	10,715	9,841	23,339
3	1,023	0,734	3,974
4	0,176	0,203	0,418
5	6,325	7,133	-
6	2,456	2,278	8,779
7	0,848	0,845	3,006
8	3,657	2,475	7,640
9	6,188	5,140	-
10	56,761	53,703	62,036
11	7,307	4,497	-
12	3,956	2,666	96,510
13	3,385	3,737	-
14	7,124	5,771	12,215
15	1,884	1,489	5,912
16	1,350	1,213	4,991
17	2,584	3,286	5,684
18	5,164	3,382	8,583
19	9,198	9,931	22,909
20	54,208	59,879	58,709
21	2,868	2,890	14,857
22	5,554	5,283	15,615
23	7,608	4,934	7,169
24	5,044	3,855	9,114
25	6,018	5,027	8,457
26	1,377	0,662	1,425
27	49,529	33,801	21,331
28	32,121	31,811	38,464
29	3,199	1,942	5,782
30	2,163	1,652	4,286

HC ve CO emisyonları değerlendirildiğinde, en temel sorun boшта çalışma, yavaşlama ve düşük hızlarda seyir anlarındaki ayarsızlıklardır. Özellikle benzin motoru boшта çalışırken, ateşleme koşullarının iyi olabilmesi için, karışım içindeki yakıt miktarı artırılmaktadır. Bu durumda yetersiz hava sebebiyle, HC ve CO emisyonları artış göstermektedir. Herbir çevrim için ayrı ayrı elde edilen CO oranları Çizelge 6.8’de gösterilmiştir. Çizelgedeki ağırlıklı ortalamalar incelendiğinde, özellikle 10, 20, 27 ve 28 nolu araçlarda oldukça yüksek değerler çıkmıştır. Bu araçların tümünün, karbüratörlü ve eski araçlar olması, bakımsızlık ve yeterli servis görmemiş olmaları, bu değerlerin çıkmasının en temel sebepleridir. Katalitik konvertörü bulunmayan, teknolojisi oldukça geride kalmış bu tip araçlar, küresel ısınmada etkili, direkt ve dolaylı gaz türevlerini tetikleyen parçalardır. Ayrıca oldukça dikkat çeken bir hususta, 12 nolu, EKB emisyon sınıfındaki aracın, Amerika ve Avrupa çevrimine göre onlarca kat fazla CO emisyonunu, İstanbul çevriminde çıkarmış olmasıdır. Buda karbüratörlü araçlardaki ayarsızlıkların, ne kadar göreceli sonuçlar doğurup, çevreyi ne derece tehdit ettiklerine en iyi örnektir. Üç çevrim için bir değerlendirme yapıldığında, ortalama hızı düşük olan, motorun hava yetersizliği içerisinde çalışmaya en uygun periyodları yaşayacağı çevrim tipi olarak tabir edilebilen İstanbul çevriminde, CO değerleri, diğer iki çevrimden çok daha yüksek seviyelerde çıkmıştır.



Şekil 6.4 : Üç farklı çevrim tipi için CO emisyonu seviyeleri.

Şekil 6.4'ün yansıttığı gibi, üç çevrim türü içinde, teste tabi tutulmuş araçların CO emisyonu seviyeleri grafiksel olarak görülmektedir.

Avrupa'da, Euro regülasyonlarına geçiş ile birlikte belirlenen limit değerler, CO içinde mevcuttur. Avrupa Birliği yönergelerine göre, CO emisyonu için Euro 1 araçlarda limit 2,72 g/km, Euro 3 araçlarda 2,3g/km ve Euro 4 araçlarda 1 g/km'dir. Avrupa çevrimi sonuçları incelendiğinde, teste tabi tutulan üç farklı Euro 4 araçtan, en yüksek CO değerine sahip olanının dahi, bu limit değer (1 g/km) altında olduğu tespit edilmiştir. Ancak, aynı incelemeyi, Euro 3 katagorisindeki araçlar için yaptığımızda, 3, 11, 14, 15, 26 nolu beş araçtan 11 ve 14 numaralı olanlarının, belirlenmiş limiti (2,3 g/km) aştığı tespit edilmiştir. Üstelik bu araçlar, limit değer yaklaşık üç katı seviyesinde CO emisyonu yaymışlardır. Yani teste tabi tutulan Euro 3 araçların % 40'ı gerekli limit değeri sağlayamamıştır. Euro 1 araçlara bakıldığında, üç araçtan sadece 16 nolu aracın bu limitin altında kaldığı görülmüştür. 8 numaralı araç ise limit değer çok az bir miktar üzerinde çıkmıştır. Buradan çıkabilecek sonuç, bakım periyotlarının aksatılmasının ve araçların zaman içerisinde eskimesinin, ilerleyen süreçlerde birçok yönden olumsuz etki yarattığıdır.

6.3.2 Karbonmonoksit emisyonlarının taşıt katagorilerine göre analizi

Karbonmonoksit ortalamalarına bakıldığında, İstanbul çevrimi, HC değerlendirmelerine benzer olarak, tüm taşıt katagorilerinde yüksek miktarlar sergilemiştir. Özellikle eski ve karbüratörlü araçların oluşturduğu EKB sınıfında, günümüzde Avrupa'da CO emisyonu için limit değer olan 1g/km düşünüldüğünde, arada nasıl bir farkın olduğu çok daha iyi anlaşılmaktadır. Teknolojik gelişimlerin ve alınan tedbirlerin, regülasyonlarla yürürlüğe girmesinin yararlı etkisi Çizelge 6.9'da açıkça görülmektedir. EKB araçların ortalamasının, Euro 4 araçlarındakinden, Avrupa çevriminde yaklaşık 34, Amerika çevriminde 38, İstanbul çevriminde ise 27 kat fazla olması, yeni ve bakımlı araçların kullanımının getirdiği çevresel faydayı gözler önüne sermektedir. Küresel ısınmanın doğuracağı sonuçlar üzerine oldukça karamsar tabloların çizildiği şu günlerde, eski araçların sebep olduğu bu olumsuz ortamın, araçların yenileriyle değiştirilmesiyle ortadan kalkması için, sadece vatandaşların bilinçlendirilmesinin yetersiz kalacağı, devlet teşvikinin kaçınılmaz olduğu açıktır. Çünkü bu dönüşümlerin ekonomik boyutu, sadece ülkemizde değil, tüm dünya üzerinde en belirleyici parametre olacaktır.

Çizelge 6.9 : Taşıtların CO değerlerinin emisyon türlerine göre karşılaştırılması.

		Avrupa Çevrimi	Amerika Çevrimi	İstanbul Çevrimi
		CO Emisyonu Miktarı (g/km)		
Euro 4	En Yüksek	0,848	0,845	3,006
	En Düşük	0,176	0,203	0,418
	Ortalama	0,518	0,430	1,368
Euro 3	En Yüksek	7,307	5,771	12,215
	En Düşük	1,023	0,662	1,425
	Ortalama	3,743	2,630	5,881
Euro 1	En Yüksek	5,164	3,382	8,583
	En Düşük	1,350	1,213	4,991
	Ortalama	3,390	2,357	7,071
15.04	En Yüksek	56,761	53,703	62,036
	En Düşük	2,163	1,652	4,286
	Ortalama	10,24	9,312	13,914
EKB	En Yüksek	54,208	59,879	96,510
	En Düşük	2,868	2,666	14,857
	Ortalama	17,772	16,498	36,467

İstanbul çevriminin, taşıtların ortalama CO emisyonları açısından bu kadar açık şekilde yüksek çıkmasının sebebi, İstanbul'un trafiğini simule etmek amacıyla oluşturulan çevrimin, düşük hız aralıkları sergilemesi, azami hızın diğer iki çevrime göre oldukça düşük olması ve dolayısıyla araç motorlarında diğer çevrimlerden daha kötü yanma gerçekleşmesidir. Ayrıca en yüksek CO değerlerinin meydana geldiği düşük hızlarda seyirler, sık ivmelenme ve boşta çalışma anlarının fazlalığı, çok önemli bir etkidir.

Test edilen araçlar için bir diğer önemli mukayese de IPCC değerlendirmelerine göre yapılabilmektedir. IPCC tarafından önerilen, ikinci ve üçüncü yaklaşım metodları vasıtasıyla COPERT modelinden elde edilen emisyon faktörleri, Avrupa Topluluğu için yayınlanmıştır. Çizelge 6.10'de görülen değerler IPCC'nin yayınladığı değerlerdir. Bu çalışmalar ilerletilip, her ülke için ayrı ayrı emisyon faktörleri belirleme çalışmalarında hız kazanmıştır. Sürüş dinamiklerinin, her ülkede, hatta her şehirde, nüfus, ulaşım altyapısı, ekonomik imkanlar gibi birçok değişkene bağlı karakterleri vardır. Bu sebeple, bölgesel trafik yoğunluklarının saptanması, bu duruma göre de bölgesel emisyon faktörlerinin tespiti, birçok bilginin saptanmasının da temelini oluşturacaktır.

Çizelge 6.10 : IPCC tarafından belirlenmiş emisyon faktörleri. [21]

Emisyon	Emisyon Faktörü (g/km)		
Seviyesi	CO	NO _x	CO ₂
Euro 3	2,9	0,5	205
Euro 1	2,9	0,5	205
15.04	19	2,3	200
EKB	46	2,2	270

Teste tabi tutulan araçların farklı emisyon seviyelerinde ki ortalama değerleri Çizelge 6.9’da görülmektedir. Teste giren araçların CO ortalamasına bakıldığında, EKB araç katagorisi için 46 g/km’lik Avrupa emisyon faktörüne göre, oldukça altında kaldığı (17,772 g/km) görülmektedir. 15.04 araçlarda elde edilen 10,240 g/km’lik ortalama da, 19 g/km’lik standartın altında çıkmıştır. Ancak Euro 1 ve 3 için sağlanması gerekli olan 2.9 g/km’lik değer, Euro 1 araçlarda 3,390 ve Euro 3 araçlarda 3,743 olarak beklenenden biraz yüksek çıkmıştır.

6.3.3 Karbonmonoksit değerleri için güven aralığı hesabı

Çizelge 6.8’de tüm çevrim tipleri için CO değerleri görülmektedir. Çalışmadaki araçlardan on tanesi EKB, dokuz tanesi 15.04 ve on bir tanesinde Euro regülasyon seviyesine sahip araçlardır. Euro 1, 3 ve 4 emisyon düzeylerine sahip araçların güven aralığı hesabını yaparken, Euro araç başlığı altında, bu araçların birlikte değerlendirileceği daha önceki sayfalarda belirtilmiştir. Bunun sebebinin, örneklemesi yapılan araç sayısının yeterli seviyeye ulaşmaması olduğu görülmektedir. Çünkü Euro 1 ve Euro 4 araçlardan üçer adet bulunması sebebiyle, bu iki regülasyon kümesine güven analizi yapma imkanı yoktur. Dolayısıyla Euro grubu birlikte ele alınmış ve güven düzeyi on bir araç üzerinden yapılmıştır. Deneyi yapılan taşıtlar arasındaki güven aralığının belirlenmesi için aşağıdaki Çizelgeler 6.11, 6.12 ve 6.13 oluşturulmuştur. Burada tüm çevrim tipleri için elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara göre hesaplanan istatistiki veriler görülmektedir. Daha öncede değinildiği gibi, deneyi yapılan örnek sayısındaki yetersizlik sebebiyle, güven aralığı, CO değerleri açısından da oldukça geniş bir alanda seyir etmiştir. Her ne kadar, literatürde bu kadar yüksek miktarda aracın, üç farklı sürüş koşulunda değerlendirilmesine rastlanılmasa da, güven aralığı sonuçları, ancak daha fazla araca deneyler uygulanarak çok daha dar bir doğruluk aralığına sahip olunabileceğini göstermiştir.

Çizelge 6.11 : EKB taşıtların CO değerlerinin güven aralığı.

EKB Taşıtlar			
	<u>Avrupa Çevrimi</u>	<u>Amerika Çevrimi</u>	<u>İstanbul Çevrimi</u>
Araç No	CO (g/km)	CO (g/km)	CO (g/km)
2	10,715	9,841	23,339
9	6,188	5,140	-
12	3,956	2,666	96,510
13	3,385	3,737	-
19	9,198	9,931	22,909
20	54,208	59,879	58,709
21	2,868	2,890	14,857
22	5,554	5,283	15,615
27	49,529	33,801	21,331
28	32,121	31,811	38,464
ORTALAMA	17,77	16,50	36,47
STANDART SAPMA	19,91	19,14	28,26
ORTANCA	7,69	7,56	23,12
ÇARPIKLIK	1,23	1,58	1,69
BASIKLIK	-0,18	1,87	2,50
MAKSİMUM	54,21	59,88	96,51
MİNİMUM	2,87	2,67	14,86
TOPLAM	177,72	164,98	291,73
G.A. ÜST DEĞER	30,11	28,36	53,98
G.A. ALT DEĞER	5,43	4,63	18,95
STANDART SAPMA(%)	1,12	1,16	0,77
GÖZLEM	10	10	8
GÜVEN ARALIĞI	±69,4%	±71,9%	±48,0%

Çizelge 6.12, toplam dokuz adet 15.04 emisyon seviyesine sahip aracın güven aralığı hesaplamalarının detaylarını yansıtmaktadır. Özellikle 15.04 araç kategorisinde güven aralığının çok yüksek bir alanda seyretmesi, örnek sayısının azlığı ile doğru orantılıdır. Daha çok veri ile hesaplama yapılabildiğinde, bu aralığın giderek azalacağı bilinen bir gerçektir. Burada bazı araçlardan, normalin aşırı üzerinde CO değerleri elde edilmesi sonucu güven aralığı yüksek çıkmaktadır. Aslında teoride, bir kümede güven aralığı hesabı yapılırken, o kümenin elemanlarından en yüksek ve en düşük değere sahip olanının çıkarılması birçok uygulamada yapılmaktadır. Ancak bu çalışma da böyle bir imkanı kullanmak, zaten sayısı az olan deneklerin, daha da az seviyeye çekilmesini doğuracağı için, böyle bir yaklaşım içine girilmemiştir. Ayrıca maksimum değerın çıkarılması, güven aralığı açısından, her ne kadar azaltıcı etki gösterecek olsada, minimum değer açısından çizelgeler incelendiğinde, kümedeki en düşük iki değer arasında ciddi bir fark görülmemektedir. Dolayısıyla pratikte bazı çalışmalarda zaman zaman faydalanılan bu uygulamayı kullanmak, bu çalışmada tercih edilmemiştir.

Çizelge 6.12 : 15.04 taşıtların CO değerlerinin güven aralığı.

15.04 Taşıtlar			
	<u>Avrupa Çevrimi</u>	<u>Amerika Çevrimi</u>	<u>İstanbul Çevrimi</u>
Araç No	CO (g/km)	CO (g/km)	CO (g/km)
5	6,325	7,133	-
6	2,456	2,278	8,779
10	56,761	53,703	62,036
17	2,584	3,286	5,684
23	7,608	4,934	7,169
24	5,044	3,855	9,114
25	6,018	5,027	8,457
29	3,199	1,942	5,782
30	2,163	1,652	4,286
ORTALAMA	10,24	9,31	13,91
STANDART SAPMA	17,55	16,74	19,52
ORTANCA	5,04	3,86	7,81
ÇARPIKLİK	2,93	2,94	2,79
BASIKLIK	8,68	8,72	7,82
MAKSİMUM	56,76	53,70	62,04
MİNİMUM	2,16	1,65	4,29
TOPLAM	92,16	83,81	111,31
G.A. ÜST DEĞER	21,71	20,25	26,67
G.A. ALT DEĞER	-1,23	-1,62	1,16
STANDART SAPMA(%)	1,71	1,8	1,4
GÖZLEM	9	9	8
GÜVEN ARALIĞI	±112,0%	±117,4%	±91,7%

Çizelge 6.13, toplam onbir adet Euro regülasyonlarına uygun aracın güven aralığı hesaplamalarının değerlerini vermektedir. CO emisyonları açısından en dar güven aralığı, üç çevrim tipi açısından da Euro araçların oluşturduğu kümede çıkmıştır, en yüksek aralık ise 15.04 araçlar arasında ortaya çıkmıştır.

Çizelge 6.13 : Euro taşıtların CO değerlerinin güven aralığı.

Araç No	Euro Taşıtlar		
	Avrupa Çevrimi	Amerika Çevrimi	İstanbul Çevrimi
	CO (g/km)	CO (g/km)	CO (g/km)
1	0,531	0,243	0,679
3	1,023	0,734	3,974
4	0,176	0,203	0,418
7	0,848	0,845	3,006
8	3,657	2,475	7,640
11	7,307	4,497	-
14	7,124	5,771	12,215
15	1,884	1,489	5,912
16	1,350	1,213	4,991
18	5,164	3,382	8,583
26	1,377	0,662	1,425
ORTALAMA	2,77	1,96	4,88
STANDART SAPMA	2,63	1,86	3,80
ORTANCA	1,38	1,21	4,48
ÇARPIKLIK	0,96	1,12	0,64
BASIKLIK	-0,65	0,19	-0,16
MAKSİMUM	7,31	5,77	12,22
MİNİMUM	0,18	0,20	0,42
TOPLAM	30,44	21,51	48,84
G.A. ÜST DEĞER	4,32	3,05	7,13
G.A. ALT DEĞER	1,21	0,86	2,64
STANDART SAPMA(%)	0,95	0,95	0,78
GÖZLEM	11	11	10
GÜVEN ARALIĞI	±56,2%	±56,1%	±46,0%

6.4 Azot Oksitlerin Emisyonlarının Değerlendirilmesi

6.4.1 Azot oksit emisyonlarının ağırlıklıklı ortalamalarının değerlendirilmesi

Normal şartlar altında, hava içindeki azot (N₂) yanma sonucu reaksiyona girmez. Ancak motor içindeki yanmada ulaşılan yüksek sıcaklıklarda (1500~1600 °C üzerinde), hava içerisinde bulunan azot gazının, oksijenle reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler açığa çıkmaktadır. Azot oksitler içerisinde ana eleman olarak genellikle azotmonoksit (NO) bulunur. Egzoz gazlarının daha sonra atmosfere atılması sonucu, oksijen ile tepkimeye girmesiyle azot oksitler oluşmaktadır.

HC ve CO emisyonlarına benzer olarak, A.B. uygulamalarında, belli emisyon sınıfları için, belli limitlere sahip olan azot oksitlerin, araçlarda HC ve CO değerleri ile birlikte seviyelerinin düşünülmesi daha mantıklıdır. Zaten bölüm üçte detaylı olarak söz edildiği gibi Euro 1 emisyon yönetmeliği esnasında NO_x ile HC değerlerinin toplamı için bir limit belirlenmiştir. Daha sonra Euro 3 ve Euro 4 yönetmeliklerinde bu durumdan çıkılıp, iki emisyon türünün ayrı ayrı değerlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Ayrıca Türkiye’de uygulamaya girmeyen Euro

2 regülasyonu esnasında da NO_x değerleri, HC değerleri ile toplam olarak değerlendirilmiştir.

Üç çevrim için de elde edilen azot oksitlerin miktarları Çizelge 6.14’de gösterilmiştir.

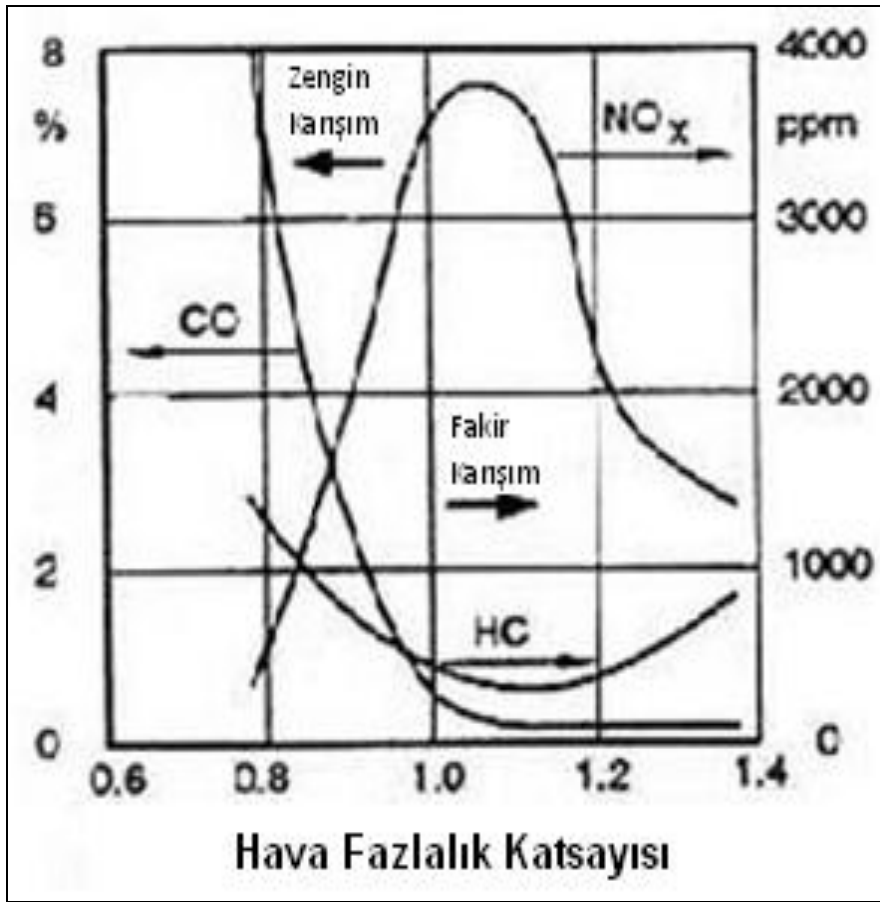
Çizelge 6.14 : NO_x emisyonlarının çevrim ortalaması değerleri.

Taşıt No	Avrupa Çevrimi (g/km)	Amerika Çevrimi (g/km)	İstanbul Çevrimi (g/km)
1	0,088	0,048	0,114
2	1,559	1,557	1,039
3	0,057	0,046	0,144
4	0,014	0,028	0,031
5	1,669	1,573	-
6	0,467	0,277	0,422
7	0,036	0,020	0,104
8	0,507	0,341	0,547
9	1,634	1,565	-
10	0,411	0,343	0,343
11	0,478	0,261	-
12	0,783	0,534	0,196
13	2,248	1,950	-
14	1,234	1,028	1,018
15	0,103	0,083	0,141
16	0,168	0,116	0,288
17	0,743	0,627	0,751
18	1,474	1,310	1,139
19	1,372	1,093	0,790
20	0,350	0,303	0,408
21	1,851	1,549	1,225
22	1,708	1,447	1,467
23	2,564	2,600	2,581
24	1,451	1,194	1,198
25	2,138	1,979	1,844
26	0,124	0,095	0,195
27	0,610	0,482	0,844
28	1,179	1,025	0,802
29	0,689	0,674	0,608
30	0,309	0,290	0,431

Genel tabir ile azot oksitlerin oluşumunda, silindir içi sıcaklığının çok büyük etkisi vardır. Yani silindir içi sıcaklık arttıkça azot oksit miktarıda artış göstermektedir. Ayrıca rejim sıcaklığına erişmemiş motorda, NO_x seviyesinin ilk etapta çok düşük olduğu gözlenir. Araçlarda motor soğuk olduğu için, ilk çalışma anında düşük

seyreden NO_x salımı birkaç saniye sonra ani artışa geçer. Daha sonra motorun rejim sıcaklığına ulaşmasıyla, NO_x seviyesi normale döner ve çok daha ufak bir aralıkta dalgalanma yapar.

Azot oksit oluşumunu etkileyen bir diğer parametre ise λ 'dır. $\lambda = 1.1$ civarında, yani azot ile birleşecek oksijenin ortamda yeterli miktarda bulunması halinde, azot oksit oluşumu artmaktadır. Ancak 1.1 değeri geçilirse, yani daha fakir karışım ile yanma gerçekleşirse, silindir içi sıcaklık, reaksiyona giren gaz miktarındaki düşüşle birlikte azalacak ve NO_x emisyonu da hızlanarak azalacaktır. Bu durumu daha açık görmek için Şekil 6.5'e bakılabilir.

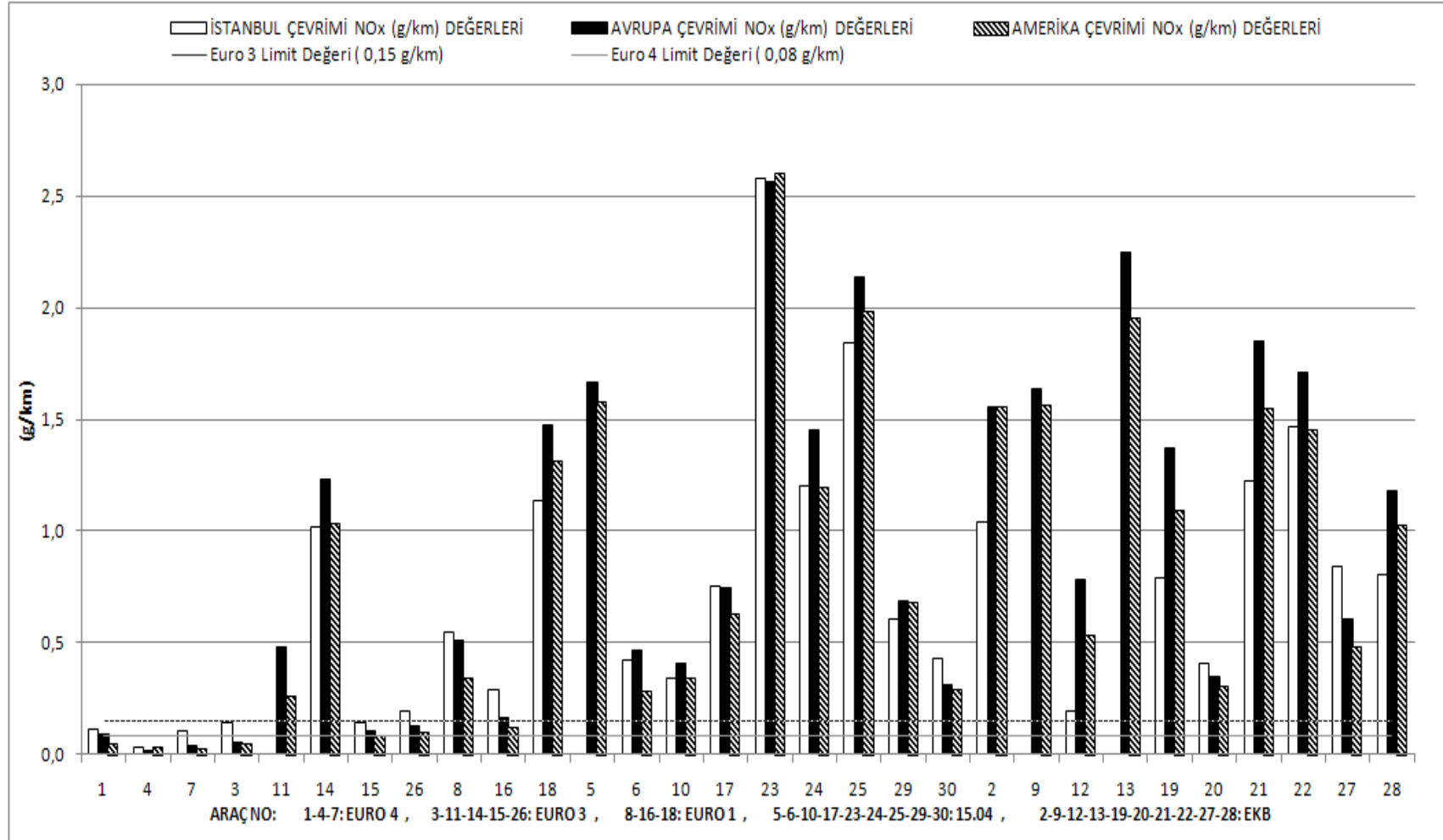


Şekil 6.5 : Benzinli motorlarda hava fazlalık katsayısının emisyonlara etkisi. [9]

Şekilden de açıkça görüldüğü gibi, hava fazlalık katsayısının 1,1 olması durumu, HC ve CO emisyonu açısından, aslında olumsuz olmayan bir durumdur. Çünkü bu esnada, HC ve CO emisyonlarının en düşük seviyelerde seyrettiği görülmektedir. Ancak NO_x değerleri bu esnada istenmeyen seviyelerdedir. Bu sebeple Euro 1 ve 2 regülasyonlarında HC ve NO_x değerlerinin toplamı için bir limit belirleme yolu seçildiği aşikardır. NO_x emisyonunu etkileyen bir diğer parametre de sıkıştırma

oranıdır. Bu oranın artışı sonucu, yanma odası sıcaklığı artacağı için NO_x miktarıda artar. [9]

Şekil 6.6'da yapılan inceleme sonucu, özellikle EKB ve 15.04 katagorisindeki araçlarda, NO_x emisyon seviyesinin çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle, her geçen gün daha kaliteli ve teknolojik katalitik konvertörlerin kullanılmaya başlanmasıyla, araçların NO_x değerleri önemli oranda düşmüştür.



Şekil 6.6 : Üç farklı çevrim tipi için NO_x emisyonu seviyeleri.

Avrupa’da, yeni regülasyonlara geçiş ile birlikte, üçüncü bölümde ayrıntılı olarak gösterilen limit değerler, NO_x parametresi için de belirlenmiştir. Avrupa Birliği yönergelerine göre, NO_x emisyonu için Euro 3 araçlarda limit 0,15 g/km, Euro 4 araçlarda ise 0,08 g/km’dir. Avrupa çevrimi sonuçları incelendiğinde, teste tabi tutulan üç farklı Euro 4 araçtan sadece bir tanesinin bu limit değerlerin (0,08 g/km) çok az bir miktar yukarısında olduğu tespit edilmiştir. Ancak, aynı incelemeyi, Euro 3 kategorisindeki araçlar için yaptığımızda, 3, 11, 14, 15, 26 nolu beş araçtan ikisinin, bu limiti (0,15 g/km) aştığı tespit edilmiştir. 14 nolu aracın Euro 3 araçlar arasında oldukça belirgin bir oranda yüksek emisyon değerlerine sahip olmasının incelenmesi sonrası, aracın yaptığı kilometrenin yüksek olmasının yanı sıra, aracın katalitik konvertörünün birtakım sorunlar içerdiği ve bakımının yapılmamış olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple, bu araçta oldukça yüksek seviyelerde emisyon değerleri görülmektedir.

6.4.2 Azot oksit emisyonlarının taşıt kategorilerine göre analizi

Karışımın zenginleştirilmesi sonucu ortamda gereken hava bulunmaması, fakirleştirilmesi sonucunda ise sıcaklıkların düşmesi sebebiyle NO_x değerlerinde düşme yaşanır. Dolayısıyla hava fazlalık katsayısının 1,1 değerinden yüksek veya düşük olduğu anlarda NO_x değerinde belirgin düşüşler yaşanır. Çizelge 6.14 ve 6.15’de bulunan veriler incelendiğinde, en yüksek NO_x miktarının, tüm araç kategorilerine bakıldığında, yüksek oranda Avrupa çevrimi sonucu elde edildiği görülmektedir. Sadece Euro 4 araçların ortalamasında İstanbul çevrimi, Avrupa çevriminden yüksek çıkmıştır. Özellikle EKB ve 15.04 standartlarındaki araçlarda, yeni araçlara göre NO_x değerlerinde birkaç kat fark görülmüştür. Bu sonuçların çıkmasındaki en büyük etken, en yüksek hız değerine, Avrupa şehir dışı fazında erişilmesi olarak açıklanabilir. Bu fazda araç 120 km/h’lik hıza ulaşmakta ve bu hıza çıkış dönemlerinde, NO_x değeri oldukça yüksek bölgelerde seyretmektedir. Euro 4 araçların, daha yeni ve bakımlı olması sebebiyle, diğer kategorilerden farklı olarak, azami hızı en düşük çevrim olmasına rağmen, İstanbul çevriminde en yüksek ortalamanın çıkması dikkat çekici bir sonuçtur.

Çizelge 6.15 : Taşıtların NO_x değerlerinin emisyon türlerine göre karşılaştırılması.

		Avrupa Çevrimi	Amerika Çevrimi	İstanbul Çevrimi
		NO _x Emisyonu Miktarı (g/km)		
Euro 4	En Yüksek	0,088	0,048	0,114
	En Düşük	0,014	0,020	0,031
	Ortalama	0,046	0,032	0,083
Euro 3	En Yüksek	1,234	1,028	1,018
	En Düşük	0,057	0,046	0,141
	Ortalama	0,399	0,303	0,374
Euro 1	En Yüksek	1,474	1,310	1,139
	En Düşük	0,168	0,116	0,288
	Ortalama	0,716	0,589	0,658
15.04	En Yüksek	2,564	2,6	2,581
	En Düşük	0,309	0,277	0,343
	Ortalama	1,160	1,062	1,022
EKB	En Yüksek	2,248	1,950	1,467
	En Düşük	0,350	0,303	0,196
	Ortalama	1,329	1,150	0,846

IPCC yaklaşımlarıyla belirlenmiş NO_x ortalamalarına bakıldığında, Avrupa ülkeleri için Euro 1 ve Euro 3 araçlarda 0,5 g/km, 15.04 araçlarda 2,3 g/km, EKB araçlarda ise 2,2 g/km değerleri görülmektedir. Çizelge 6.15’de ki sonuçlar ile bir mukayese yapıldığında, Euro 3 ve 1 araç kategorilerinde Avrupa çevrimi ortalama değerlerinin sırasıyla 0,399 ve 0,716 g/km çıktığı görülmektedir. Yani Euro 3 seviyesinde IPCC standartlarının altına inilirken, Euro 1 seviyesinde bu sağlanamamıştır. 15.04 araçlarda 1,160 g/km ve EKB araçlarda 1,329 g/km ortalama değerleri elde edilmiş ve IPCC ortalamalarının oldukça altında değerler saptanmıştır. 15.04 ve EKB araçlar için elde ettiğimiz NO_x ortalamaları, IPCC’nin belirlediği Avrupa ortalamasının neredeyse yarısı civarındadır.

6.4.3 Azot oksit değerleri için güven aralığı hesabı

Çalışmadaki araçlardan on tanesi EKB emisyon seviyesine sahiptir. Bunların arasındaki güven aralığının belirlenmesi için aşağıdaki Çizelge 6.16 oluşturulmuştur. Aşağıda tüm çevrim tipleri için elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara göre hesaplanan istatistiki veriler görülmektedir. Olumlu manada en dar güven aralığı, EKB araçlar arasında sağlanmıştır. Ancak bu değer dahi çok makul bir güven aralığını gösterdiğini söylemek pek mümkün değildir.

Çizelge 6.16 : EKB taşıtların NO_x değerlerinin güven aralığı.

EKB Taşıtlar			
	Avrupa Çevrimi	Amerika Çevrimi	İstanbul Çevrimi
Araç No	NO_x (g/km)	NO_x (g/km)	NO_x (g/km)
2	1,559	1,557	1,039
9	1,634	1,565	-
12	0,783	0,534	0,196
13	2,248	1,950	-
19	1,372	1,093	0,790
20	0,350	0,303	0,408
21	1,851	1,549	1,225
22	1,708	1,447	1,467
27	0,610	0,482	0,844
28	1,179	1,025	0,802
ORTALAMA	1,33	1,15	0,85
STANDART SAPMA	0,6	0,56	0,41
ORTANCA	1,47	1,27	0,82
ÇARPIKLIK	-0,3	-0,33	-0,16
BASIKLIK	-0,73	-1,25	-0,29
MAKSİMUM	2,25	1,95	1,47
MİNİMUM	0,35	0,3	0,2
TOPLAM	13,29	11,51	6,77
G.A. ÜST DEĞER	1,7	1,5	1,1
G.A. ALT DEĞER	0,96	0,81	0,59
STANDART SAPMA(%)	0,45	0,48	0,49
GÖZLEM	10	10	8
GÜVEN ARALIĞI	±27,8%	±30,0%	±30,1%

Çizelge 6.17, 15.04 araçların güven aralığını yansıtmaktadır.

Çizelge 6.17 : 15.04 taşıtların NO_x değerlerinin güven aralığı.

15.04 Taşıtlar			
	Avrupa Çevrimi	Amerika Çevrimi	İstanbul Çevrimi
Araç No	NO_x (g/km)	NO_x (g/km)	NO_x (g/km)
5	1,669	1,573	-
6	0,467	0,277	0,422
10	0,411	0,343	0,343
17	0,743	0,627	0,751
23	2,564	2,600	2,581
24	1,451	1,194	1,198
25	2,138	1,979	1,844
29	0,689	0,674	0,608
30	0,309	0,290	0,431
ORTALAMA	1,16	1,06	1,02
STANDART SAPMA	0,82	0,83	0,81
ORTANCA	0,74	0,67	0,68
ÇARPIKLIK	0,66	0,86	1,28
BASIKLIK	-1,07	-0,44	0,66
MAKSİMUM	2,56	2,6	2,58
MİNİMUM	0,31	0,28	0,34
TOPLAM	10,44	9,56	8,18
G.A. ÜST DEĞER	1,70	1,61	1,55
G.A. ALT DEĞER	0,62	0,52	0,5
STANDART SAPMA(%)	0,71	0,78	0,79
GÖZLEM	9	9	8
GÜVEN ARALIĞI	±46,4%	±51,3%	±51,5%

Çizelge 6.18, toplam on bir adet Euro regülasyonlarına uygun aracın güven aralığı hesaplamalarının değerlerini vermektedir. Örnek araç sayısının daha çok olmaması sebebiyle, NO_x emisyonlarında da güven aralığı değerleri, tüm çevrimlerde oldukça geniş bir alanda seyretmiştir.

Çizelge 6.18 : Euro taşıtların NO_x değerlerinin güven aralığı.

Euro Taşıtlar			
Araç No	Avrupa Çevrimi	Amerika Çevrimi	İstanbul Çevrimi
	NO_x (g/km)	NO_x (g/km)	NO_x (g/km)
1	0,088	0,048	0,114
3	0,057	0,046	0,144
4	0,014	0,028	0,031
7	0,036	0,020	0,104
8	0,507	0,341	0,547
11	0,478	0,261	-
14	1,234	1,028	1,018
15	0,103	0,083	0,141
16	0,168	0,116	0,288
18	1,474	1,310	1,139
26	0,124	0,095	0,195
ORTALAMA	0,39	0,31	0,37
STANDART SAPMA	0,51	0,44	0,40
ORTANCA	0,12	0,10	0,17
ÇARPIKLIK	1,55	1,80	1,35
BASIKLIK	1,24	2,11	0,39
MAKSİMUM	1,47	1,31	1,14
MİNİMUM	0,01	0,02	0,03
TOPLAM	4,28	3,38	3,72
G.A. ÜST DEĞER	0,69	0,57	0,61
G.A. ALT DEĞER	0,09	0,05	0,14
STANDART SAPMA(%)	1,30	1,44	1,07
GÖZLEM	11	11	10
GÜVEN ARALIĞI	±77,1%	±85,2%	±63,4%

6.5 Karbondioksit Emisyonları Ve Yakıt Tüketiminin Değerlendirilmesi

6.5.1 Karbondioksit ve yakıt tüketimi ortalamalarının değerlendirilmesi

Üç çevrim için de elde edilen karbondioksit ve yakıt tüketimi miktarları Çizelge 6.19’da gösterilmiştir. Bu bölümde yakıt tüketimi ile CO₂ değerlerinin birlikte değerlendirilmesinin sebebi, aralarında formüle bağlı bir orantı olmasıdır. Yakıt tüketim miktarı yüksek olan bir araçta, büyük ölçüde CO₂ değerinin de yüksek olması beklenen bir sonuçtur.

Çizelge 6.19 : CO₂ emisyonları ve yakıt tüketimi çevrim ortalaması değerleri.

Taşıt No	Avrupa Çevrimi		Amerika Çevrimi		İstanbul Çevrimi	
	CO ₂ (g/km)	Yakıt Tüketimi (litre/100 km)	CO ₂ (g/km)	Yakıt Tüketimi (litre/100 km)	CO ₂ (g/km)	Yakıt Tüketimi (litre/100 km)
1	163,69	6,95	170,85	7,33	169,04	7,19
2	193,99	9,14	192,42	9,30	161,90	8,82
3	136,65	5,84	125,95	5,45	160,48	7,08
4	140,67	5,95	122,47	5,18	162,26	6,88
5	154,83	7,09	156,35	7,39	-	-
6	140,65	6,13	108,03	4,81	130,67	6,23
7	156,52	6,67	141,30	6,03	162,89	7,11
8	172,28	7,58	138,99	6,08	169,40	7,78
9	162,30	7,46	193,02	8,83	-	-
10	149,46	10,54	119,30	9,33	142,98	10,68
11	177,01	8,03	132,22	5,93	-	-
12	183,20	8,17	165,75	7,49	133,44	12,93
13	160,11	7,21	126,92	5,90	-	-
14	142,53	6,70	122,14	5,88	141,52	7,04
15	159,06	6,86	138,89	5,98	170,19	7,63
16	185,38	7,94	134,12	5,84	190,91	8,43
17	147,4	6,44	131,32	5,91	134,42	6,14
18	150,76	6,86	131,36	6,02	152,19	7,18
19	196,40	9,12	156,51	7,66	197,98	10,23
20	147,00	10,08	132,89	10,08	143,54	10,37
21	201,27	9,01	164,01	7,59	203,55	10,05
22	169,22	7,84	128,68	6,29	160,23	8,22
23	188,83	8,63	160,27	7,37	197,60	8,98
24	163,38	7,40	112,97	5,31	164,39	7,82
25	154,17	7,10	149,17	6,96	157,59	7,45
26	161,52	6,92	147,34	6,36	166,14	7,12
27	147,92	9,98	127,23	8,44	150,33	8,26
28	129,20	7,99	107,09	7,42	108,06	7,98
29	172,49	7,56	126,79	5,64	164,64	7,43
30	223,63	9,62	188,33	8,20	235,22	10,26

CO₂ emisyonu sera gazı olmasından dolayı önemlidir. İlk harekete geçmede silindir cidarları soğuk olduğundan, karışımın içerisindeki yakıtın silindir cidarlarında büyük bir oranda yoğunlaşmasına sebep olur. Böylece silindir içerisinde heterojen ve tutuşma sınırlarının dışında fakir bir karışım ortaya çıkmaktadır. Bu şartlar altında silindir içerisindeki karışımın yakılabilmesi ve ilk harekete geçirilmesi güçtür. Belirtilen olumsuzluk, ortam sıcaklığının düşmesiyle daha da artar. Bu amaçla, motor ilk harekete geçirilirken karışımın zenginleştirilmesi zorunludur. Dolayısıyla rejim sıcaklığına erişmemiş motorda CO₂ emisyonu fazla çıkmaktadır.

Yakıt tüketimi ise test sırasında CO₂ değeri ölçülürken aşağıdaki formülden hesaplanır. Bu hesaplama benzinli taşıtlar için bir formülle verilir.

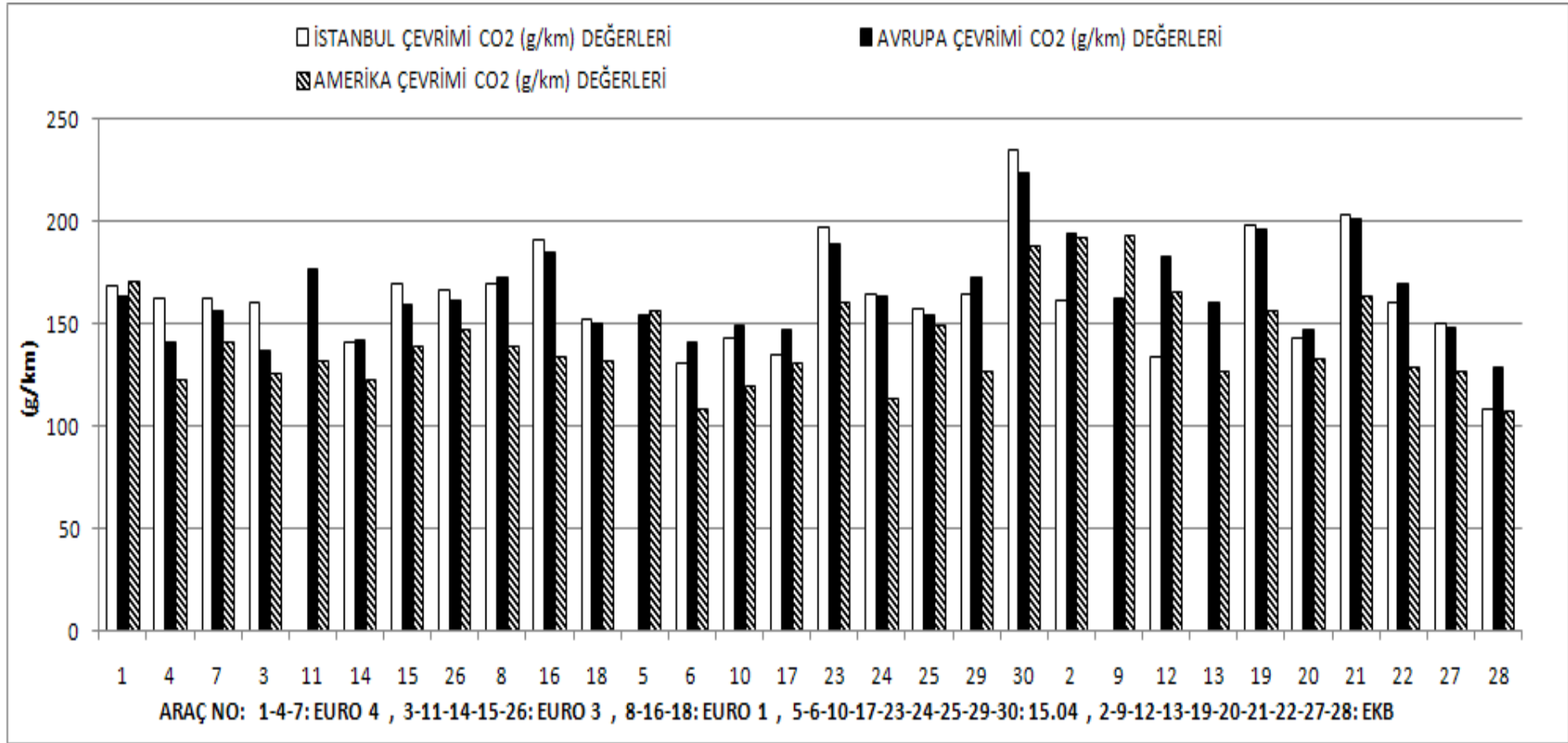
$$\text{Yakıt tüketimi} = (0.1154/\rho)*[(0.866*HC) + (0.429*CO) + (0.273*CO_2)] \quad (6.12)$$

Burada; ρ : benzinin yoğunluğu = 0,746 g/cm³ olarak alınır.

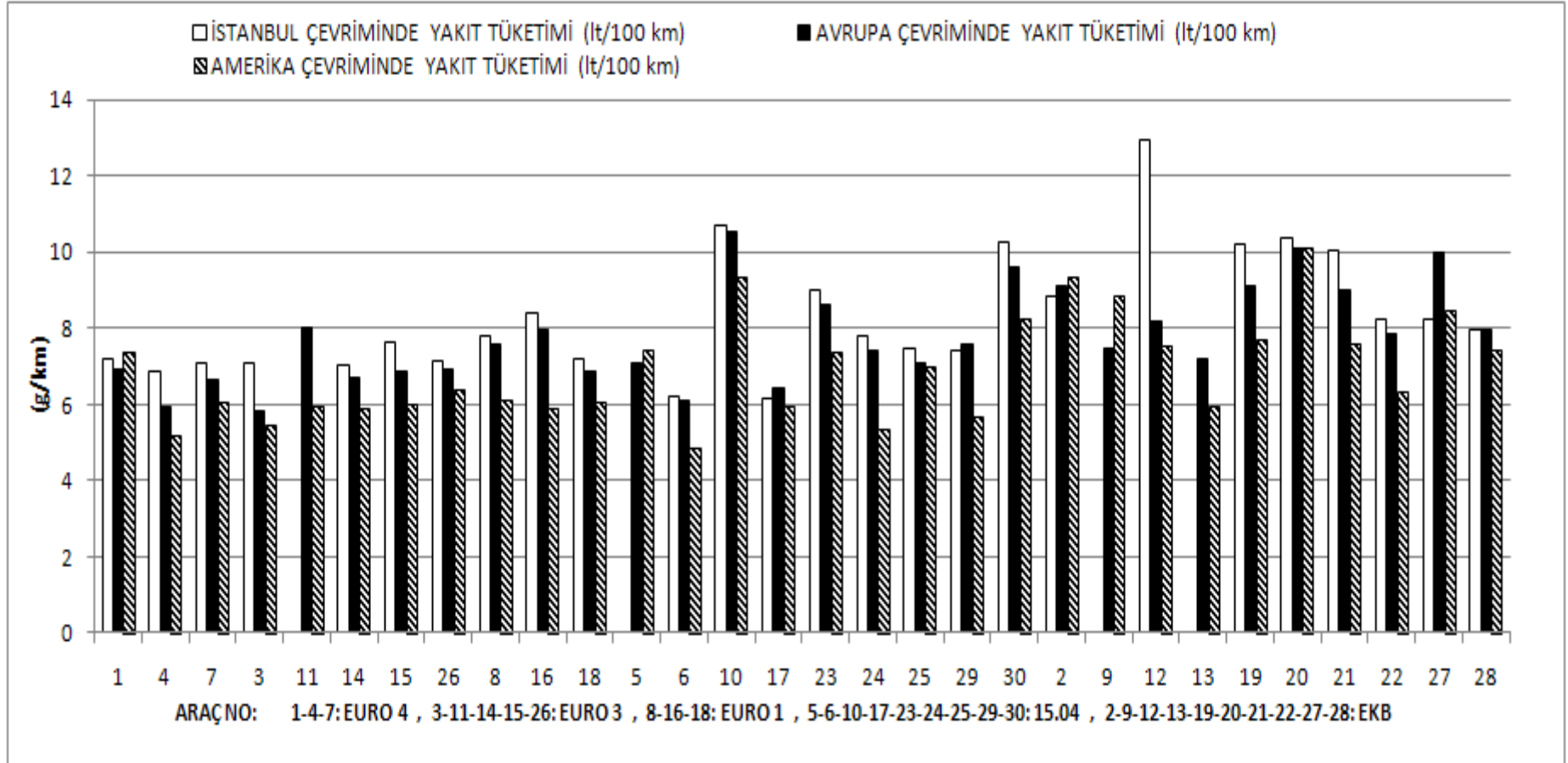
CO₂ değeri, yakıt tüketimi değeri ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Her ne kadar HC ve CO değerleride yakıt tüketimini doğrusal olarak etkilese de, CO₂ miktarının daha etkin olması sebebiyle, yakıt tüketimindeki en temel belirleyici CO₂ gazı olmaktadır. Çizelge 6.19 incelendiğinde otuz araçtan yirmi bir tanesinin yakıt tüketiminin büyükten küçüğe çevrimsel sıralamasının, CO₂ miktarlarının sıralamasıyla aynı olduğu tespit edilmiştir. Yani bir araç yakıt tüketimi açısından en yüksek değeri sağladığı çevrimde, en yüksek CO₂ miktarına da ulaşmıştır. Özellikle 2, 8, 11,12 16, 19, 21, 23, 29, 30 nolu araçlar oldukça yüksek CO₂ değerlerine sahiptir. Bu araçlar üç çevrim tipi içinde, önemli oranlarda CO₂ miktarı çıkışı gerçekleştirmişlerdir. Bu on aracın %70'inin EKB ve 15.04 emisyon seviyesine sahip olması dikkat çekici bir husustur.

HC ve CO emisyonunun yüksek olduğu bazı araçlarda, CO₂ değeri nispeten daha az olsa bile, yakıt tüketimi yüksek çıkmıştır. Bunun ana nedeni formül 6.12'den anlaşılabilmektedir. Şekil 6.7'ye bakıldığında, araçların büyük bir kısmında İstanbul ve Avrupa çevrimlerinin CO₂ değerlerinin, Amerika çevriminin oldukça üzerinde seyrettiği görülmektedir. Bazı araçlarda İstanbul, bazılarında ise Avrupa çevrimi en yüksek miktarı göstermekle birlikte, genellikle bu değerler birbirine yakın çıkmıştır.

Şekil 6.8 incelendiğinde, yakıt tüketimi açısından da benzer bir sonuç çıktığı görülmektedir. Özellikle İstanbul çevrimi yakıt tüketim değerleri, Avrupa çevrimine yakın seyrederken, Amerika çevriminin üzerinde seyretmiştir. Bunun temel nedeni, Avrupa çevrimindeki yüksek hız ortalaması ve azami hızın etkisi ile yakıt tüketiminin şehir dışı fazında artışa geçmesi, İstanbul çevriminde ise birkaç defa tekrar eden durma anlarında, özellikle HC ve CO emisyonlarının aşırı yüksek olmasıyla, özellikle karbüratörlü araçlar da belirgin farkların ortaya çıkmasıdır. Yakıt tüketimi grafiğine bakıldığında, araç model ve emisyon seviyesinin iyileşmesiyle, yakıt tüketimindeki azalmanın da ne derece etkili olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6.7 : Üç farklı çevrim tipi için CO₂ emisyonu seviyeleri.



Şekil 6.8 : Üç farklı çevrim tipi için yakıt tüketimi ortalaması seviyeleri.

6.5.2 Karbondioksit ve yakıt tüketiminin taşıt katagorilerine göre analizi

Çizelge 6.20’de görüldüğü gibi emisyon gruplarına göre ortalamalar baz alındığında, İstanbul çevriminde oluşan CO₂ seviyeleri, Euro 4, Euro3 ve Euro 1 seviyelerinde Avrupa çevriminin üzerindedir. 15.04 emisyon grubunda İstanbul ile Avrupa çevrimi ortalaması hemen hemen aynı seviyede çıkmıştır. EKB araçlarda ise en yüksek CO₂ miktarı Avrupa çevriminde oluşmuştur. Tüm araç katagorilerinde, Amerika çevrimi en düşük değerlere sahip olmuştur. Genel olarak bakıldığında, Avrupa çevrimi bazında, Euro 3 ve Euro 4 emisyon seviyeli taşıtlar, daha düşük CO₂ değerlerine sahiptir. Ancak, İstanbul ve Amerika çevrimlerinde böyle bir orantı görülmemektedir ve bu tarz bir mukayese oldukça göreceli olacaktır.

Çizelge 6.20 : Taşıtların CO₂ değerlerinin emisyon türlerine göre karşılaştırılması.

		Avrupa Çevrimi	Amerika Çevrimi	İstanbul Çevrimi
		CO ₂ Emisyonu Miktarı (g/km)		
Euro 4	En Yüksek	163,687	170,858	169,044
	En Düşük	140,672	122,466	162,258
	Ortalama	153,625	144,875	164,731
Euro 3	En Yüksek	177,010	147,346	170,187
	En Düşük	136,652	122,143	141,517
	Ortalama	155,355	133,313	159,579
Euro 1	En Yüksek	185,380	138,994	190,910
	En Düşük	150,757	131,364	152,192
	Ortalama	169,472	134,829	170,835
15.04	En Yüksek	223,631	188,331	235,220
	En Düşük	140,653	108,038	130,674
	Ortalama	166,095	139,174	165,938
EKB	En Yüksek	201,268	193,023	203,555
	En Düşük	129,195	107,093	108,062
	Ortalama	169,060	149,457	157,380

IPCC tarafından belirtilmiş CO₂ ortalamalarına bakıldığında, Avrupa ülkeleri için Euro 1 ve Euro 3 araçlarda 205 g/km, 15.04 araçlarda 200 g/km, EKB araçlarda ise 270 g/km değerleri görülmektedir. Çizelge 6.20’deki sonuçlar incelendiğinde, Euro 3 ve 1 araç katagorilerinde Avrupa çevrimi ortalama değerlerinin 155,355 ve 169,472 g/km çıktığı görülmektedir. Yani hem Euro 3 hem de Euro 1 seviyelerinde, IPCC standartlarının altına inilmiştir. Benzer şekilde 15.04 araçlarda 166,095 g/km ve EKB araçlarda 169,060 g/km ortalama değerleri elde edilmiş ve IPCC ortalamalarının oldukça altında değerler saptanmıştır.

Çizelge 6.21’de görüldüğü gibi yakıt tüketimi değerleri tüm çevrimlerde, taşıt modellerinin ve emisyon seviyelerinin iyileşmesiyle, önemli bir düşüş göstermiştir. Özellikle oldukça eski model araçlardan oluşan EKB araçların yakıt tüketimi değerleri ile Euro regülasyonları sonrası piyasaya çıkan araçların farkları oldukça ciddi seviyededir. Tüm araçların, emisyon standartı bazında oluşturulmuş gruplarının ortalamalarına bakıldığında, İstanbul çevriminin yakıt tüketimi seviyesinin, Avrupa ve Amerika çevriminden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuç, çalışma başındaki en temel öngörümüze ulaştığımızı göstermektedir. İstanbul çevriminde, taşıtın birkaç defa durma seviyesine gelmesi, bazı anlarda taşıtın boşta çalışma periyodlarında kalması ve özellikle düşük hızlarda ivmelenmeler sergilemesi sonucu, yakıt tüketiminin oldukça etkin seviyede arttığı tespiti, test verileriyle açıkça ortaya çıkmıştır.

Çizelge 6.21 : Taşıtların yakıt tüketiminin emisyon türlerine göre durumu.

		Avrupa Çevrimi	Amerika Çevrimi	İstanbul Çevrimi
		Yakıt Tüketimi (litre / km)		
Euro 4	En Yüksek	6,95	7,33	7,19
	En Düşük	5,95	5,18	6,88
	Ortalama	6,52	6,18	7,06
Euro 3	En Yüksek	8,03	6,36	7,63
	En Düşük	5,84	5,44	7,04
	Ortalama	6,87	5,92	7,21
Euro 1	En Yüksek	7,94	6,08	8,43
	En Düşük	6,86	5,84	7,18
	Ortalama	7,46	5,98	7,79
15.04	En Yüksek	10,54	9,33	10,68
	En Düşük	6,13	4,81	6,14
	Ortalama	7,83	6,77	8,12
EKB	En Yüksek	10,08	10,07	12,93
	En Düşük	7,21	5,90	7,98
	Ortalama	8,60	7,89	9,60

6.5.3 Karbondioksit ve yakıt tüketimi değerleri için güven aralığı hesabı

Çizelge 6.19’da tüm çevrim tipleri için CO₂ ve ortalama yakıt tüketimi değerleri görülmektedir. EKB araçlar arasındaki CO₂ ve yakıt tüketimi açısından güven aralığının belirlenmesi için aşağıdaki Çizelge 6.22 oluşturulmuştur. Burada tüm çevrim tipleri için elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara göre hesaplanan istatistiki veriler görülmektedir.

Çizelge 6.22 : EKB taşıtların CO₂ ve yakıt tüketimi değerlerinin güven aralığı.

EKB Taşıtlar						
Araç No	Avrupa Çevrimi		Amerika Çevrimi		İstanbul Çevrimi	
	CO₂	Y.T.	CO₂	Y.T.	CO₂	Y.T.
	(g/km)	(l/km)	(g/km)	(l/km)	(g/km)	(l/km)
2	193,99	9,14	192,42	9,30	161,90	8,82
9	162,30	7,46	193,02	8,83	-	-
12	183,20	8,17	165,75	7,49	133,44	12,93
13	160,11	7,21	126,92	5,90	-	-
19	196,40	9,12	156,51	7,66	197,98	10,23
20	147,00	10,08	132,89	10,08	143,54	10,37
21	201,27	9,01	164,01	7,59	203,55	10,05
22	169,22	7,84	128,68	6,29	160,23	8,22
27	147,92	9,98	127,23	8,44	150,33	8,26
28	129,20	7,99	107,09	7,42	108,06	7,98
ORTALAMA	169,06	8,60	149,45	7,90	157,38	9,61
STANDART SAPMA	24,16	1,01	29,39	1,29	31,75	1,66
ORTANCA	165,76	8,59	144,7	7,63	155,28	9,44
ÇARPIKLİK	-0,12	0,18	0,32	0,11	0,17	1,15
BASIKLIK	-1,12	-1,30	-1,09	-0,41	-0,33	1,33
MAKSİMUM	201,27	10,08	193,02	10,08	203,55	12,93
MİNİMUM	129,20	7,21	107,09	5,90	108,06	7,98
TOPLAM	1690,61	86	1494,52	79	1259,03	76,86
G.A. ÜST DEĞER	184,04	9,23	167,67	8,70	179,38	10,76
G.A. ALT DEĞER	154,08	7,97	131,24	7,1	135,38	8,46
STANDART SAPMA(%)	0,14	0,12	0,2	0,16	0,20	0,17
GÖZLEM	10	10	10	10	8	8
GÜVEN ARALIĞI	±8,9%	±7,3%	±12,2%	±10,1%	±14,0%	±11,9%

Çizelge 6.23, 15.04 standartındaki araçların güven aralığını göstermektedir.

Çizelge 6.23 : 15.04 taşıtların CO₂ ve yakıt tüketimi değerlerinin güven aralığı.

15.04 Taşıtlar						
Araç No	Avrupa Çevrimi		Amerika Çevrimi		İstanbul Çevrimi	
	CO₂	Y.T.	CO₂	Y.T.	CO₂	Y.T.
	(g/km)	(l/km)	(g/km)	(l/km)	(g/km)	(l/km)
5	154,83	7,09	156,35	7,39	-	-
6	140,65	6,13	108,03	4,81	130,67	6,23
10	149,46	10,54	119,30	9,33	142,98	10,68
17	147,40	6,44	131,32	5,91	134,42	6,14
23	188,83	8,63	160,27	7,37	197,60	8,98
24	163,38	7,40	112,97	5,31	164,39	7,82
25	154,17	7,10	149,17	6,96	157,59	7,45
29	172,49	7,56	126,79	5,64	164,64	7,43
30	223,63	9,62	188,33	8,20	235,22	10,26
ORTALAMA	166,09	7,83	139,17	6,77	165,94	8,12
STANDART SAPMA	26,02	1,47	26,27	1,47	35,13	1,71
ORTANCA	154,83	7,40	131,32	6,96	160,99	7,64
ÇARPIKLİK	1,57	0,88	0,67	0,38	1,21	0,45
BASIKLIK	2,37	-0,19	-0,23	-0,65	1,14	-1,14
MAKSİMUM	223,63	10,54	188,33	9,33	235,22	10,68
MİNİMUM	140,65	6,13	108,04	4,81	130,67	6,14
TOPLAM	1494,84	70,51	1252,57	60,92	1327,51	64,99
G.A. ÜST DEĞER	183,10	8,80	156,34	7,73	190,29	9,31
G.A. ALT DEĞER	149,09	6,87	122,01	5,81	141,59	6,94
STANDART SAPMA(%)	0,16	0,19	0,19	0,22	0,21	0,21
GÖZLEM	9	9	9	9	8	8
GÜVEN ARALIĞI	±10,2%	±12,3%	±12,3%	±14,2%	±14,7%	±14,6%

Çizelge 6.24, toplam on bir adet Euro regülasyonlarına uygun aracın güven aralığı hesaplamalarının değerlerini vermektedir.

Çizelge 6.24 : Euro taşıtların CO₂ ve yakıt tüketimi değerlerinin güven aralığı.

Araç No	Euro Taşıtlar					
	Avrupa Çevrimi		Amerika Çevrimi		İstanbul Çevrimi	
	CO ₂	Y.T.	CO ₂	Y.T.	CO ₂	Y.T.
1	163,69	6,95	170,86	7,33	169,04	7,19
3	136,65	5,84	125,96	5,45	160,48	7,08
4	140,67	5,95	122,47	5,18	162,26	6,88
7	156,52	6,67	141,30	6,03	162,89	7,11
8	172,28	7,58	138,99	6,08	169,40	7,78
11	177,01	8,03	132,22	5,93	-	-
14	142,53	6,70	122,14	5,88	141,52	7,04
15	159,06	6,86	138,89	5,98	170,19	7,63
16	185,38	7,94	134,13	5,84	190,91	8,43
18	150,76	6,86	131,36	6,02	152,19	7,18
26	161,52	6,92	147,35	6,36	166,14	7,12
ORTALAMA	158,73	6,94	136,88	6,01	164,50	7,34
STANDART SAPMA	15,51	0,70	13,77	0,54	12,83	0,47
ORTANCA	159,06	6,86	134,13	5,98	164,52	7,15
ÇARPIKLİK	0,20	0,10	1,53	1,24	0,31	1,62
BASIKLIK	-0,78	-0,39	3,24	3,63	2,04	2,40
MAKSİMUM	185,38	8,03	170,86	7,33	190,91	8,43
MİNİMUM	136,65	5,84	122,14	5,18	141,52	6,88
TOPLAM	1746,07	76,30	1505,67	66,08	1645,02	73,44
G.A. ÜST DEĞER	167,9	7,35	145,02	6,33	172,45	7,64
G.A. ALT DEĞER	149,57	6,52	128,74	5,69	156,55	7,05
STANDART SAPMA(%)	0,1	0,1	0,1	0,09	0,08	0,06
GÖZLEM	11	11	11	11	10	10
GÜVEN ARALIĞI	±5,8%	±6,0%	±5,9%	±5,3%	±4,8%	±4,0%

7. ANLIK EMİSYON DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

7.1 Kullanım Şeklinin, Motorlu Taşıtların Egzoz Emisyonlarına Etkisi

Motor özelliklerine bağlı olarak, taşıt kullanımında, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonu açısından, dikkat edilmesi gereken önemli noktalar vardır. Aynı motorlu taşıt, değişik işletme şartlarında çok farklı yakıt tüketimi ve egzoz emisyonu değerleri verecektir. Taşıtın yer değişimini belirleyen dört temel hareket tarzı vardır. Bunlar boşa çalışma (rölanti), ivmelenme (hızlanma), sabit hız, hız kesme (motor freni, sürüklenme) olarak sıralanabilir.

Taşıtlar, en düşük yakıt tüketimi değerini, belli bir dönme sayısı ve gaz pedalı konumunda sağlarlar. Genelde ekonomik dönme sayısı, benzinli taşıtlarda 2000-2500 devir/dakika arasındadır. Bu bakımdan uygun vites kademelerinin seçilmesi oldukça önemlidir. Gereğinden küçük vites kullanımı ile motoru yüksek dönme sayılarında çalıştırmak, hem yakıt tüketimi hem de egzoz emisyonunu olumsuz etkiler. Ancak bunun tersi bir işletme şartıyla, düşük hızlarda gerekenden büyük vites seçimi ile motor yükünü düşük devirlerde artırmak ise motor ömrünü olumsuz etkiler. [9]

7.1.1 Boşa çalışma rejimi (rölanti)

Benzinli motorların boşa çalışma rejimi esnasında, faydalı bir iş yapılmamaktadır. Buna karşın CO ve yanmamış HC emisyonu açısından oldukça yüksek seviyelere, bu rejimde ulaşılmaktadır. Boşa çalışma esnasında, motor mümkün olan en düşük devirde, kendi iç sürtünmelerini yenecek kadar güç üretmektedir. Özellikle karbüratörlü motorlarda, boşa çalışma esnasında, hassas ayarı sağlanamayan ve genellikle zengin karışım oluşturan bir düzenek işlev görmektedir. Bu şartlardaki eksik yanma, soğuk cidarlar ve oldukça düşük silindir basıncıyla oluşan düşük yanma hızları, HC ve CO emisyonlarını artırmaktadır. NO_x'ler ise silindir içerisinde bir önceki çevrimden kalan atık gazların yüzdesel açıdan büyük olması ve buna bağlı düşük yanma sıcaklıkları sebebiyle oldukça düşük seviyededir. Bu rejimde CO miktarının azaltılmasındaki en büyük etken, hava-yakıt oranının fakirleştirilmesidir.

Ancak aşırı fakirleştirmeye bağlı olarak, karışımın tutuşmaması sebebiyle bazı aksaklıklar oluşabilir. Bu da HC emisyonu seviyesini artırmaktadır.

Soğuk motorun ısıtılması amacıyla çalıştırılması sırasında ise emisyonlar çok daha yüksek değerlere çıkmaktadır. Ayrıca sağlığa zarar oranı çok yüksek HC ve CO gazları da bu ortamda artmaktadır. Bu bakımdan, trafikte ki uzun beklemelelerde motoru durdurmak oldukça faydalıdır. [9]

7.1.2 Hız kesme rejimi

Benzinli bir taşıtın gaz pedalından ayak çekildiğinde, gaz keleşbeği emme kanalını kapatır. Ancak motor dönmeye devam ettiği için, silindirde, büyüklüğü motor hızıyla değişen yüksek bir basınç oluşur. Bu olay, taşıt viteste hareket ederken, yani motor freni devrede iken ortaya çıkar. Gaz keleşbeğinin kapalı olması sebebiyle oluşan karışım oldukça fakirdir. Bu ortamda alev cephesi de düşük hız ve sıcaklığa sahiptir. Buda eksik yanma ürünlerinin artmasına sebebiyet vermektedir. Dolayısıyla yanmamış HC oranı yüksektir. Bu esnada, ateşlemesini tamamlayan, fakat düşük alev hızından dolayı yanması egzozu kadar uzayan bir silindirin egzoz gazları, egzoz sisteminde biriken bu yanmamış karışımı tutuşturabilir. Özellikle dönemeç ve yokuş aşağı inişlerdeki hız kesmelerde duyulan egzoz patlamaları bundan kaynaklanmaktadır. Buna bir önlem olarak, rölantideki yakıt miktarını artırmak düşünölsede, bu da boşta çalışma esnasında ki emisyonları artıracaktır. Karbüratörlü araçlarda oldukça sık yaşanan bu sorun, modern püskürtme sistemli araçlarda, hız kesme işleminde, yakıt püskürtmesi kesildiği için daha azdır. [9]

7.1.3 Sabit hız rejimi

Benzinli bir taşıtın ekonomik şekilde çalışması için, hava fazlalık katsayısının 1 ile 1,1 arasında seyretmesi istenir. Karbüratörlü araçlarda bu değerler sabit hızla seyrederken ayarlanabilse de, elektronik kontrollü sistemlerde yakalanan hassasiyet çok daha iyidir. Özellikle her silindirde ayrı püskürtme yapan modern sistemlerde, silindirler arasındaki hassasiyette sağlanmaktadır. Sabit hızla seyir esnasında en önemli parametre vites kademesi ve seyir hızıdır. Düşük hızlarda emisyon ve yakıt tüketimi artarken, 100 km/h'ten sonra da artan rüzgar direnci sebebiyle, aynı olumsuzluklar yaşanmaktadır. [9]

7.1.4 İvmelenme rejimi (hız artırma)

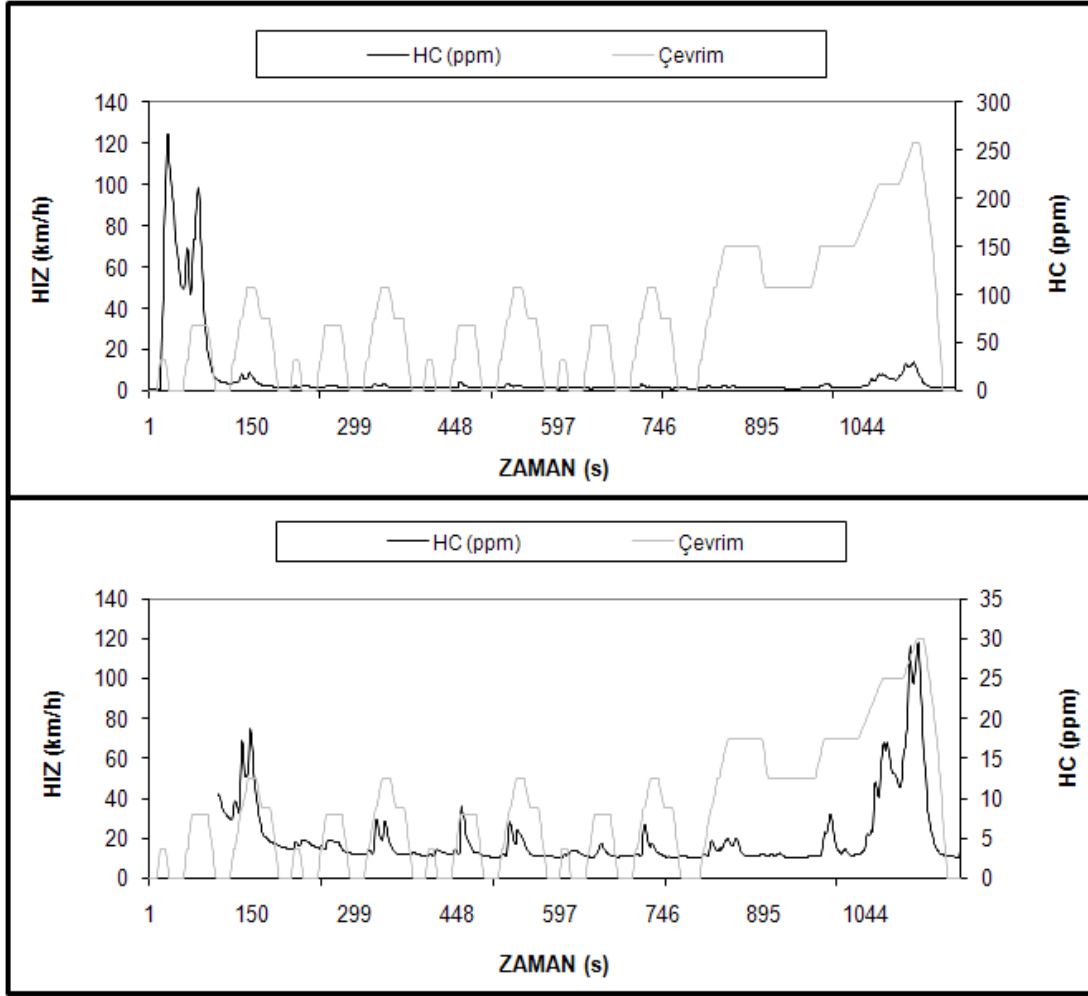
Yakıt tüketimi ve emisyonlar açısından, gereksiz ivmelenmeler ve frenlemeler oldukça sakıncalı hallerdir. Özellikle şehir içi trafiğinde, taşıt motorları sık sık ivmelenme rejiminde çalışırlar. İvmelenmelerde zengin karışım dolayısıyla CO ve HC değerlerinde artışlar görülmektedir. Trafik durumuna göre kontrollü hızlanma ve yavaşlamalarla, taşıtın ivmelenmesi için gereken yüksek gücü üreten motordan çıkan emisyonlar bir miktar azaltılabilir. [9]

7.2 Örnek Taşıtın Egzoz Emisyonlarının Anlık Değişiminin İncelenmesi

Araştırmada yapılan genel emisyon tespitlerinin yanı sıra, test parkından seçilen 7 numaralı, Euro 4 emisyon seviyeli araç model alınarak, bu araca Avrupa ve Amerika çevrimlerinde anlık emisyon analizleri de yapılmıştır. Elde edilen tespitler ilerleyen sayfalardaki şekillerde görülmektedir. HC, CO, CO₂ ve NO_x için anlık konsantrasyonlar hıza bağlı olarak ppm (milyonda bir) cinsinden verilmiştir.

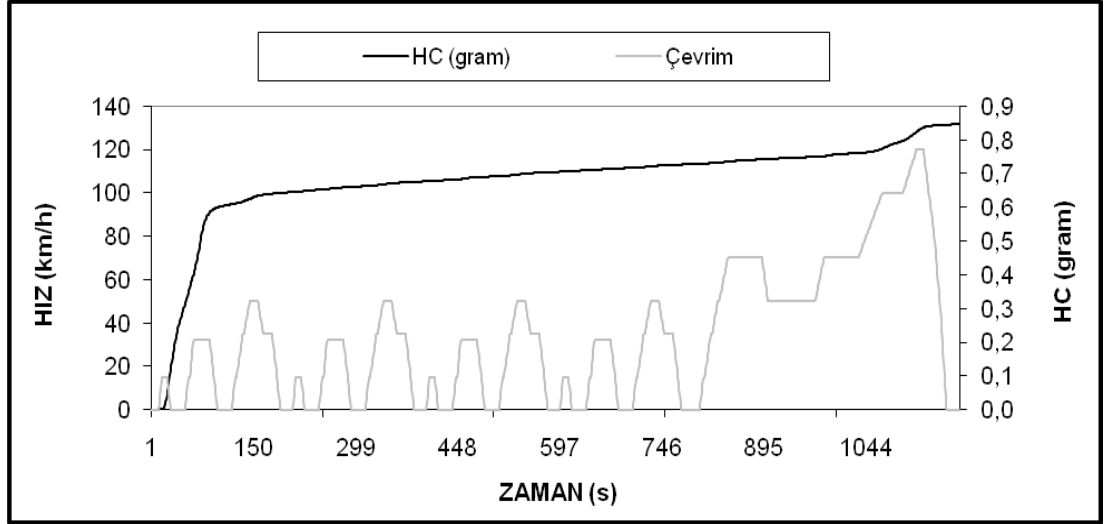
7.2.1 Avrupa test çevrimi sonuçlarının incelenmesi

Avrupa çevriminde teste tabi tutulmuş aracın birer saniye aralıklarla emisyon değerleri test düzeneği tarafından saptanabilmektedir. Şekil 7.1 incelendiğinde, aracın ilk çalışma anında, motoru soğuk olduğu için çok yüksek HC değerlerine çıktığı görülmektedir. İlk yüz saniye dışında, çevrim genelinde 30 ppm seviyesinin üzerine çıkmayan HC emisyonu seviyesi, motorun ısınma sürecinin yaşandığı ilk saniyelerde aşırı yüksek çıkmaktadır. Şekil 7.1'in ikinci bölümünde, ilk yüz saniye sonrası, HC değişimi daha düşük değer aralığında seyrettiği için, çok net olarak görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere, aracın yeni bir model oluşu, Euro 4 emisyon seviyesinde olması ve oldukça teknolojik bir katalitik konvertöre sahip olması sebebiyle, boşta çalışma anlarında, HC emisyonu aşırı yüksek çıkmamıştır. Karbüratörlü araçlarda, frenleme dönemlerinde, aşırı yüksek HC emisyonu değerlerine ulaşmakla birlikte, yeni araçlarda bu sorun da büyük ölçüde olumlu anlamda geliştirilmiştir. Aracın düşük hızlardaki hız kesme süreçlerinde, motor freni devrede iken dahi, HC değerleri aşırı yüksek çıkmamıştır. Görülen en temel etki, ivmelenme hareketlerinde HC emisyonlarındaki ani artışlardır. Sabit hız seyirlerinde, HC emisyonları en düşük seviyede kalmıştır.



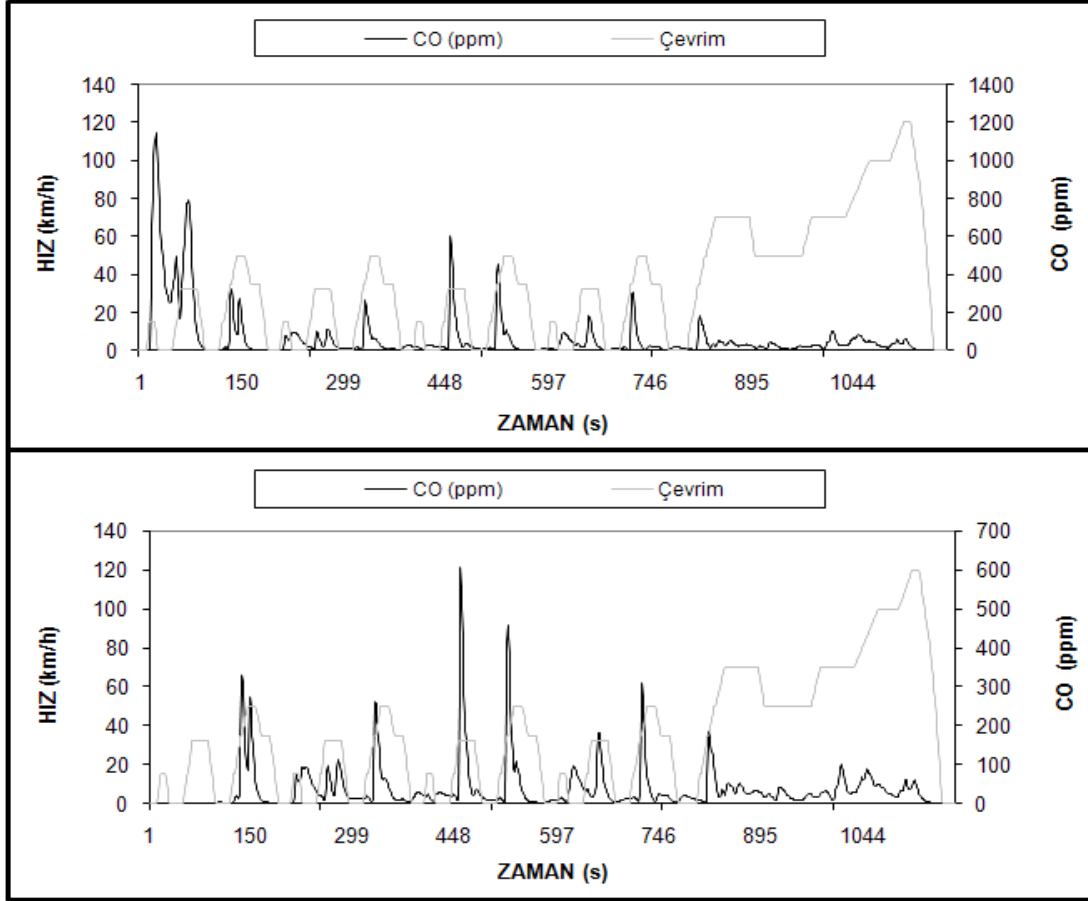
Şekil 7.1 : Avrupa test çevriminde anlık HC değişimi.

Şekil 7.2’deki kümülatif HC emiyonu grafiğinden, ana artışın motorun soğuk olması sebebiyle, ilk çalışma sürecinde yaşandığı çok daha net olarak tespit edilmiştir. Daha sonraki süreçlerde çok belirgin artışlar yaşanmamakla birlikte, son bölümdeki azami hıza çıkış esnasında belirgin bir yükselme kaydedilmiştir. Yapılan testlerde her bir saniye için aracın çıkardığı emisyon değerleri ppm ve g/km olarak bilinmektedir. Ayrıca anlık hız değerleride km/h olarak kaydedilmektedir. Bu bilgiler kullanılarak her bir saniyelik dilimde kaç gram emisyon çıkışı yaşandığı saptanmıştır. Yani aracın belli bir andaki hızı km/h cinsinden ve yine o andaki emisyon değeri g/km cinsinden bilindiği için, bu değerlerin çarpımının, 1 saat/3600 saniye eşitliği ile çarpılması sonucu, ortaya aracın her bir saniyelik dilimde salınan kirleticinin ağırlığı çıkmaktadır. Bu anlık ağırlıklar toplanarak kümülatif eğriler oluşturulmuş ve böylece ana artış dönemlerinin testin hangi anları olduğunu çok daha kolay görme yoluna gidilmiştir.



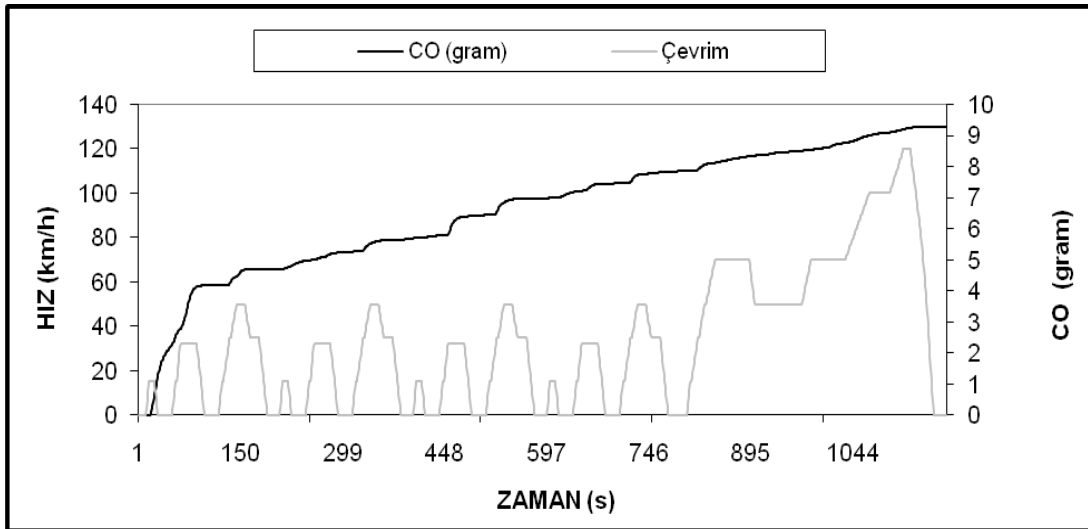
Şekil 7.2 : Avrupa test çevriminde anlık HC değişimi (kümülatif).

Şekil 7.3’de CO emisyonu değişimi görülmektedir. İlk yüz saniyelik periyodun sonrası, CO değerlerinin daha rahat görülmesi için aynı şekildeki ikinci grafikten yararlanılabilir. Motorun soğuk olması sebebiyle CO emisyonunda ilk aşamada yüksek seviyelerde çıkmıştır. İvmelenmeler esnasında, CO emisyonunun maksimum seviyelere geldiği, sabit hıza veya yavaşlama eğilimine geçişlerde, bu değerlerin hemen düştüğü görülmektedir. Aracın yeni olması ve ateşleme sistemi ile katalitik konvertörün olumlu etkisi sebebiyle, özellikle boşa çalışma dönemlerinde, hemen hemen sabit hızla seyirde elde edilebilen minimum değerlere yaklaşmıştır. Özellikle şehir dışı fazında, sabit hızda seyir anlarında, gaz pedalına basılan süreçlerde, CO miktarının nasıl artışa geçtiği görülmektedir. Öngördüğümüz üzere CO emisyonunun, yeni teknolojiye sahip araçlarda çok daha düşük seviyelerde çıktığı daha önceki bölümlerde de açıkça görülmektedir. Euro 4 araçların emisyon seviyelerinin aralıkları tüm çevrim boyunca, şekilde görüldüğü üzere, eski emisyon regülasyonlarına sahip veya bir regülasyona sahip olmayan araçlarla kıyaslanamayacak kadar düşük düzeydedir.



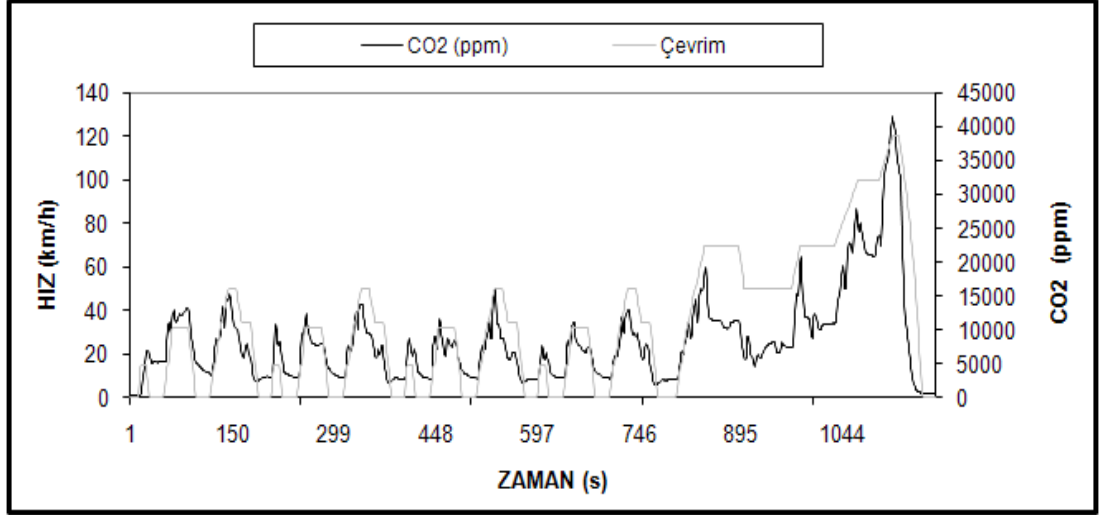
Şekil 7.3 : Avrupa test çevriminde anlık CO değişimi.

Şekil 7.4 üzerinde, kümülatif grafikten açıkça görüldüğü gibi, motorun ilk saniyelerde soğuk olmasının etkisi, CO emisyonunda da çok önemli bir artışa sebep olmuştur. İvmelenme hareketleri esnasında artan CO değerleri de grafiğe açık şekilde yansımıştır.



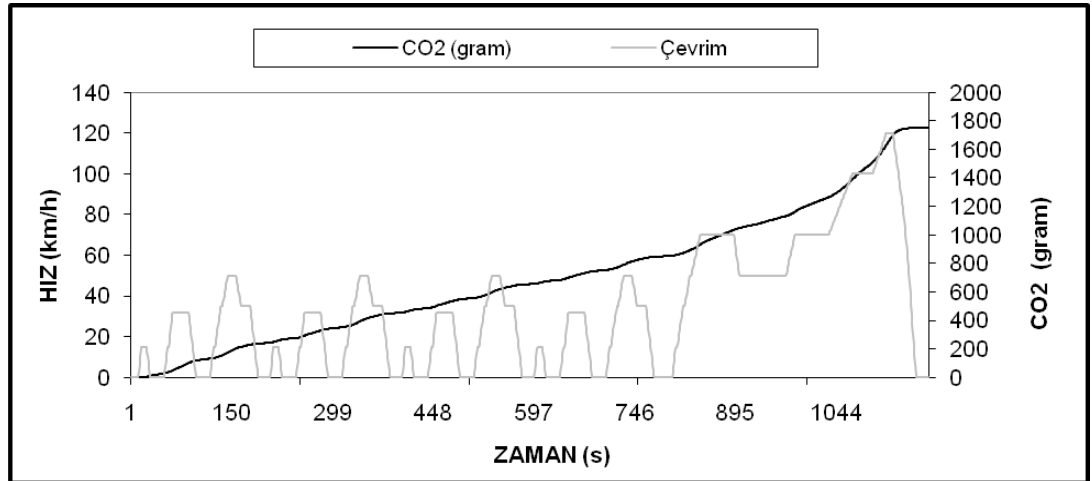
Şekil 7.4 : Avrupa test çevriminde anlık CO değişimi (kümülatif).

Tüm emisyonlarda, egzoz gazları seviyelerinin aracın hızı ile değiştiği açıktır. Özellikle CO₂ değişimi, yakıt tüketimi ile paralellik gösterir. Yüksek seyir hızlarında veya fazla güç gerektiren ivmelenmelerde, yakıt tüketimi artışıyla birlikte CO₂ seviyesi de yükselir.



Şekil 7.5 : Avrupa test çevriminde anlık CO₂ değişimi.

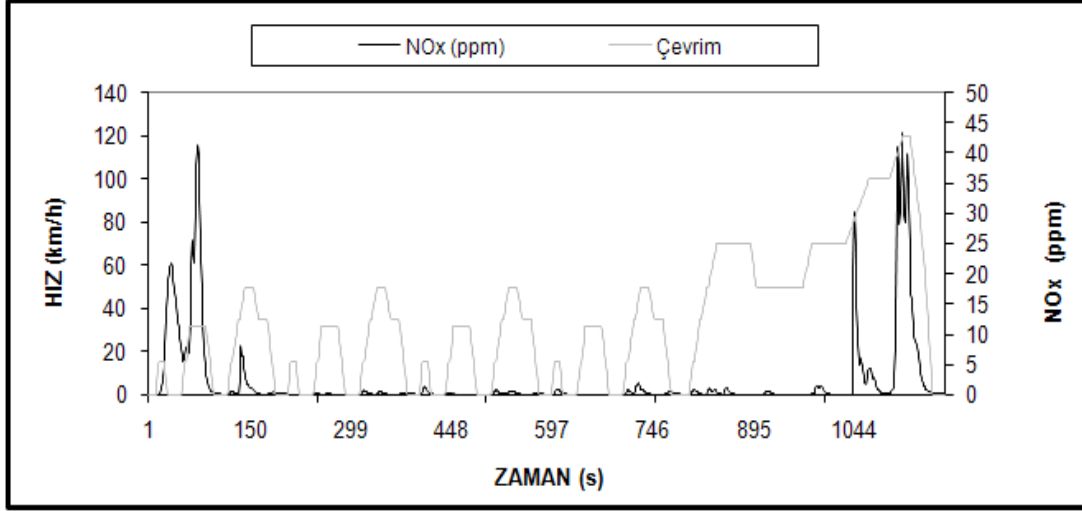
Şekil 7.5 üzerinde, normal CO₂ ve Şekil 7.6 üzerinde, kümülatif CO₂ değerlerinin değişim eğrisi incelenirse, yüksek hız seviyelerinde, artan dirençler sonucu ihtiyaç duyulan güce cevap verebilmek için daha fazla enerji oluşturulması sonucu, daha yüksek CO₂ emisyonu ortaya çıktığı görülmektedir.



Şekil 7.6 : Avrupa test çevriminde anlık CO₂ değişimi (kümülatif).

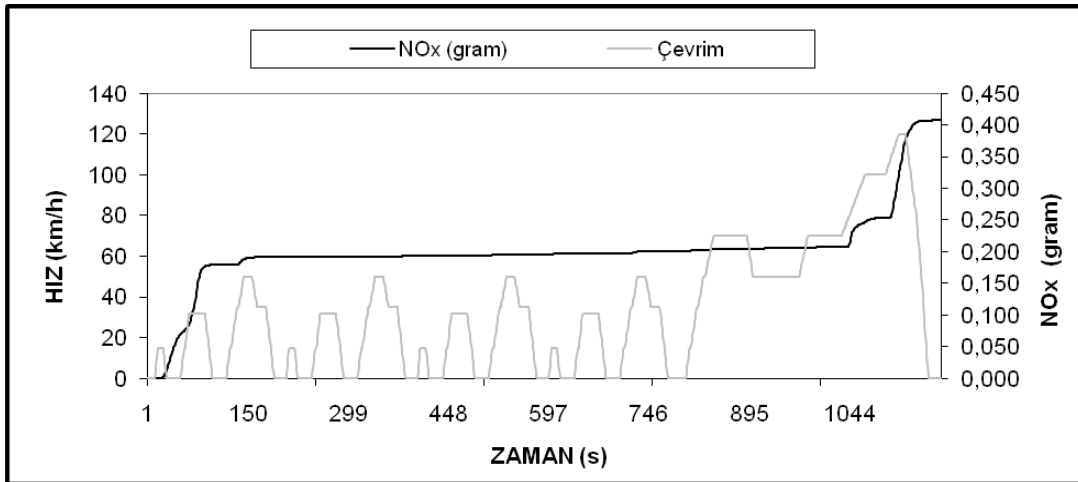
NO_x emisyonları, yüksek silindir sıcaklığının neticesinde yaşanır. Yüksek hızda seyirler ve ani ivmelenmeler, NO_x değerlerinin yükseldiği anlardır. Motor yükü arttıkça ve ivmelenme süresi uzadıkça NO_x miktarı da artar. Şekil 7.7 üzerinde

görüldüğü gibi düşük hızla seyrinde NO_x seviyesi oldukça aşağıda kalmıştır. Yüksek güç gerektiren, hızın arttığı bölümlerde, NO_x emisyonlarının en yüksek seviyeye çıktığı açıkça görülmektedir. Bu bölümlerde silindir sıcaklığıda artmaktadır.



Şekil 7.7 : Avrupa test çevriminde anlık NO_x değişimi.

Şekil 7.8’de görülen kümülatif yaklaşım ile oluşturulmuş grafikte, motorun ilk çalışma sürecinin yanı sıra, yüksek hızlarda da NO_x değerlerinin birkaç kat arttığı açıkça görülmektedir.

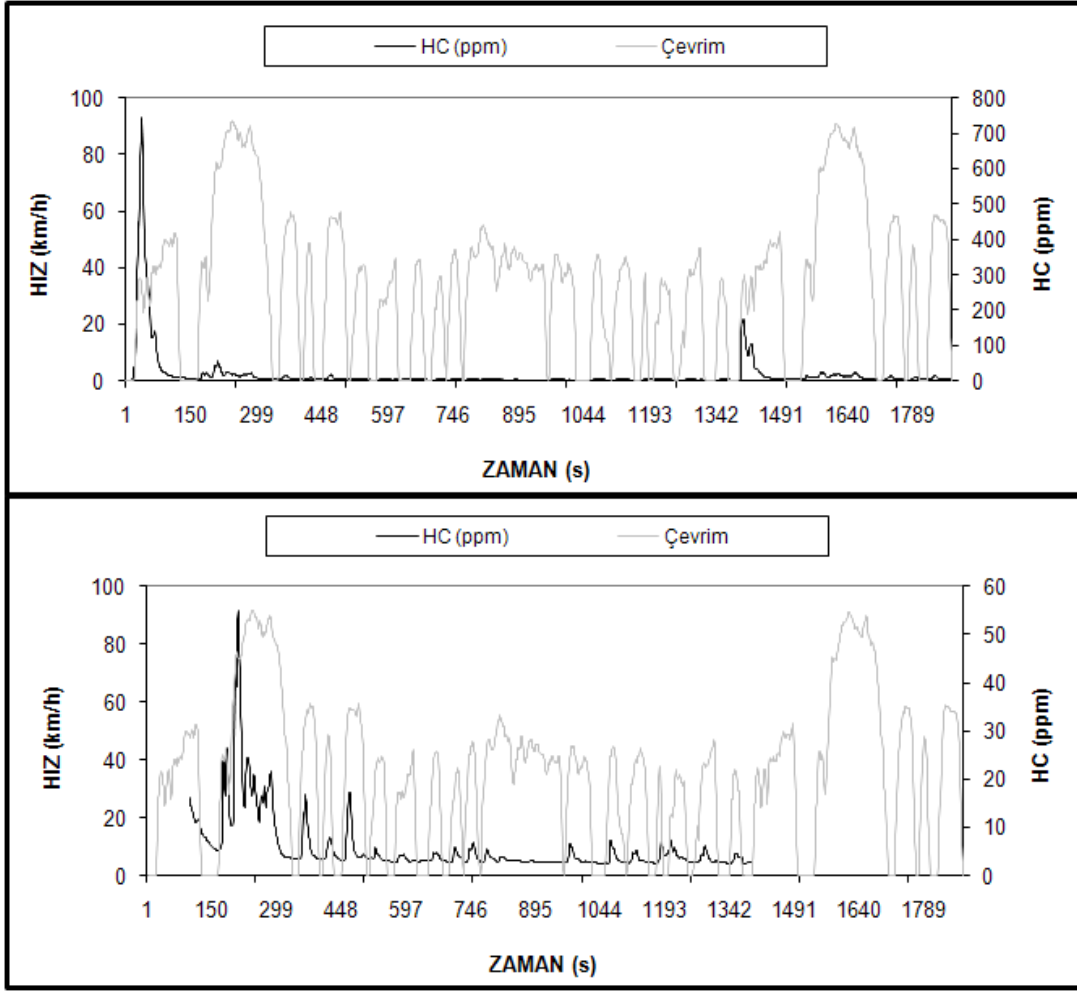


Şekil 7.8 : Avrupa test çevriminde anlık NO_x değişimi (kümülatif).

7.2.2 Amerika test çevrimi sonuçlarının incelenmesi

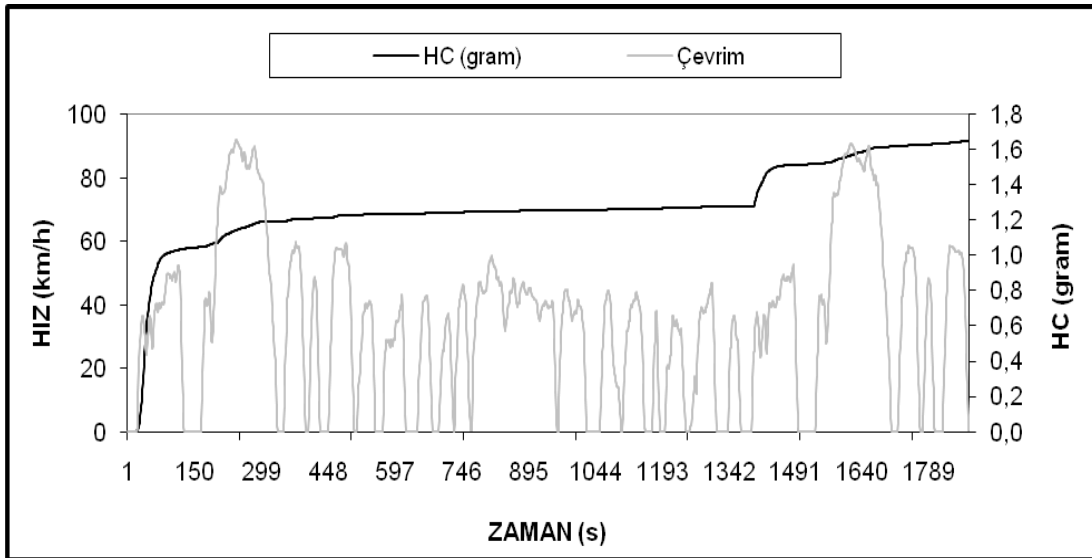
Amerika çevriminde de teste tabi tutulmuş aracın anlık emisyon değerleri test düzeneği tarafından saptanabilmektedir. Şekil 7.9 incelendiğinde, aracın ilk çalışma anında, motorun soğuk olması sebebiyle çok yüksek HC değerlerine çıktığı

görülmektedir. İlk saniyelerde motorun çalışması ve ısınmaya başlamasıyla, çevrim genelinde 25 ppm seviyesinin üzerine çıkmayan HC emisyonu seviyesine doğru geçiş yaşanmıştır. Şekil 7.9'un ikinci bölümünde, ilk yüz saniye sonrası, HC değişimi daha düşük değer aralığında seyrettiği için, değerler net olarak görülmektedir. Ayrıca Amerika çevriminin son fazı olan beş yüz beş saniyelik bölgede de ara soğutma sonrası, aşırı yüksek çıkan HC emisyonu değerleri, aynı şeklin ikinci grafiğinde yansıtılmamıştır. Amerika çevriminin ikinci kısmı başlatılmadan önce, on dakikalık motor kapama dönemi bulunmaktadır. Bu dönemde, motor soğumaya başlar ve son faz için testine başlanan aracın, aynı testin en başında olduğu gibi, ilk saniyelerde belirgin yükseklikte HC emisyonları çıkışı sergilediği gözlemlenmiştir. Görülen en temel etki, ivmelenme hareketlerinde HC emisyonlarındaki ani artışlar olmakla birlikte, sabit hız ve boşta çalışma anlarında, aracın HC emisyonlarının hemen hemen aynı seviyelerde kalmasıdır. Bunun en temel sebebi, elektronik yakıt ayar mekanizmalarının gelişmiş teknolojiye sahip olmaları ve hassas püskürtme ayarının yakalanabilmesidir. Aracın iki çevrim için genel HC sonucuna bakıldığında, Amerika çevriminin HC değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuca altıncı bölümde ki otuz araç için yapılan incelemede de varılmıştı. Bunun en temel nedeni Amerika çevriminin daha düşük bir hız ortalamasına sahip olması, tam yanmanın her an istenilen seviyede yaşanmamasıdır. Avrupa çevrimine göre daha çok durma süreci yaşanan Amerika çevriminde, son faz öncesi on dakikalık motor kapama işlemi de, silindir cidarlarında sıcaklık düşüşüne tekrar imkan tanıdığı için HC emisyonlarını artırıcı bir etki yaratmaktadır.



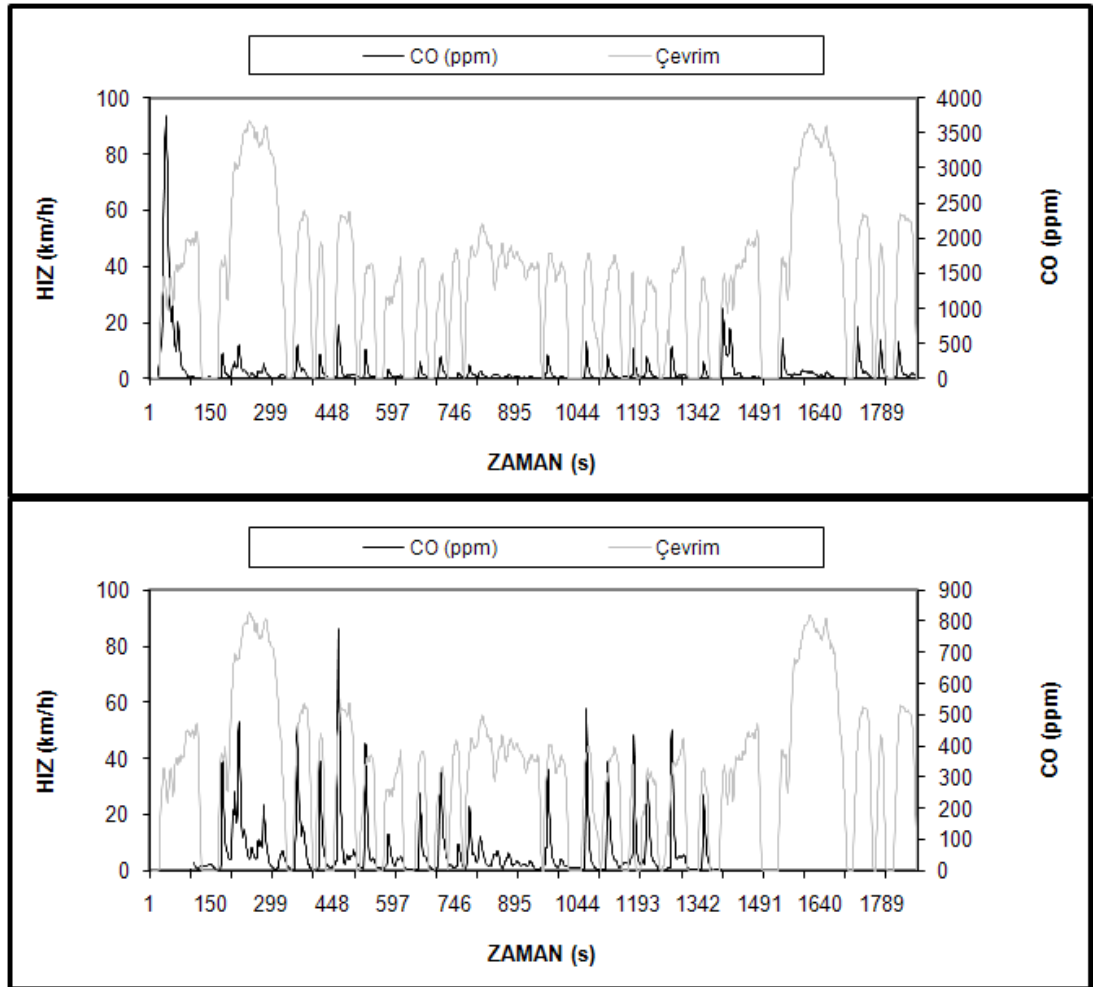
Şekil 7.9 : Amerika test çevriminde anlık HC değişimi.

Şekil 7.10’da kümülatif eğrisi görülen HC değerleri de asıl artışın motorun soğuk çalışma dönemlerinde olduğunu ispatlamaktadır.



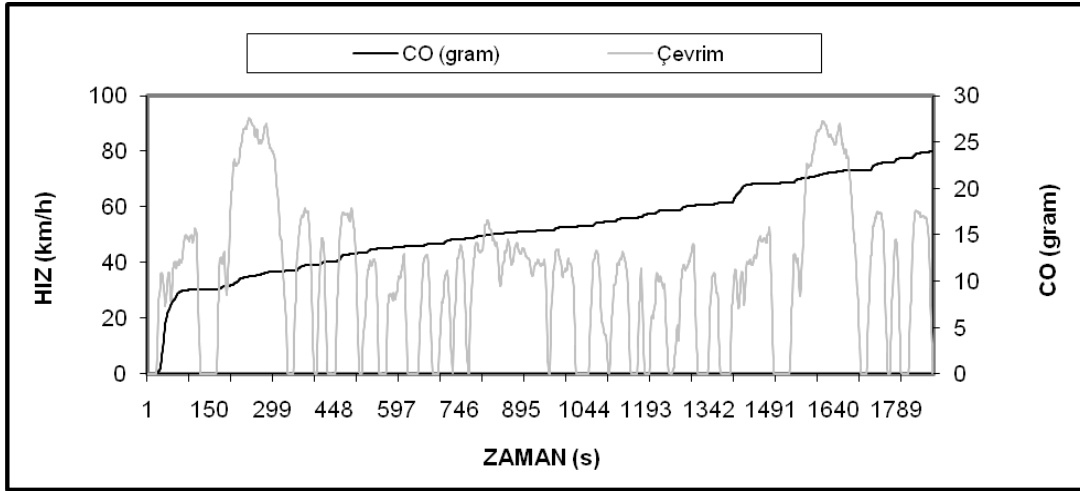
Şekil 7.10 : Amerika test çevriminde anlık HC değişimi (kümülatif).

Şekil 7.11’de CO emisyonu değişimi görülmektedir. İlk yüz ve son beş yüz beş saniyelik bölgeler dışında kalan süreçlerde ki CO değerlerinin daha rahat görülmesi için, aynı şekil üzerindeki ikinci grafikten yararlanılabilir. Motorun soğuk olması sebebiyle CO emisyonu da, tıpkı HC emisyonlarındaki gibi, ilk aşamada yüksek seviyelerde çıkmıştır. İvmelenmeler esnasında CO emisyonunun maksimum seviyelere geldiği, sabit hız veya yavaşlama bölgelerinde, bu değerlerin azalarak, çok ufak bir aralıkta değişim gösterdiği görülmektedir. Amerika çevriminde CO emisyonu 0,848 g/km, Avrupa çevriminde ise 0,845 g/km olarak belirlenmiştir. İki çevrimin CO emisyonları, örnek araç için neredeyse aynı çıkmıştır. Bölüm altıda, otuz aracın genel incelemesinde, Avrupa çevriminin Amerika çevriminden daha yüksek CO emisyonuna sahip olduğu saptanmıştı. CO emisyonu, büyük oranda λ değerine bağlı olduğu için ve örnek aracın katalitik konvertörünün oldukça yeni olması göz önüne alındığında, iki çevrim için CO seviyelerinin birbirlerine yakın çıkması şaşırtıcı bir sonuç değildir.



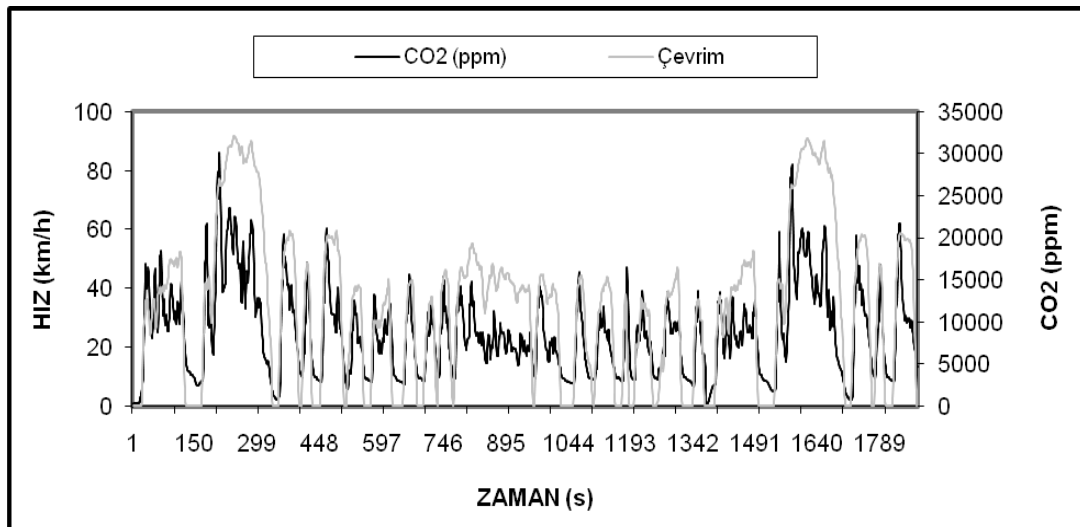
Şekil 7.11 : Amerika test çevriminde anlık CO değişimi.

Şekil 7.12’de görülen kümülatif grafik incelendiğinde de ilk çalışma sürecinde ki CO emisyonu çıkışının ne derece yüksek olduğu görülmektedir.



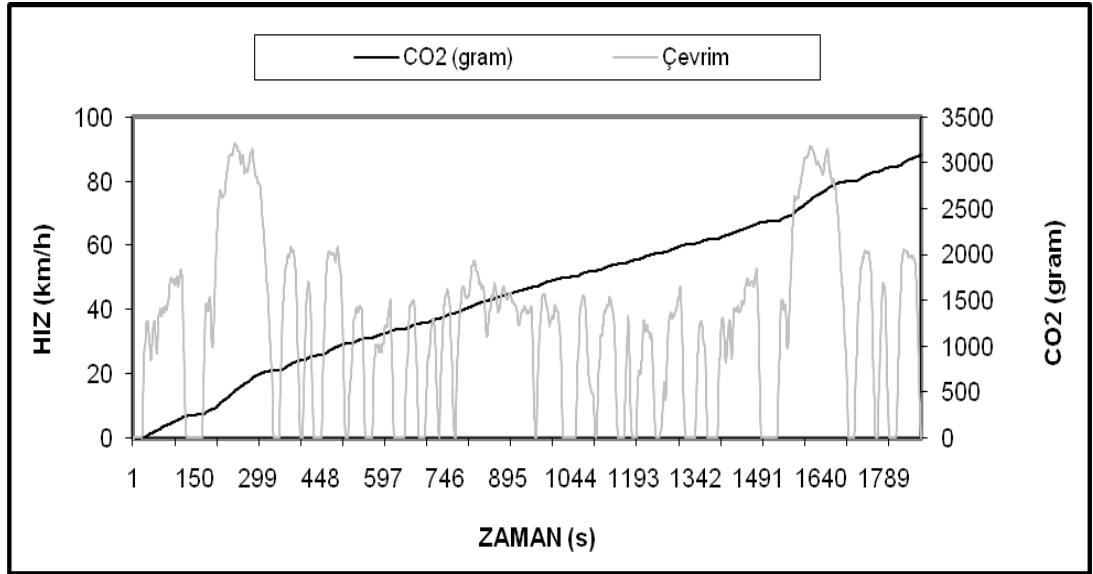
Şekil 7.12 : Amerika test çevriminde anlık CO değişimi (kümülatif).

CO₂ değişiminin, yakıt tüketimi ile paralellik gösterdiği önceki bölümlerde de açıklanmıştır. Azami sürat ve ortalama hız değerleri açısından Avrupa çevrimi, Amerika çevriminden daha büyük değerlere sahiptir. Altıncı bölümdeki otuz araç için yapılan ölçümlere paralel bir sonuç, örnek aracın anlık testlerinde de görülmüştür. Yüksek seyir hızlarında veya fazla güç gerektiren ivmelenmelerde yakıt tüketimi artışıyla birlikte CO₂ seviyesi de yükselir. Dolayısıyla hem yakıt tüketimi hem de CO₂ miktarı açısından, Avrupa çevrimi neticeleri, Amerika çevriminden daha yüksek çıkmıştır. Şekil 7.13’e bakıldığında, en yüksek CO₂ salımının, azami sürate çıkış anlarında yaşandığı görülmektedir.



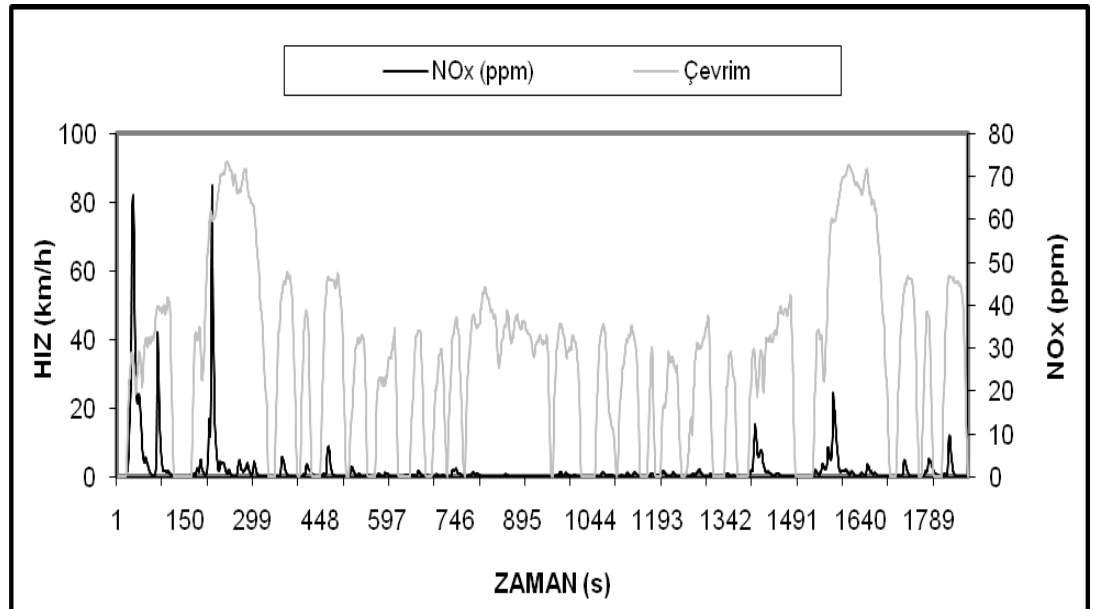
Şekil 7.13 : Amerika test çevriminde anlık CO₂ değişimi.

Şekil 7.14 incelendiğinde, CO₂ değerlerinin, özellikle ivmelenme süreçlerinde arttığı, ivmelenme işleminin uzaması ile daha da yoğunlaştığı anlaşılmaktadır.

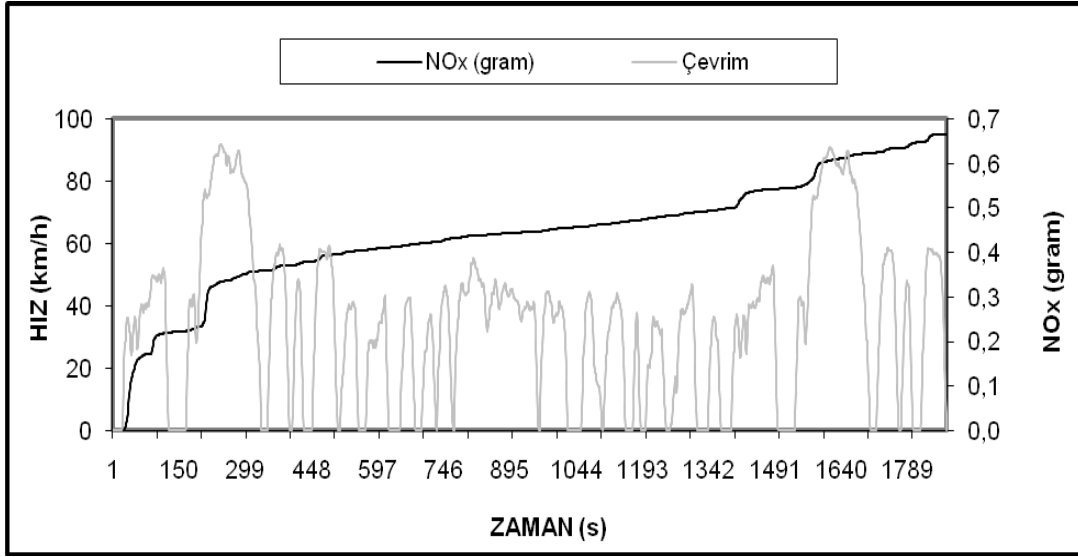


Şekil 7.14 : Amerika test çevriminde anlık CO₂ değişimi (kümülatif).

NO_x emisyonları değişimi, silindir sıcaklığının değişimiyle paralellik gösterir. Yüksek hızda seyirler ve ani ivmelenmeler, NO_x emisyonlarının yükseldiği anlardır. İvmelenme süresi uzadıkça, NO_x miktarı da artar. Şekil 7.15 ve 7.16 üzerinde görüldüğü gibi düşük hızla seyirde, NO_x seviyesi oldukça aşağıda kalmıştır.



Şekil 7.15 : Amerika test çevriminde anlık NO_x değişimi.



Şekil 7.16 : Amerika test çevriminde anlık NO_x değişimi (kümülatif).

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ülkemizdeki araç parkını temsil edecek şekilde, literatürdeki mevcut çalışmalara oranla çok sayıda araç üzerinde gerçekleştirilen dinamometre testleri ile veri toplanmıştır. Bu araçların birçok yönden emisyon analizi yapılması sonucu, sürüş dinamiklerinin, emisyon salımı ve yakıt tüketimi değerlerini ne derece etkilediğine detaylı ve hassas yorumlar getirilmeye çalışılmıştır.

İstanbul'un yoğun trafik koşulları nedeniyle, daha yüksek emisyon seviyelerine ve dolayısıyla daha yüksek yakıt tüketimine sebep olan bir ulaşım düzeni vardır. Bu etkilerin A.B. tarafından kullanılan standart çevrim sonuçları ile mukayesesi yapılarak şehrin koşulları irdelenmiştir.

Çalışmada, beklenilen şekilde, İstanbul şehir çevriminin, NO_x değerleri dışında, hem emisyon hem de yakıt tüketimi açısından oldukça olumsuz bir tablo ortaya koymuş olduğu görülmüştür. Temel sera gazı olan CO₂ salımında, her ne kadar EKB taşıtlarda saptanan NEDC ortalama değeri, İstanbul çevriminden yüksek çıkmış olsa da, diğer katagorileri oluşturan daha yeni araçlarda, bu durumun tersi gözlemlenmiştir. HC, CO ve yakıt tüketimi açısından İstanbul çevrimi, hem FTP 75 hem de NEDC sonuçlarına göre yüksek seviyelerde çıkmıştır.

Çizelge 8.1'den faydalanarak çalışma hakkında genel bir değerlendirme yapılırsa, direk sera gazı olan CO₂ değerlerinin, tüm çevrimlerde IPCC ortalamalarının altında kalması olumlu bir durumdur. Ayrıca ortalamalara bakıldığında, en düşük CO₂ değerinin Amerika çevriminde elde edildiği açıktır. Anlık analizler de incelendiğinde, Amerika çevriminin en yüksek hıza çıkış dönemleri dışında, genelde 40 ile 55 km/h bölgesinde seyretmesi bu sonucu doğurmuştur. Avrupa çevriminin çok daha yüksek bir maksimum hıza sahip olması, İstanbul çevriminde ise genel hız ortalamasının oldukça düşük kalması CO₂ ortalamalarına yansımıştır. Dolaylı olmayan bir sera gazı olan CO ortalamasında ise, beklenildiği gibi İstanbul çevriminin tüm emisyon guruplarında yüksek çıkması, düşük hızlarda ivmelenme ve frenleme hareketlerinin etkisini göstermiştir. Buna rağmen 15.04 ve EKB araç katagorilerinde, diğer çevrimlerde olduğu gibi İstanbul çevriminde de IPCC

ortalamalarının altına inilmiştir. Ancak aynı olumlu kıyaslama, Euro 1 ve 3 araçlar kategorisinde ancak Amerika çevrimi için geçerlidir. NO_x değerleri açısından, tüm çevrimlerde, Euro 1 emisyon sınıfındaki araçların ortalaması dışında, tüm çevrim tiplerinde, her bir emisyon sınıfında IPCC değerlerinin altına inilmiştir.

Çizelge 8.1 : Çalışmadaki çevrimlerde elde edilen CO₂, CO ve NO_x ortalamalarının IPCC ortalamalarıyla karşılaştırılması.

	IPCC	Avrupa Çevrimi	Amerika Çevrimi	İstanbul Çevrimi	
Euro 3	205	155,355	133,313	159,579	CO ₂ g/km
Euro 1	205	169,472	134,829	170,835	
15.04	200	166,095	139,174	165,938	
EKB	270	169,060	149,457	157,380	
Euro 3	2,9	3,743	2,630	5,881	CO g/km
Euro 1	2,9	3,390	2,357	7,071	
15.04	19	10,240	9,312	13,914	
EKB	46	17,772	16,498	36,467	
Euro 3	0,5	0,399	0,303	0,374	NO _x g/km
Euro 1	0,5	0,716	0,589	0,658	
15.04	2,3	1,160	1,062	1,022	
EKB	2,2	1,329	1,150	0,846	

Teknolojik gelişmeler ile emisyon seviyelerinin son yıllarda, büyük oranda düşürülebildiği görülmüştür. Bu da trafikte seyreden eski araçların, kademeli olarak kullanımdan çekilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Alternatif ulaşım seçenekleriyle ve kullanışlı yeni karayollarının devreye sokulmasıyla, karayolu yoğunluğu azaltılarak, sürüş koşullarının değiştirilmesi ve böylece emisyon değerlerinin düşürülmesinin gerekliliği anlaşılmıştır. Bu bilinç ile hem çevre temizliği ve insan sağlığı, hem de yakıt tüketiminin azaltılmasıyla ülke ekonomisine katkı alanlarında çalışmalar yapılması gerekliliği bu çalışma ile kanıtlanmıştır.

Çalışmada kullanılan İstanbul şehir çevriminin yapısını incelerken önemli bir ayrıntıyı da göz önünde tutmak gerekmektedir. Bu çevrim oluşturulurken, yokuş direnci dikkate alınarak oluşturulmamıştır. İleri bir çalışma olarak yokuş direnci de çevrim yapısını etkilediğinde, tepelerden oluşan İstanbul şehrinin yakıt tüketimi ve emisyon seviyesinin daha da doğru yansıtılabileceği kaçınılmaz bir gerçektir.

KAYNAKLAR

- [1] **Erdoğan Z., Zeydan Ö., Sert H.**, 2007. İklim Değişikliği Ve Sağlık Üzerine Etkileri, *1. İklim Değişikliği Kongresi – TİKDEK 2007*, İ.T.Ü, İstanbul, 11-13 Nisan, s. 244-251.
- [2] **Zeydan Ö., Yıldırım Y.**, 2007. Küresel Isınmada Etken Olan Hava Kirleticileri Ve Ülkemiz Emisyonları, *1. İklim Değişikliği Kongresi – TİKDEK 2007*, İ.T.Ü, İstanbul, 11-13 Nisan, s. 221-227.
- [3] **Yanaracak R. K.**, 2007. Marmaray Projesinin Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] **Diler A.**, 2006. Şehir İçi Toplu Taşımacılıkta Kullanılan Otobüslerde, Doğal Gaz Kullanımının Karbondioksit Emisyonlarına Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] **TÜİK**, 2009. Türkiye'nin Toplam Sera Gazı Emisyonu (milyon ton CO₂ eşdeğeri). url: www.tuik.gov.tr , erişim tarihi: 06.12.2009.
- [6] **Müezzinoğlu A.**, 2000. Hava Kirliliği Ve Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Yayınları, İzmir.
- [7] **Topçu L.**, 2008. Toplu Taşımacılık Sistemlerinin Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Bosch R.**, 2006. Gasoline Engine Management, Systems And Components, New: Bifuel-Matronic 3rd Edition.
- [9] **Kutlar A., Ergeneman M., Arslan H., Mutlu M.**, 1998. Taşıt egzozundan kaynaklanan kirleticiler, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [10] **TÜİK**, 2009. Türkiye'nin Yüzdelik Sera Gazı Emisyonu (milyon ton CO₂ eşdeğeri). url: www.tuik.gov.tr , erişim tarihi: 04.12.2009
- [11] **Karakaya E., Özçağ M.**, 2003. Türkiye Açısından Kyoto Protokolü'nün Değerlendirilmesi ve Ayrıştırma (Decomposition) Yöntemi İle CO₂ Emisyonu Belirleyicilerinin Analizi, *7. ODTÜ Ekonomi Konferansı*, 6-9 Eylül, Ankara.
- [12] **Kadioğlu S., Dokumacı O.**, 2005. *İklim Değişikliği Ve Türkiye*, Çevre Ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- [13] **Gürsürer K.M.**, 2009. Avrupa Şehir Çevrimi İle Amerika Şehir Çevriminin Arasındaki Farkların Deneysel Olarak İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] **url:** <http://www.dieselnet.com/standards/cycles/> , erişim tarihi: 08.11.2009

- [15] **Sorusbay C., Ergeneman M., Pekin A., Kutlar A., Arslan H.,** 2009. Ulaştırma Sektöründe Sera Gazı Azaltımı Proje Sonuç Raporu, TÜBİTAK – TARAL 105G039 Numaralı Porje, İstanbul.
- [16] **OSD.,** 2008. 2007 Yılı Otomobil Ve Toplam Motorlu Araç Parkı, *Otomotiv Sanayii Derneği*, Şubat.
- [17] **İ.E.T.T.,** 2008. İstanbul Kent İçi Trafiğinde Yolculukların Araç Türlerine Göre Dağılımı, İstanbul. (url: www.iETT.gov.tr , erişim tarihi: 21.05.2009)
- [18] **Özmen A.,** 2007. Örneklem, Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi, Eskişehir.
- [19] **Sınıksaran E.,** 2000. İstatistiksel Yöntemler, Sigma Yayınları, İstanbul.
- [20] **Filiz F., Püskülcü H., Eren Ş.,** 1996, İstatistiğe Giriş, Barış Yayınları Fakülteler Kitabevi, İstanbul.
- [21] **IPCC,** 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 3: Reference Manual, Chapter 1 pp 4-44, 62-98, *Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme*, Paris.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ender Sel

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 21.01.1984

Lisans Üniversitesi: Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü