

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL İLİ İÇİN BOĞAZ GEÇİŞİNDE FARKLI ÇEVRE YOLU KULLANIMININ
YAKIT TÜKETİMİ VE KARBONDİOKSİT EMİSYONU AÇISINDAN
KIYASLANMASI

SERHAD ŞENGÜL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ OTOMOTİV ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. ALP TEKİN ERGENÇ

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL İLİ İÇİN BOĞAZ GEÇİŞİNDE FARKLI ÇEVRE YOLU KULLANIMININ
YAKIT TÜKETİMİ VE KARBONDİOKSİT EMİSYONU AÇISINDAN
KIYASLANMASI**

Serhad ŞENGÜL tarafından hazırlanan tez çalışması 29.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Orkun ÖZENER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Akın KUTLAR
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca sabrını ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen hayat arkadaşım, sevgili eşim Seda ŞENGÜL'e; kıymetli vaktini, tecrübesini ve bilgisini esirgemeyen, lisans ve yükek lisans dönemim boyunca bana yol gösteren tez danışmanım Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ'e ve desteklerinden dolayı sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2019

Serhad ŞENGÜL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	7
1.3 Hipotez.....	7
BÖLÜM 2	
HAVA KİRLİLİĞİ	11
2.1 Hava Kirliliği Kaynakları.....	12
2.1.1 Doğal Kaynaklar	12
2.1.2 İnsan Kökenli Kaynaklar	13
2.1.2.1 Endüstriyel Kaynaklar.....	13
2.1.2.2 Kamu Hizmetleri.....	14
2.1.2.3 Kişisel Kaynaklar	14
BÖLÜM 3	
MOTORLU TAŞIT EMİSYONLARI	15
3.1 Türkiye Sera Gazı Emisyonları.....	15
3.2 Kirlenici Gazların ve Partiküllerin Özellikleri	32
3.2.1 Karbonmonoksit (CO)	32

3.2.2	Karbon dioksit (CO ₂).....	32
3.2.3	Metan (CH ₄)	32
3.2.4	Hidrokarbonlar (HC)	33
3.2.5	Azot ve Azotlu Bileşikler (NO _x)	33
3.2.6	Kükürt ve Kükürtlü Bileşikler (SO _x).....	33
3.2.7	Su Buharı (H ₂ O)	34
3.2.8	Partikül Madde (PM)	34
BÖLÜM 4		
EMİSYON STANDARTLARI		35
4.1	Taşıt Emisyonlarındaki İlk Sınırlamalar	35
4.2	Avrupa Topluluğu Emisyon Standartları	35
4.3	Avrupa Birliği Emisyon Standartları	37
4.4	Türkiye'deki Emisyon Standartlarının Kronolojik Gelişmeleri	39
BÖLÜM 5		
SEYİR ÇEVİMLERİ.....		40
5.1	Seyir Çevrimlerinin Sınıflandırılması.....	41
5.2	Örnek Seyir Çevrimleri.....	41
5.2.1	Avrupa Birliği Seyir Çevrimi	41
5.2.2	Amerika Seyir Çevrimi	42
5.2.3	Japonya Seyir Çevrimi.....	43
5.2.4	İstanbul Şehir Çevrimi.....	45
5.3	İstanbul Şehir Çevriminin Amerika ve Avrupa Birliği Seyir Çevrimleri ile Karşılaştırılması.....	47
BÖLÜM 6		
İSTANBUL İLİ BOĞAZ GEÇİŞİ SEYİRLERİ		48
6.1	Boğaz Geçişinde Trafiğin En Yoğun Saatlerinin Belirlenmesi	48
6.2	Seyir Öncesi ve Seyir Şartları	53
6.3	A Noktasından B Noktasına E-80 Otoyolu ile Trafiksiz Seyir Durumu	55
6.4	A Noktasından B Noktasına E-80 Otoyolu ile Yoğun Trafikli Seyir Durumu.....	58
6.4.1	1. Seyir	58
6.4.2	2. Seyir	60
6.5	B Noktasından A Noktasına E-80 Otoyolu ile Yoğun Trafikli Seyir Durumu.....	66
6.5.1	1. Seyir	67
6.5.2	2. Seyir	69
6.6	A Noktasından B Noktasına O-7 Otoyolu Kullanımı Seyir Durumu	75
6.7	B Noktasından A Noktasına O-7 Otoyolu Kullanımı Seyir Durumu	78
6.8	A Noktasından B Noktasına E-80 Otoyolu ile O-7 Otoyolu Kullanımının CO ₂ Emisyonu ve Yakıt Tüketimi Açısından Değerlendirilmesi.....	81

6.9 B Noktasından A Noktasına E-80 Otoyolu ile O-7 Otoyolu Kullanımının CO ₂ Emisyonu ve Yakıt Tüketimi Açısından Değerlendirilmesi.....	85
--	----

SONUÇ VE ÖNERİLER	88
KAYNAKLAR.....	90
ÖZGEÇMİŞ.....	92



SİMGE LİSTESİ

CH ₄	Metan
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
C ₈ H ₁₇	Methylheptane
dak	Dakika
dev/dak	Devir/dakika
g	Gram
HC	Hidrokarbon
HFCs	Hidroflorür Karbonlar
H ₂ O	Su Buharı
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
kg	Kilogram
km	Kilometre
km/saat	Kilometre/Saat
lt	Litre
ms	Milisanıye
NO _x	Azot Oksitler
NO ₂	Azot Dioksit
N ₂ O	Nitröz Oksit
OH	Hidroksil
O ₂	Oksijen
O ₃	Ozon
PFCs	Perfloro Karbonlar
SF ₆	Sülfürhekza Florid
sn	Saniye
SO _x	Kükürt Oksitler
SO ₂	Kükürt Dioksit

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil Club
CI	Compression Ignition
CNG	Compressed Natural Gas
ECE	European Economic Council
EPA	Environmental Protection Agency
EU	Europe
EUDC	Extra Urban Driving Cycle
FTP	Federal Test Procedure
FSM	Fatih Sultan Mehmet
IDC	Istanbul Driving Cycle
INCOS	International Conference of Combustion
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
LPG	Liquefied Petroleum Gas
M	En az dört tekerlekli ve yolcu taşımasında kullanılan motorlu araçlar
N1	Yük taşımasında kullanılan ve azami ağırlığı 3.5 tonu aşmayan motorlu araçlar
NEDC	New European Driving Cycle
Ort	Ortalama
PM	Partikül Madde
Sbt	Sabit
SI	Spark Ignition
WLTP	Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure
YSS	Yavuz Sultan Selim

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Viaport alışveriş merkezi–Alibeyköy cep otoparkı E-80 otoyolu güzergahı.... 8
Şekil 1.2	Viaport alışveriş merkezi–Alibeyköy cep otoparkı O-7 otoyolu güzergahı.....9
Şekil 1.3	Alibeyköy cep otoparkı–Viaport alışveriş merkezi E-80 otoyolu güzergahı.... 9
Şekil 1.4	Alibeyköy cep otoparkı–Viaport alışveriş merkezi O-7 otoyolu güzergahı..... 10
Şekil 3.1	2018 yılında trafiğe kayıtlı motorlu kara taşıtlarının dağılımı 17
Şekil 3.2	1966'dan günümüze yıllara göre trafiğe kayıtlı motorlu kara taşıtlarının sayısı ve dağılımı 18
Şekil 3.3	1990-2016 yılları arası sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları 19
Şekil 3.4	1990-2016 yılları arası toplam sera gazı emisyonları..... 20
Şekil 3.5	1990-2016 yılları arası toplam sera gazı emisyonları (milyon ton – yıl) 21
Şekil 3.6	1990-2016 yılları arası toplam CO ₂ gazı emisyonları 21
Şekil 3.7	1990-2016 yılları arası toplam CH ₄ emisyonları..... 22
Şekil 3.8	1990-2016 yılları arası toplam NO ₂ emisyonları 22
Şekil 3.9	Türkiye'de yıllara göre kişi başına düşen sera gazı emisyonları (ton CO ₂ e - yıl).....23
Şekil 3.10	2017 yılı için dünya ve bazı seçilmiş ülkelerde kişi başına düşen emisyon miktarı (ton CO ₂ e - ülke) 23
Şekil 3.11	2030 yılı için öngörülen dünya ve bazı seçilmiş ülkelerde kişi başına düşen emisyon miktarı (ton CO ₂ e - ülke)..... 24
Şekil 3.12	2016 yılı sektörlere göre Türkiye'deki sera gazı emisyonları 24
Şekil 3.13	1990-2016 yılları arasında sektörel olarak Türkiye sera gazı emisyonlarının değişimi (milyon ton – yıl)..... 25
Şekil 3.14	1990-2016 yılları için Türkiye sera gazlarınının değişimi (milyon ton – yıl). 25
Şekil 3.15	2016 yılına ait Türkiye sera gazları emisyon dağılımı..... 26
Şekil 3.16	1990-2016 yılları arası sektörlere göre Türkiye CO ₂ emisyonları (milyon ton)..... 26
Şekil 3.17	1990-2016 yılları arası Türkiye alt sektörlerin CO ₂ emisyonu değişimi (bin ton)..... 27
Şekil 3.18	2016 yılı için Türkiye yakıt yanması sektörü alt sektörlerinin karbondioksit emisyon dağılımı 28
Şekil 3.19	1990-2016 yılları arasında Türkiye yakıt yanması sektörü alt sektörlerinin CO ₂ emisyon değişimi (bin ton)..... 28
Şekil 3.20	2016 yılı sektörlere göre Türkiye CH ₄ emisyon dağılımı 29

Şekil 3.21	1990-2016 yılları Türkiye yakıt yanması sektörü alt sektörlerinin CH ₄ emisyon değişimi (bin ton).....	29
Şekil 3.22	1990-2016 yılları Türkiye alt sektörlerin CH ₄ emisyon değişimi (bin ton) ...	30
Şekil 3.23	1990-2016 yılları sektörlere göre Türkiye N ₂ O emisyonları değişimi (bin ton).....	30
Şekil 3.24	1990-2016 yılları Türkiye alt sektörlerin N ₂ O emisyon değişimi (bin ton)...	31
Şekil 3.25	1990-2016 yılları Türkiye yakıt yanması sektörü alt sektörlerinin N ₂ O emisyon değişimi (bin ton).....	31
Şekil 5.1	Avrupa seyir çevrimi.....	42
Şekil 5.2	Amerika seyir çevrimi.....	43
Şekil 5.3	Japonya seyir çevrimi (10-15 Mod).....	44
Şekil 5.4	Japonya seyir çevrimi (JC08)	45
Şekil 5.5	İstanbul şehir çevrimi için seçilen rotalar	46
Şekil 5.6	İstanbul şehir çevrimi.....	46
Şekil 6.1	Torque Pro (OBD 2 & Car) uygulaması seyir kayıt ekranı görüntüsü	54
Şekil 6.2	Torque Pro (OBD 2 & Car) uygulaması örnek veri çizelgesi	55
Şekil 6.3	Viaport alışveriş merkezi–Alibeyköy cep otogarı kısa mesafe güzergahı....	56
Şekil 6.4	A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile trafiksiz seyirde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği	57
Şekil 6.5	A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile trafiksiz seyirde motor devri – zaman grafiği	57
Şekil 6.6	A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile trafiksiz seyirde hız – zaman grafiği.....	58
Şekil 6.7	A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği (1. seyir).....	59
Şekil 6.8	A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde motor devri – zaman grafiği (1. seyir).....	59
Şekil 6.9	A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde hız – zaman grafiği (1. seyir).....	60
Şekil 6.10	A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği (2. seyir).....	61
Şekil 6.11	A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği (1. seyir ve 2. seyir karşılaştırması)	62
Şekil 6.12	A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde motor devri – zaman grafiği (2. seyir).....	63
Şekil 6.13	A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde motor devri – zaman grafiği (1. seyir ve 2. seyir karşılaştırması)	64
Şekil 6.14	A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde hız – zaman grafiği (2. seyir).....	65
Şekil 6.15	A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde hız – zaman grafiği (1. seyir ve 2. seyir karşılaştırması)	66
Şekil 6.16	Alibeyköy cep otogarı–Viaport alışveriş merkezi e-80 otoyolu güzergahı.....	67
Şekil 6.17	B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği (1. seyir).....	67

Şekil 6.18	B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyrinde motor devri – zaman grafiği (1. seyir).....	68
Şekil 6.19	B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyrinde hız – zaman grafiği (1. seyir).....	69
Şekil 6.20	B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyrinde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği (2. seyir).....	70
Şekil 6.21	B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyrinde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği (1. seyir ve 2. seyir karşılaştırması)	71
Şekil 6.22	B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyrinde motor devri – zaman grafiği (2. seyir).....	72
Şekil 6.23	B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyrinde motor devri – zaman grafiği (1. seyir ve 2. seyir karşılaştırması)	73
Şekil 6.24	B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyrinde hız – zaman grafiği (2. seyir).....	74
Şekil 6.25	B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyrinde hız – zaman grafiği (1. seyir ve 2. seyir karşılaştırması)	75
Şekil 6.26	Viaport alışveriş merkezi – Alibeyköy cep otoparkı O-7 otoyolu güzergahı.....	76
Şekil 6.27	A noktasından B noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyrinde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği	77
Şekil 6.28	A noktasından B noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyrinde motor devri – zaman grafiği	77
Şekil 6.29	A noktasından B noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyrinde hız – zaman grafiği.....	78
Şekil 6.30	Alibeyköy cep otoparkı – Viaport alışveriş merkezi O-7 otoyolu güzergahı.....	79
Şekil 6.31	B noktasından A noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyrinde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği	80
Şekil 6.32	B noktasından A noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyrinde motor devri – zaman grafiği	80
Şekil 6.33	B noktasından A noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyrinde hız – zaman grafiği.....	81
Şekil 6.34	A noktasından B noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyri ile E-80 otoyolu yoğun trafikli seyrinde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği	82
Şekil 6.35	A noktasından B noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyri ile E-80 otoyolu yoğun trafikli seyrinde motor devri – zaman grafiği	83
Şekil 6.36	A noktasından B noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyri ile E-80 otoyolu yoğun trafikli seyrinde hız – zaman grafiği	84
Şekil 6.37	B noktasından A noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyri ile E-80 otoyolu yoğun trafikli seyrinde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği	85
Şekil 6.38	B noktasından A noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyri ile E-80 otoyolu yoğun trafikli seyrinde motor devri – zaman grafiği	86
Şekil 6.39	B noktasından A noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyri ile E-80 otoyolu yoğun trafikli seyrinde hız – zaman grafiği	87

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1	Örnek bir taşıtta karbondioksit emisyonu ve yakıt tüketimi ilişkisi	6
Çizelge 3.1	2018 yılında motorlu kara taşıt sayısı.....	17
Çizelge 4.1	1972 ile 1996 yılları arasında Avrupa'daki uygulamalar ve sınır emisyon değerleri.....	36
Çizelge 4.2	Binek araçlar için Avrupa Birliği emisyon standartları (g/km).....	37
Çizelge 4.3	Benzinli hafif ticari araçlar için Avrupa Birliği emisyon standartları (g/km).....	38
Çizelge 4.4	Diesel hafif ticari araçlar için Avrupa Birliği emisyon standartları (g/km).....	38
Çizelge 5.1	Araçların kullanım modlarına göre kirletici etkileri.....	40
Çizelge 5.2	Temel çevrim özelliklerinin karşılaştırılması	47
Çizelge 5.3	Euro 4 araçlarının CO ₂ ve yakıt tüketimi değerlerinin karşılaştırılması..	47
Çizelge 6.1	İşe gidiş ve iş çıkışı saatlerinde A --> B noktası arası seyir süresi (E-80 otoyolu).....	49
Çizelge 6.2	İşe gidiş ve iş çıkışı saatlerinde B --> A noktası arası seyir süresi (E-80 otoyolu).....	50
Çizelge 6.3	İşe gidiş ve iş çıkışı saatlerinde A --> B noktası arası seyir süresi (O-7 otoyolu).....	52
Çizelge 7.1	İstanbul boğazı geçişinde farklı çevre yolu kullanımında yakıt tüketimi ve karbondioksit emisyonu karşılaştırması	88
Çizelge 7.2	İstanbul boğazı geçişinde farklı çevre yolu kullanımında seyir maliyetleri karşılaştırması	89

**İSTANBUL İLİ İÇİN BOĞAZ GEÇİŞİNDE FARKLI ÇEVRE YOLU KULLANIMININ
YAKIT TÜKETİMİ VE KARBONDİOKSİT EMİSYONU AÇISINDAN
KIYASLANMASI**

Serhad ŞENGÜL

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

Yaklaşık 15 milyon nüfusa sahip İstanbul, Türkiye'nin en büyük çalışma alanına sahip ve ekonomik başkent konumundadır. Sanayinin gelişmesi ve nüfusun artması ile birlikte, çevre sorunları ortaya çıkmaktadır. Canlıların sağlıklı bir şekilde yaşamlarını sürdürebilmesi için Birleşmiş Milletler Dünya Sağlık Örgütü hava kalitesi için belirli standartlar ortaya koymuştur. Hava kalitesi, belirlenen standartlarda olmadığı sürece akciğer, akut solunum ve astım ve benzeri hastalıkların artışı devam edecektir. Sanayileşme, ulaşım ve ısınma gibi sebeplerden dolayı, hava kalitesi günden güne azalmaktadır. Hava kalitesindeki azalmaya müdahale edilmediği takdirde çok ciddi çevre kirlilikleri ve buna bağlı sağlık sorunları ortaya çıkacaktır.

İstanbul'daki hızlı nüfus artışına bağlı olarak, karayolu ulaşım talepleri de artmaktadır. Artan ulaşım taleplerini karşılamak üzere trafiğe dahil olan motorlu taşıtların sayısı artmakta ve böylelikle trafikte geçirilen zamanın, buna bağlı taşıtların tükettiği yakıt miktarının ve motorlu taşıtlar kaynaklı emisyonların artması beklenmektedir.

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte, trafik yoğunlukları dijital haritalar yardımıyla tespit edilebilmekte ve alternatif güzergahlar kullanıcıya sunulmaktadır. Dolayısıyla kullanıcı yakıt tüketimi/emisyon, mesafe ve trafikte kalınan süre önceliklerine göre alternatifleri değerlendirebilmektedir.

İstanbul trafiğinin en önemli sebeplerinden birisi, bir yakadan diğer yakaya geçerken oluşan trafik sıkışıklığıdır. Bu çalışmamda trafiğin en yoğun olduğu zaman dilimlerinde, sabah işe gidiş – akşam iş çıkışı, İstanbul boğazı geçişinde kısa mesafe, yoğun trafikli

yol (E-80 Otoyolu) ile dış çeper çevre yolu (O-7 Otoyolu) kullanımında yakıt tüketimi ve karbondioksit emisyonu deneysel yöntem ile kıyaslanmıştır. Öncelikle trafiğin yoğun olduğu saatler Google Haritalar programı yardımı ile tespit edilmiş, güzergah seçimleri bu saatlere göre yapılmıştır. Belirlenen saatlerde deneysel sürüşler yapılmış olup, seyirlere özel seyir başlangıç ve bitiş zamanları, enjektör sinyal genişliği, motor devri, gaz kelebeği pozisyonu, hava yakıt karışımı oranı ve hız verileri kaydedilmiştir. Bu veriler ELM327 OBD II donanımından, Torque Pro (OBD 2 & Car) uygulaması ile toplanmıştır. Seyir boyunca tüketilen yakıtın miktarı, seyirden önce yakıt deposunun gırtlığa kadar doldurulup seyir sonunda tekrar deponun gırtlığa kadar doldurulmasıyla hesaplanmıştır. Tüketilen yakıt miktarının referans alınması ile EPA'nın sitesindeki hesaplama uygulamasından CO₂ emisyon miktarları elde edilmiştir. Elde edilen değerlere göre tüketilen yakıt miktarı ve CO₂ emisyon miktarı kısa mesafe, yoğun trafikli yol kullanımında daha az çıkmakta, dış çeper çevre yolu kullanımında ise zamandan tasarruf edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İstanbul trafiği, köprü geçişi, emisyon, yakıt tüketimi, CO₂



**FUEL CONSUMPTION AND CARBON DIOXIDE EMISSION COMPARISON OF
DIFFERENT MOTORWAYS USAGE FOR ISTANBUL BRIDGE TRANSITION**

Serhad ŞENGÜL

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Alp Tekin ERGENÇ

Istanbul, which has approximately 15 million inhabitants, has the largest working area and is the economic capital position of Turkey. With the development of industry and increasing population, environmental problems arise. The United Nations World Health Organization has set specific standards for air quality in order for living in a healthy way. As long as the air quality is not at the set standards, lung, acute respiratory and asthma and similar diseases will continue to increase. Air quality is being decreased day by day due to industrialization, transportation and heating. If there is no intervention in the reduction of air quality, serious environmental pollution and related health problems will occur.

Due to the rapid population growth in Istanbul, road transportation demands are increasing. In order to meet the increasing transport demands, the number of motor vehicles involved in traffic increases and thus the time spent in traffic, the amount of fuel consumed by the vehicles and the emissions from motor vehicles are expected to increase.

With the development of technology, traffic densities can be determined with the help of digital maps and alternative routes are presented to the user. Therefore, the user can evaluate the alternatives according to the fuel consumption / emission, distance and the time remaining in the traffic.

One of the most important reasons for the traffic in Istanbul is traffic congestion when passing from one side to the other. In this study, it will be compared with the experimental method of fuel consumption and carbon dioxide emission in the use of short distance, intense traffic road (E-80) and external orbital road (O-7) for bridge transition. Firstly, traffic-intensive hours were determined with the help of the Google Maps program and route selections were made according to these hours. Experimental driving has been done at the specified times and the specific starting and ending times, injector pulse width, engine rpm, throttle position, air fuel ratio and speed datas have been recorded. These datas were collected from the ELM327 OBD II hardware by Torque Pro (OBD 2 & Car) application. The amount of fuel consumed during the journey is calculated by filling the fuel tank to the throat before the run and refilling it up to the throat of the tank after run. With reference to the amount of fuel consumed, CO₂ emission amounts were obtained from the calculation application in the EPA site. According to the values obtained, the amount of fuel consumed and the amount of CO₂ emissions are less in use of short distance, intense traffic road and there is a time saving in use of external orbital road.

Keywords: Traffic in Istanbul, bridge transition, emission, fuel consumption, CO₂

1.1 Literatür Özeti

Motorlu taşıtlar kentsel hava kirliliğinin önemli bir kaynağıdır ve insan kaynaklı olarak karbondioksit ve diğer sera gazlarının giderek artışta olması görülmektedir. Hava kirleticilerinin potansiyel sağlık etkilerinin farkındalığı arttıkça, birçok ülke daha sıkı emisyon kontrolleri uygulamış ve motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonları azaltmada ve hava kalitesini iyileştirmede düzenli bir ilerleme kaydetmiştir. Ancak, dünya motorlu araç filosunun nüfus artışı ve ekonomik gelişme kaynaklı artması, büyükşehir alanlarının genişlemesi ve arazi kullanımındaki değişimler nedeniyle motorlu taşıtlara olan bağımlılık hızla büyümektedir [1].

Başlangıçta, araç hava kirliliği sorunu ABD ve Avrupa ülkeleriyle sınırlıydı. Dünyanın dört bir yanındaki araç popülasyonundaki artış nedeniyle, otomotiv emisyon kontrolü artık ülkelerin çoğunda yer almakta ve giderek güçlenmektedir (Uenishi vd. [2]).

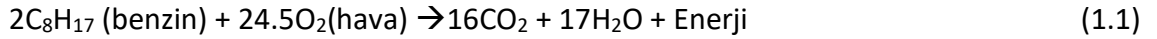
Otomotiv egzoz gazı emisyonu şehirlerdeki hava kirliliğinin ana kaynaklarından biridir (Sartipi vd [2]) ve hava kirliliğine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (Labhsetwar vd. [2]). Otomobil gibi mobil kaynaklardan üretilen hava kirliliği, önemli bir sorundur (Kaspar vd. [2]). Otomobillerden kaynaklanan emisyonlar ilk kez 1950'lerde Kaliforniya'da kentsel hava kirliliği için önemli bir külfet olarak belirlenmiştir[2].

Araçlardan yayılan kirleticiler, kullanılacak aracın motoruna ve yakıtlarına göre belirlenir. Yaygın olarak kullanılan yakıtlar benzin ve dieseldir. Bunlara alternatif olarak doğal gaz, LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı), CNG (sıkıştırılmış doğal gaz), metanol, etanol, hidrojen ve biyodiesel gibi çeşitli yakıtlar da kullanılmaktadır. Kıvılcım ateşlemeli (SI) ve

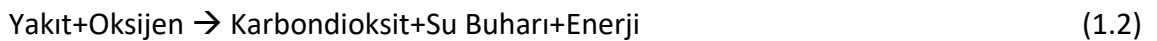
sıkıştırma ateşlemeli (CI) motorlar olmak üzere iki tip motor vardır (Heywood, Neeft vd., Koltsakis vd., Srinivasan, Gupta, Bera ve Hegde [2]). Kıvılcım ateşlemeli (benzinli) motorlar ya iki zamanlı (pistonun iki vuruşunda döngü tamamlanır) ya da dört zamanlı tasarımda çalışır (döngü dört vuruşla tamamlanır: (1) emme (2) sıkıştırma (3) genişleme veya güç ve (4) pistonun egzoz stroku). Sıkıştırma ateşlemeli (diesel) motorlar dört zamanlı tasarım üzerinde çalışır (Srinivasan, Gupta, Pundir, Bera ve Hegde [2]).

Piyasada kullanılan üç ana araç çeşidi vardır: (1) dört zamanlı benzinli ya da diesel motorlar ile çalışan yolcu otomobilleri (2) iki zamanlı benzinli motorlar ile çalışan motorsikletler (3) 4 zamanlı diesel motorlarla çalışan kamyonlar, otobüsler (Kaspar vd, Rao ve Rao, Bera ve Hegde [2]). Taşıtlarda enerji kaynağı olarak benzin, diesel, doğalgaz vb. ham petrolden elde edilen yakıtlar kullanılır. Yakıt, yandığında büyük miktarda kimyasal enerji açığa çıkar ve termal enerjiye dönüştürülür. Bu termal enerji, araçları çalıştıran mekanik enerjiye (güç) dönüştürülür (Kaspar vd, Rao ve Rao, Bera ve Hegde [2]).

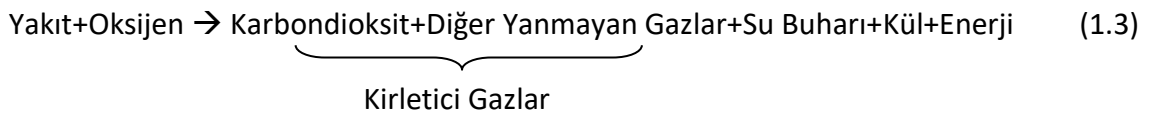
İdeal olarak, bir benzinli motor yaklaşık 14.7 stokiyometrik hava-yakıt oranıyla çalışır ve yanmayı, karbon dioksit, su buharı ve enerji çıktısı ile tamamlar (Wei, Neeft vd., Kaspar vd., Prasad ve Singh, [2]).



Genel tabiriyle ideal yanma denklemi;



Yakıtlar yanabilen maddeler haricinde yanmayan maddeleri de içermekteyse, tam yanma koşulları sağlanması durumunda bile yanma tepkimesi;



şeklinde oluşmaktadır. Yakıtta yanan madde miktarı azaldıkça, kirlenici emisyonlar, kül miktarı, yanmamış karbon (is) miktarı artmaktadır ve dolayısıyla üretilen enerji miktarı azalmaktadır.

Yukarıdaki genel denklemde görüldüğü gibi; yanma işlemi hiçbir zaman tamamlanamaz, böylece aracın egzoz borusundan atmosfere CO, HC, NOx ve PM gibi zehirli gazlar salınır. (Heck ve Farrauto, Srinivasan, Kaspar vd, Bera ve Hegde, Prasad ve Singh, [2]).

İnsan kaynaklı CO, HC ve NOx emisyonlarının %50'sinden fazlası otomobiller sebebiyledir (Wei, Prasad ve Singh, [2]).

Herhangi bir motorlu taşıtın fabrika çıkışında 100 km'de tükettiği yakıt miktarı bellidir. Sodre ve Soares'e göre fabrika ayarlarındaki yakıt tüketimi ile gerçek hayatta tüketilen yakıt miktarı genel olarak birbirini tutmamaktadır. Bunun sebebi fabrika testlerinin laboratuvar ortamında yapılmasından dolayı gerçekte yakıt tüketimine etki eden faktörlerin göz önünde bulundurulmamasıdır. Dolayısıyla fabrika verileri daima gerçekte meydana gelen tüketimden daha az olmaktadır [3].

Yakıt tüketimine etki eden başlıca faktörleri ve etkilerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

Yardımcı Sistemler:

Yardımcı sistemler, hava temizliği, ısıtma ve klima, aydınlatma, silecekler, elektrikli camlar, park yardımı, çarpışma uyarısı ve kaçınma gibi sürüş güvenliğini ve konforu arttıran unsurları ve aksesuarları ifade eder (Huhn, Dudenhöffer ve John, Reif ve Dietsche [4]). Bu sistemler genellikle sürekli olarak kullanılmamaktadır. Kullanımları durumunda daha yüksek bir motor ve elektrik gücüne, dolayısıyla daha fazla yakıt tüketimine ihtiyaç duyulmaktadır. Literatüre göre, klima kullanımı için % 9, direksiyon destek sistemleri için % 4.5, diğer yardımcıları için % 6.5 olarak tahmin edilmektedir [4].

Aerodinamik:

Aerodinamik, aracın şekli ve tasarımı ile öngörülen ön bölgeyi ifade eder. İlave bir yük ile birlikte bir tavan rafının eklenmesi gibi, ön cephe alanın şekil değişiklikleri, artan yakıt tüketimi ile sonuçlanan aerodinamik dirençleri artırabilir (EPA 2014b [4]).

Yakıt tüketimi artışı için öngörülen tahminler tavan eklentileri için yaklaşık %5, 130 km/s'de açık durumdaki pencereler için % 5.1, yan bölge rüzgarlarının etkisi için % 2'dir.

Hava Şartları:

Ortam koşulları, rüzgar, sıcaklık ve barometrik basınç gibi dış koşullara işaret eder.

Hava şartları yakıt tüketimini etkilemektedir (Kenworthy, [3]). Meteorolojik değişkenlikler tüketilen yakıtın azalmasına ya da artmasına neden olmaktadır (Polat vd, [3]).

Ortam koşulları motor çalışmasını etkiledikleri için (örneğin motor yağı viskozitesi, motor emme havası akışı, vb.), araç yakıt tüketim performansını etkilemektedir. Sürücünün sürüş modelini buna göre ayarlaması gerektiğinden, sürüş davranışını da etkileyebilir. Sıcaklığın yakıt tüketimine etkisi, 20°C'nin altında 1°C başına %0.5'lik bir artış olacak şekilde tahmin edilir (Avrupa sertifikasyon sıcaklığı 25 °C'dir). Yağmur, koşullara bağlı olarak, yakıt tüketimini potansiyel olarak %30 veya daha fazla artırabilir [4].

Sürüş Davranışları:

Sürüş davranışı, bireysel bir sürücünün hızlanma ve en yüksek hıza erişme gibi izlediği sürüş modellerini ifade eder. Agresif sürüş, yakıt tüketimini dramatik bir şekilde %24 oranına kadar arttırabilmektedir. Yolculuk tipi ve doğru planlama, yakıt tüketimini önemli ölçüde etkileyebilir, çünkü aynı başlangıç noktalarını ve varış noktalarını birbirine bağlayan farklı güzergahlarda yakıt tüketimi ortalama olarak % 10 oranında farklılık gösterebilmektedir.

Wahlberg'e göre sürücü davranışları tüketilen yakıt miktarını etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Sürücü davranışları tüketilen yakıt miktarını artırabilir ya da azaltabilir (Bosch Life Otomotiv, [3], [4]).

Araç Şartları:

Araç durumu, örneğin yağın zamanında değişmesi, lastik basıncının kontrolü ve uygun lastik tipi kullanımı gibi bakım açısından aracın durumunu belirtir.

Ang ve Deng tarafından [3], [4] aracın zamanında bakımının yapılıp yapılmadığının (parçaların zamanında değişip değişmemesi) tüketilen yakıt miktarını etkileyeceği bildirilmiştir.

Düşük viskoziteli motor yağı kullanılmasının yakıt tüketiminde yaklaşık %4'lük bir azalmaya yol açabileceği bulunmuştur. Ek olarak, lastiklerin yuvarlanma direnci katsayısının %10-20 oranında azaltılması, yakıt ekonomisinde %2.1'lik bir faydaya sağlayabilir.

Taşıt lastiklerinin üretim seneleri, mevsimlik durumları, tasarruf özelliğinin bulunma durumu tüketilen yakıt miktarını etkilemektedir (Holmberg vd. [3], [4]).

Öte yandan lastikteki hava basıncı yakıt tüketimini direk olarak etkilemektedir (Bosch Life Otomotiv, 2013:19, Opel, 2008: 150-167 [3], [4]). Tavsiye edilen basınçtan 0.2 bar daha düşük olan bir lastik basıncı, yakıt tüketiminde %1.4'lük bir artışa neden olabilir. Tıkanmış hava filtreleri ve yanlış hizalanmış tekerlekler gibi diğer çeşitli faktörler, yakıt tüketimini %4 ila 5 oranında artırabilir [3], [4].

Çalışma Ağırlığı:

Çalışma ağırlığı, aracın toplam ağırlığını temsil eder. Ağırlık arttıkça, hızı arttırmak ve sabit hızı sürdürmek için daha fazla enerji gerekecektir. Bu nedenle yakıt tüketimi çalışma ağırlığı ile artar. Literatür raporları, 100 kg'lık fazladan bir kütle için, yakıt tüketiminin, sertifikasyon değerine kıyasla %6-7'ye kadar artabileceğini ve ortalama tahminin %2-4 mertebesinde olduğunu göstermektedir.

Tavan eklentileri veya bir römorkun çekilmesi durumunda, ek koşullar sebebiyle kütlelerin etkisi daha da artar (örneğin, artan hava sürtünme ve yuvarlanma direnci). Bu gibi durumlarda yakıt tüketimindeki artış sırasıyla %20 ve %37.2'ye kadar çıkabilir (ADAC 2012a, Thomas vd. [3], [4]).

Tolouei, Titheridge ve Şık [3], [4] tarafından yapılan araştırmalar, taşıtın kendi ağırlığının ve araçtaki yolcu ya da yük durumunun tüketilen yakıt miktarını etkilediğini söylemektedir. Ekstra yolcuların eklenmesi, aracın kütlelerini, dolayısıyla yakıt tüketimini artırırken, çevresel açıdan bakıldığında, yolcu başına düşen emisyon değerleri azalmaktadır [3], [4].

Yol Şartları:

'Yol' faktörü, aracın sürüldüğü yolun koşullarına işaret eder. Yolun şekli, eğimi, düz veya kavisli olması, trafik durumu (hız, trafik ışıklarının varlığı vb) yakıt tüketimine etki etmektedir.

Yenitepe ve Akdeniz'e göre, yolların yüzey kalitesi, eğimi ve yol üzerindeki toz miktarı yakıt tüketimini etkilemektedir. Okamoto's'a göre de yolların fiziksel özelliklerinin yakıt tüketiminde olumlu ya da olumsuz etkileri vardır.

Yol yüzey kalitesi, yakıt tüketimini %1.9 oranında etkileyebilir. Yol eğiminin %2'den daha yüksek dereceler için yakıt tüketimi %18 (yokuş yukarı sürüş) etkilenebilir.

Trafik koşulları aracın gerçek hareketini, ortalama ve maksimum hızını, ivmelenmelerini, kalkış ve durma olaylarını, uzun seyahat süresini vb. etkileyerek yakıt tüketimini olumsuz yönde etkileyebilir. Çok çeşitli trafik koşulları nedeniyle, trafiğin etkisini tek bir şekilde ölçmek ve özetlemek zordur. Literatürde bildirilen maksimum değerler, ilgili temel değerler ile karşılaştırıldığında yakıt tüketiminde %50'ye varan artışlar olduğu iddia edilmektedir.

Çizelge 1.1'den anlaşıldığı gibi yakıt tüketimi ile karbondioksit emisyonu arasında doğru orantı mevcuttur. [3], [4]. (Araç tipi: Otomobil, Araç ağırlığı: 1300 kg)

Çizelge 1.1 Örnek bir taşıtta karbondioksit emisyonu ve yakıt tüketimi ilişkisi

1 km		10 km		50 km		100 km	
Yakıt Tüketimi (kg)	CO ₂ Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (kg)	CO ₂ Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (kg)	CO ₂ Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (kg)	CO ₂ Emisyonu (kg)
0,2576	0,7916	0,7194	2,2104	2,7718	8,5161	5,3373	16,3983

Taşıtlar egzozundan çıkan kirletici maddelerin azaltılmasına yönelik başlatılan ilk çalışma 1960 yılında Kaliforniya'da yapılmıştır. Bu çalışmanın içeriği karter ve silindir altında biriken yakıt ve yağ buharının dışarıya atılmayıp tekrardan emme kanalına gönderilmesi hakkındadır. 1963'de Kaliforniya'da yeni trafiğe çıkacak araçlara zorunlu kılınmıştır. İkinci önlem olarak 1966'da taşıt egzozundan çıkan CO ve HC değerlerine sınırlandırma getirilmiştir ve bu uygulama 1968'e kadar devam etmiştir. Daha sonra şehir atmosferinde yapılan ölçümlerde NOx ve O₃'de artış gözlemlenmiş ve bu sebeple

ABD’de 1970/71 senelerinde taşıt emisyonlarında CO, HC ve NOx’in birlikte kontrol edilmesine yönelik bir kanun çıkartılmıştır [15, 19].

Emisyon ile ilgili kısıtlamalar ve regülasyonlar Bölüm 4’te detaylı olarak anlatılmıştır.

Yukarıda anlatıldığı gibi emisyonların oluşumunda motor ve aracın özelliklerinin yanında, motorun çalışma şartları da etkilidir. Araç seyir halinde iken, motor devri, hava fazlalık katsayısı, ortam ve motor sıcaklıkları değişimi ve ateşleme zamanı yanmayı ve dolayısıyla emisyon değerlerini etkilemektedir. Bu sebeple aracın rölantide çalışması, sabit hızda seyir etmesi ve hızının artma ve azalması emisyon değerleri üzerinde etkin olmaktadır. Dolayısıyla taşıt tiplerinin belirlenmesi ve onaylanması amacıyla seyir çevrimleri oluşturulmuştur.

Avrupa, Amerika, Japonya ve Türkiye’de kullanılan seyir çevrimleri 5. bölümde detaylı olarak ele alınmıştır.

1.2 Tezin Amacı

İstanbul’un sanayi, turizm ve ticaret merkezi olmasından, nüfus ve yerleşim alanlarının kontrolsüz bir şekilde artmasından dolayı ulaşım sorunu sürekli olarak artmaktadır. Nüfusa bağlı artan araç sayısı sebebiyle trafik tıkanıklıkları ve buna bağlı olarak trafikte geçirilen süre, yakıt tüketimi ve sera gazı emisyonlarında da artış görülmektedir.

Bu çalışmada boğaz geçişinde trafiğin en yoğun olduğu saatlerde, kısa mesafe, yoğun trafikli yol ile dış çeper çevre yolu kullanımının yakıt tüketimi ve karbondioksit emisyonu açısından kıyaslanması yapılacaktır.

1.3 Hipotez

Literatür araştırmalarından anlaşıldığı üzere, trafik sıkışıklığı yani trafikte kalınan süre, kat edilen yol ve motorun değişken şartlarındaki taşıt hızı yakıt tüketimini ve dolayısıyla karbondioksit emisyon miktarını etkileyen başlıca faktörlerdendir.

Kıyaslamanın basit ve doğru bir şekilde yapılabilmesi için Viaport Alışveriş Merkezi – Alibeyköy Cep Otogarı güzergahı seçilmiştir. Çalışma metodu olarak, trafiğin en yoğun olduğu saatlerde (işe gidiş – iş çıkışı) gidiş dönüş trafik durumu Google Haritalar

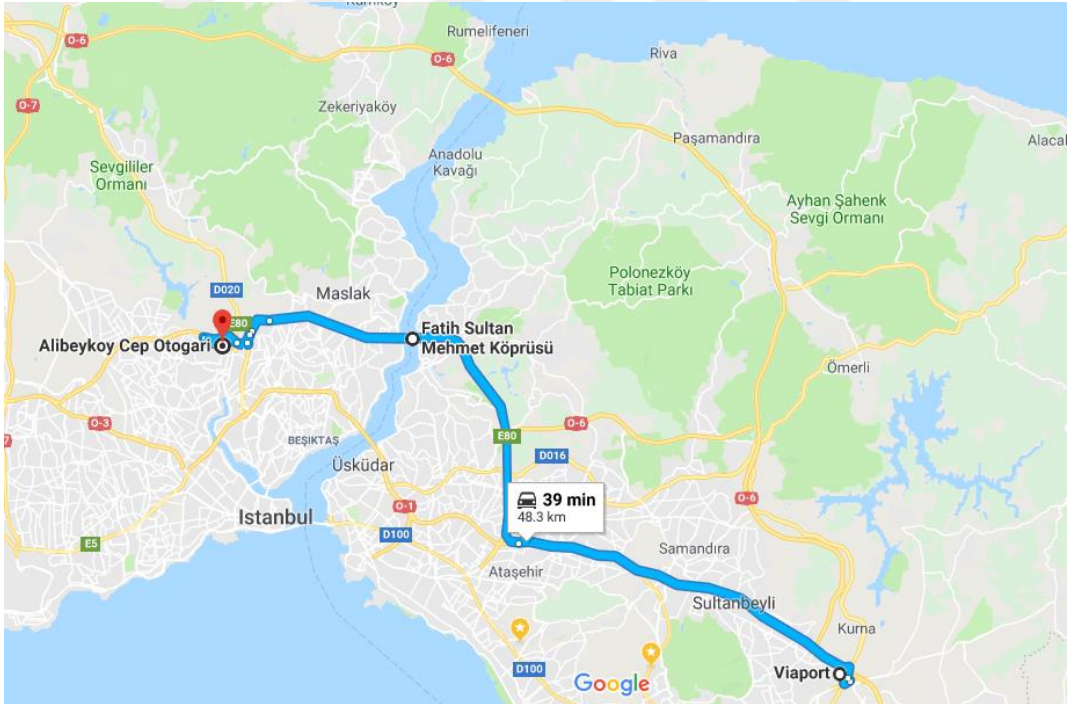
vasıtasıyla kayıt altına alınacak ve deneysel yöntem ile sürüş yapıp kayıt altına alınan veriler doğrulanacaktır.

Viaport Alışveriş Merkezi → Alibeyköy Cep Otogarı

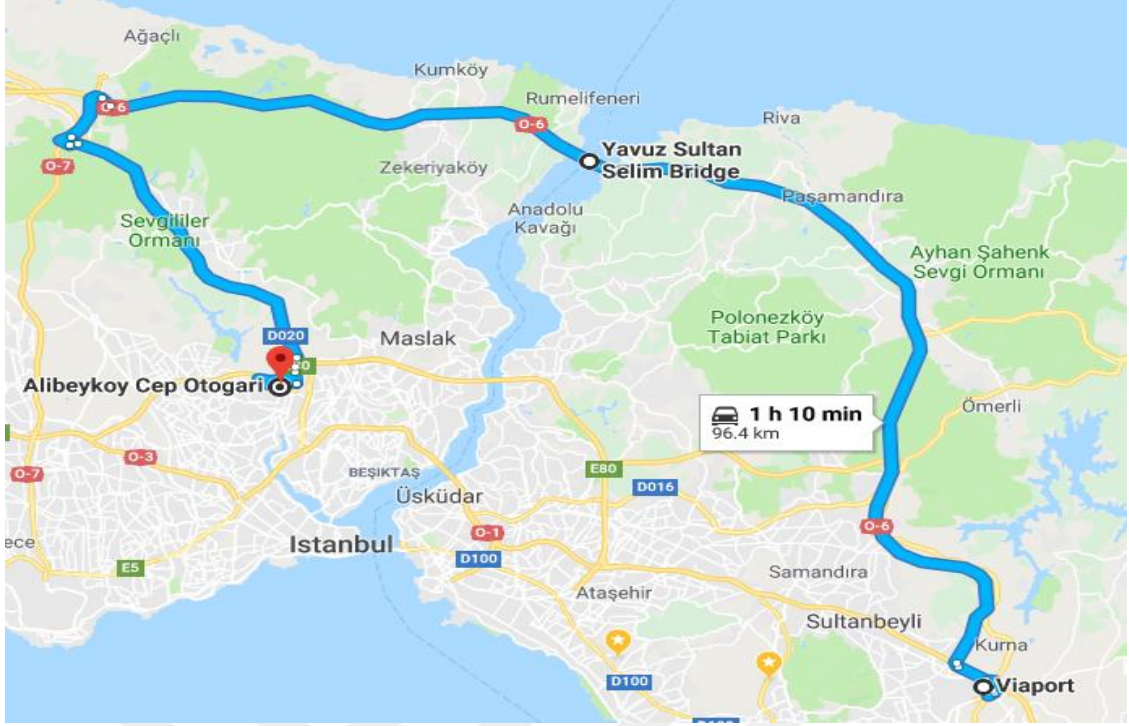
- Toplam katedilen yol (E-80 Otoyolu): 48.3km
- Trafiksiz zamanda yolda geçen süre (E-80 Otoyolu): 39 dakika
- Toplam katedilen yol (O-7 Otoyolu): 96.4km
- Trafiksiz zamanda yolda geçen süre (O-7 Otoyolu): 1 saat 10 dakika

Alibeyköy Cep Otogarı → Viaport Alışveriş Merkezi

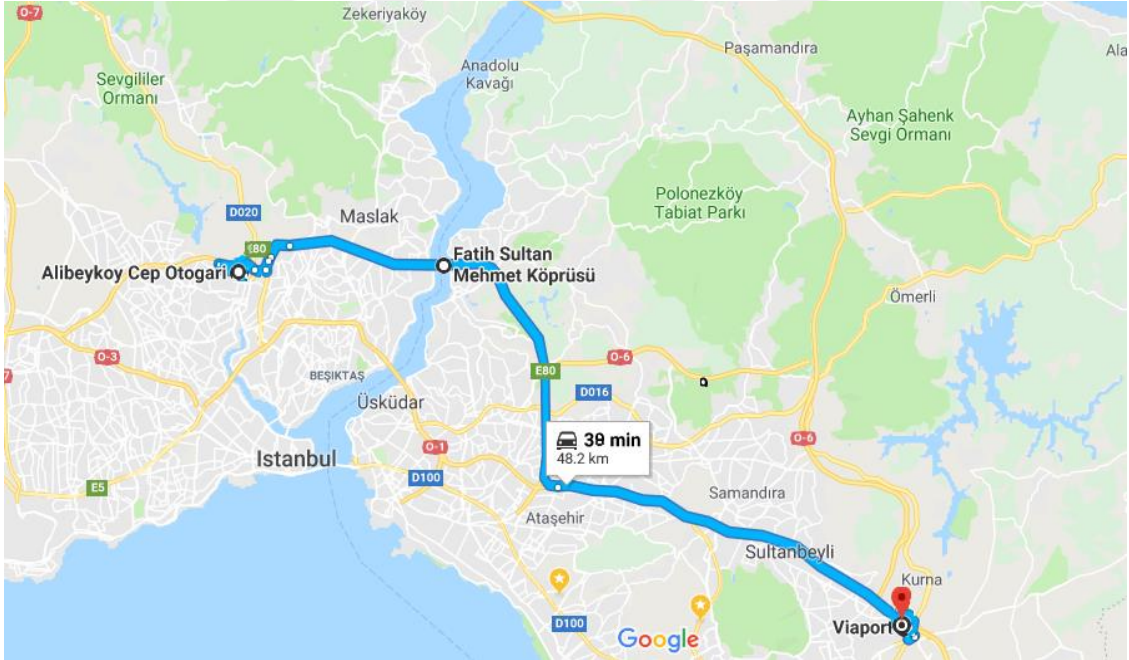
- Toplam katedilen yol (E-80 Otoyolu): 48.2km
- Trafiksiz zamanda yolda geçen süre (E-80 Otoyolu): 38 dakika
- Toplam katedilen yol (O-7 Otoyolu): 95.2km
- Trafiksiz zamanda yolda geçen süre (O-7 Otoyolu): 1 saat 10 dakika



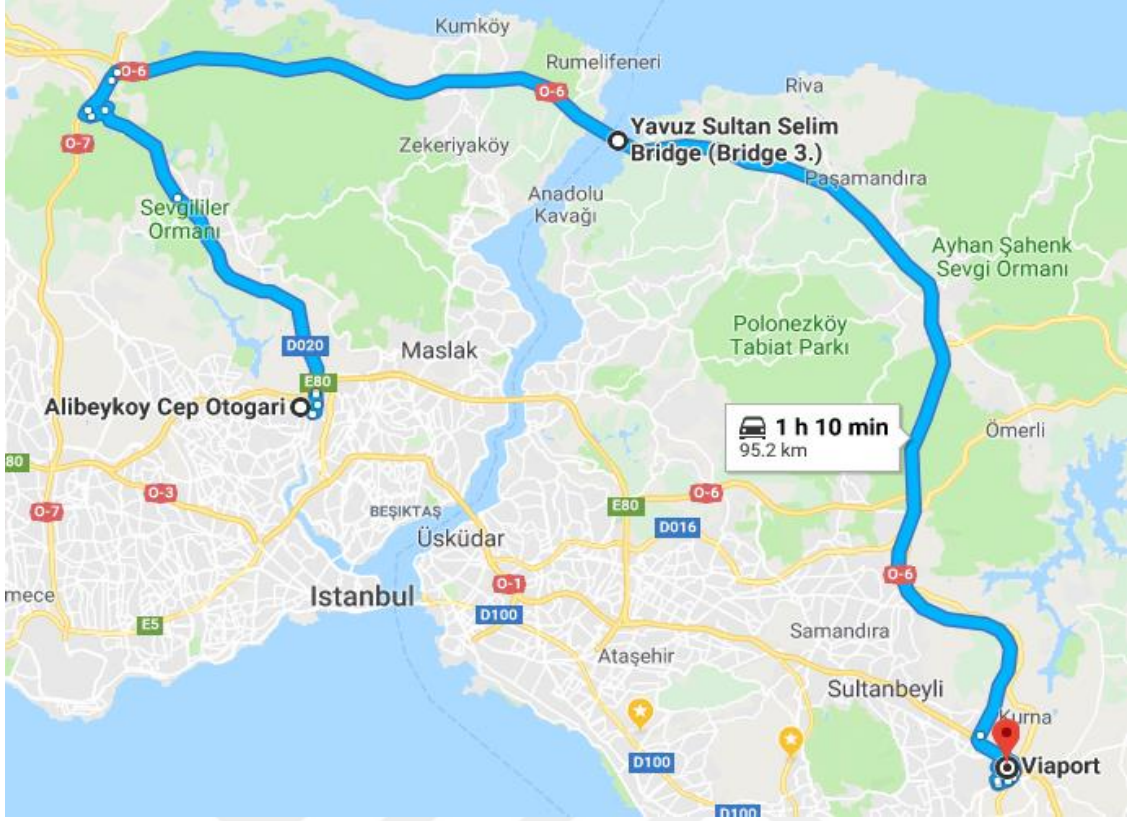
Şekil 1.1 Viaport alışveriş merkezi–Alibeyköy cep otogarı E-80 otoyolu güzergahı



Şekil 1.2 Viaport alışveriş merkezi–Alibeyköy cep otagarı O-7 otoyolu güzergahı



Şekil 1.3 Alibeyköy cep otagarı–Viaport alışveriş merkezi E-80 otoyolu güzergahı



Şekil 1.4 Alibeyköy cep otogarı–Viaport alışveriş merkezi O-7 otoyolu güzergahı

Trafiksiz bir zamanda belirlenen başlangıç ve bitiş noktaları arasında gidiş ve dönüşte, katedilen yol ve trafikte kalınan süre değişkenleri gözönünde bulundurulur ise (diğer şartların eşit olması durumunda), kısa mesafe (E-80) rotası kullanımında, dış çeper çevre yoluna (O-7) göre daha az yakıt tüketilmesi ve daha az karbondioksit emisyonu çıkacağı düşünülmektedir. Trafiğin yoğun olduğu zamanlarda alternatif güzergah olan dış çeper çevre yolunun kullanılması, yakıt tüketimi ve karbondioksit emisyonu açısından faydalı olacağı ve de zamandan tasarruf sağlanacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 2

HAVA KİRLİLİĞİ

Hava kirliliği ve kontrolü mühendislik konseyi, hava kirliliğini “İnsana, bitkiye ya da mülke zarar verecek miktar, yoğunluk ve sürede, toz, duman, gaz, buğu, koku, veya buhar gibi bir veya daha fazla kirleticinin atmosferde bulunma durumudur.” Şeklinde tanımlamaktadır [5].

Hava kirliliği, yukarıda tanımlandığı gibi, yeni bir fenomen değildir. Doğal olaylar her zaman muazzam miktarda hava kirliliğinin doğrudan sebebi olmuştur. Örneğin, yanardağlar toprağa püskürüyor ve kül, hidrojen sülfür, sülfür dioksit gibi zehirli gaz ve partikülleri atmosfere yayıyorlar. İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan tüm hava kirliliğinin, üç volkan patlaması sırasında ortaya çıkan miktarlardan az olduğu tahmin edilmektedir: 1883 yılında Endonezya'daki Krakatoa, 1912'de Alaska'da Katmai ve 1947'de İzlanda'daki Hekla.

Yüzyıllar boyunca insanlar, toz gibi diğer doğal kirleticiler, bataklıktaki maddelerden ayrılan metan ve ormanlar tarafından yayılan çeşitli zararlı bileşikler tarafından nüfuz ettirilen bir atmosfere maruz kalmıştır. Bazı bilim adamları, bu doğal süreçler ile insan aktivitelerini kıyasladığında, doğal süreçlerin kükürt içeren bileşik miktarının 2 kat, karbon monoksit miktarının ise 10 kat daha fazla olduğunu görmüşlerdir.

Bunca doğal hava kirliliğinin yanında insan kaynaklı kirlilikleri de düşününce ortaya büyük bir endişe çıkıyor. Endişe, çeşitli faktörlerin birleşiminden kaynaklanıyor.

-Kentleşme ve sanayileşme, küçük alanlarda çok sayıda insanı bir araya getirmiştir.

-İnsanların ürettiği kirlilik, çoğunlukla yaşadıkları ve çalıştıkları yerlere yakın yerlerde açığa çıkar, bu da kirleticilerin nispeten yüksek seviyelerine sürekli olarak maruz kalmalarıyla sonuçlanır.

-İnsan nüfusu hala üstel bir oranda artmaktadır.

Bu nedenle hızla genişleyen sanayi, giderek daha kentleşmiş yaşam tarzları ve artan nüfusla, insan yapımı hava kirleticilerinin kontrolü konusundaki endişe artık açıkça bir gerekliliktir. Hem kirliliği azaltmak hem de mevcut kirlilik düzeyleriyle başa çıkmak için etkili yollar bulunmalıdır.

14. yüzyılın başından itibaren, kömür dumanından ve gazlardan kaynaklanan hava kirliliği not edilmiş ve İngiltere, Almanya ve diğer ülkelerde de büyük bir endişe kaynağı olmuştur [5].

2.1 Hava Kirliliği Kaynakları

Hava kirliliği kaynakları, neredeyse kum taneleri kadar sayıca çoktur. Aslında kum taneleri de rüzgarla sürüklendiklerinde ve havaya uçtuklarında da bir anlamda hava kirleticileri olmaktadır. Onları doğal bir hava kirleticileri olarak sınıflandırabiliriz, ki bu da bu tür kirliliğin her zaman bizimle olduğu anlamına gelmektedir.

Doğal kaynaklı hava kirleticilerin insan aktivitesi kaynaklı olmadığını bu örnekle açıklayabiliriz.

2.1.1 Doğal Kaynaklar

Yukarıda açıklandığı gibi patlayan bir yanardağ, partikül madde yayar. SO₂, H₂S ve metan gibi kirletici gazlar da yayılır. Bir patlamadan kaynaklanan emisyon, volkanik kaynaktan önemli bir mesafe için çevreye zarar verecek kadar büyük olabilir. Volkanik partikül madde ve gaz bulutları çok uzun süreler boyunca havada kalacaktır.

Ormanlarda ve kırlarda kazara meydana gelen yangınlar, insan faaliyetleri tarafından olmalarına rağmen, genellikle doğal kaynaklar olarak sınıflandırılmaktadır [6].

Kontrolsüz orman yangınları korkutucu bir şeydir. Böyle bir yangın, duman, yanmamış hidrokarbonlar, karbon monoksit, karbon dioksit, azot oksitleri ve kül şeklinde büyük miktarlarda kirletici yayar.

Büyük miktarlarda partiküler madde çeken toz fırtınaları, dünyanın birçok yerinde yaygın bir doğal hava kirliliği kaynağıdır. Büyük toz fırtınaları sırasında görünürlüğün azalması, sıklıkla ciddi karayolu kazalarının sebebidir ve hatta hava yolculuğunu da etkileyebilir. Çölden kentsel bölgelere aktarılan partikül maddeler, ev, sanayi ve otomobil sorunlarına yol açmaktadır.

Geniş bir doğal kirletici kaynağı da ağaçlar ve diğer bitki yaşamıdır. Bu yeşil bitkiler, fotosentez yoluyla karbondioksitin oksijene dönüşmesinde büyük rol oynasa da, bunlar hala gezegendeki başlıca hidrokarbon kaynağıdır. Ormanlık alanlar üzerindeki mavi pus, neredeyse tüm orman ağaçları tarafından verilen uçucu organiklerin atmosferik reaksiyonlarından kaynaklanmaktadır. Bitki yaşamına atfedilebilecek bir diğer hava kirletici problemi, insanlarda solunum sıkıntısı ve alerjik reaksiyonlara neden olan polenlerdir [6].

2.1.2 İnsan Kökenli Kaynaklar

2.1.2.1 Endüstriyel Kaynaklar

Endüstriyel kaynaklar sabittir ve her biri nispeten tutarlı nitelikler ve kirletici miktarları yayar. Örneğin bir kağıt fabrikası, bugün olduğu gibi aynı yerde olacak ve büyük bir süreç değişikliği yapılmadığı sürece aynı miktarda kirletici yayacaktır.

Sanayi kirliliğinin büyük bir kısmı mamül ve hammaddelerinden gelmektedir. Cevherden demir ve çelik, ağaçtan kereste, benzin ve ham petrolden diğer yakıtlar ve taş ocaklarından gelen taş. Bu üretim süreçlerinin her biri, kirletici olarak adlandırdığımız birkaç atıkla birlikte bir ürün üretir. Çoğunlukla, kirletici malzemenin bir kısmı veya tamamı geri kazanılabilir ve kullanılabilir bir ürüne dönüştürülebilir.

Endüstriyel kirlilik, ürünleri diğer ürünlere dönüştüren endüstriler tarafından da yayılır. Çelikten otomobil gövdeleri, keresteden mobilyalar, solventlerden boya ve taş ve yağdan asfalt kaplama [6].

2.1.2.2 Kamu Hizmetleri

Modern toplumumuzdaki kamu hizmetleri hayatımızın bir parçası, onlar olmadan nasıl hayatta kaldığımızı hayal etmek çok zor. Bir elektrik santrali, kişisel bilgisayar, televizyon, buzdolabı, dizüstü bilgisayar, cep telefonu, müzik çalarının şarj edilmesi için ve buna ek olarak evimizi ısıtmak ve aydınlatmak için elektrik üretir. Tipik bir termik santrali çevreye CO₂, SO_x ve NO_x gazları yayarak insan sağlığı ve bitki örtüsüne zarar vermektedir.

Ciddi bir hava kirliliği kaynağı olan diğer bir kullanım türü, modern toplumun atıklarını ele alan kaynaktır. Aşırı yüklenmiş, kötü tasarlanmış veya kötü işletilen bir kanalizasyon arıtma tesisi, vatandaşların acil eylem talep etmesine neden olacak bir hava kirliliği sorununa neden olabilir. Dünyadaki birçok ülkede, açık dökümler hala var. Bunlar ateş yakabilir ve zararlı gaz yayılımı yapabilir [6].

2.1.2.3 Kişisel Kaynaklar

Toplum, merkezi sanayilere ve kamu hizmetlerine yönelse de, tek başımıza cevaplayabileceğimiz birçok kişisel hava kirliliği kaynağımız var. Otomobiller, ev fırınları, piknikte yakılan mangallar ve yaprakların yakılması.

Birçok ülkede, herhangi bir büyük şehirde, çok sayıda özel otomobil tarafından yayılan kirletici miktarı, diğer herhangi bir kaynaktan daha fazladır [6].

MOTORLU TAŞIT EMİSYONLARI

3.1 Türkiye Sera Gazı Emisyonları

Atmosfer çeşitli gazlardan meydana gelmektedir. Atmosferde bulunan karbondioksit, metan, azot oksitler, ozon, kloroflorokarbon gibi gazlar yeryüzündeki ısının bir miktarını tutar ve yeryüzünün belirli bir sıcaklıkta sabitlenmesini sağlar. Sera etkisi, dünyanın yüzeyini ısıtan doğal bir süreçtir. Güneş enerjisi dünyanın atmosferine ulaştığında, bir kısmı uzaya geri yansır ve geri kalanı da sera gazları tarafından emilir ve yeniden yayılır. Başlıca sera gazı etkisi yapan ve Kyöto protokolünde sera gazı olarak kabul edilen bileşikler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır [7].

- Karbon dioksit (CO₂)
- Metan (CH₄)
- Nitröz Oksit (N₂O)
- Hidroflorür karbonlar (HFCs)
- Perfloro karbonlar (PFCs)
- Sülfürhekza florid (SF₆) [7]

Sanayi devriminden itibaren, atmosferdeki CO₂ oranı %30, CH₄ oranı iki katından fazla, N₂O oranı ise %15 kadar artmıştır. Karbondioksit oranının artışında temel faktör, fosil yakıtların yakılması ve diğer insan faaliyetleridir [8].

Motorlu taşıtlar, çoğu kentsel alanda, en önemli hava kirletici emisyon kaynaklarından biridir. Kentsel alanların artan alanı, artan araç nüfusu ve artan sürüş mesafeleri, birçok şehirde ciddi kirlilik seviyelerine yol açmıştır. Hava kirleticilerinin toplam emisyonları, genel halk sağlığı sorunlarına yol açabilir.

Türkiye, dünyanın en büyük araç üreticilerinden biridir. Türkiye'de yeni üretilen araçlarda araç ağırlığı, ebat, motor gücü, yakıt tüketimi ve karbondioksit emisyonu gibi filo özelliklerinin farklılığı göz önüne alındığında, bu durum AB'deki piyasaya benzer. Teknolojideki hızlı gelişmeler ve sürekli büyüyen dünya nüfusu ile enerji tüketimi artmakta, önemli sorunlar oluşturmaktadır. İçten yanmalı motorlarda ana enerji kaynağı olarak fosil bazlı yakıt kullanılması, motorlu taşıtları birincil hava kirliliği kaynağı haline getirmektedir. Şehirlerde hava kirliliği kaynağı olarak trafikte motorlu araç sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Taşıt sayısı ve trafik sıklığı arttıkça ulaşımın yol açtığı hava kirletici emisyonu da aynı oranda artmaktadır [9].

Otomotiv kaynaklı hava kirliliği, ilk olarak 1940'ta Kalifornia'da problem olarak tanımlandı ve 1960'lardan beri emisyon standartları çıkarılmakta ve geliştirilmektedir.

Benzin ve diesel kullanan motorlu taşıtlar, büyük miktarlarda karbonmonoksit (CO), yanmamış hidrokarbonlar (HC), azot oksitler (NOx) ve benzen, formaldehit, asetaldehit, kurşun ve parçacıklar gibi toksik maddeleri yayarlar [10].

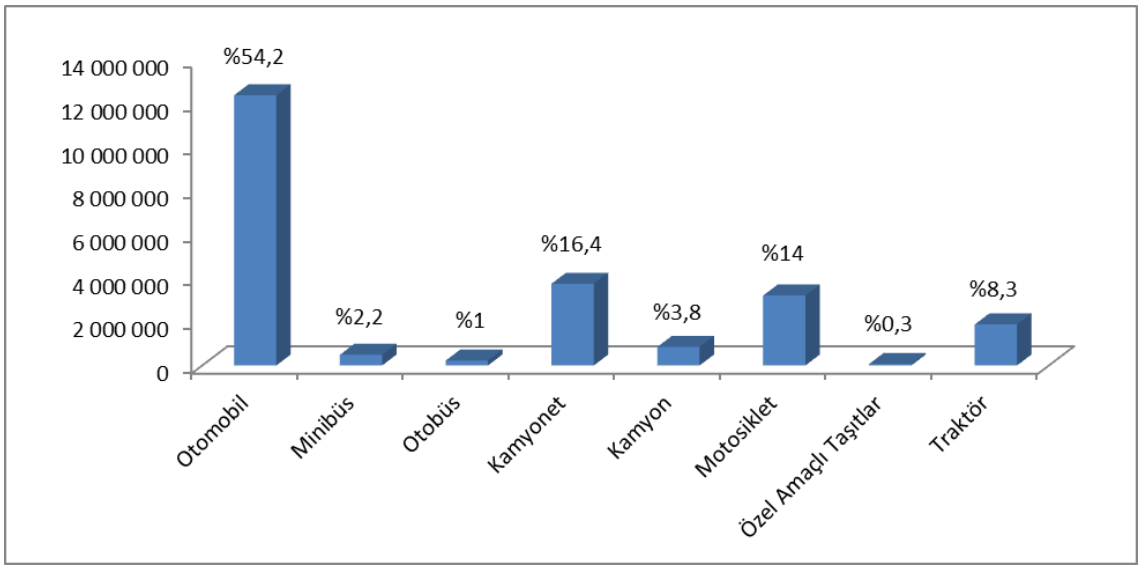
Bu emisyonların çoğunlukla otomobil kaynaklı olmasından ve hidrokarbon içerikli yakıtlar kullanıldığı için, içten yanmalı motorların emisyonları önem kazanmıştır. Taşıtlarda bu emisyonların oluşmasını önlemek ve azaltmak için egzoz gazlarına uygulanan katalitik konvertör uygulamaları ve partikül filtreleri gibi son işlemler önem kazanmıştır [9].

Teknoloji, fosil yakıt emisyonlarının iyileştirilmesine ve enerji tasarrufunun arttırılmasına yönelik olarak gelişmektedir. Taşıt üreticileri emisyon değerlerini en aza indirmeye çalışsa da nüfus artışı sebebiyle trafikteki araç sayısı çoğalmaktadır. Sera gazı salınımlarında büyük bir payda taşıtlardır.

An itibiriyle Türkiye'de trafiğe kayıtlı motorlu kara taşıtlarının dağılımı aşağıdaki Çizelge 3.1'de gösterilmektedir. [11]

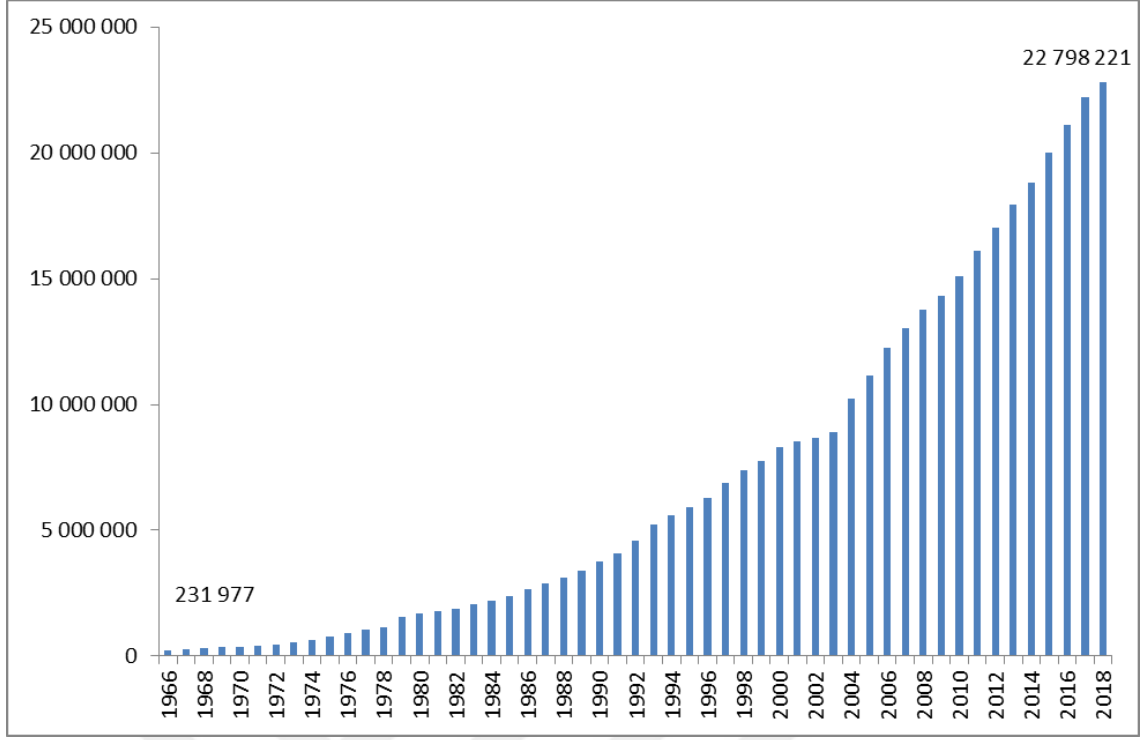
Çizelge 3.1

Araç Tipi	Araç Sayısı
Otomobil	12.364.139
Minibüs	487.025
Otobüs	220.414
Kamyonet	3.739.853
Kamyon	847.879
Motosiklet	3.200.549
Özel Amaçlı Taşıtlar	62.823
Traktör	1.875.539
Toplam	22.798.221



Şekil 3.1 2018 yılında trafiğe kayıtlı motorlu kara taşıtlarının dağılımı

1966 yılından itibaren yıllara göre trafiğe kayıtlı motorlu kara taşıtlarının sayısı ve dağılımı Şekil 3.2’de gösterilmiştir [11].



Şekil 3.2 1966'dan günümüze yıllara göre trafiğe kayıtlı motorlu kara taşıtlarının sayısı ve dağılımı

Aşağıdaki tablolarda Türkiye İstatistik Kurumu'nun yayınladığı sektörlere göre toplam sera gazı emisyonlarını ve yıllara göre sera gazı miktarlarını görebiliriz [12].

Sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları (CO₂ eşdeğeri), 1990 - 2016Greenhouse gas emissions by sectors (CO₂ equivalent), 1990 - 2016

(Milyon ton - Million tonnes)

Yıl Year	Toplam Total	1990 yılına göre değişim (%) Change compared to 1990 (%)	Enerji Energy	Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı Industrial processes and product use	Tarımsal faaliyetler Agriculture	Atık Waste
1990	210,7	-	134,3	22,9	42,4	11,1
1991	218,7	3,8	139,3	24,9	43,3	11,3
1992	224,7	6,6	145,4	24,3	43,4	11,5
1993	233,4	10,7	152,7	24,9	44,0	11,8
1994	227,6	8,0	149,3	24,5	41,7	12,0
1995	242,2	14,9	162,7	26,1	41,0	12,4
1996	261,2	23,9	179,8	26,9	41,7	12,7
1997	272,6	29,4	191,8	27,8	39,8	13,2
1998	274,5	30,3	191,6	28,1	41,2	13,5
1999	272,1	29,1	189,8	26,5	41,8	14,0
2000	293,5	39,3	212,3	26,6	40,0	14,5
2001	274,4	30,2	195,2	26,6	37,7	15,0
2002	280,8	33,3	201,9	27,9	35,5	15,4
2003	300,3	42,5	216,4	29,1	38,9	15,9
2004	311,2	47,7	223,1	31,8	39,8	16,5
2005	332,7	57,9	240,3	34,6	40,8	16,9
2006	356,8	69,3	260,0	37,4	42,0	17,5
2007	390,5	85,3	291,0	40,0	41,7	17,7
2008	387,9	84,1	288,4	41,9	39,7	17,8
2009	395,9	87,9	294,0	43,4	40,6	17,9
2010	402,6	91,0	292,3	49,2	42,8	18,2
2011	431,4	104,7	313,4	54,4	45,1	18,5
2012	445,6	111,5	320,1	56,8	50,6	18,1
2013	439,0	108,3	308,8	59,8	53,6	16,8
2014	451,8	114,4	321,3	60,2	53,7	16,6
2015	469,9	123,0	339,7	59,6	53,7	17,0
2016	496,1	135,4	361,0	62,4	56,5	16,2

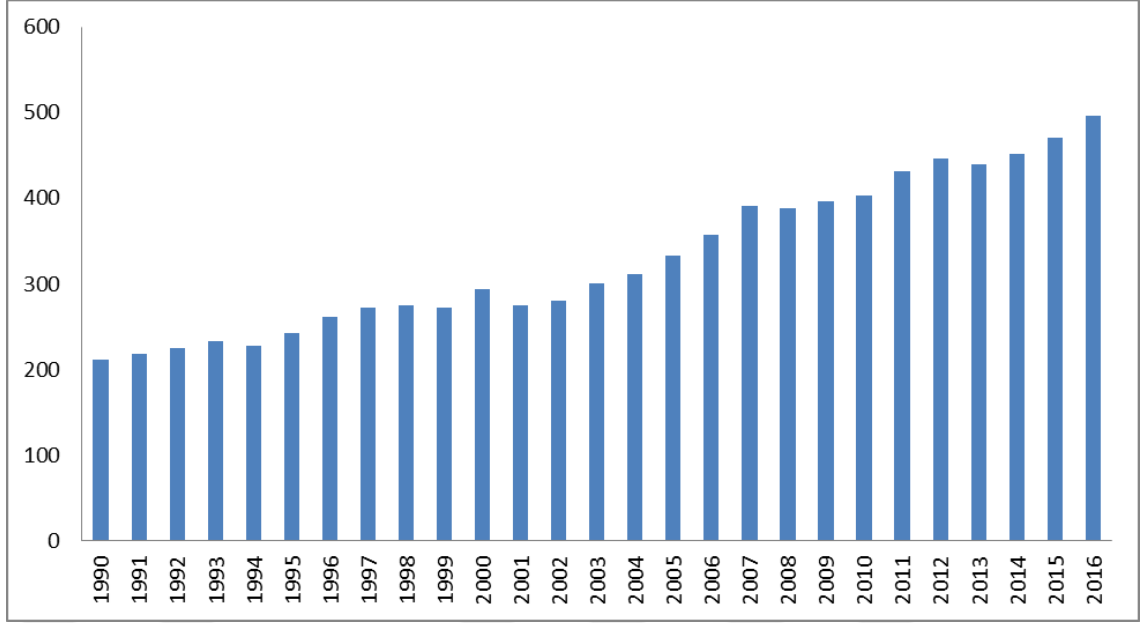
Şekil 3.3 1990-2016 yılları arası sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları

Sera gazı emisyonları (CO₂ eşdeğeri), 1990 - 2016Greenhouse gas emissions (CO₂ equivalent), 1990 - 2016

(Milyon ton - Million tonnes)

Yıl Year	Toplam Total	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	F-gazları F-gases
1990	210,7	146,5	42,2	21,4	0,6
1991	218,7	153,5	43,1	21,2	0,9
1992	224,7	159,1	43,1	21,8	0,7
1993	233,4	167,3	42,9	22,8	0,4
1994	227,6	163,8	42,6	20,4	0,7
1995	242,2	178,3	42,4	20,9	0,6
1996	261,2	195,8	42,7	21,6	1,1
1997	272,6	208,0	42,0	21,5	1,1
1998	274,5	208,0	42,3	23,0	1,2
1999	272,1	203,9	43,7	23,3	1,2
2000	293,5	226,0	43,5	22,6	1,4
2001	274,4	209,5	42,9	20,5	1,5
2002	280,8	217,7	40,8	20,6	1,7
2003	300,3	233,0	43,0	22,5	2,0
2004	311,2	241,9	43,7	23,4	2,3
2005	332,7	260,9	45,5	23,7	2,6
2006	356,8	281,5	47,1	25,3	2,9
2007	390,5	312,9	49,7	24,6	3,3
2008	387,9	310,4	50,8	23,2	3,5
2009	395,9	316,8	50,5	25,1	3,4
2010	402,6	319,5	52,5	25,9	4,7
2011	431,4	344,7	54,7	26,8	5,2
2012	445,6	354,1	58,0	27,6	5,9
2013	439,0	346,8	56,8	29,3	6,1
2014	451,8	357,6	58,1	29,3	6,8
2015	469,9	380,9	52,4	29,8	6,9
2016	496,1	402,8	54,7	32,0	6,6

Şekil 3.4 1990-2016 yılları arası toplam sera gazı emisyonları



Şekil 3.5 1990-2016 yılları arası toplam sera gazı emisyonları (milyon ton – yıl)

CO2 emisyonları, 1990 - 2016												
CO2 emissions, 1990 - 2016												
		(Bin ton - Thousand tonnes)										
Sera gazı kaynakları												
Greenhouse gas sources												
		1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Toplam	Total	146 507,2	178 310,3	226 029,8	260 898,0	319 528,4	344 745,5	354 134,8	346 781,0	357 560,0	380 858,1	402 820,8
Enerji	Energy	124 822,8	153 352,1	200 985,6	228 972,5	276 009,7	296 691,2	304 437,9	294 046,4	305 210,0	328 847,9	346 906,9
Yakıt yanması	Fuel combustion	124 602,4	153 142,9	200 817,7	228 830,8	275 853,4	296 540,5	304 294,1	293 900,8	305 064,4	328 693,2	346 748,8
Çevrim ve enerji sektörü	Energy industries	36 882,9	50 401,3	77 776,1	89 822,1	112 787,0	124 406,0	125 578,0	120 178,1	130 648,0	135 132,7	143 327,0
İmalat sanayi ve inşaat	Manufacturing industries and construction	32 224,9	36 279,8	53 390,9	58 747,0	54 216,8	56 378,8	57 488,5	51 579,4	52 088,3	57 084,7	59 461,3
Ulaştırma	Transport	26 250,8	33 180,0	35 490,2	41 043,8	44 382,6	46 366,8	61 248,5	67 478,1	72 084,3	74 271,6	80 207,8
Diğer sektörler	Other sectors	29 243,8	33 281,7	34 160,4	39 217,9	64 467,0	69 388,9	59 979,0	54 665,2	50 243,8	62 204,2	63 752,7
Kaçak emisyonlar	Fugitive emissions from fuels	220,2	209,1	167,8	141,6	156,2	150,5	143,7	145,5	145,5	154,6	157,9
Karbondioksit taşıma ve depolama	Carbodioksit transport and storage	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı	Industrial processes and product use	21 197,1	24 505,4	24 403,9	31 304,2	42 867,8	47 491,3	49 052,4	51 924,8	51 561,8	51 198,8	54 617,4
Mineral ürünleri	Mineral products	13 452,1	17 585,7	18 456,2	23 276,2	33 389,2	35 294,0	36 370,2	39 583,1	39 792,5	38 430,6	41 924,0
Kimya sanayi	Chemical industry	1 060,3	891,4	285,4	977,1	333,6	1 379,6	1 520,7	1 061,9	1 154,1	1 613,9	1 136,0
Metal üretimi	Metal production	6 501,2	5 825,5	5 385,1	6 605,2	8 713,4	9 964,0	10 555,9	10 746,1	10 216,0	10 887,7	11 411,2
Enerji dışı yakıt ve solvent kullanımı	Non-energy products from fuels and solvent use	183,4	202,8	277,1	445,7	431,6	853,7	605,5	533,6	399,2	266,5	146,2
Tarım	Agriculture	459,9	425,9	617,5	613,2	645,0	557,5	639,8	807,3	787,7	810,6	1 295,3
Üre uygulaması	Urea application	459,9	425,9	617,5	613,2	645,0	557,5	639,8	807,3	787,7	810,6	1 295,3
Atık	Waste	27,4	26,8	22,9	8,1	6,0	5,4	4,7	2,4	0,5	0,8	1,1
Atıkların açıkta yakılması	Open burning of waste	27,4	26,8	22,9	8,1	6,0	5,4	4,7	2,4	0,5	0,8	1,1

Şekil 3.6 1990-2016 yılları arası toplam CO₂ gazı emisyonları

CH4 emisyonları, 1990 - 2016

CH4 emissions, 1990 - 2016

(Bin ton - Thousand tonnes)

Sera gazı kaynakları	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Greenhouse gas sources											
Toplam - Total	1 687,3	1 694,9	1 739,4	1 818,7	2 098,5	2 188,4	2 318,6	2 270,9	2 325,2	2 095,7	2 188,7
Enerji - Energy	302,4	280,4	352,9	329,6	493,9	498,3	511,9	469,0	515,3	286,1	407,7
Yakıt yanması - Fuel combustion	139,2	133,6	121,7	113,1	175,5	149,4	150,8	148,5	124,2	82,4	82,2
Çevrim ve enerji sektörü - Energy industries	0,4	0,6	0,9	1,2	1,7	1,9	1,9	1,8	2,0	2,0	2,0
İmalat sanayi ve inşaat											
Manufacturing industries and construction	2,1	2,0	3,9	3,8	3,1	3,1	3,0	2,8	3,0	3,2	3,3
Ulaştırma - Transport	4,0	5,5	8,9	8,6	11,4	11,5	12,6	13,0	13,6	14,5	15,4
Diğer sektörler - Other sectors	132,7	125,6	107,9	99,5	159,2	132,9	133,2	130,9	105,6	62,7	61,6
Kaçak emisyonlar - Fugitive emissions from fuels	163,2	146,8	231,2	216,5	318,5	349,0	361,1	320,6	391,2	203,7	325,5
Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı											
Industrial processes and product use	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7
Kimya sanayi - Chemical industry	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Metal üretimi - Metal production	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7
Tarım - Agriculture	1 000,8	983,4	873,4	880,9	949,7	1 025,3	1 159,5	1 210,0	1 225,6	1 211,3	1 215,8
Enterik fermentasyon - Enteric fermentation	892,6	868,2	765,0	786,5	836,5	912,3	1 029,6	1 074,0	1 083,8	1 075,5	1 076,9
Gübre yönetimi - Manure management	94,1	101,0	93,3	78,4	98,8	98,1	113,5	119,9	126,5	121,2	124,5
Pirinç ekimi - Rice cultivation	4,0	4,5	5,1	7,3	8,1	8,2	10,0	9,2	9,2	9,6	9,7
Tarımsal artıkların açıkta yakılması											
Field burning of agricultural residues	10,1	9,7	9,9	8,7	6,3	6,8	6,4	6,9	6,1	4,9	4,6
Atık - Waste	383,9	430,8	512,7	607,8	654,4	664,3	646,7	591,3	583,8	597,8	564,5
Atık depolama sahaları - Solid waste disposal	269,2	306,1	388,5	483,4	534,3	545,8	528,6	485,9	486,6	502,3	467,3
Kompostlama - Composting	0,4	0,4	0,6	0,7	0,5	0,7	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
Atıkların açıkta yakılması - Open burning of waste	2,7	2,6	2,2	1,2	0,9	0,8	0,7	0,4	0,0	0,0	0,1
Atıksu arıtımı ve deşarjı											
Wastewater treatment and discharge	111,6	121,7	121,4	122,5	118,6	117,1	117,1	104,7	96,8	95,1	96,9

Şekil 3.7 1990-2016 yılları arası toplam CH₄ emisyonları

N2O emisyonları, 1990 - 2016

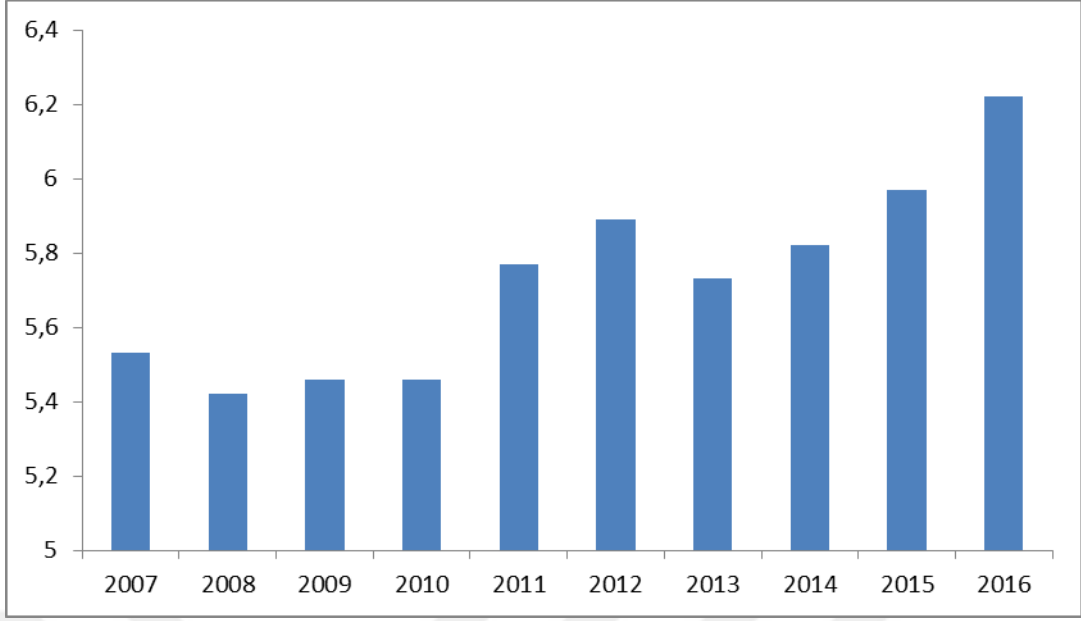
N2O emissions, 1990 - 2016

(Bin ton - Thousand tonnes)

Sera gazı kaynakları	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Greenhouse gas sources											
Toplam - Total	71,8	70,1	75,8	79,5	86,9	89,9	92,6	98,5	98,3	99,9	107,3
Enerji - Energy	6,5	7,8	8,5	10,5	13,3	14,2	9,7	10,1	10,6	12,5	13,0
Yakıt yanması - Fuel combustion	6,5	7,8	8,5	10,5	13,3	14,2	9,7	10,1	10,6	12,5	13,0
Çevrim ve enerji sektörü - Energy industries	0,4	0,5	0,7	2,6	4,0	4,2	3,8	4,1	4,4	3,9	4,1
İmalat sanayi ve inşaat											
Manufacturing industries and construction	0,3	0,3	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5
Ulaştırma - Transport	2,1	2,7	2,5	2,6	2,4	2,5	3,2	3,6	3,8	3,9	4,2
Diğer sektörler - Other sectors	3,7	4,3	4,6	4,7	6,4	7,0	2,1	2,0	2,0	4,2	4,2
Kaçak emisyonlar - Fugitive emissions from fuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı											
Industrial processes and product use	3,6	3,4	2,8	2,4	5,5	5,8	6,0	6,0	6,1	4,9	4,1
Kimya sanayi - Chemical industry	3,6	3,4	2,8	2,4	5,5	5,8	6,0	6,0	6,1	4,9	4,1
Tarım - Agriculture	56,8	53,6	59,0	60,9	61,9	63,5	70,4	75,7	74,9	75,7	83,2
Gübre yönetimi - Manure management	5,9	6,4	6,4	7,3	8,0	8,7	9,8	10,3	10,5	10,6	10,7
Tarımsal topraklar - Agricultural soils	50,6	47,0	52,3	53,3	53,8	54,7	60,4	65,3	64,2	65,0	72,4
Tarımsal artıkların açıkta yakılması											
Field burning of agricultural residues	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
Atık - Waste	4,9	5,3	5,5	5,8	6,2	6,3	6,6	6,7	6,8	6,8	6,9
Kompostlama - Composting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Atıkların açıkta yakılması - Open burning of waste	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Atıksu arıtımı ve deşarjı											
Wastewater treatment and discharge	4,9	5,3	5,5	5,7	6,1	6,3	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9

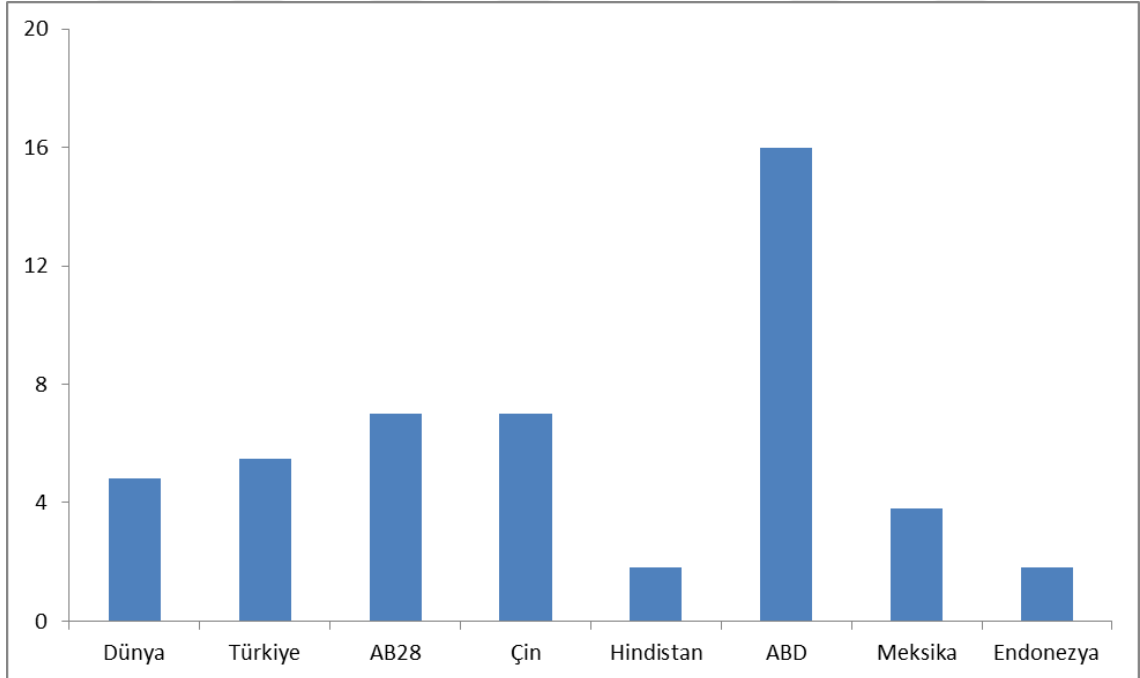
Şekil 3.8 1990-2016 yılları arası toplam NO₂ emisyonları

Emisyonlar yıllara göre hızlı bir şekilde artış gösterirken, kişi başına düşen emisyon miktarı da Şekil 3.9'da görüldüğü gibi artmaktadır [12].

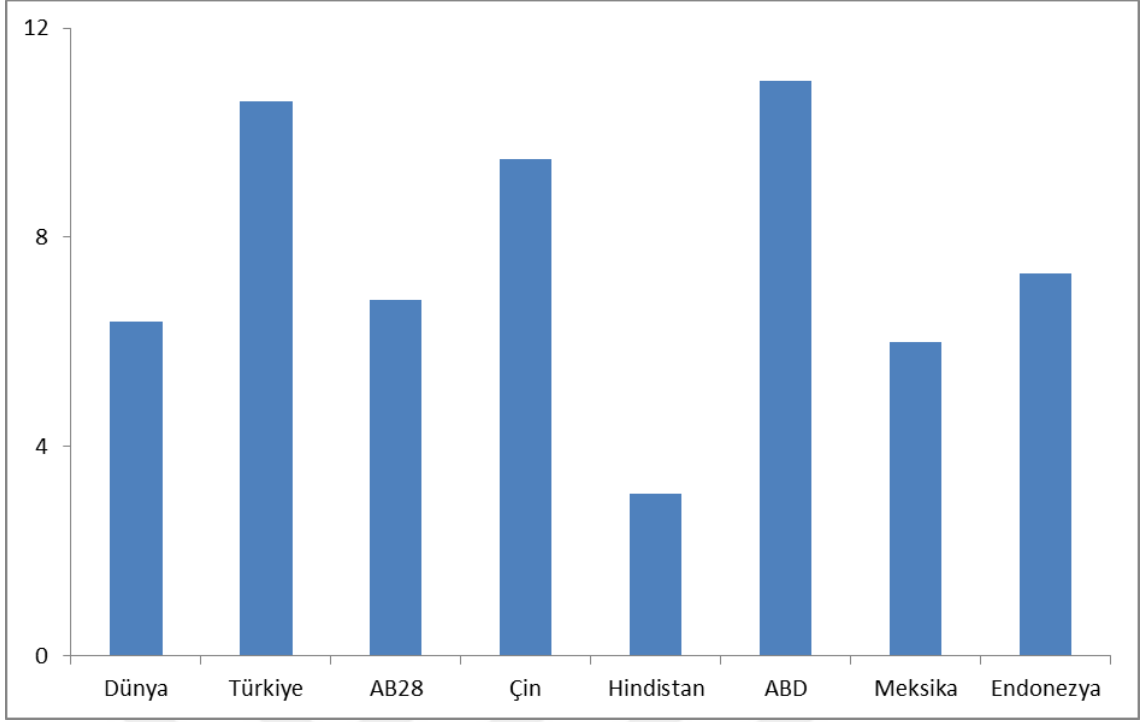


Şekil 3.9 Türkiye’de yıllara göre kişi başına düşen sera gazı emisyonları (ton CO₂e - yıl)

Global Karbon Atlas’ının 2017 verilerine göre Türkiye’deki kişi başına düşen emisyon miktarı pek çok gelişmiş ülkelerden daha az olmasına rağmen [13], tahminlere ve hedeflere göre Türkiye’nin 2030 yılında birçoğunu geride bırakma ihtimali yüksektir [14].

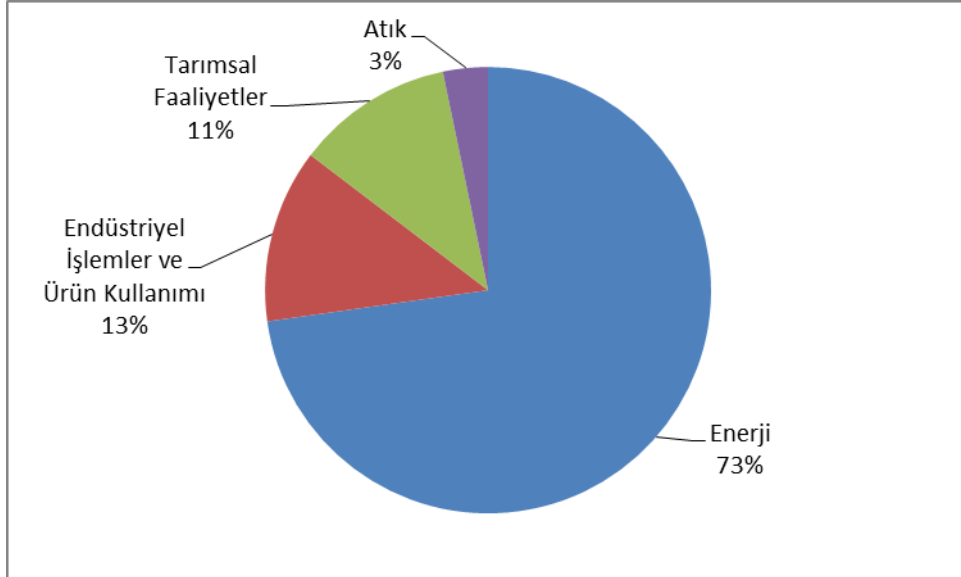


Şekil 3.10 2017 yılı için dünya ve bazı seçilmiş ülkelerde kişi başına düşen emisyon miktarı (ton CO₂e - ülke)



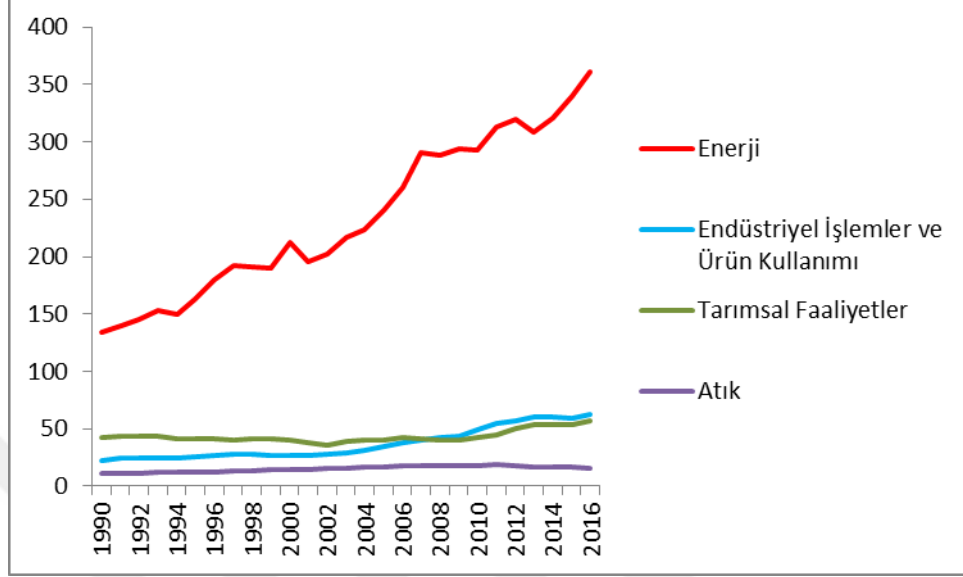
Şekil 3.11 2030 yılı için öngörülen dünya ve bazı seçilmiş ülkelerde kişi başına düşen emisyon miktarı (ton CO_{2e} - ülke)

Şekil 3.3'te gösterilen sektörlere göre 2016 Türkiye emisyon durumuna bakıldığında %73 ile en büyük pay enerji kaynaklı emisyonlara ait iken, endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, tarımsal faaliyetler ve atık sırasıyla, %13, %11 ve %3 oranında paya sahiptir.



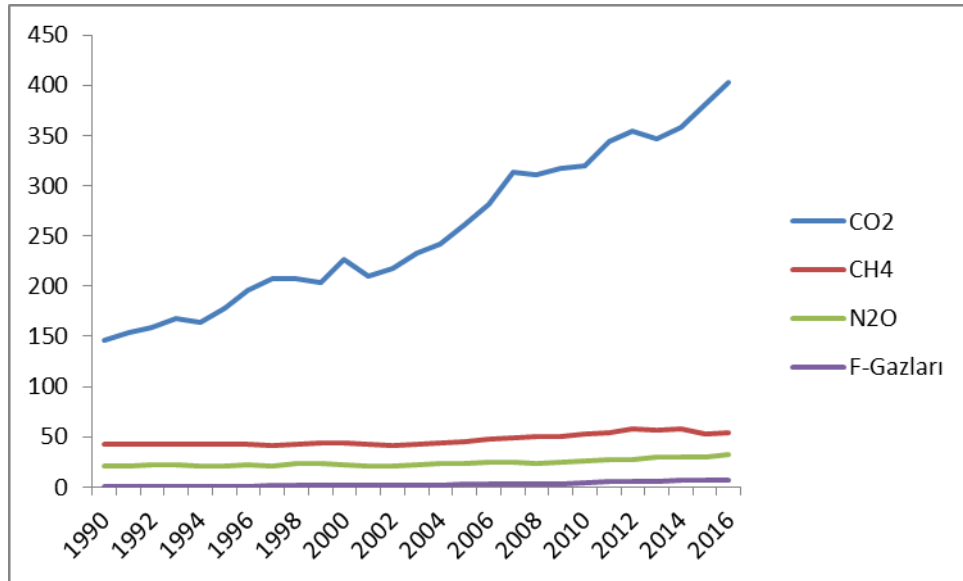
Şekil 3.12 2016 yılı sektörlere göre Türkiye'deki sera gazı emisyonları

Şekil 3.13'te ise 1990 yılından 2016 yılına geçişteki kompozisyonu görebiliyoruz. Şekilden anlaşılacağı üzere, enerji sektörü toplamdaki payını dramatik ölçüde arttırmıştır.



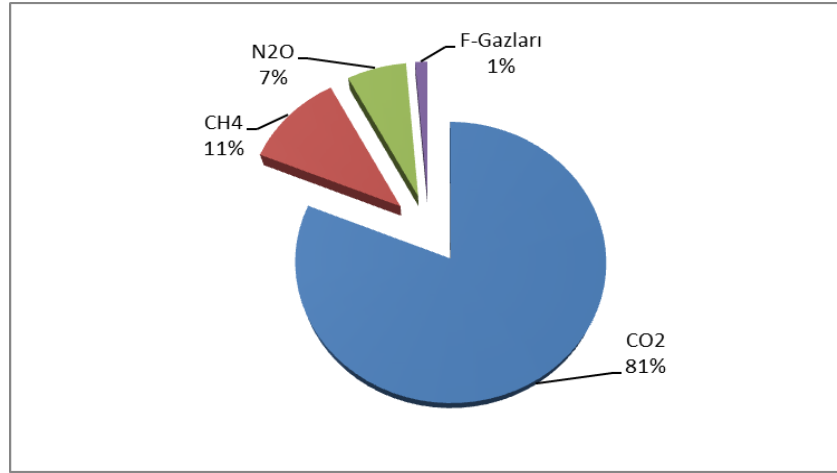
Şekil 3.13 1990-2016 yılları arasında sektörel olarak Türkiye sera gazı emisyonlarının değişimi (milyon ton – yıl)

Sera gazları genelinde emisyon değişimine bakıldığında, Türkiye emisyon durumunda karbondioksit baskın haldedir. Tüm dünyada da bu durum benzerlik göstermektedir. Karbondioksit ile mücadele için fosil yakıt kullanımının azaltılması gerekmektedir.



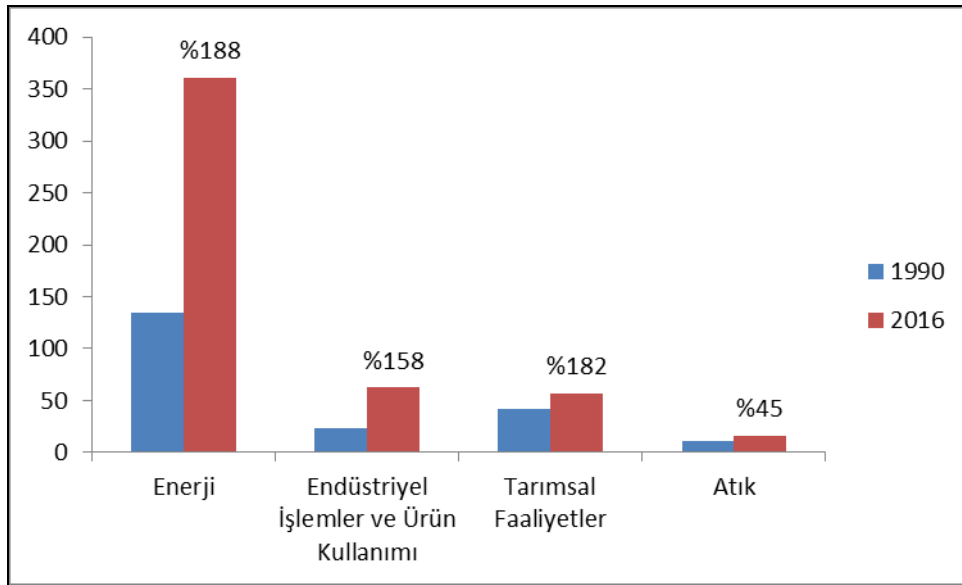
Şekil 3.14 1990-2016 yılları için Türkiye sera gazlarının değişimi (milyon ton – yıl)

Şekil 3.15'te 2016 yılı için sera gazları dağılımına baktığımızda CO₂'nin en büyük paya (%81) sahip olduğunu görmekteyiz. Ardından CH₄ (%11) ve N₂O (%7) gelmektedir.



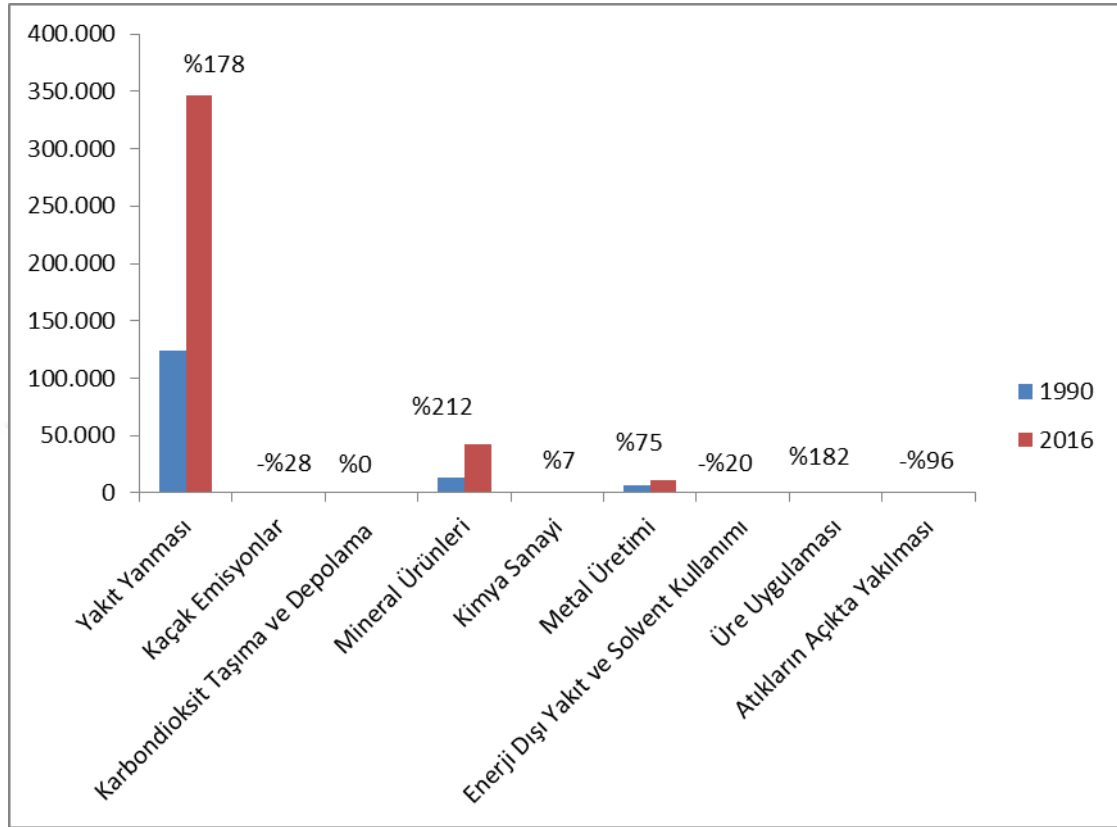
Şekil 3.15 2016 yılına ait Türkiye sera gazları emisyon dağılımı

2016 yılı emisyon dağılımında en yüksek miktara sahip olan CO₂'in sektörel olarak dağılımına bakıldığında en büyük payı enerji sektörünün aldığını görebiliriz. Türkiye İstatistik Kurumu'nun verilerine göre 2016 karbondioksit emisyonlarının %86'sı enerji sektörü kaynaklı iken bunu endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, tarımsal faaliyetler ve atık sırasıyla, %13,6 ve %0,3 oranında takip etmektedir. Şekil 3.16'dan görüldüğü gibi enerji kaynaklı karbondioksit emisyon miktarı 1990 yılına göre %188 oranında artış göstermiştir.



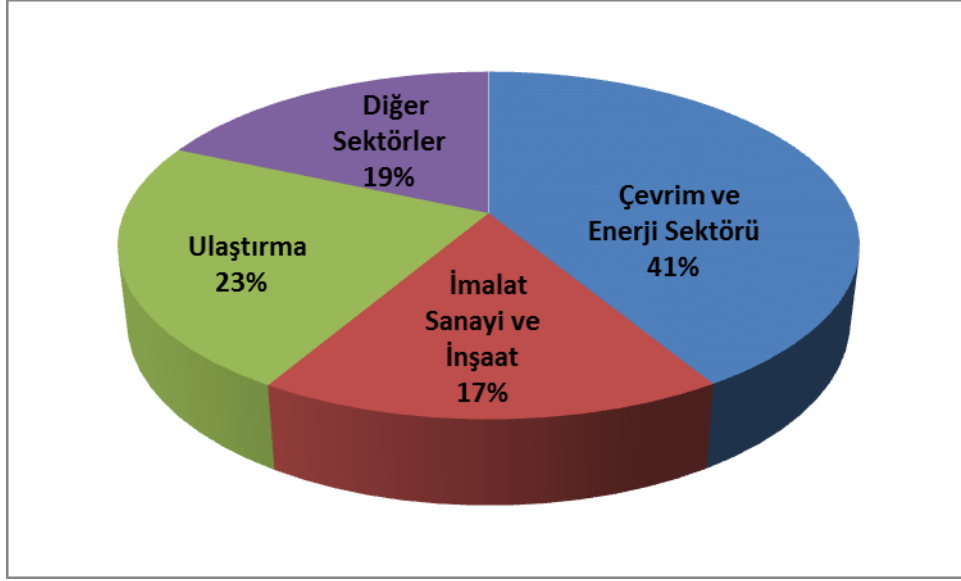
Şekil 3.16 1990-2016 yılları arası sektörlere göre Türkiye CO₂ emisyonları (milyon ton)

Enerjinin alt sektörlerine CO₂ emisyon kaynağı açısından bakıldığında, yakıt yanması diğerlerine göre belirgin bir fark yaratmaktadır. 1990 yılından 2016 yılına göre %178 oranında artış göstermektedir.



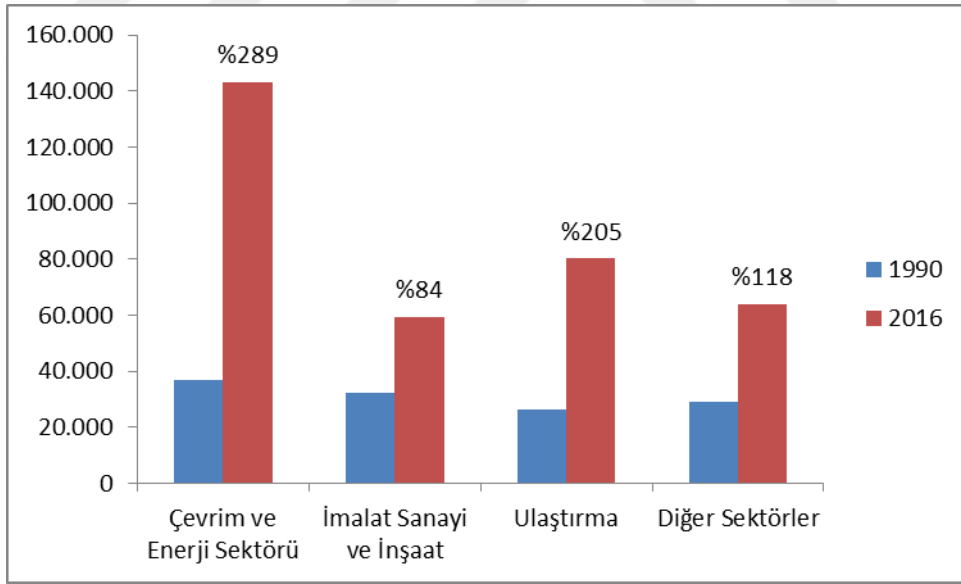
Şekil 3.17 1990-2016 yılları arası Türkiye alt sektörlerin CO₂ emisyonu değişimi (bin ton)

Yakıt yanması'na ait alt sektörler Şekil 3.18'de görüleceği üzere; çevrim ve enerji, imalat sanayi ve inşaat, ulaştırma ve diğer sektörler olarak sıralanmaktadır. Bunların arasından çevrim ve enerji alt sektörü 2016 yılında %41 oranında yakıt yanması sektörünün karbondioksit emisyonlarını oluşturmuştur ve bunu ulaştırma, diğer sektörler, imalat sanayi ve inşaat alt sektörleri sırasıyla %23, %19 ve %17 oranında takip etmektedir.



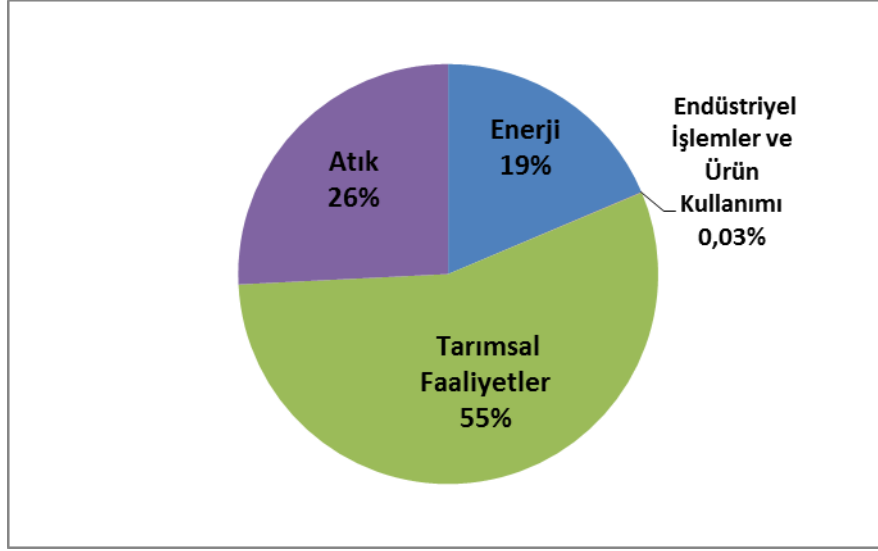
Şekil 3.18 2016 yılı için Türkiye yakıt yanması sektörü alt sektörlerinin karbondioksit emisyon dağılımı

Şekil 3.19'dan da anlaşılacağı üzere CO₂ emisyon miktarlarında 1990-2016 yılları arasında çevrim ve enerji sektörü %289 oranı ile en fazla artışı gösterirken bunu %205 ile ulaştırma sektörü takip etmektedir.



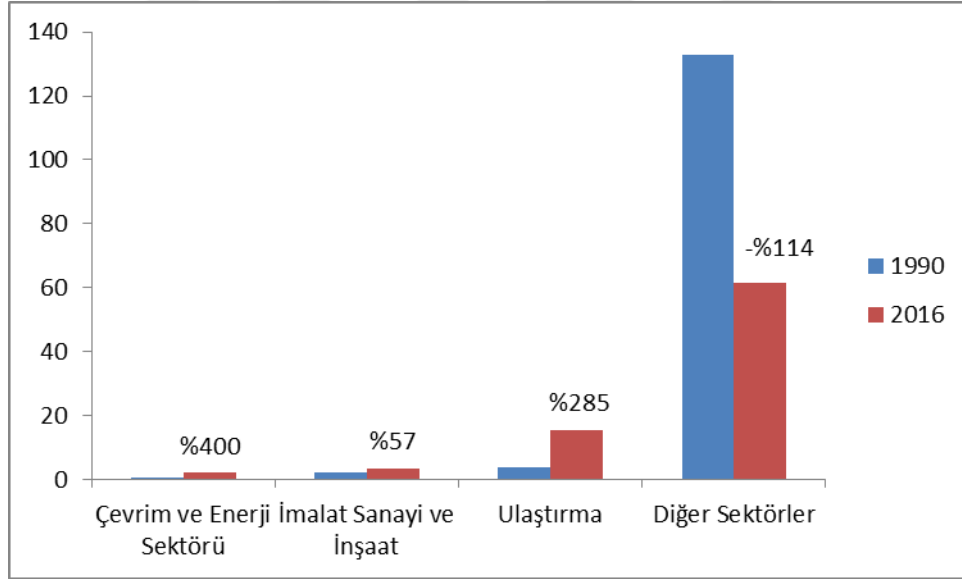
Şekil 3.19 1990-2016 yılları arasında Türkiye yakıt yanması sektörü alt sektörlerinin CO₂ emisyon değişimi (bin ton)

CO₂'den sonra emisyon dağılımında ikinci sırayı alan CH₄ gazlarının kaynakları; tarımsal faaliyetler, enerji, atık ve endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı olarak sıralanabilir. 2016 yılı için dağılımdaki oranları ise sırasıyla %55, %26, %19 ve %0,03 şeklindedir.



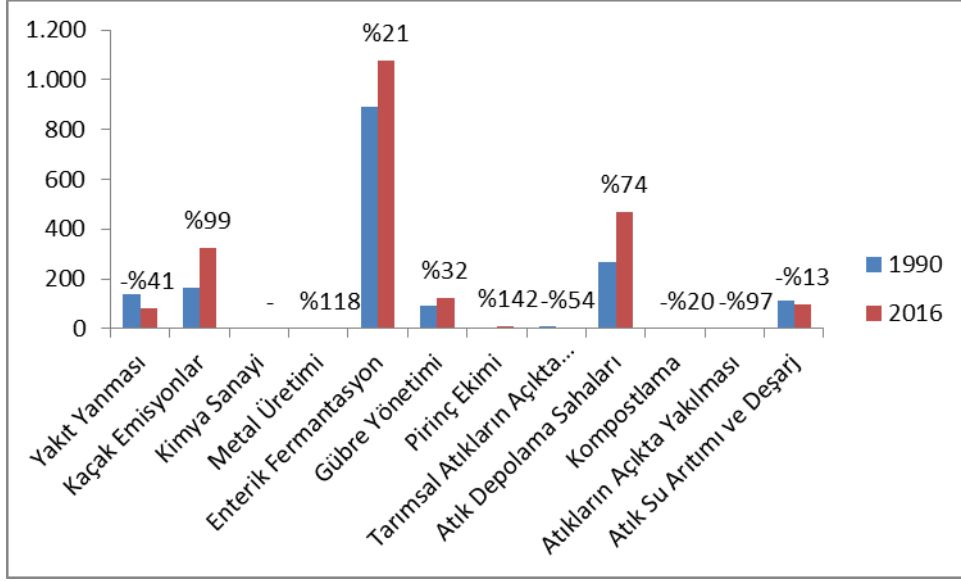
Şekil 3.20 2016 yılı sektörlere göre Türkiye CH₄ emisyon dağılımı

Enerji sektörünün alt sektörü olan yakıt yanmasının alt sektörlerine bakıldığında, ulaştırmanın 1990'dan 2016'ya CH₄ emisyonları açısından değişimini %285 olarak görebiliriz.



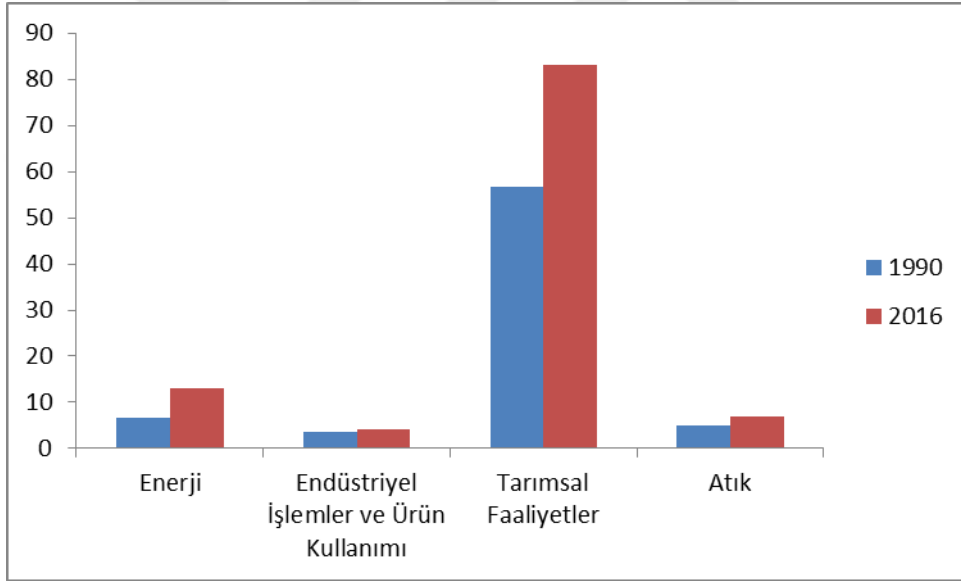
Şekil 3.21 1990-2016 yılları Türkiye yakıt yanması sektörü alt sektörlerinin CH₄ emisyon değişimi (bin ton)

Alt sektörler arasında en fazla CH₄ emisyon payına sahip olan enterik fermentasyonun olduğu Şekil 3.22'den görülmektedir ve bunu atık depolama sahaları ve kaçak emisyonlar takip etmektedir.



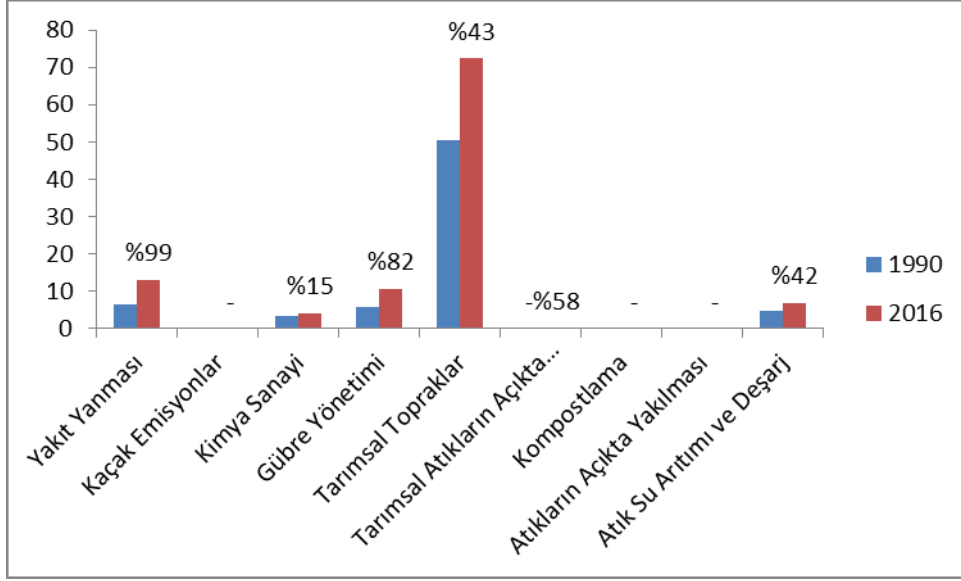
Şekil 3.22 1990-2016 yılları Türkiye alt sektörlerin CH₄ emisyon değişimi (bin ton)

Sera gazı emisyon dağılımında 3. sırada yer alan N₂O emisyonlarının en önemli kaynağını tarımsal faaliyetler oluşturmaktadır.



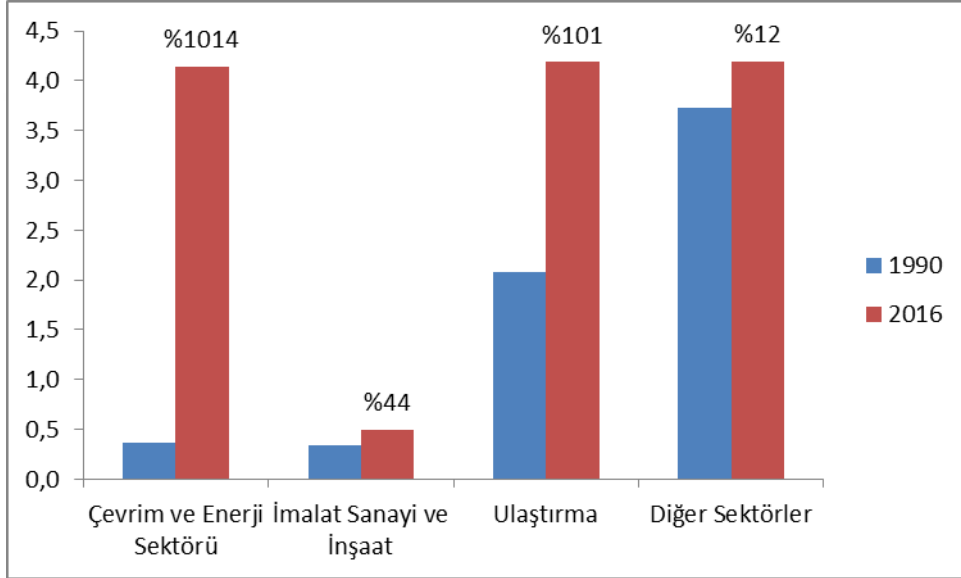
Şekil 3.23 1990-2016 yılları sektörlere göre Türkiye N₂O emisyonları değişimi (bin ton)

Tarım alt sektörüne baktığımızda ise N₂O emisyonlarının büyük oranda tarımsal topraklar kaynaklı olduğunu Şekil 3.24'ten görmekteyiz.



Şekil 3.24 1990-2016 yılları Türkiye alt sektörlerin N₂O emisyon değişimi (bin ton)

Şekil 3.25'te görüleceği gibi, yakıt yanması alt sektörü olan çevrim ve enerji sektörünün oluşturduğu N₂O emisyonları 1990 ve 2016 yılları arasında %1015, ulaştırma sektörü ise %101 oranında artış göstermiştir.



Şekil 3.25 1990-2016 yılları Türkiye yakıt yanması sektörü alt sektörlerinin N₂O emisyon değişimi (bin ton)

Enerji, ulaştırma, imalat, sanayi ve inşaat sektörlerinin Türkiye'de sera gazı emisyonlarında büyük paya sahip olduklarını anlamaktayız ve bu gazların yıllara göre de sürekli artışta olmaları insan sağlığına etkisi açısından düşündürücü olmaktadır.

3.2 Kirletici Gazların ve Partiküllerin Özellikleri

3.2.1 Karbonmonoksit (CO):

Birincil kirletici sınıfında yer alan bu gaz, karbonlu bileşiklerin yakılması ile ortaya çıkmaktadır. Karbonmonoksit tatsız, kokusuz, renksiz, toksik ve kararlıdır. Minimum 2 ay atmosferde bulunabilir (Ertürk [15], [16], [17], [18]). Karbon içeren yakıtların eksik yanmasıyla oluşan CO, atmosferde doğal prosesler sonucunda CO₂ halini alır (Gillenwater vd. [15], [16], [17], [18]).

CO'in insan sağlığına olumsuz etkileri oldukça fazladır. Karbon monoksit insan vücuduna girdiğinde zehirlenme ve boğulmaya sebep olmaktadır [15], [16], [17], [18].

3.2.2 Karbondioksit (CO₂):

İnsan ve hayvanların solunumu, organik maddelerin çürümesi ve yanardağ patlaması ve benzeri doğal hadiseler sonucunda atmosfere atılmaktadır. Ayrıca, yakıt yanması sonucunda ortaya çıkan CO₂ miktarı da oldukça fazladır.

Karbondioksit toksik olmayan, kokusuz ve renksiz bir gazdır. Kızılötesi ışınlarını absorbe ettiğinden dolayı atmosferin ısınmasına yol açmaktadır. Dünyayı bir örtü gibi sarmasından dolayı dünyanın ortalama sıcaklığı 15 °C'dir. Karbon dioksit olmasaydı dünyanın ortalama sıcaklığı -18°C civarında olacaktı. Dolayısıyla, karbon dioksitin iklim değişimine direk etkisi olduğunu söyleyebiliriz [15], [16], [17], [18].

3.2.3 Metan (CH₄):

Karbonlu bileşiklerin reaksiyonu ile oluşan, renksiz ve kokusuz bir gazdır. Kömür, doğal gaz ve petrol üretimi ve nakli sırasında metan yayılmaktadır. Metan emisyonları ayrıca hayvancılık ve diğer tarımsal uygulamalardan ve belediye katı atık depolama alanlarındaki organik atıkların azalmasından kaynaklanmaktadır. Metan'ın atmosferdeki ömrü, karbondioksitten çok daha kısadır, fakat CH₄, radyasyonun CO₂'den daha yüksek tutulmasında etkilidir.

Atmosferdeki CH₄ miktarı sanayi devriminden bu yana %150 artmıştır. Atmosferdeki metanın yarısından fazlasının insan faaliyetleri tarafından oluştuğu IPCC tarafından

bildirilmektedir. CH_4 , atmosferde hidroksil radikali (OH) ile reaksiyona girerek CO_2 'e dönüşmektedir [8], [15], [16], [17], [18].

3.2.4 Hidrokarbonlar (HC):

Hidrokarbonların genel olarak kötü kokuları ve tahriş edici özellikleri vardır. Etilen ve benzen gibi motorlu taşıtlarda tam yanmama sonucunda oluşan hidrokarbonlar havadaki farklı kimyasal maddeler ile tepkimeye girerek göze ve solunum yollarına zararlı etkileri olmaktadır. Güneş ışığı altında azot oksitlerle birleşen hidrokarbonlar fotokimyasal sisi meydana getirmektedir. Oluşan sis tabakasının bitkilere zararı olduğu gibi göz ve solunum sistemine de olumsuz etkileri mevcuttur [15], [16], [17], [18].

3.2.5 Azot ve azotlu bileşikler (NO_x):

Güneş radyasyonunun absorblayıcı gazlarından olan azot dioksit gazı (NO_2), oksitlendiğinde sarı ve kahverengi bir renge dönüşür, kötü kokulu ve tahriş edicidir. Keskin bir kokuya sahip olduğundan dolayı sağlık açısından zararlı bir gazdır. Azot monooksit gazı (NO) ise kokusuz ve renksiz bir gazdır. Yanma sonrası genel olarak NO oluşmasına rağmen, atmosfere atıldıktan sonra bir bölümü NO_2 'ye dönüşmektedir.

Azot oksitlerin vucutta birikme özelliği olmasından dolayı solunum hastalığı olan insanlar için tehlike arz etmektedir [15], [16], [17], [18].

3.2.6 Kükürt ve kükürtlü bileşikler (SO_x):

Fosil yakıtların yanması ile ortaya çıkan kükürt, sarı renkte ve renksizdir. Atmosferde genel olarak kükürt dioksit bulunmaktadır. Kükürt dioksidin solunum sisteminde olumsuz etkisi olup karaciğer ve akciğer rahatsızlıklarına sebep olmaktadır. Kükürt dioksit su buharı ile birleşerek sülfirik asit oluşturur. Sülfirik asidin de bitki örtüsü ve insan sağlığına zararlı etkileri mevcuttur [15], [16], [17], [18].

3.2.7 Su buharı (H_2O):

Sera etkisi yaratan gazlardan olup suyun gaz halidir. Genel olarak iklim sistemine etki eder ve insan üzerinde etkisi çok azdır. Atmosferde en yüksek oranda bulunan sera gazlarından biri olan su buharı katı, sıvı ve gaz gibi çeşitli formlarda bulunabilir. Su

buharı konsantrasyonunun bulutların oluşmasında rolü vardır. Bulutların, karadan ve güneşten gelen ışınları absorbe etme ve yansıtma özellikleri vardır (Gillenwater vd. [15], [16], [17], [18]).

3.2.8 Partikül Madde (PM):

İçten yanmalı motorlar tarafından atılan partiküllerin büyük kısmını is oluşturmaktadır. Özellikle diesel motorlarda oluşan, tam yanmayan karbonlar taşıdığı zararlı bileşenlerden dolayı solunum sisteminde birikerek insan sağlığına olumsuz etki yaratmaktadır [18].



EMİSYON STANDARTLARI

4.1 Taşıt Emisyonlarındaki İlk Sınırlamalar

Taşıtlar egzozundan çıkan kirletici maddelerin azaltılmasına yönelik başlatılan ilk çalışma 1960 yılında Kaliforniya’da yapılmıştır. Bu çalışmanın içeriği karter ve silindir altında biriken yakıt ve yağ buharının dışarıya atılmayıp tekrardan emme kanalına gönderilmesi hakkındadır. 1963’de Kaliforniya’da yeni trafiğe çıkacak araçlara zorunlu kılınmıştır. İkinci önlem olarak 1966’da taşıt egzozundan çıkan CO ve HC değerlerine sınırlandırma getirilmiştir ve bu uygulama 1968’e kadar devam etmiştir. Daha sonra şehir atmosferinde yapılan ölçümlerde NO_x ve O₃’de artış gözlemlenmiş ve bu sebeple ABD’de 1970/71 senelerinde taşıt emisyonlarında CO, HC ve NO_x’in birlikte kontrol edilmesine yönelik bir kanun çıkartılmıştır [15], [19].

4.2 Avrupa Topluluğu Emisyon Standartları

İlk uygulama olarak 1972’de ECE-R.15.00 regülasyonu ile binek taşıtlardaki CO ve HC emisyonlarına sınırlandırma getirilmiştir. 1975’de ECE-R.15.01 ile sınır aşığıya çekilmiş, 1977’de ECE-R.15.02 regülasyonu ile NO_x emisyonu da sınırlandırmaya dahil edilmiştir. 1979’da ECE-R.15.03 regülasyonu ile tüm HC, CO ve NO_x emisyonlarının sınır değerleri güncellenmiştir. 1984’te ECE-R.15.04 regülasyonunda HC ve NO_x ayrı bir şekilde değil, toplam olarak sınırlandırılmıştır. 1989’da ECE-R.15.05 ile motor hacimlerine göre farklı sınırlar belirlenmiştir. Bu uygulama ile büyük motor hacimli taşıtların emisyon sınırlarını tutturmaları için egzoz sistemine katalizör dahil edilmesi kaçınılmaz olmuştur. Ayrıca

araçların egzozundan çıkan partikül miktarları da bu standart ile sınırlandırılmıştır. Euro 93 yönetmeliği ile şehir içi test çevrimine otoyol çevrimi eklenmiş (maksimum 120 km/saat), emisyon sınırları ise g/test yerine g/km olarak güncellenmiştir. Güncel sınırlara ulaşmak için tüm benzinli araçlarda üç yollu katalizör kullanılması zorunlu kılınmıştır ve HC emisyon değerleri için de sınırlar belirlenmiştir [15], [20].

1972 ile 1996 yılları arasında Avrupa'daki uygulamalar ve sınır emisyon değerleri Çizelge 4.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1 1972 ile 1996 yılları arasında Avrupa'daki uygulamalar ve sınır emisyon değerleri

Uygulama Başlangıç Yılı	Uygulanan Yönetmelik	CO	HC	NOx	HC+NOx	Partikül	Yakıt Buharı
1972 (1),(4)	ECE-R.15.00	100-220	8.0-12.8				
1975 (1),(4)	ECE-R.15.01	80-176	6.8-10.9				
1977 (1),(4)	ECE-R.15.02	80-176	6.8-10.9	10-16			
1979 (1),(4)	ECE-R.15.03	65-143	6.0-9.6	8.5-13.6			
1984 (1),(4)	ECE-R.15.04	58-110			19-28		
	ECE-R.15.05						
	Benzinli	25-45			6.5-15	1.1	
	Ön Yanma Odalı	30			8		
	Diesel						
1989 (2),(4)	Direk Püskürtmeli	58-10			19-28	1.1	
	Euro 93						
	Benzinli	2.72			0.97		
	Ön Yanma Odalı	2.72			1.36	0.14	2
	Diesel						
1993 (3),(5)	Direk Püskürtmeli	2.72			1.36	0.14	
1996 (3),(5)	Euro 96	1			0.7-0.9	0.08-0.1	-

(1): Sınırlar taşıt ağırlığına göre değişmektedir.

(2): Sınırlar taşıt motor hacmine göre değişmektedir.

(3): 3.5 tona kadar bütün taşıtlar için geçerlidir.

(4): Avrupa şehir içi çevrimi kullanılmış olup emisyon değerleri toplam olarak verilmiştir. (g/test)

(5): Avrupa şehir içi çevrimine otoyol çevrimi eklenmiştir ve emisyon değerleri g/km cinsindedir.

Sınırlandırmalar, taşıt ağırlığı veya motor hacmine göre sınıflandırılmış olmasından dolayı Çizelge 4.1’de bazı emisyon miktarları tam bir değer değil aralık olarak belirtilmiştir [15].

4.3 Avrupa Birliği Emisyon Standartları

Avrupa’daki 1972’den itibaren uygulanan iyileştirmeler, Avrupa Birliği emisyon standartları ile birlikte 1992’den itibaren daha da düşük seviyelere indirilmiştir.

Çizelge 4.2’de binek araçlarda 1992’den bugüne olan regülatif değişiklikler gösterilmiştir [15], [20].

Çizelge 4.2 Binek araçlar için Avrupa Birliği emisyon standartları (g/km)

	Kategori	Tarih	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Diesel	Euro 1	1992	2,72	-	0,97	-	0,14
	Euro 2	1996	1	-	0,7	-	0,08
	Euro 3	2000	0,64	-	0,56	0,5	0,05
	Euro 4	2005	0,5	-	0,3	0,25	0,025
	Euro 5	2009	0,5	-	0,23	0,1	0,005
	Euro 6	2014	0,5	-	0,17	0,08	0,005
Benzin	Euro 1	1992	2,72	-	0,97	-	-
	Euro 2	1996	2,2	-	0,5	-	-
	Euro 3	2000	2,3	0,2	-	0,15	-
	Euro 4	2005	1	0,1	-	0,08	-
	Euro 5	2009	1	0,06	-	0,06	0,005
	Euro 6	2014	1	0,06	-	0,06	0,005

Çizelge 4.3’te ve Çizelge 4.4’te ise benzinli ve diesel hafif ticari araçlar için AB standartları belirtilmiştir.

Çizelge 4.3 Benzinli hafif ticari araçlar için Avrupa Birliği emisyon standartları (g/km)

	Kategori	Tarih	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
N1 Sınıf I ≤ 1305 kg	Euro 1	1994	2,72	-	0,97	-	-
	Euro 2	1998	2,2	-	0,5	-	-
	Euro 3	2000	2,3	0,2	-	0,15	-
	Euro 4	2005	1	0,1	-	0,08	-
	Euro 5	2009	1	0,1	-	0,06	0,005
	Euro 6	2014	1	0,1	-	0,06	0,005
N1 Sınıf II 1305-1760 kg	Euro 1	1994	5,17	-	1,4	-	-
	Euro 2	1998	4	-	0,65	-	-
	Euro 3	2001	4,17	0,25	-	0,18	-
	Euro 4	2006	1,81	0,13	-	0,1	-
	Euro 5	2010	1,81	0,13	-	0,075	0,005
	Euro 6	2015	1,81	0,13	-	0,075	0,005
N1 Sınıf III > 1760 kg	Euro 1	1994	6,9	-	1,7	-	-
	Euro 2	1998	5	-	0,8	-	-
	Euro 3	2001	5,22	0,29	-	0,21	-
	Euro 4	2006	2,27	0,16	-	0,11	-
	Euro 5	2010	2,27	0,16	-	0,082	0,005
	Euro 6	2015	2,27	0,16	-	0,082	0,005

Çizelge 4.4 Diesel hafif ticari araçlar için Avrupa Birliği emisyon standartları (g/km)

	Kategori	Tarih	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
N1 Sınıf I ≤ 1305 kg	Euro 1	1994	2,72	-	0,97	-	0,14
	Euro 2	1998	1	-	0,7	-	0,08
	Euro 3	2000	0,64	-	0,56	0,5	0,05
	Euro 4	2005	0,5	-	0,3	0,25	0,025
	Euro 5	2009	0,5	-	0,23	0,18	0,005
	Euro 6	2014	0,5	-	0,17	0,08	0,005
N1 Sınıf II 1305-1760 kg	Euro 1	1994	5,17	-	1,4	-	0,19
	Euro 2	1998	1,25	-	1	-	0,12
	Euro 3	2001	0,8	-	0,72	0,65	0,07
	Euro 4	2006	0,63	-	0,39	0,33	0,04
	Euro 5	2010	0,63	-	0,295	0,235	0,005
	Euro 6	2015	0,63	-	0,195	0,105	0,005
N1 Sınıf III > 1760 kg	Euro 1	1994	6,9	-	1,7	-	0,25
	Euro 2	1998	1,5	-	1,2	-	0,17
	Euro 3	2001	0,95	-	0,86	0,78	0,1
	Euro 4	2006	0,74	-	0,46	0,39	0,06
	Euro 5	2010	0,74	-	0,35	0,28	0,005
	Euro 6	2015	0,74	-	0,215	0,125	0,005

4.4 Türkiye'deki Emisyon Standartlarının Kronolojik Gelişmeleri

1993 – Sanayi ve Ticaret Bakanlığı'nın talebi üzerine ilk ölçümler İTÜ Makine Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı'nda yapılmıştır.

1995 – Çevre ve Orman Bakanlığı ile Otomotiv Sanayicileri Derneği'nin yayınladığı bildirge ile Euro 93 standartları uygulamaya alınmıştır.

1996 – Ticari Araçlar Emisyonu Uyum Programı yayınlanmıştır. (ECE R24)

2001 – Euro 1 standardı tüm diesel araçlara uygulanmaya başlandı.

2008 – Yeni tip araçlarda Euro 4 standardı başladı.

2009 – Ekim ayından sonra Euro 5 standartlarına uygunluk zorunlu kılındı.

Euro 6 standardı uygulaması ise SGM-2014/4 numaralı resmi gazete tebliği ile araç kategorisi ve sınıf durumlarına göre 2016 yılından itibaren yapılmaktadır. (M, N1 sınıf I) [15], [20].

BÖLÜM 5

SEYİR ÇEVİRİMLERİ

Taşıt kaynaklı yerel kirleticilerin CO (karbonmonoksit), HC (yanmamış hidrokarbonlar) ve NO_x (azot oksitler) olduğu, buna ek olarak diesel motorlu taşıtlarda da PM (partikül madde) emisyonlarının bulunduğu önceki bölümlerde belirtilmiştir. Bu emisyonların oluşumunda motor ve aracın özelliklerinin yanında, motorun çalışma şartları da etkilidir. Araç seyir halinde iken, motor devri, hava fazlalık katsayısı, ortam ve motor sıcaklıkları değişimi ve ateşleme zamanı yanmayı ve dolayısıyla emisyon değerlerini etkilemektedir. Bu sebeple aracın rölantide çalışması, sabit hızda seyir etmesi ve hızının artma ve azalması emisyon değerleri üzerinde etkin olmaktadır. Dolayısıyla taşıt tiplerinin belirlenmesi ve onaylanması amacıyla seyir çevrimleri oluşturulmuştur [22].

Çizelge 5.1 Araçların kullanım modlarına göre kirletici etkileri [15]

Kullanım Modu	Kirletici Emisyonlar		
	CO	HC	NO _x
Rölanti	Yüksek	Yüksek	Çok Düşük
Hızlanma	Düşük	Düşük	Yüksek
Yavaşlama	Yüksek	Çok Yüksek	Çok Düşük
Yavaş (sbt hız)	Düşük	Düşük	Düşük
Hızlı (sbt hız)	Çok Düşük	Çok Düşük	Orta

Seyir Çevrimleri, taşıtların emisyon ve yakıt tüketimi değerlerini hesaplamada ve simülasyonlarda kullanılan hız – zaman grafikleridir.

5.1 Seyir Çevrimlerinin Sınıflandırılması

Çevrimler oluşturulma tipine göre modal ve gerçek çevrimler olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Modal çevrimler, yapay sürüş metodlarının birleşimi ile oluşmaktadır. Hız değişim profilleri çok düzgündür ve gerçek hayattaki sürüş profillerinin dinamik özelliklerini yansıtmazlar. Örnek olarak, NEDC-Avrupa çevrimi ve 10-15 Mod-Japonya çevrimi verilebilir.

Gerçek çevrimlerdeki hız – zaman dataları ise gerçek hayattaki trafik koşullarından beslenmekte ve gerçeği yansıtmaktadır. FTP-Amerika çevrimi gerçek çevrimlere örnektir [22].

5.2 Örnek Seyir Çevrimleri

5.2.1 Avrupa Birliği Seyir Çevrimi

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi Avrupa Birliği seyir çevrimi ECE (şehir içi) çevrimi ve EUDC (şehir dışı) çevriminden meydana gelmektedir. Bir aracın yakıt tüketimini ve kirletici emisyonlarını normalize bir şekilde değerlendirmek için kullanılır, böylece farklı araçlar karşılaştırılabilir. Sürüş döngüsü, emisyon oranlarını değerlendirmek için aracın egzoz emisyonlarının toplandığı ve analiz edildiği bir şasi dinamometresi üzerinde gerçekleştirilir.

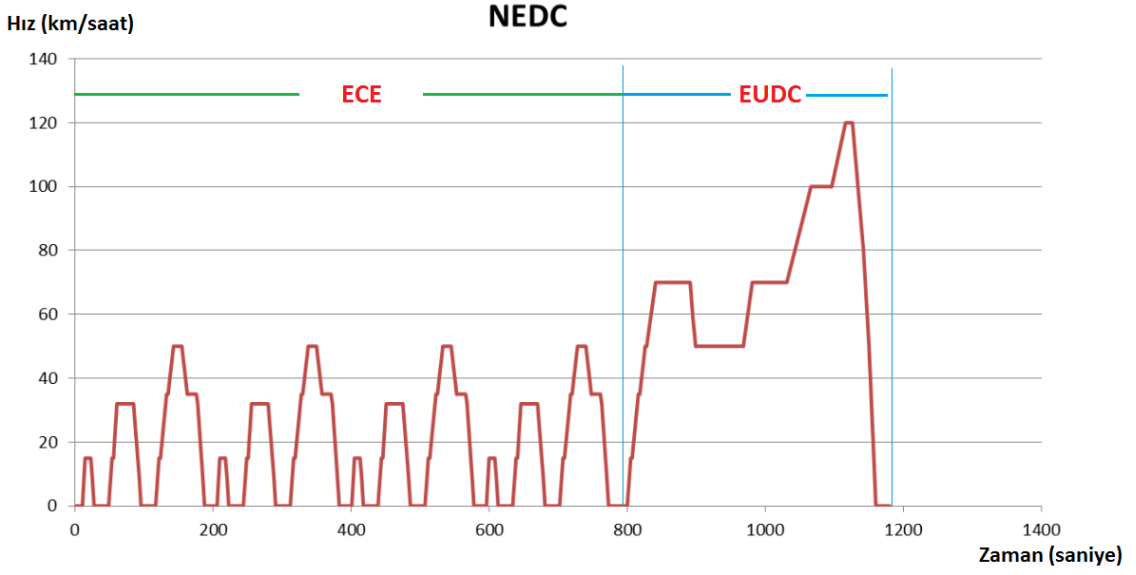
Çevrimin Özellikleri:

Mesafe: 11,007 km

Maksimum Hız: 120 km/saat

Toplam Süre (ECE+EUDC): 1180 saniye

Ortalama Hız: 33,6 km/saat



Bu çevrim, gerçek yaşam koşullarını temsil etmediği için uzmanlar tarafından eleştirilmektedir. Gerçekten de, ivmeler çok yumuşaktır. Bir sürü sabit hız yolculukları ve birçok rölanti şartları vardır. Bu, gerçek koşullarda araçla sürüş sırasında onaylanmış değerler elde etmeyi imkansız hale getirir. Bu nedenlerle, NEDC'nin yerini alacak bir çözüm Avrupa makamları tarafından araştırılmaktadır. Dünya Çapında Uyumlaştırılmış Hafif Araç Test Prosedürü (WLTP - Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure) denilen yeni döngü, önümüzdeki Euro 7 normu için kullanılacağı tartışılmaktadır [22], [23], [24].

5.2.2 Amerika Seyir Çevrimi

1975 tarihi itibarıyla FTP 75 ismi ile binek ve hafif ticari taşıtlar için standart bir şehir içi çevrimi uygulanmış ve günümüzde de aynı çevrim uygulanmaktadır. Bu çevrim, İsveç, İsviçre, Avusturya, Norveç, Danimarka, Finlandiya, Güney Kore, Suudi Arabistan, Brezilya, Meksika ve Avustralya'da da halen egzoz emisyonlarının ölçümü için kullanılmaktadır [15].

FTP döngüsü (Federal Test Prosedürü), otoyol sürüşünü ve kentsel sürüşün bir parçası olan sık duraklamalı devir döngüsünü temsil etmek üzere ABD EPA (Çevre Koruma Ajansı) tarafından yaratılmıştır.

Zamana bağlı değişen hız diyagramı Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

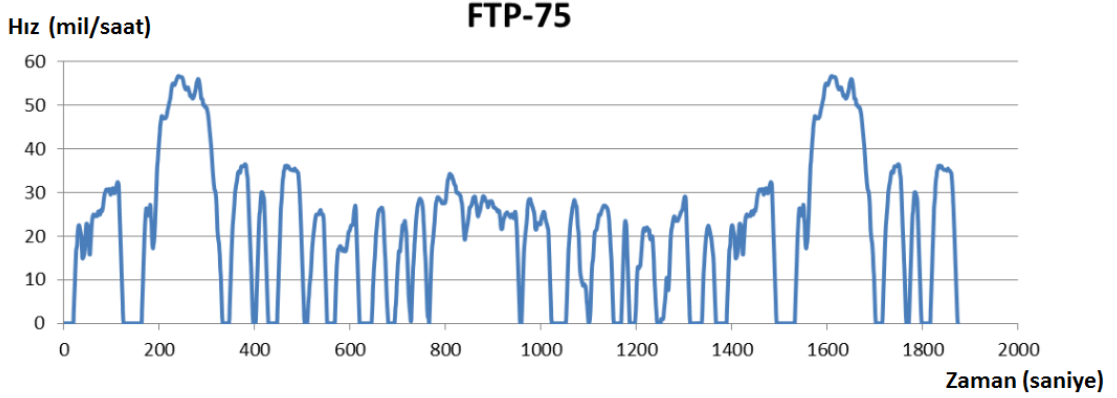
Çevrimin Özellikleri:

Mesafe: 17,87 km

Maksimum Hız: 91,2 km/saat

Toplam Süre: 1877+600(durma) saniye

Ortalama Hız: 34,1 km/saat



Şekil 5.2 Amerika seyir çevrimi

2007 yılında, EPA, gerçek dünya sürüş koşullarını daha iyi yansıtmak için mevcut olanlara 3 döngü daha eklemeye karar verdi.

Birincisi, FTP-75 döngüsünde eksik olanın bir tamamlayıcısı olan US06'dır. Gerçekten de, bu çevrim daha yüksek bir hıza sahip olan 80 mil / saat (130 km / s) ve daha yüksek bir hızlanmadır ve bu da çok daha agresif bir sürüş davranışını temsil eder.

SC03, 35 °C ortam sıcaklığında gerçekleştirilecek olan döngüdür. Bu, yakıt tüketimi ve emisyon hesaplamalarındaki klimayı hesaba katmak için gereklidir.

Son eklenen döngü ise "soğuk döngü" dür. Bu aslında -7 °C ortam sıcaklığında gerçekleştirilen bir FTP-75'dir [22], [23], [24].

5.2.3 Japonya Seyir Çevrimi

Japonya seyir çevriminin de hızlanma ve yavaşlama profilleri AB seyir çevrimine benzer şekilde çok düzgündür.

10-15 Mod Çevriminin zamana bağlı değişen hız diyagramı Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

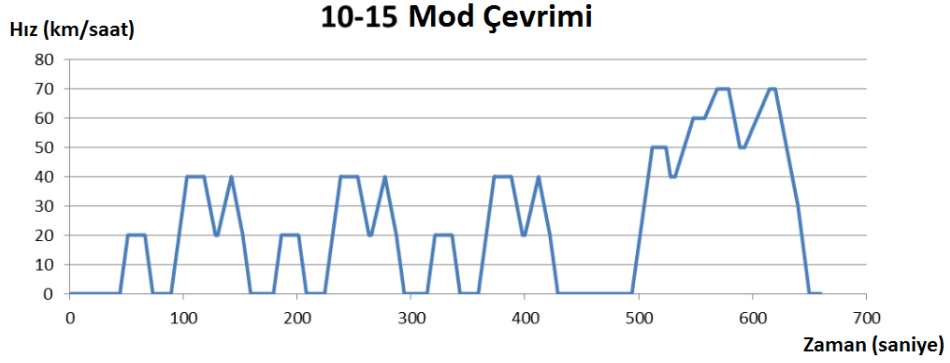
Çevrimin Özellikleri:

Mesafe: 4,16 km

Maksimum Hız: 70 km/saat

Toplam Süre: 660 saniye

Ortalama Hız: 22,7 km/saat



Şekil 5.3 Japonya seyir çevrimi (10-15 Mod)

Japonya'daki emisyon ve yakıt tüketimi sertifikasyonu için 10-15 mod Japon döngüsü kullanılıyor. Rölanti, hızlanma, sabit hızda seyir ve yavaşlama dahil olmak üzere, hem şehir içi hem de otoyol döngüsünü simüle eder. Ölçümler, standart bir ısıtma işleminden sonra motor sıcakken yapılır.

Bu döngü NEDC ile aynı dezavantajlara sahiptir, bu yüzden Japon yetkililer ve üreticiler, 2011'den başlayarak 10-15 Mod döngüsünden daha gerçekçi bir döngüye (JC08) geçmeye karar vermişlerdir.

JC08, 10-15 mod döngüsünden çok daha talepkar bir döngüdür. Hem soğuk hem de sıcak çalıştırma ile gerçekleştirilir ve yoğun hızlanma ve yavaşlama ile sıkışık trafik durumda sürüşü temsil eder [22], [23], [24].

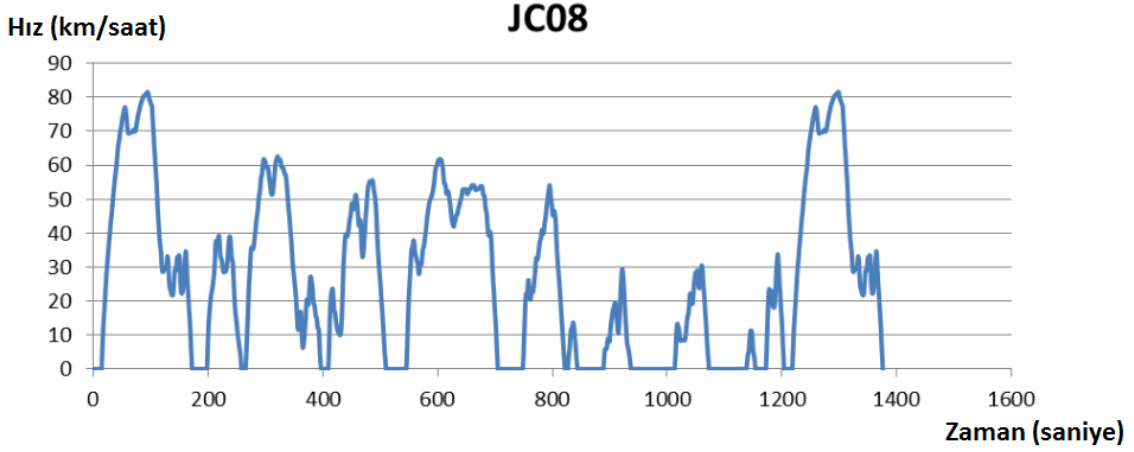
Çevrimin Özellikleri:

Mesafe: 8,2 km

Maksimum Hız: 80 km/saat

Toplam Süre: 1205 saniye

Ortalama Hız: 24,4 km/saat



Şekil 5.4 Japonya seyir çevrimi (JC08)

5.2.4 İstanbul Şehir Çevrimi

Türkiye’deki motorlu araçların tip onayı ve emisyon testleri için Avrupa Birliği seyir çevrimi kullanılmaktadır. Ancak daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi Avrupa seyir çevrimi geçek trafik koşullarını yansıtmamakta ve Türkiye trafik şartları ile bir benzerlik göstermemektedir. Türkiye’ye özel bir çevrim çıkarmak amacıyla “Karayolları Taşıtlarından Kaynaklanan Egzoz Gazı Emisyonlarının Belirlenmesi İçin Şehir Çevrimi Oluşturma Metodolojisinin Geliştirilmesi” tez çalışması yapılmıştır.

Bu çalışmada, İstanbul trafiğini doğru tanımlamak amacıyla, bölgenin yaygın olarak kullanılan yolları temel yollar olarak belirlenmiştir. İstanbul şehri için belirlenen ana güzergahlar şöyledir:

Rota 1: Maslak – Göztepe: Maslak (İTÜ Kampüs) – Zincirlikuyu – Boğaziçi Köprüsü – Altunizate – Göztepe

Rota 2: Maslak – Kozyatağı: Maslak (İTÜ Kampüs) – 4.Levent – Fatih Sultan Mehmet Köprüsü – TEM Otoyolu – Kozyatağı

Rota 3: Maslak – Bakırköy: Maslak (İTÜ Kampüs) – Zincirlikuyu – Merter – Bakırköy

Rota 4: Tarihi Yarımada

Belirlenen rotalar Şekil 5.5’te gösterilmiştir [22].



Şekil 5.5 İstanbul şehir çevrimi için seçilen rotalar

Bu rotalar ile belirlenen çevrimin özellikleri aşağıdaki şekildedir. (Çevrim detayları için Dinç, 2013)

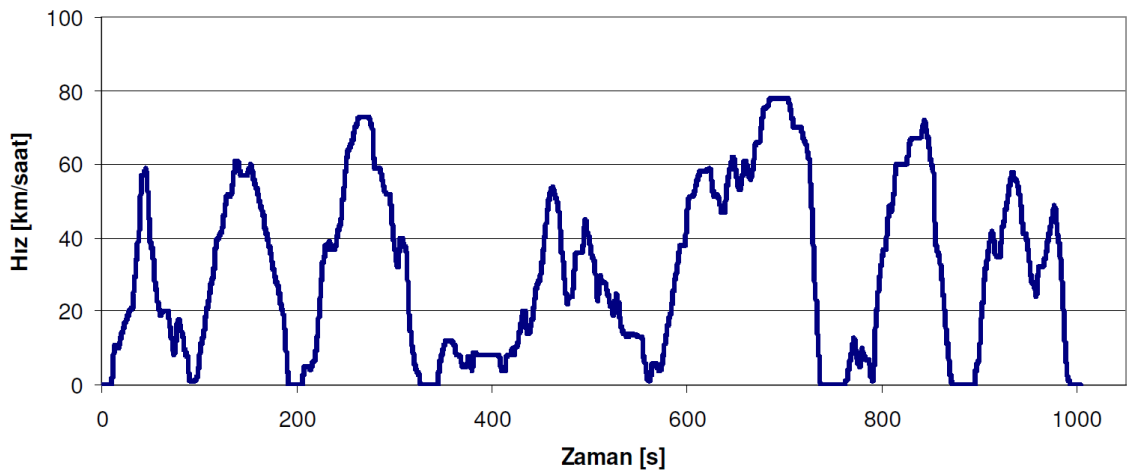
Mesafe: 8,61 km

Maksimum Hız: 78 km/saat

Toplam Süre: 1003 saniye

Ortalama Hız: 30,9 km/saat

İstanbul Çevrimi



Şekil 5.6 İstanbul şehir çevrimi

5.3 İstanbul Şehir Çevriminin Amerika ve Avrupa Birliği Seyir Çevrimleri ile Karşılaştırılması

İstanbul Sürüş Çevrimi (IDC), temel çevrim özellikleri, yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonları açısından FTP-75 ve NEDC'nin seyir döngüleri ile karşılaştırılmıştır. Temel özelliklerin karşılaştırması Çizelge 5.1'de verilmiştir. Çizelgeden en düşük ortalama hıza IDC'nin sahip olduğu görülmektedir. Bu, İstanbul'daki sıkışık trafik koşullarına bağlıdır. Maksimum hız açısından, NEDC çevrimi en yüksek hıza sahiptir.

Çizelge 5.2 Temel çevrim özelliklerinin karşılaştırılması

	Çevrim Süresi (saniye)	Mesafe (km)	Azami Hız (km/saat)	Ort. Hız (km/saat)
IDC	1003	8,61	78	30,9
NEDC	1180	11,01	120	33,6
FTP-75	1877	17,87	91,2	34,1

IDC yakıt tüketimi ve egzoz emisyon değerleri açısından NEDC ve FTP-75 seyir çevrimleri ile kıyaslanması “İstanbul Şehir Çevriminin ABD ve Avrupa Test Çevrimleri ile Emisyon Faktörleri ve Yakıt Tüketimi Açısından Deneysel Olarak Karşılaştırılması” tezinde rasgele seçilen farklı emisyon sınıfına ait 30 adet araç ile yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları Euro 4 motorlu örnek araçlar için (3 adet) yakıt tüketimi ve karbondioksit emisyonu açısından aşağıdaki şekilde özetlenmiştir [22].

Çizelge 5.3 Euro 4 araçlarının CO₂ ve yakıt tüketimi değerlerinin karşılaştırılması

	FTP		EU		IST	
	CO ₂ (g/km)	Yakıt Tüketimi (lt/100km)	CO ₂ (g/km)	Yakıt Tüketimi (lt/100km)	CO ₂ (g/km)	Yakıt Tüketimi (lt/100km)
En Yüksek	170,9	7,33	163,7	6,95	169	7,19
En Düşük	122,5	5,18	140,7	5,95	162,3	6,88
Ortalama	144,9	6,18	153,6	6,52	164,7	7,06

Tablodaki ortalama değerlere bakıldığında, en yüksek CO₂ emisyon değeri ve yakıt tüketimi İstanbul çevriminde çıkmıştır. En düşük değerler ise FTP çevriminde ortaya çıkmıştır. FTP çevriminde ani ivmelenme yoğun olsa da, maksimum hızın EU çevrimindeki kadar yüksek olmaması ve ortalama hızın da İstanbul çevrimindeki gibi düşük olmaması nedeniyle, CO₂ emisyonları ve yakıt tüketimi değerleri diğer çevrimlere göre daha düşük çıkmıştır [21].

İSTANBUL İLİ BOĞAZ GEÇİŞİ SEYİRLERİ

6.1 Boğaz Geçişinde Trafiğin En Yoğun Saatlerinin Belirlenmesi

Bilindiği üzere İstanbul ili içerisinde trafiğin en yoğun olduğu zamanlar işe gidiş ve iş çıkışı zamanlarıdır. Belirlenen A ve B noktaları arasındaki trafik yoğunluğunun tespiti için Google Haritalar programından yararlanılmış olup 3 ay boyunca, hafta içi farklı günlerde işe gidiş ve iş çıkışı saatlerinde trafik yoğunluğu kontrol edilmiştir. İşe gidiş olarak saat 07:00-10:00 aralığı, iş çıkışı olarak da 17:00-20:00 aralığı referans alınmış olup ortalama trafik süresi/yoğunluğu özet olarak Çizelge 6.1, Çizelge 6.2, Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4'te gösterilmiştir.

A noktası: Viaport Alışveriş Merkezi

B noktası: Alibeyköy Cep Otogarı

olarak belirlenmiş,

Kısa mesafe, yoğun trafikli yol (E-80 Otoyolu): Fatih Sultan Mehmet Köprüsü güzergahı

Dış çeper çevre yolu (O-7 Otoyolu): Yavuz Sultan Selim Köprüsü güzergahı

olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 6.1 İşe gidiş ve iş çıkışı saatlerinde A → B noktası arası seyir süresi (E-80 otoyolu)

Veri	FSM A-->B (dakika)					
	07:00-08:00	08:00-09:00	09:00-10:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00
1	64	75	73	74	68	69
2	69	73	65	73	81	78
3	68	72	67	66	74	61
4	69	73	59	64	73	58
5	60	60	60	63	73	57
6	66	78	60	67	65	62
7	63	80	61	66	75	67
8	70	101	80	55	72	68
9	72	82	75	63	73	58
10	67	78	62	58	72	66
11	63	79	75	64	72	67
12	68	82	79	66	72	67
13	77	79	58	66	80	56
14	77	87	67	72	75	63
15	66	83	60	66	74	67
16	68	81	71	75	81	71
17	71	78	58	75	70	51
18	63	75	75	65	82	67
19	57	83	80	58	80	74
20	68	81	71	89	79	57
21	70	75	60	71	74	68
22	64	82	59	67	81	69
Ortalama (dakika)	67,3	79,0	67,0	67,4	74,8	64,6

Çizelge 6.1'den anlaşılacağı üzere, A noktasından B noktasına FSM Köprüsü üzerinden seyir ederken trafiğin en yoğun olduğu zaman, toplam seyir süresi ortalama 79 dakika olan sabah 08:00 – 09:00 saatleri arası işe gidiş zamanındadır.

Çizelge 6.2 İşe gidiş ve iş çıkışı saatlerinde B → A noktası arası seyir süresi (E-80 otoyolu)

Veri	FSM B-->A (dakika)					
	07:00-08:00	08:00-09:00	09:00-10:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00
1	49	49	52	88	93	83
2	53	50	46	104	105	104
3	49	69	55	81	99	78
4	54	49	41	73	93	75
5	52	52	45	85	94	79
6	47	47	42	89	101	69
7	50	46	43	86	106	83
8	62	57	47	70	108	84
9	55	66	42	94	101	79
10	48	63	41	79	90	88
11	51	61	47	66	104	84
12	55	56	45	68	99	78
13	55	59	41	105	101	66
14	48	50	44	92	110	109
15	52	62	43	80	117	85
16	51	50	47	73	100	88
17	49	58	47	80	106	70
18	46	56	43	75	94	71
19	55	55	42	88	101	50
20	49	62	45	79	99	79
21	50	56	52	88	106	85
22	51	49	43	81	96	79
Ortalama (dakika)	51,4	55,5	45,1	82,9	101,0	80,3

Çizelge 6.2'den anlaşılacağı üzere, B noktasından A noktasına FSM Köprüsü üzerinden seyir ederken trafiğin en yoğun olduğu zaman, toplam seyir süresi ortalama 101 dakika olan akşam 18:00 – 19:00 saatleri arası işe çıkışı zamanındadır.

Çizelge 6.3 İşe gidiş ve iş çıkışı saatlerinde A → B noktası arası seyir süresi (O-7 otoyolu)

Veri	YSS A-->B (dakika)					
	07:00-08:00	08:00-09:00	09:00-10:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00
1	72	70	69	69	68	70
2	73	71	71	72	69	73
3	70	69	67	70	73	69
4	71	71	67	68	67	70
5	72	72	68	69	70	76
6	72	70	66	72	77	77
7	71	71	68	71	72	73
8	73	71	69	69	76	74
9	73	70	71	69	68	68
10	72	69	67	70	69	69
11	71	69	66	72	71	70
12	70	72	69	71	70	70
13	71	71	70	68	72	71
14	72	70	70	68	67	69
15	69	70	68	69	70	73
16	71	71	67	71	72	77
17	73	69	69	71	73	72
18	72	70	66	72	70	71
19	70	69	71	68	69	69
20	73	71	70	69	68	70
21	72	70	68	71	72	72
22	72	71	67	70	73	73
Ortalama (dakika)	71,6	70,3	68,4	70,0	70,7	71,6

Çizelge 6.3'ten anlaşılacağı üzere, A noktasından B noktasına YSS Köprüsü üzerinden seyir ederken trafiğin en yoğun olduğu zaman, toplam seyir süreleri ortalama 71,6 dakika olan sabah 07:00 – 08:00 saatleri arası işe gidiş zamanı ile akşam 19:00 – 20:00 saatleri arası işe çıkışı zamanındadır. Ancak şunu söyleyebiliriz ki en az ve en çok trafik zamanı arasında sadece 3 dakika bir fark oluşu için trafik yoğunluğu zamandan bağımsızdır.

Çizelge 6.4 İşe gidiş ve iş çıkışı saatlerinde B → A noktası arası seyir süresi (O-7 otoyolu)

Veri	YSS B-->A (dakika)					
	07:00-08:00	08:00-09:00	09:00-10:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00
1	71	70	70	68	66	71
2	71	73	65	68	69	72
3	68	68	72	69	69	69
4	69	69	64	66	68	69
5	69	70	68	66	68	67
6	70	72	65	68	71	72
7	71	71	64	68	72	71
8	71	69	65	67	69	70
9	69	68	70	68	68	72
10	68	72	73	66	69	69
11	68	71	74	69	70	68
12	69	68	72	71	71	66
13	70	68	65	72	66	67
14	72	69	64	66	70	69
15	71	70	69	68	68	70
16	69	70	67	69	69	68
17	69	72	68	67	68	70
18	68	68	70	68	68	69
19	72	69	65	69	67	72
20	71	72	69	66	66	70
21	69	71	65	65	65	71
22	68	70	67	64	70	69
Ortalama (dakika)	69,7	70,0	67,8	67,6	68,5	69,6

Çizelge 6.4'ten anlaşılacağı üzere, B noktasından A noktasına YSS Köprüsü üzerinden seyir ederken trafiğin en yoğun olduğu zaman, toplam seyir süresi ortalama 70 dakika olan sabah 08:00 – 09:00 saatleri arası işe gidiş zamanındadır. Ancak şunu söyleyebiliriz ki en az ve en çok trafik zamanı arasında sadece 2 dakika bir fark olduğu için trafik yoğunluğu zamandan bağımsızdır.

Özet olarak, A noktasında B noktasına FSM Köprüsü güzergahi sürüşü için trafiğin en yoğun olduğu zaman aralığı, saat 08:00 – 09:00 arası, B noktasında A noktasına FSM Köprüsü güzergahi sürüşü için trafiğin en yoğun olduğu zaman aralığı, saat 18:00 – 19:00 arası referans alınacak ve YSS Köprüsü güzergahları için herhangi bir zaman kısıtı bulunmamaktadır.

6.2 Seyir Öncesi ve Seyir Şartları

Tüm test sürüşleri Mitsubishi Colt 1.3 Invite (95Hp) 6 ileri AMT model araçla yapılmıştır. Net araç ağırlığı 930 kg olup, seyirler sürücü (92 kg) ve bir yolcu (82 kg) ile gerçekleştirilmiştir.

Seyir öncesi lastik basınçları kontrol edilmiş olup 32 psi olarak sabitlenmiştir. Seyirden en az 20 dakika öncesinden motor çalışır durumda olduğundan dolayı, motor sıcak durumdadır.

Seyir boyunca tüketilen yakıtın miktarı, seyirden önce yakıt deposunun gırtlığa kadar doldurulup seyir sonunda tekrar deponun gırtlığa kadar doldurulmasıyla hesaplanmıştır. Yakıt tüketimi hesabında kullanılan Tank refilling (depo doldurma) yöntemi otomotiv ana sanayi testlerinde de kullanılan bir yöntem olup en fazla %3 hata oranı ile çalışmaktadır.

Seyir boyunca ELM327 OBD II donanımından Torque Pro (OBD 2 & Car) uygulaması ile veriler kaydedilmiştir. Torque Pro (OBD 2 & Car) uygulamasının Mitsubishi Colt 1.3 motoruna özgü yaması olduğundan dolayı enjektör sinyal genişliği gibi bazı spesifik veriler de kaydedilebilmiştir.

Kaydedilip incelenen başlıca veriler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Seyir Başlangıç ve Bitiş Zamanı
- Enjektör Sinyal Genişliği (ms)
- Motor Devri (devir/dakika)
- Gaz Kelebeği Pozisyonu (%)
- Hava Yakıt Karışım Oranı
- Hız



Şekil 6.1 Torque Pro (OBD 2 & Car) uygulaması seyir kayıt ekranı görüntüsü

Torque Pro (OBD 2 & Car) uygulamasının seyir kayıt ekranının örnek görüntüsü Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

Uygulamadan alınan verilerin excel programında işlenmiş halinin örneği de Şekil 6.2'de görülebilir.

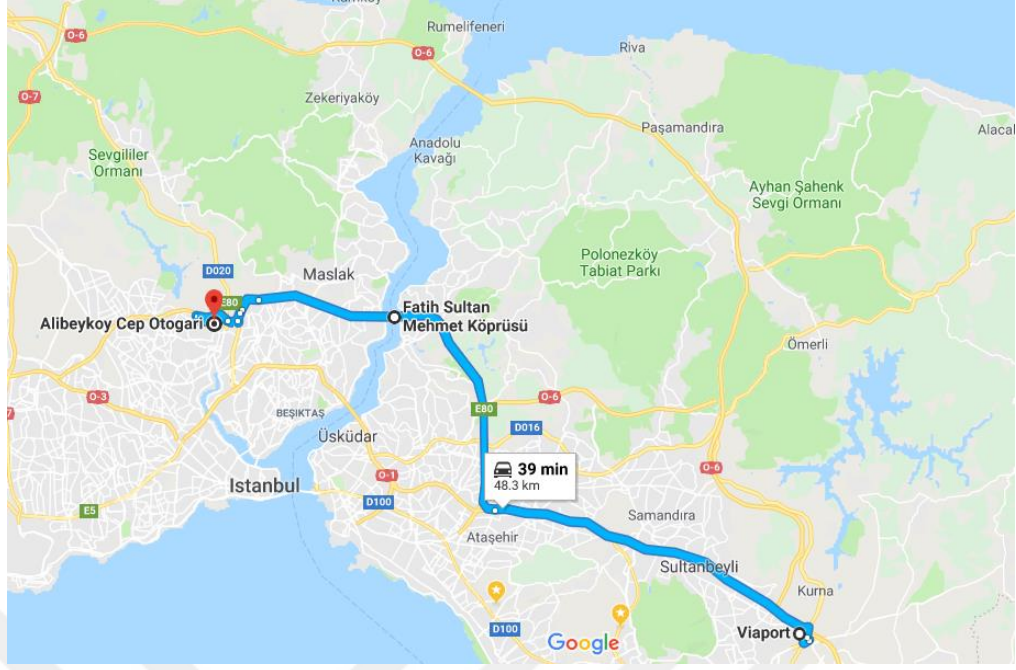
Device Tim	[MIDV] Injector Pulse Width(m	Engine RPM(rpm	Absolute Throttle Position B(%	Air Fuel Ratio(Commanded)(:	Speed (OBD)(km/
06:11:31	2,0480001	730,25	13,72549057	14,69999981	0
06:11:32	2,0480001	722,5	13,72549057	14,69999981	0
06:11:33	2,3039999	734,25	13,72549057	14,69999981	0
06:11:34	2,3039999	734,25	13,72549057	14,69999981	0
06:11:35	2,3039999	742	13,72549057	14,69999981	0
06:11:36	2,0480001	742	13,72549057	14,69999981	0
06:11:37	2,0480001	730,25	13,72549057	14,69999981	0
06:11:38	2,3039999	730,25	13,72549057	14,69999981	0
06:11:39	2,3039999	746	13,72549057	14,69999981	0
06:11:40	2,3039999	750	13,72549057	14,69999981	0
06:11:41	2,3039999	746	13,72549057	14,69999981	0
06:11:42	2,3039999	750	13,72549057	14,69999981	0
06:11:43	2,3039999	742	13,72549057	14,69999981	0
06:11:44	2,0480001	921,75	14,11764717	14,69999981	0
06:11:45	2,0480001	910	14,11764717	14,69999981	0
06:11:46	2,0480001	820,25	14,11764717	14,69999981	0
06:11:47	4,09600019	812,5	17,64705849	14,69999981	0
06:11:48	4,09600019	1328	17,64705849	14,69999981	0
06:11:49	2,55999994	1230,25	16,07843208	14,69999981	1
06:11:50	2,3039999	1093,75	13,72549057	14,69999981	2
06:11:51	2,3039999	984,25	13,72549057	14,69999981	3
06:11:52	3,32800007	941,25	18,8235302	14,69999981	1
06:11:53	3,83999991	1062,5	18,03921509	14,69999981	1
06:11:54	3,83999991	1164	18,03921509	14,69999981	3
06:11:55	2,55999994	1136,5	14,90196133	14,69999981	7
06:11:56	2,81599998	1066,25	16,86274529	14,69999981	7
06:11:57	2,81599998	1027,25	17,64705849	14,69999981	6
06:11:58	3,07200003	1300,75	17,64705849	14,69999981	8
06:11:59	2,55999994	1425,75	17,25490189	14,69999981	9
06:12:00	2,55999994	1484,25	16,47058868	14,69999981	10
06:12:01	2,0480001	1546,75	16,47058868	14,69999981	10
06:12:02	2,3039999	1558,5	17,25490189	14,69999981	10
06:12:03	2,3039999	1644,5	18,4313736	14,69999981	11
06:12:04	2,55999994	1769,5	18,4313736	14,69999981	12
.
.
.

Şekil 6.2 Torque Pro (OBD 2 & Car) uygulaması örnek veri çizelgesi

6.3 A Noktasından B Noktasına Kısa Mesafe Trafiksiz Seyir Durumu

A noktasından B noktasına FSM Köprüsü güzergahı ile toplam 48.3 km olup, Google Haritalar verileri ile trafiksiz durumda hız limitlerine uygun gidildiğinde toplam seyir zamanı 39 dakika olmaktadır. “Trafiksiz” tanımlaması, güzergahın trafiğe kapatıldığı anlamında değil, trafik yoğunluğunun çok az olduğu anlamını taşımaktadır. Bu çalışmadaki tüm “trafiksiz” tanımlamaları aynı anlamı taşıyacaktır.

Tüm sürüşlerde hava yakıt karışım oranı OBD’den alınan verilere göre 14,7 olmaktadır ve lambda 1 olarak alınmıştır.



Şekil 6.3 Viaport alışveriş merkezi – Alibeyköy cep otogarı E-80 otoyolu güzergahı

Google Haritalar verilerini kontrol etmek amacıyla, trafiksiz bir zamanda sürüş yapılmış ve tahmini değer ile gerçekleşen değer kıyaslanmıştır.

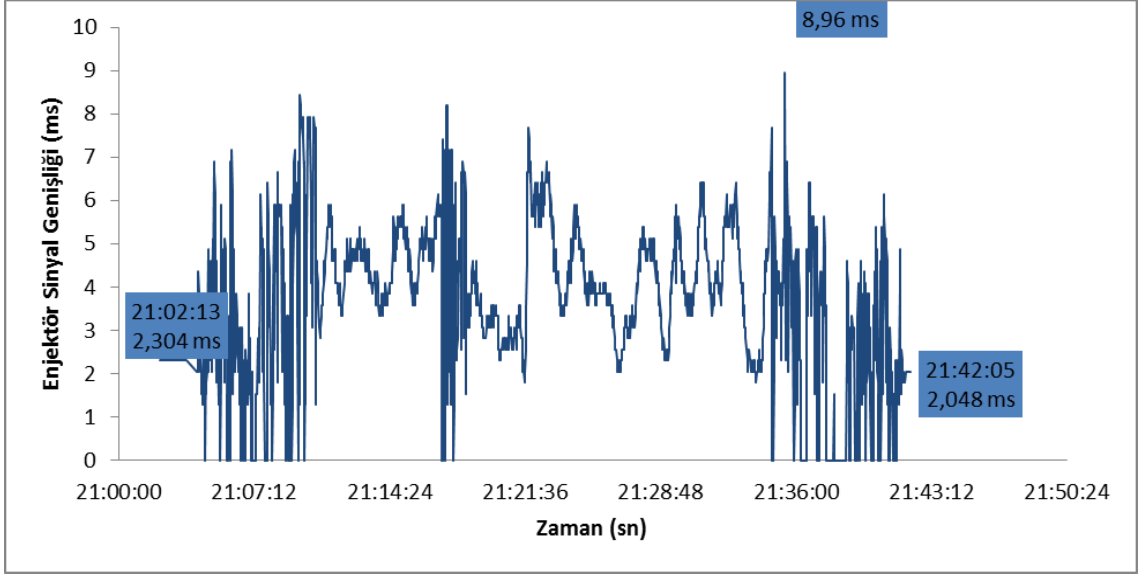
Yakıt tüketiminin doğru bir şekilde hesaplanması için toplamda aynı mesafe korunarak en yakın Opet benzin istasyonları referans alınmıştır.

08.02.2019 tarihinde saat 21:02 'de A → B FSM Köprüsü güzergahı seyri:

Google Haritlar'da okunan tahmini seyir süresi: 41 dakika

Gerçekleşen seyir süresi: 40 dakika

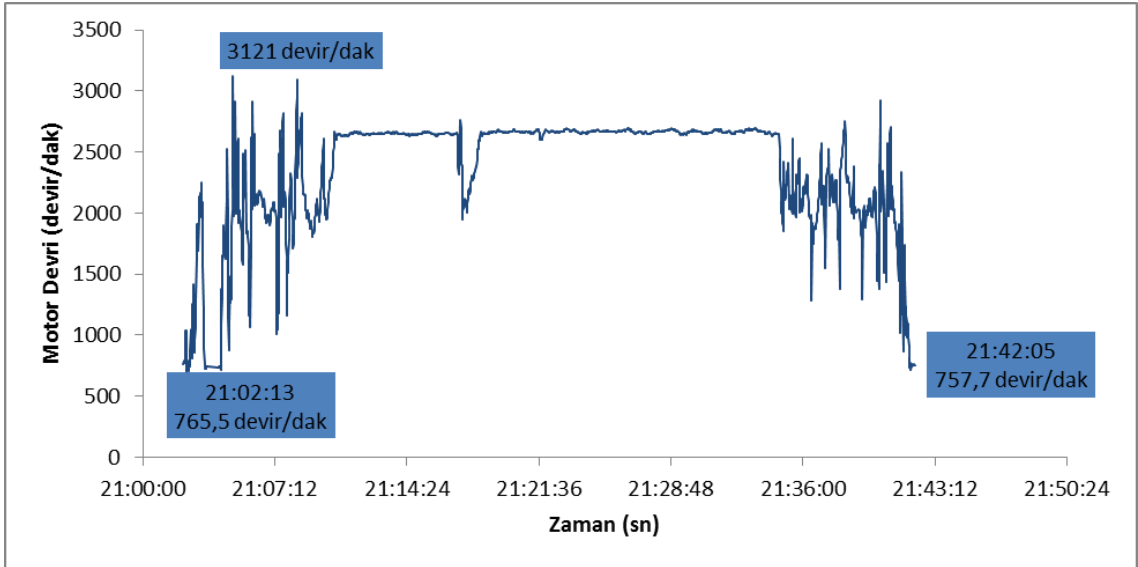
Trafiksiz zamanda yapılan seyirin verileri aşağıdaki şekildedir:



Şekil 6.4 A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile trafiksiz seyrinde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği

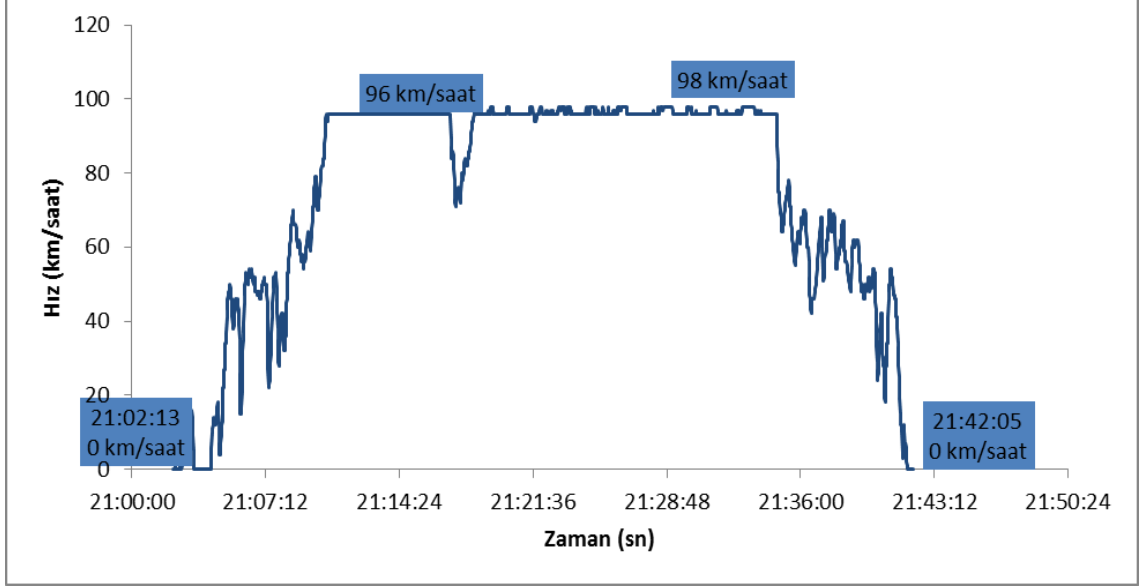
Grafikten anlaşılacağı üzere maksimum enjektör sinyal genişliği 8,96 ms iken minimum enjektör sinyal genişliği ise 0 ms'dir.

Gaz kelebeği pozisyonu seyir boyunca %13,3 ile %40 arasında değişmekte ve ortalama %22,6 pozisyonundadır. Saat 21:36 civarına bakıldığında enjektör sinyal genişliği 8,96 ms ile maksimum değerde iken gaz kelebeği pozisyonu da %40 ile maksimumdur.



Şekil 6.5 A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile trafiksiz seyrinde motor devri – zaman grafiği

Motor devri rölanti zamanalarında 760 devir/dakika seviyelerinde, maksimum motor devri 3121 devir/dakika ve çoğunlukla da 2500 devir/dakika seylerinde olduğu Şekil 6.5'ten görülmektedir.



Şekil 6.6 A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile trafiksiz seyrinde hız – zaman grafiği
Trafığın minimum olduğu zamanlarda ortalama 96 km/saat ile seyredilmiş ve maksimum 98 km/saat hıza çıkmıştır.

Seyir boyunca tüketilen yakıt miktarı 2,4 litre olup, Google Haritaların verdiği süre ile gerçekleşen seyir süresi arasında %2 lik bir fark mevcuttur.

6.4 A Noktasından B Noktasına Kısa Mesafe Yoğun Trafikli Seyir Durumu

Bir önceki bölümde trafiksiz seyrin özellikleri verilmiştir. Aynı güzergah için sabah işe gidiş zamanlarında 2 adet sürüş yapılmış ve seyir özellikleri aşağıda özetlenmektedir.

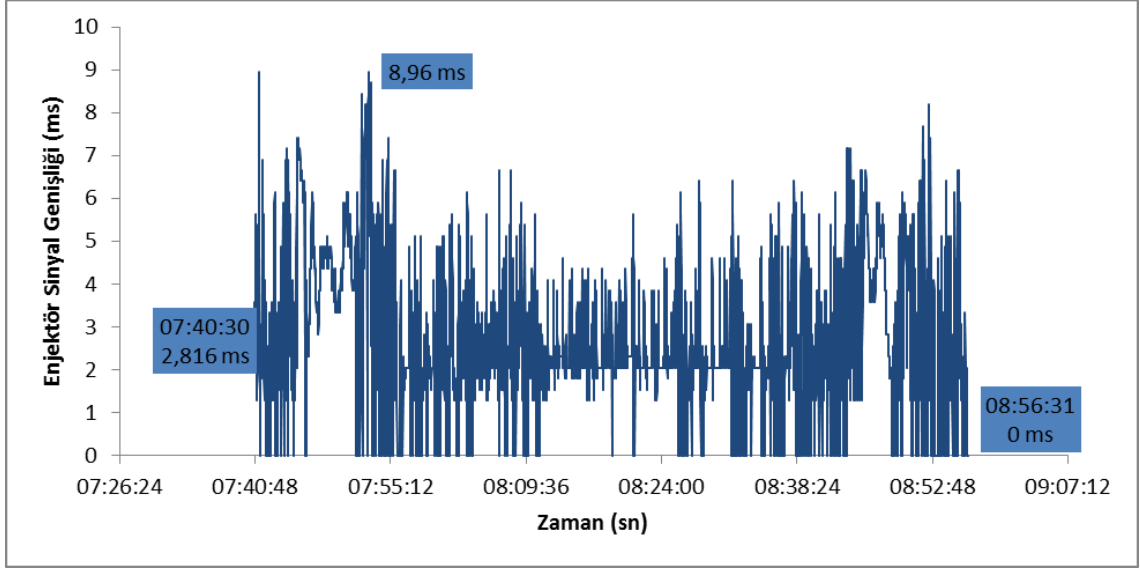
6.4.1 1. Seyir

12.02.2019 tarihinde saat 07:40 'ta A → B FSM Köprüsü güzergahı seyri:

Google Haritlar'da okunan tahmini seyir süresi: 83 dakika

Gerçekleşen seyir süresi: 76 dakika

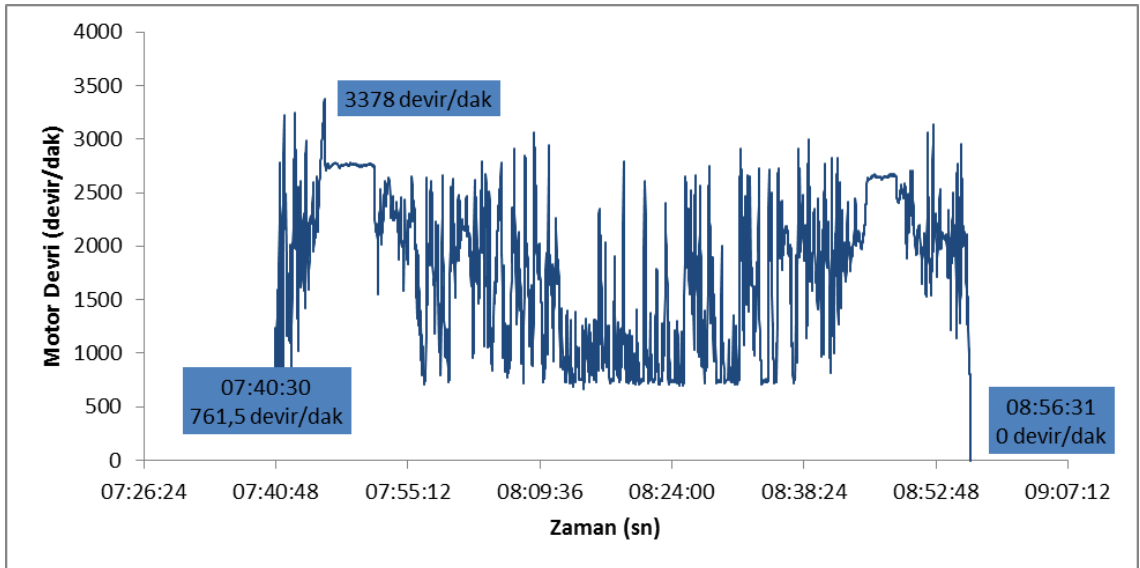
Seyir verileri aşağıdaki şekildedir:



Şekil 6.7 A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyrinde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği (1. seyir)

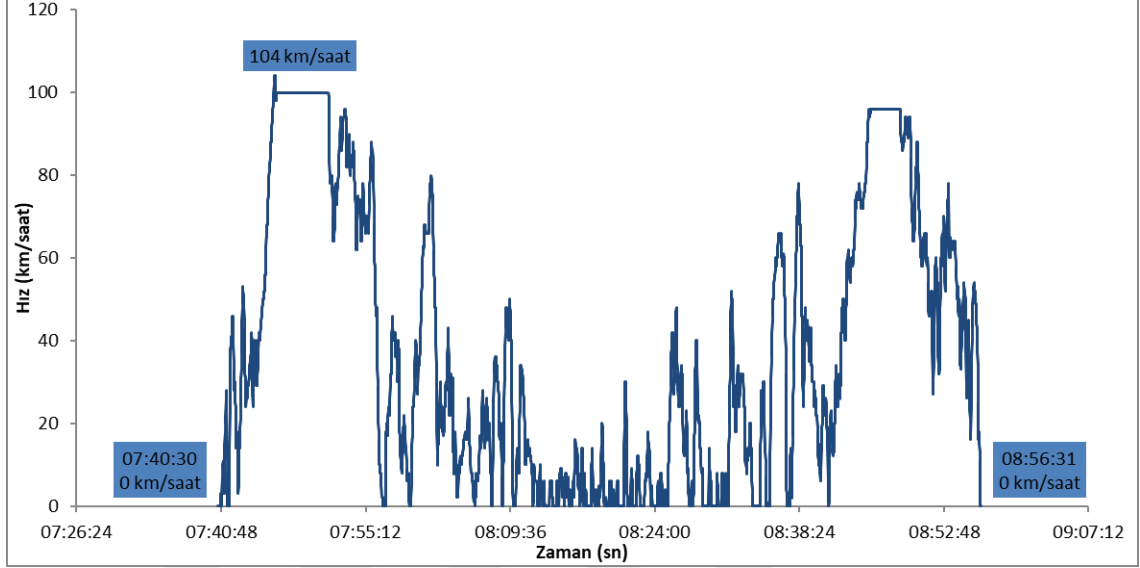
Grafikten anlaşılacağı üzere enjektör sinyal genişliğinin değişkenliği trafiksiz seyre göre çok fazladır. Maksimum enjektör sinyal genişliği 8,96 ms iken minimum enjektör sinyal genişliği ise 0 ms'dir.

Gaz kelebeği pozisyonu seyir boyunca %13,3 ile %52,1 arasında değişmekte ve ortalama %18,5 pozisyonundadır. Saat 07:55 civarında enjektör sinyal genişliği 8,96 ms ile maksimum değerde iken gaz kelebeği pozisyonu da %52,1 ile maksimumdur.



Şekil 6.8 A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyrinde motor devri – zaman grafiği (1. seyir)

Motor devri rölanti zamanalarında 760 devir/dakika seviyelerinde, maksimum motor devri 3378 devir/dakika ve motor devrini stabil kaldığı zamanların azlığı Şekil 6.8'den görülmektedir.



Şekil 6.9 A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde hız – zaman grafiği (1. seyir)

Ortalama 38 km/saat hız ile seyredilmiş olup maksimum 104 km/saat hıza çıkmıştır. Trafik yoğunluğunun maksimum olduğu zamanlar hızın çoğunlukla 0 ve 0'a yakın olduğu zamanlardır. Bu zamanlar konum olarak köprü girişi ve köprü geçişlerini tariflemektedir.

Seyir boyunca tüketilen toplam yakıt miktarı 2,99 litredir.

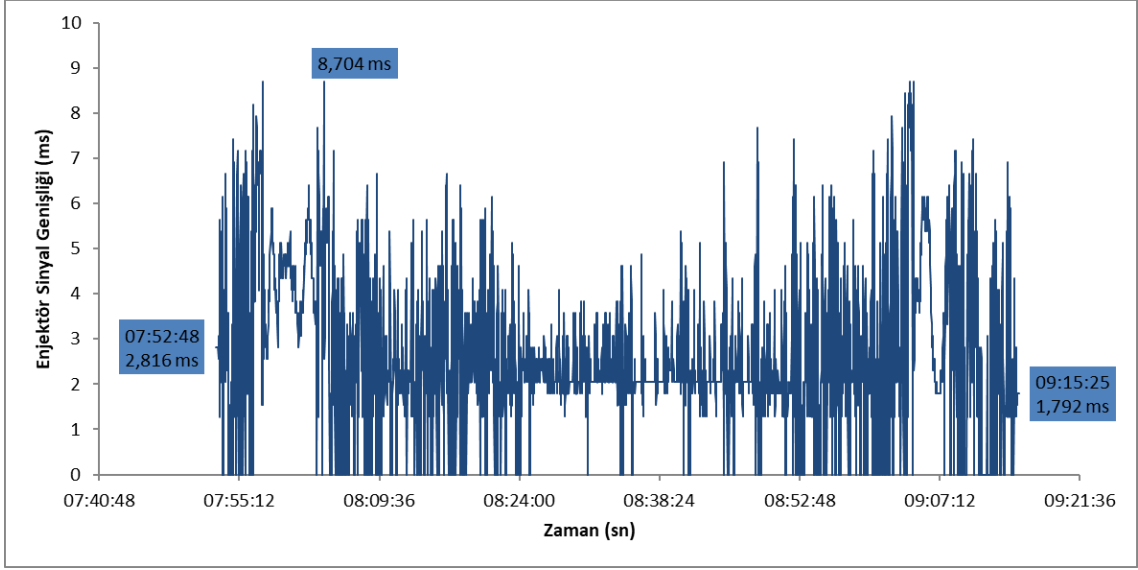
6.4.2 2. Seyir

20.02.2019 tarihinde saat 07:52 'de A → B FSM Köprüsü güzergahı seyri:

Google Haritlar'da okunan tahmini seyir süresi: 81 dakika

Gerçekleşen seyir süresi: 83 dakika

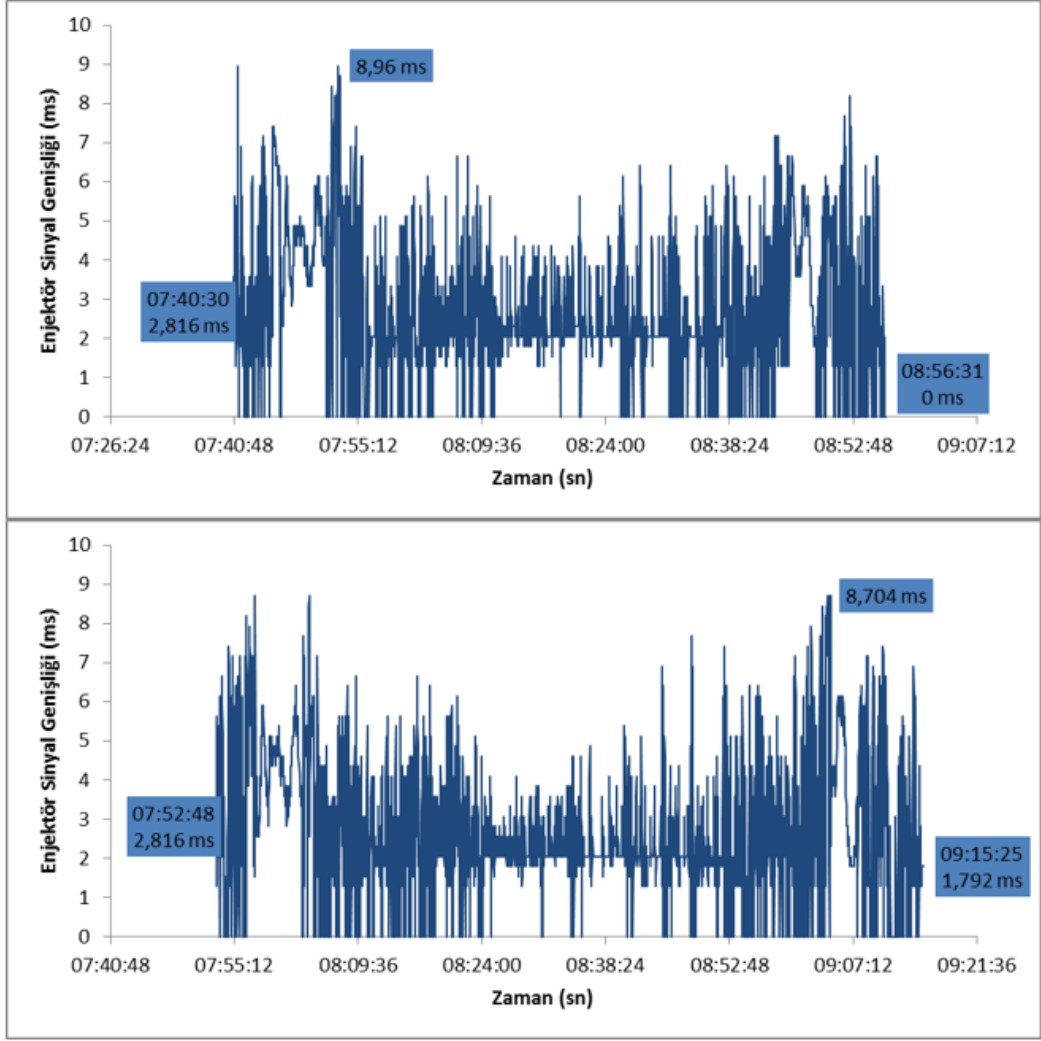
Seyir verileri aşağıdaki şekildedir:



Şekil 6.10 A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği (2. seyir)

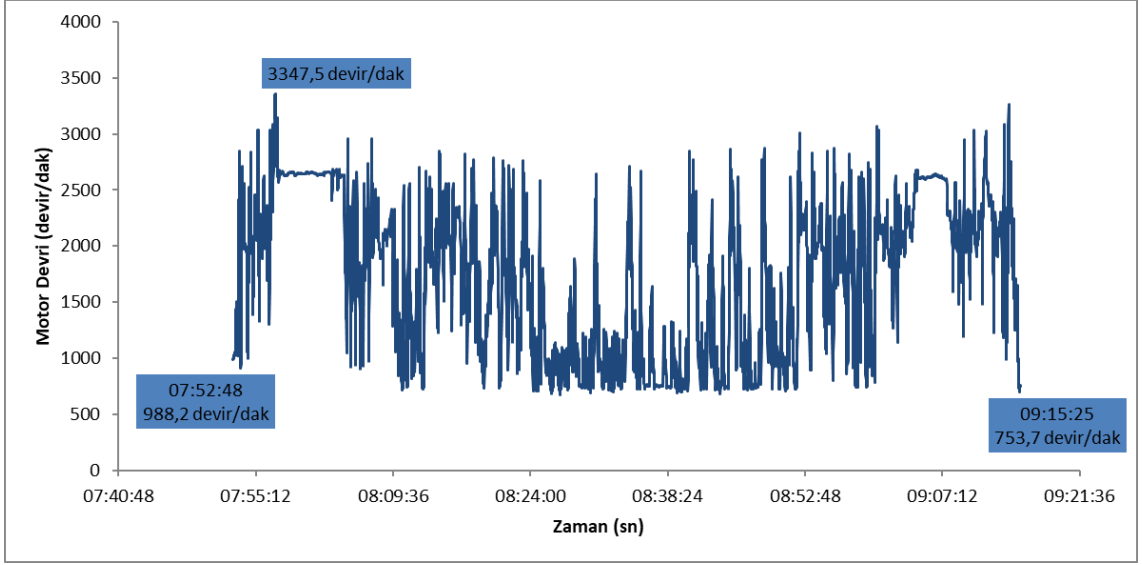
Grafikten anlaşılacağı üzere 2. seyirde de enjektör sinyal genişliğinin değişkenliği trafiksiz seyre göre çok fazladır. Maksimum enjektör sinyal genişliği 8,704 ms iken minimum enjektör sinyal genişliği ise 0 ms'dir.

Gaz kelebeği pozisyonu seyir boyunca %12,9 ile %51,3 arasında değişmekte ve ortalama %18,3 pozisyonundadır. Saat 08:00 civarına bakıldığında enjektör sinyal genişliği 8,704 ms ile maksimum değerde iken gaz kelebeği pozisyonu da %51,3 ile maksimumdur.



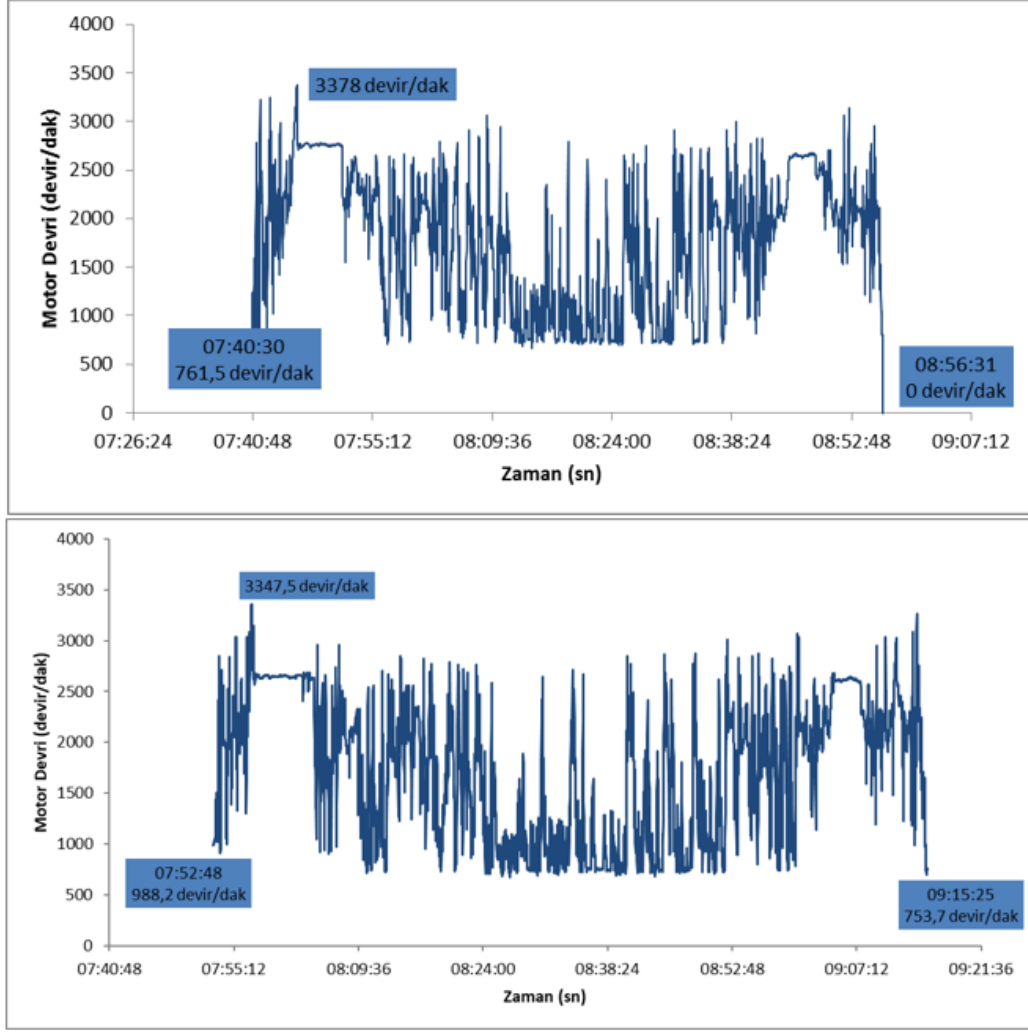
Şekil 6.11 A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyrde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği (1. seyr ve 2. seyr karşılaştırması)

Şekil 6.11'e bakarak 1. ve 2. seyrdeki enjektör sinyal genişliklerinin benzer olduklarını söyleyebiliriz.



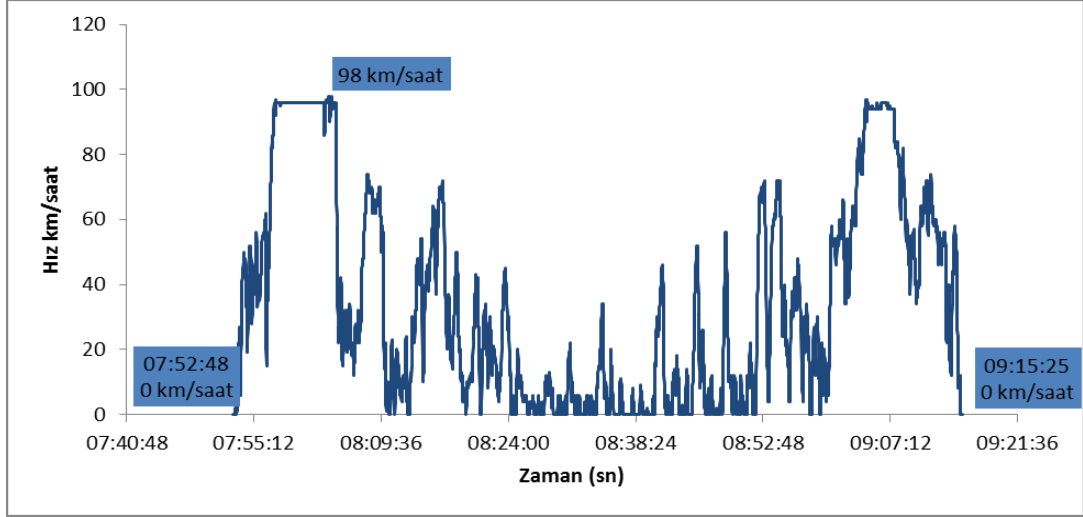
Şekil 6.12 A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde motor devri – zaman grafiği (2. seyir)

Motor devri rölanti zamanalarında 753 - 988 devir/dakika seviyelerinde, maksimum motor devri 3347 devir/dakika ve motor devrini stabil kaldığı zamanların azlığı da 1.seyirdekine benzer Şekil 6.12'den görülmektedir.



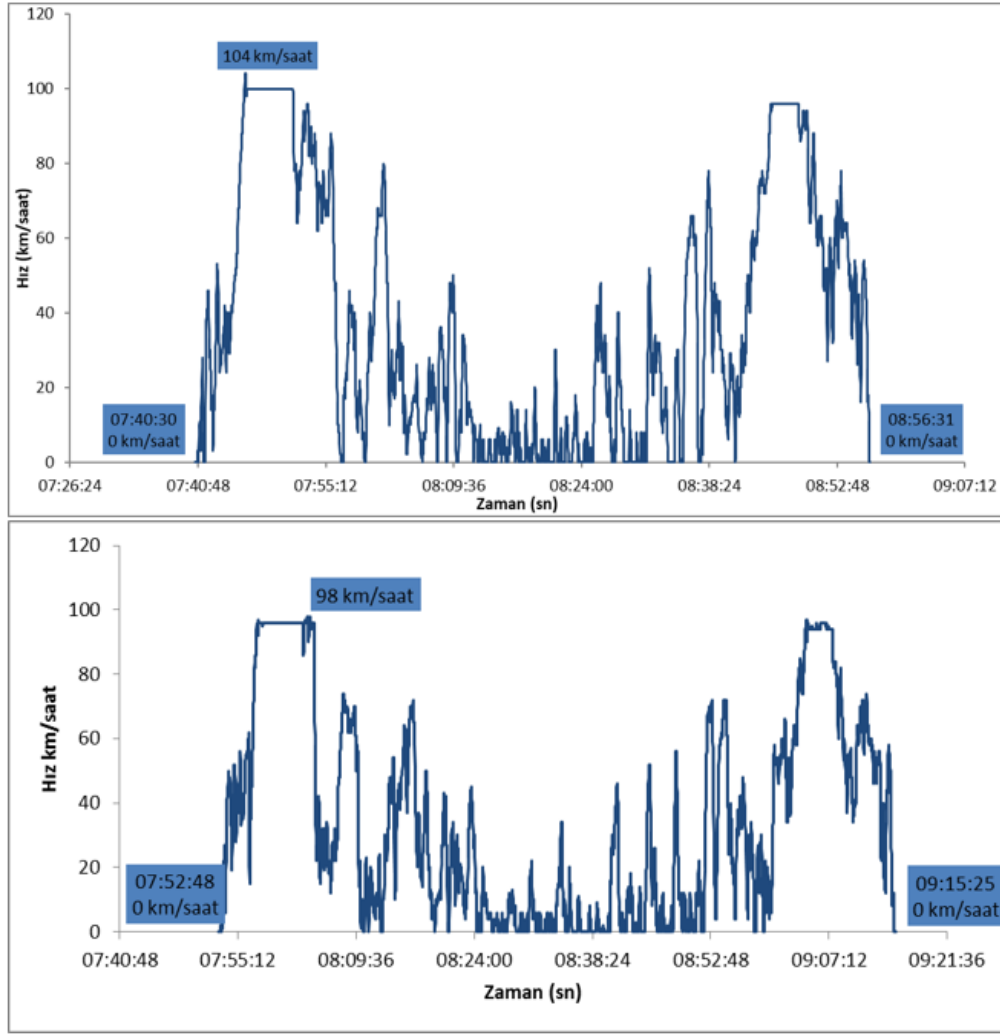
Şekil 6.13 A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde motor devri – zaman grafiği (1. seyir ve 2. seyir karşılaştırması)

Şekil 6.13'ten anlaşılacağı üzere 1. ve 2. seyirdeki motor devirleri benzerlik göstermektedir.



Şekil 6.14 A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde hız – zaman grafiği (2. seyir)

Ortalama 35 km/saat hız ile seyredilmiş olup maksimum 98 km/saat hıza çıkmıştır. Trafik yoğunluğunun maksimum olduğu zamanlar hızın çoğunlukla 0 ve 0'a yakın olduğu zamanlardır. Bu zamanlar 1. seyirdeki gibi konum olarak köprü girişi ve köprü geçişlerini tariflemektedir.



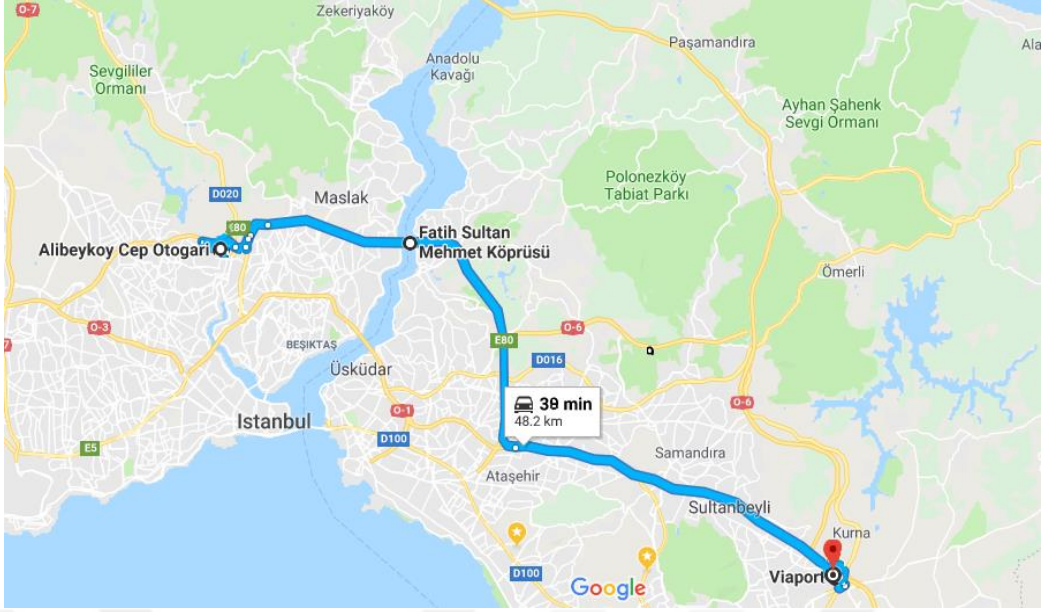
Şekil 6.15 A noktasından B noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyrinde hız – zaman grafiği (1. seyrir ve 2. seyrir karşılaştırması)

1 ve 2. Seyrin hız – zaman grafiklerini karşılaştırdığımızda, Şekil 6.15'te hız artış ve düşüş bölgelerinin neredeyse aynı olduğunu görmekteyiz.

2. seyrir boyunca tüketilen yakıt miktarı 1. seyrirden sadece 0,1 litre farklı olup toplam değer 3,1 litredir.

6.5 B Noktasından A Noktasına Kısa Mesafe Yoğun Trafikli Seyir Durumu

B noktasından A noktasına FSM Köprüsü geçişi ile trafik yoğunluğunun en fazla olduğu, akşam iş çıkışı saatlerinde, 2 adet sürüş gerçekleştirilmiş olup, seyrir verileri aşağıdaki şekilde yorumlanmıştır.



Şekil 6.16 Alibeyköy cep otogarı – Viaport alışveriş merkezi E-80 otoyolu güzergahı

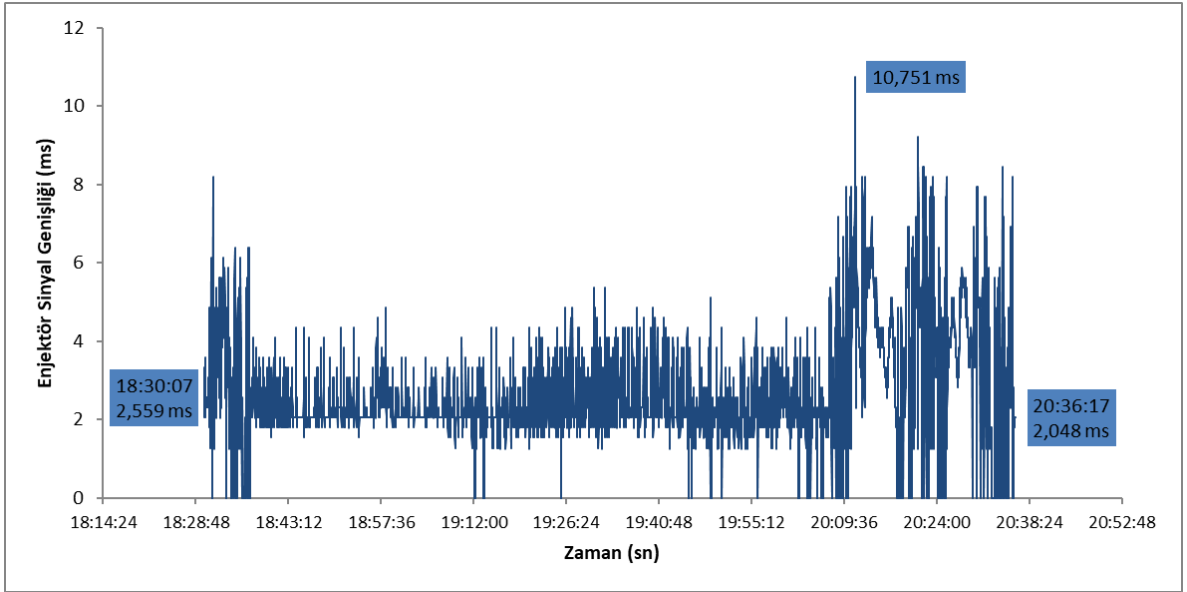
6.5.1 1. Seyir

08.02.2019 tarihinde saat 18:30 'da B → A FSM Köprüsü güzergahı seyri:

Google Haritlar'da okunan tahmini seyir süresi: 106 dakika

Gerçekleşen seyir süresi: 126 dakika

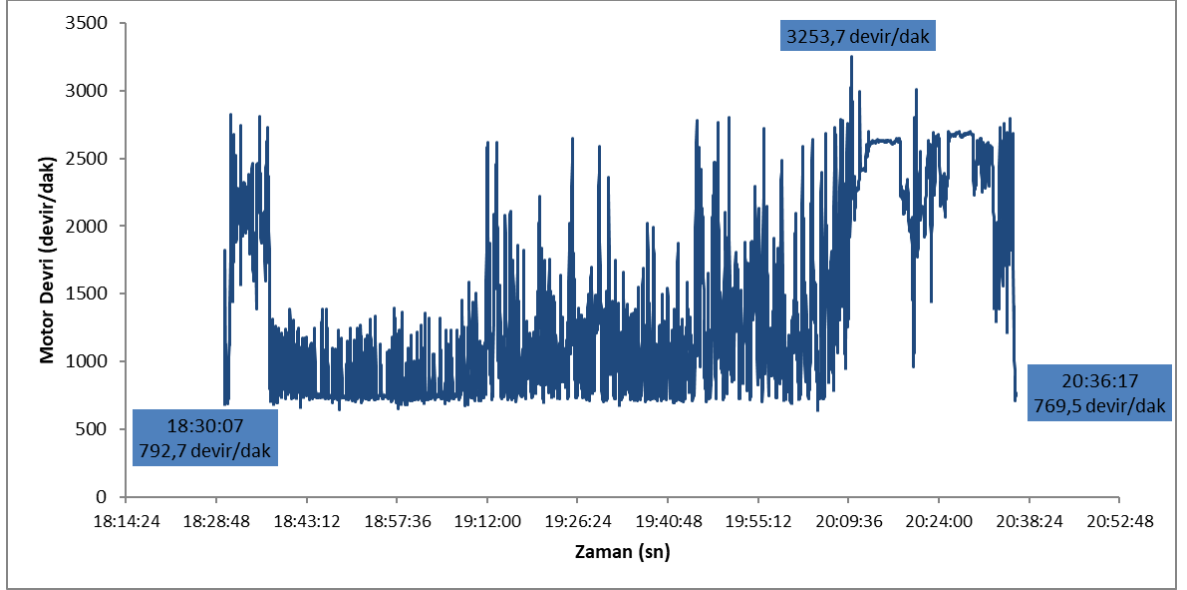
Seyir verileri aşağıdaki şekildedir:



Şekil 6.17 B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği (1. seyir)

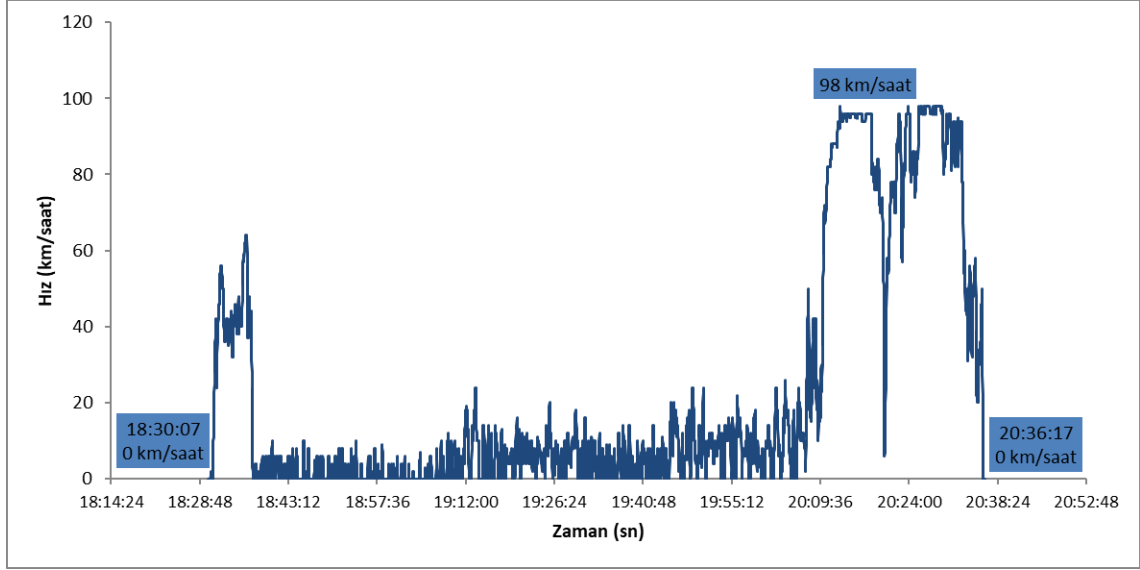
Grafikten anlaşılacağı üzere enjektör sinyal genişliği çok fazla değişkenliğe sahiptir. Maksimum enjektör sinyal genişliği 10,75 ms iken minimum enjektör sinyal genişliği ise 0 ms'dir.

Gaz keleşi pozisyonu seyir boyunca %13,9 ile %78 arasında değişmekte ve ortalama %17,2 pozisyonudur. Saat 20:15 civarına bakıldığında enjektör sinyal genişliği 10,75 ms ile maksimum değerde iken gaz keleşi pozisyonu da %78 ile maksimumdur.



Şekil 6.18 B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde motor devri – zaman grafiği (1. seyir)

Motor devri rölanti zamanlarında 760 - 792 devir/dakika seviyelerinde, maksimum motor devri 3253 devir/dakika ve motor devrini stabil kaldığı zamanların azlığı Şekil 6.18'den görölmektedir.



Şekil 6.19 B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyrinde hız – zaman grafiği (1. seyir)

Ortalama 23 km/saat hız ile seyredilmiş olup maksimum 98 km/saat hıza çıkmıştır. Trafik yoğunluğunun köprü çıkışına kadar devam ettiğini söyleyebiliriz.

Seyir boyunca tüketilen yakıt miktarı 4,4 litre olup, Google Haritalar'ın verdiği süre ile gerçekleşen seyir süresi arasında 20 dakikalık bir farklılık mevcuttur. Bu değer Google Haritalar'ın ortalama tahminlerine de çok yakın olmadığından bu tarih/zamana özel trafik yoğunluğunu artıracak bir hadisenin olduğu tahmin edilmektedir.

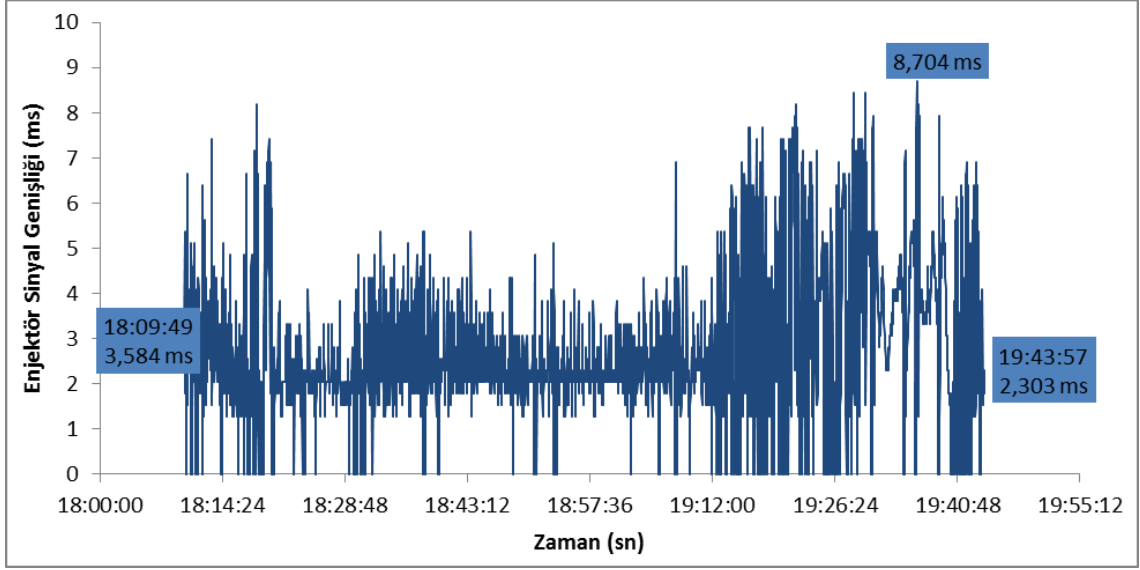
6.5.2 2. Seyir

08.02.2019 tarihinde saat 18:19 'da B → A FSM Köprüsü güzergahı seyri:

Google Haritlar'da okunan tahmini seyir süresi: 96 dakika

Gerçekleşen seyir süresi: 94 dakika

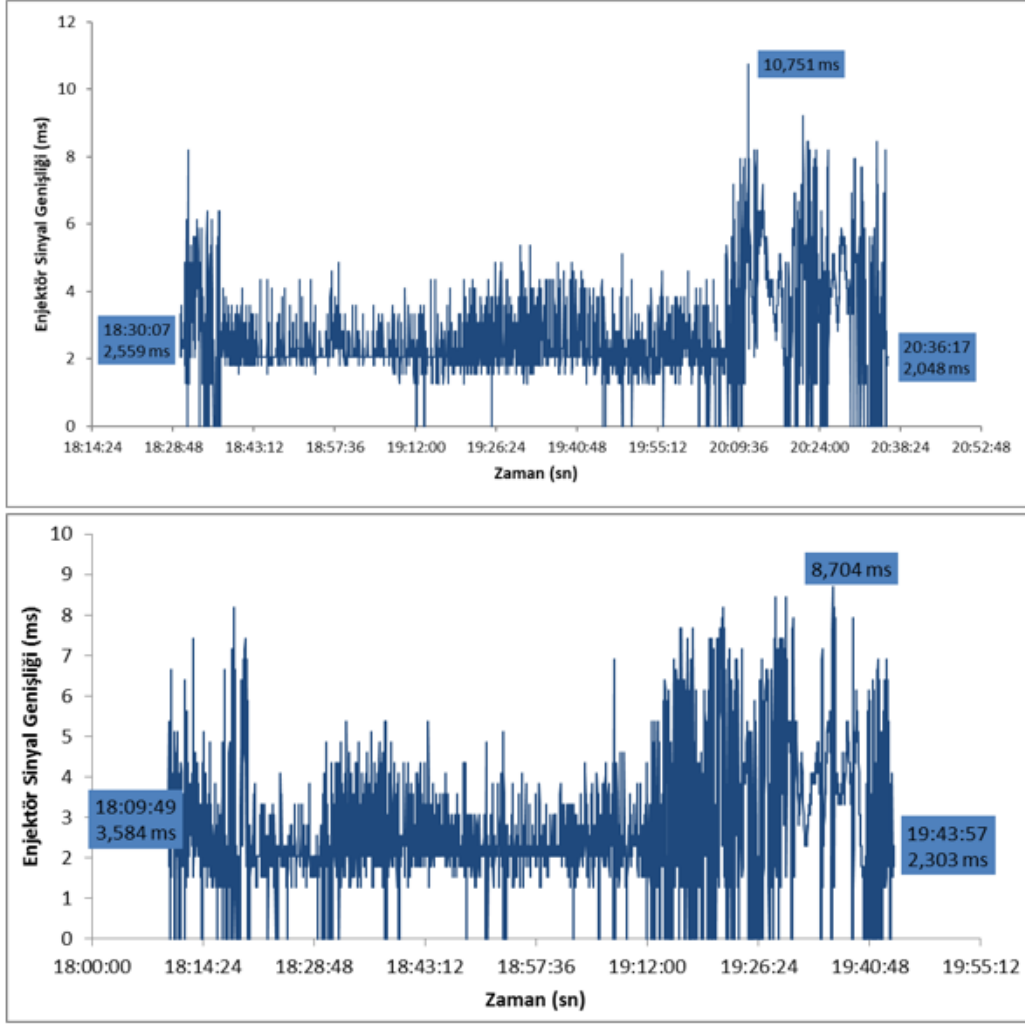
Seyir verileri aşağıdaki şekildedir:



Şekil 6.20 B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği (2. seyir)

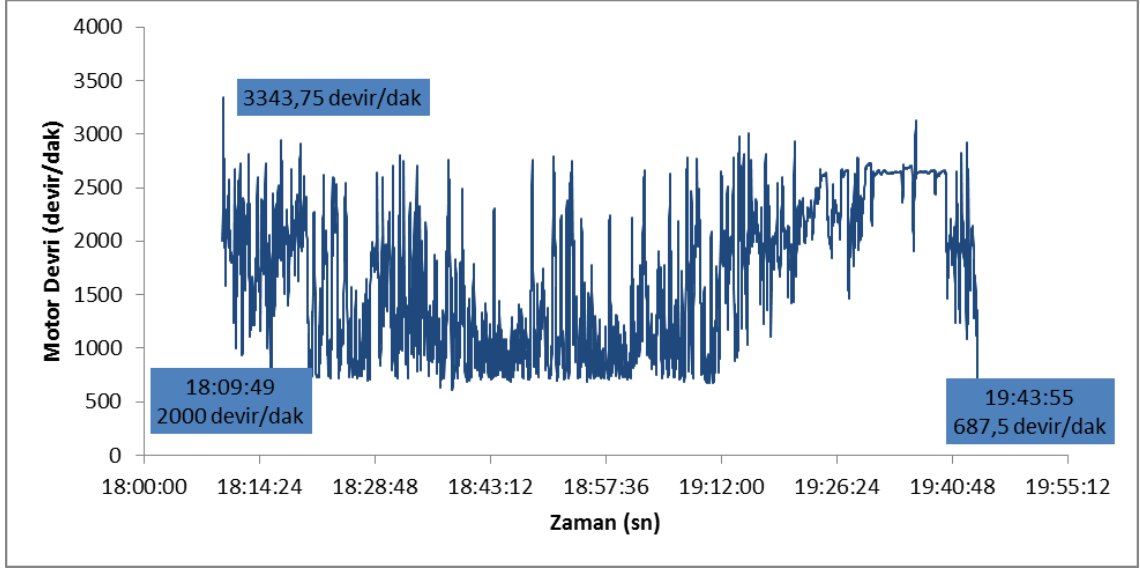
Grafikten anlaşılacağı üzere 2. seyirde de 1. seyirdeki gibi enjektör sinyal genişliği çok fazla değişkenliğe sahiptir. Maksimum enjektör sinyal genişliği 8,704 ms iken minimum enjektör sinyal genişliği ise 0 ms'dir.

Gaz kelebeği pozisyonu seyir boyunca %13,7 ile %43,9 arasında değişmekte ve ortalama %18,2 pozisyonundadır. Saat 19:32 civarına bakıldığında enjektör sinyal genişliği 8,707 ms ile maksimum değerde iken gaz kelebeği pozisyonu da %43,9 ile maksimumdur.



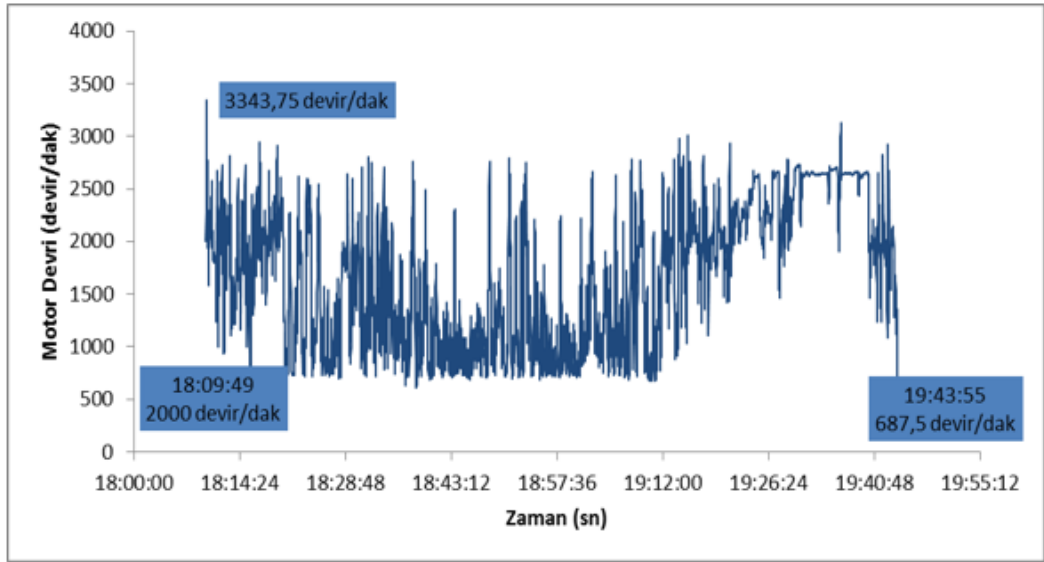
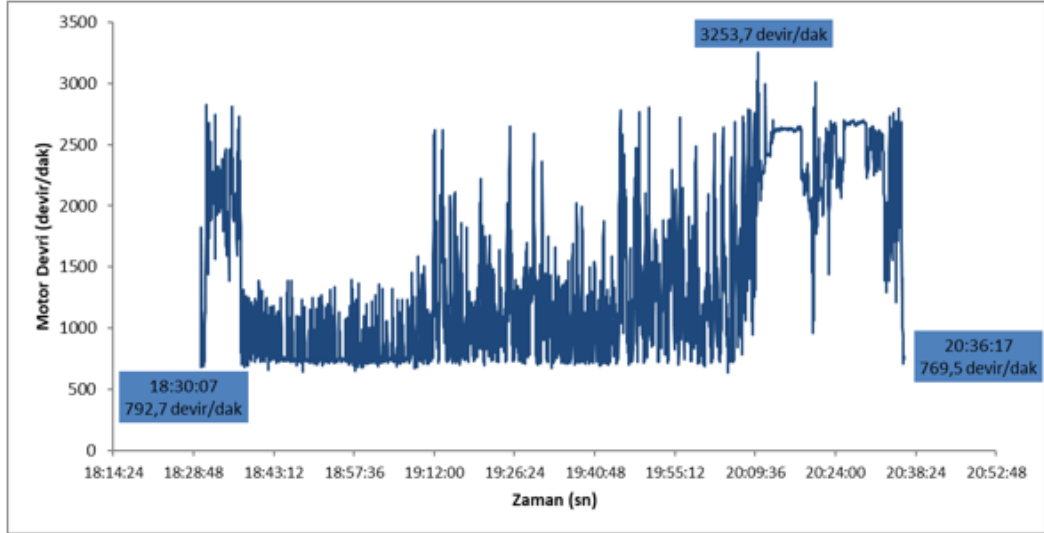
Şekil 6.21 B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği (1. seyir ve 2. seyir karşılaştırması)

Yüksek enjektör sinyal genişlikleri genellikle trafiğin daha az yoğun olduğu zamanlarda meydana gelmektedir. Şekil 6.21’den anlaşılacağı gibi, 1. seyirde köprü trafiği daha uzun sürmüştür. Seyir grafikleri, trafiğin yoğun ve az olduğu bölgelerde benzerlik göstermektedir.



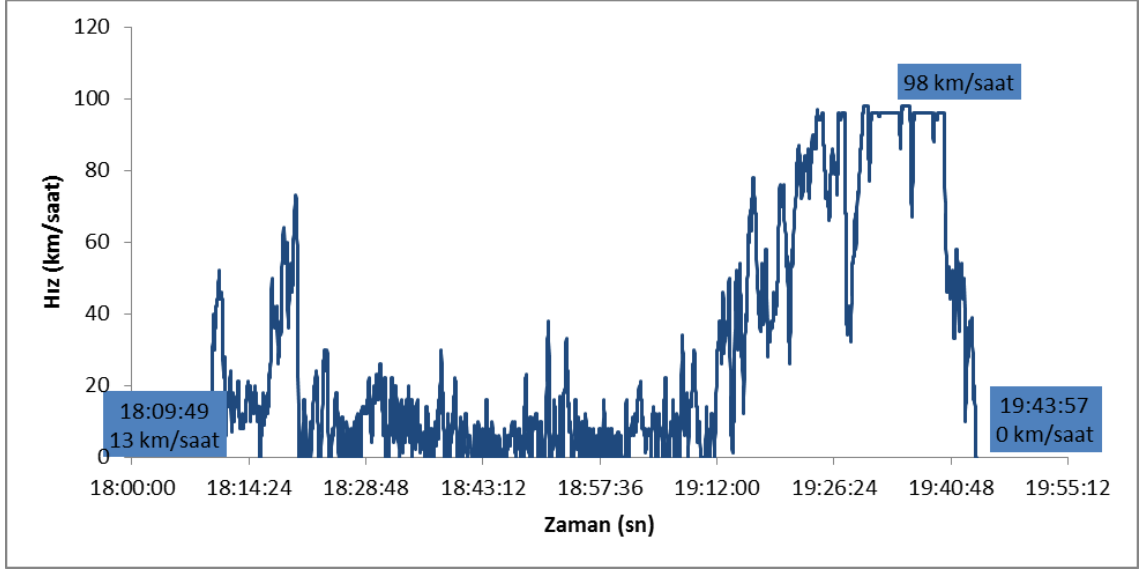
Şekil 6.22 B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde motor devri – zaman grafiği (2. seyir)

Motor devri rölanti zamanalarında 685 devir/dakika seviyelerinde, maksimum motor devri 3343 devir/dakika ve motor devrini sabit kaldığı zamanların azlığı Şekil 6.22'den görülmektedir.



Şekil 6.23 B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde motor devri – zaman grafiği (1. seyir ve 2. seyir karşılaştırması)

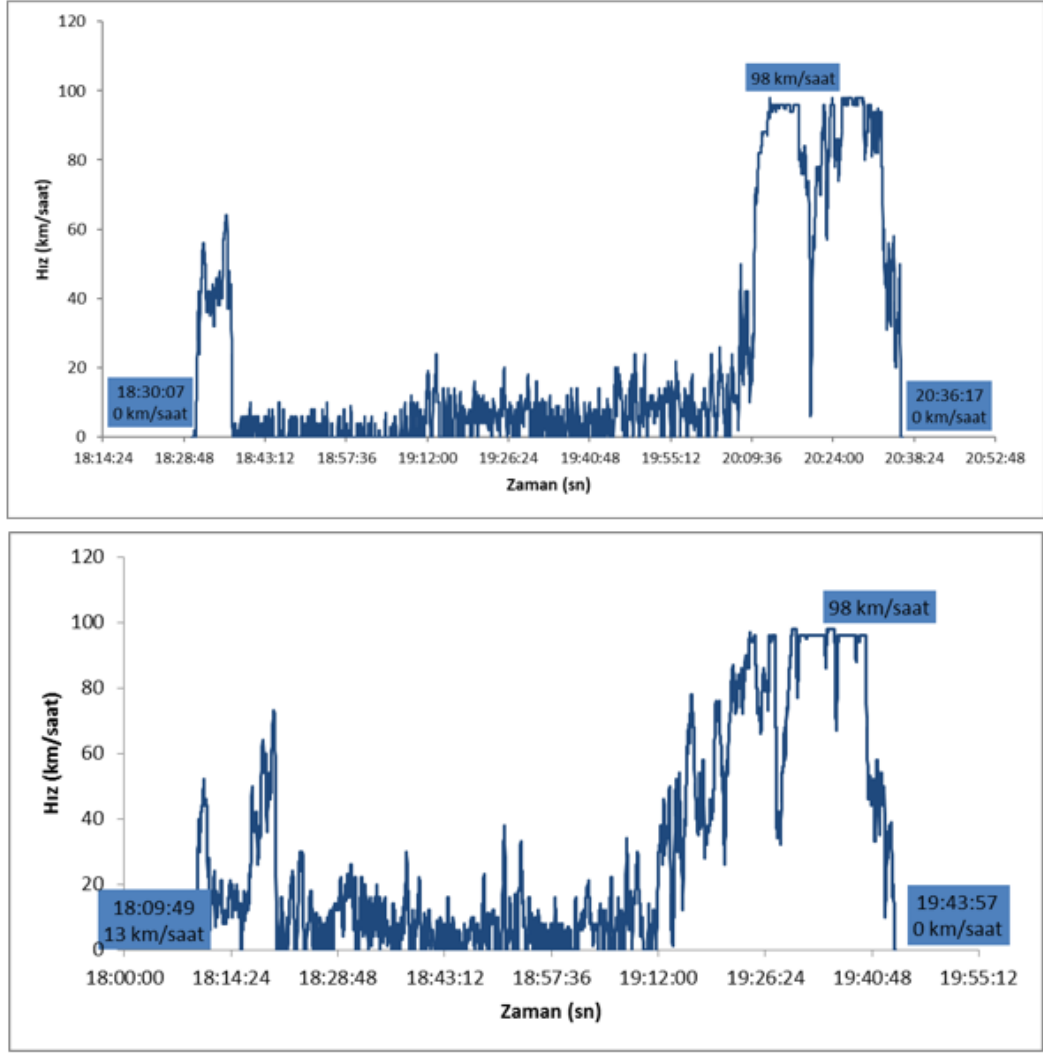
Grafiklere göre 1 ve 2. seyirler arasında benzerliklerin olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 6.24 B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde hız – zaman grafiği (2. seyir)

Ortalama 31 km/saat hız ile seyredilmiş olup maksimum 98 km/saat hıza çıkmıştır. Trafik yoğunluğunun köprü girişine kadar devam ettiğini söyleyebiliriz.

Seyir boyunca tüketilen yakıt miktarı 4,25 litre olup, Google Haritaların verdiği süre ile gerçekleşen seyir süresi arasında %2 fark mevcuttur.

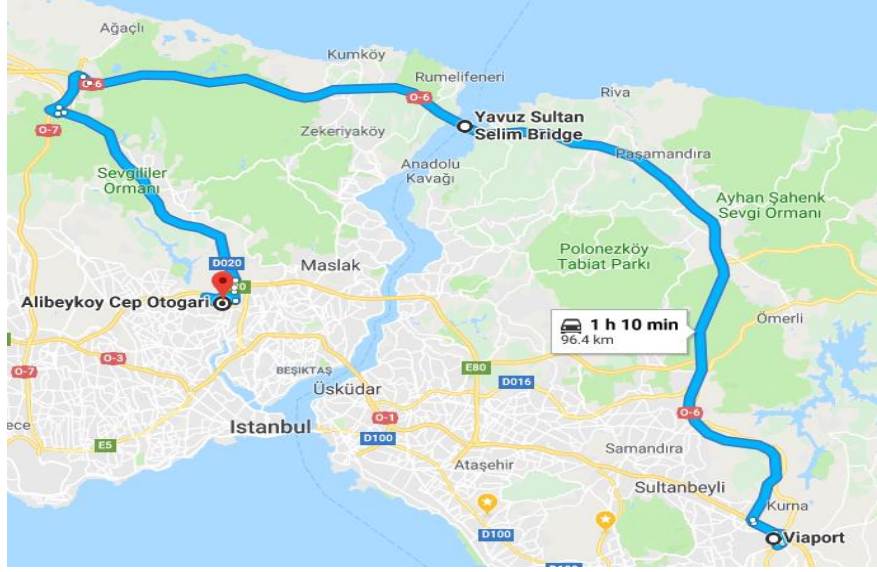


Şekil 6.25 B noktasından A noktasına E-80 otoyolu ile yoğun trafikli seyirde hız – zaman grafiği (1. seyir ve 2. seyir karşılaştırması)

1 ve 2. seyir hız - zaman grafiklerinden anlaşılacağı gibi 1. seyirde trafik yoğunluğu daha erken başlamış ve daha geç bitmiştir. Bu sebeple 1. seyirde toplamda 0,15 litre daha fazla yakıt tüketilmiştir.

6.6 A Noktasından B Noktasına O-7 Otoyolu Kullanımı Seyir Durumu

A noktasından B noktasına YSS Köprüsü güzergahı ile toplam 96,4 km olup, Google Haritalar verileri ile trafiksiz durumda hız limitlerine uygun gidildiğinde toplam seyir zamanı 70 dakika olmaktadır.



Şekil 6.26 Viaport alışveriş merkezi – Alibeyköy cep otogarı O-7 otoyolu güzergahı

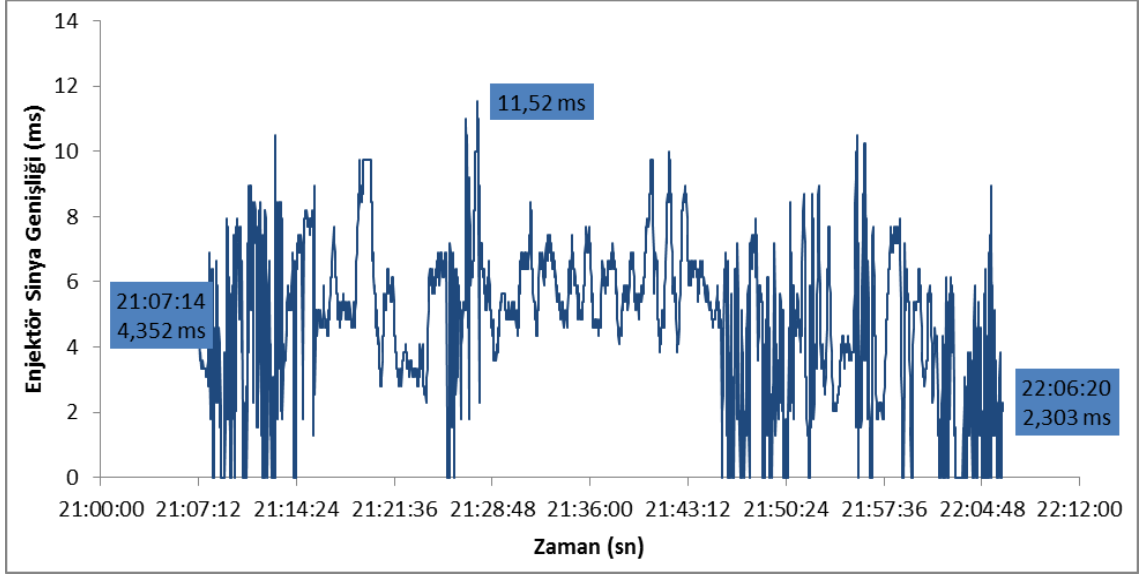
Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi A noktasından B noktasına YSS Köprüsü üzerinden seyr ederken trafiğin en yoğun olduğu zaman, toplam seyir süreleri ortalama 71,6 dakika olan sabah 07:00 – 08:00 saatleri arası işe gidiş zamanı ile akşam 19:00 – 20:00 saatleri arası işe çıkışı zamanındadır. Trafik yoğunluğuna bağlı en az ve en çok seyir süreleri arasında sadece 3 dakika bir fark olduğundan dolayı sürüş için herhangi bir zaman kısıtı bulunmamaktadır.

20.02.2019 tarihinde saat 21:07 'de A → B YSS Köprüsü güzergahı seyri:

Google Haritlar'da okunan tahmini seyir süresi: 71 dakika

Gerçekleşen seyir süresi: 59 dakika

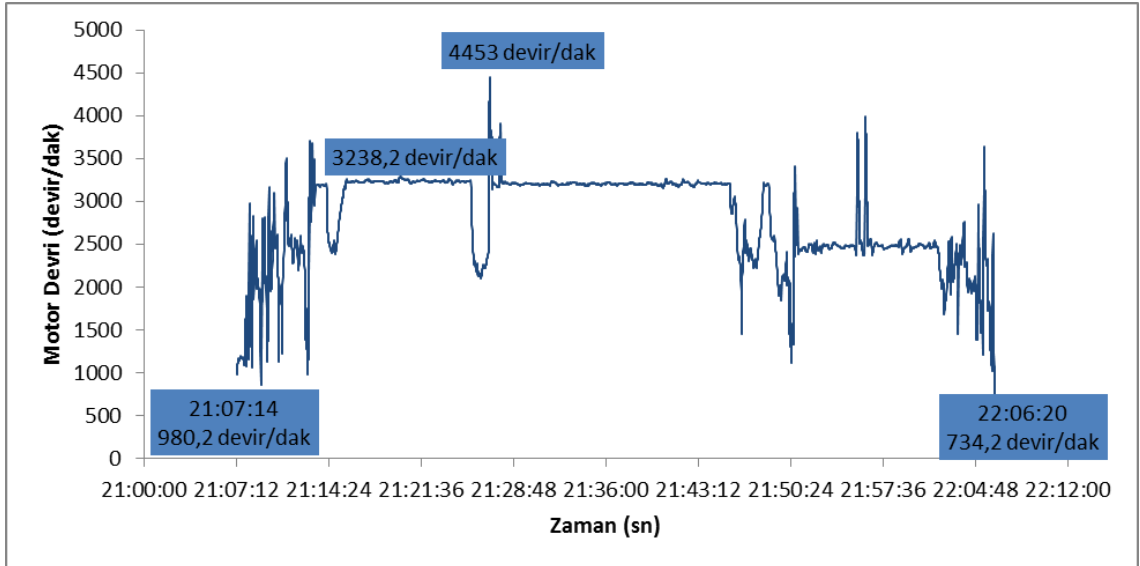
Seyir verileri aşağıdaki şekildedir:



Şekil 6.27 A noktasından B noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyrinde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği

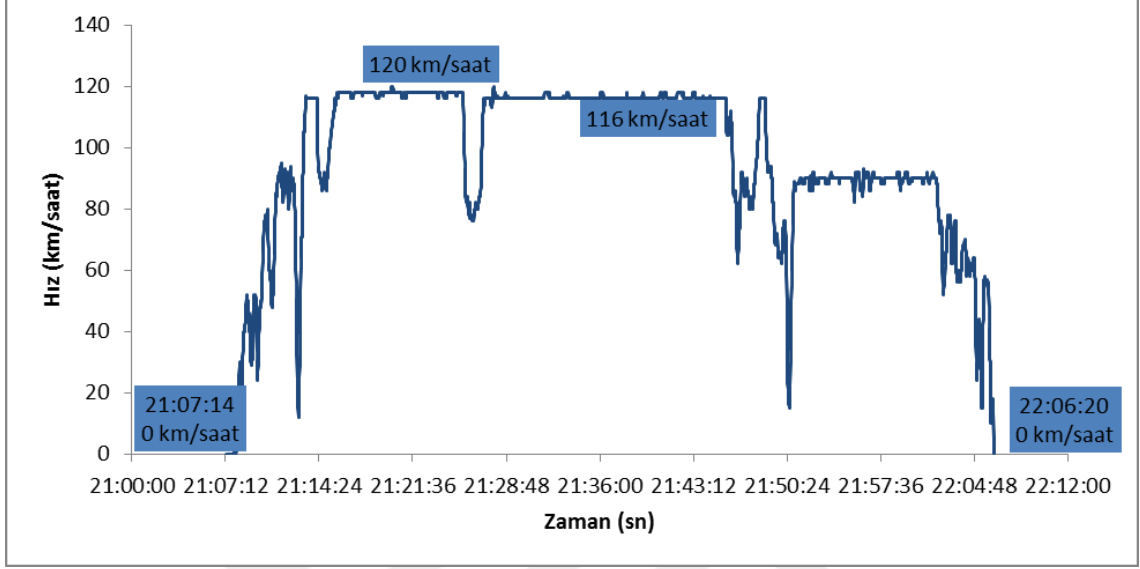
Şekil 6.27’deki grafikte gösterildiği gibi maksimum enjektör sinyal genişliği 11,52 ms’dir. Genliklerin diğer bölgelere göre daha sık olduğu bölgelerde trafik yoğunluğunun daha fazla olduğunu söyleyebiliriz.

Gaz kelebeği pozisyonu seyir boyunca %13,3 ile %87,4 arasında değişmekte ve ortalama %27,5 pozisyonundadır. Saat 21:28 civarında enjektör sinyal genişliği 11,52 ms ile maksimum değerde iken gaz kelebeği pozisyonu da %87,4 ile maksimumdur.



Şekil 6.28 A noktasından B noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyrinde motor devri – zaman grafiği

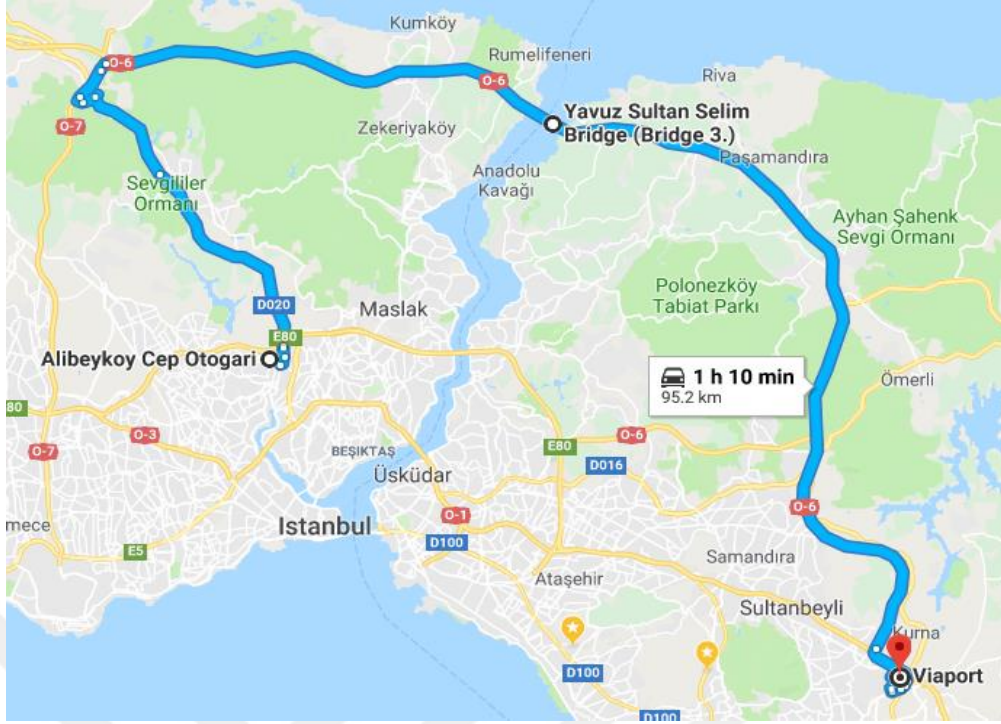
Trafik yoğunluğunun minimum olduğu bölgelerde aracın neredeyse sabit devirde, 3280 devir/dakikada, seyir ettiğini ve maksimum 4453 devir/dakika'ya çıktığını grafikten anlayabiliriz. Gişe giriş ve çıkışlarını da motor devrinin ani düşüş yaşadığı noktalar ile tahmin etmek mümkündür.



Şekil 6.29 A noktasından B noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyirinde hız – zaman grafiği Hız – zaman grafiğinden anlaşılacağı üzere, maksimum 120 km/saat hız ile seyir edilmiş olup, trafik yoğunluğunun minimum olduğu bölgelerde ortalama 116 km/saat sabit hız ile gidilmiştir. Seyir boyunca ortalama hız ise 97 km/saat'tir. Toplam tüketilen yakıt miktarı ise 6,44 litredir.

6.7 B Noktasından A Noktasına O-7 Otoyolu Kullanımı Seyir Durumu

B noktasından A noktasına YSS Köprüsü güzergahı ile toplam 95,2 km olup, Google Haritalar verileri ile trafiksiz durumda hız limitlerine uygun gidildiğinde toplam seyir zamanı 70 dakika olmaktadır.



Şekil 6.30 Alibeyköy cep otogarı – Viaport alışveriş merkezi O-7 otoyolu güzergahı

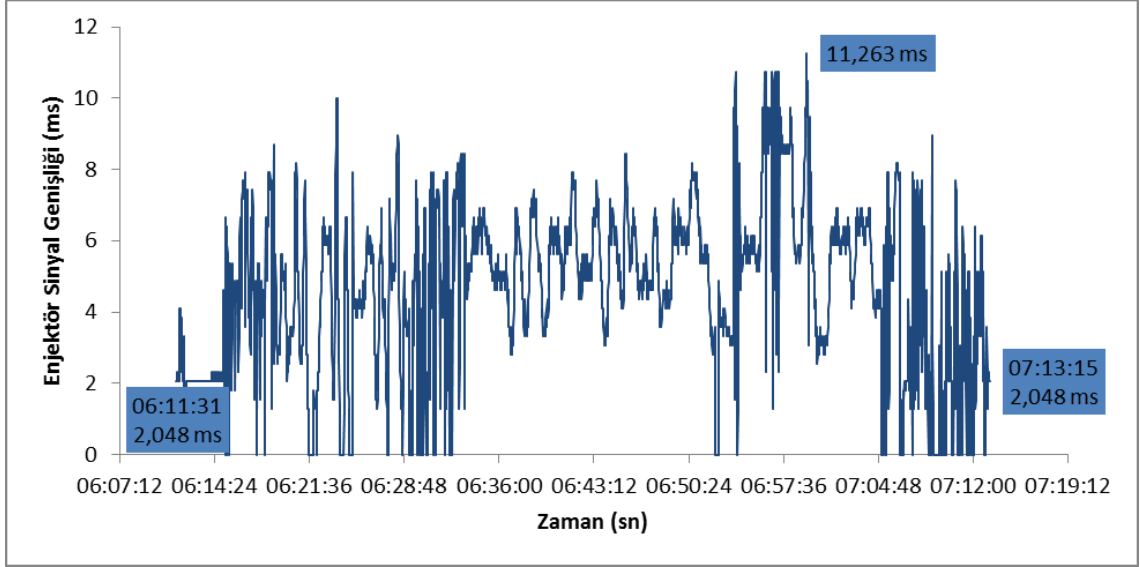
Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, B noktasından A noktasına YSS Köprüsü üzerinden seyir ederken trafiğin en yoğun olduğu zaman, toplam seyir süresi ortalama 70 dakika olan sabah 08:00 – 09:00 saatleri arası işe gidiş zamanındadır. Trafik yoğunluğunun en az ve en çok olduğu zamanlar arasındaki 2 dakikalık farktan dolayı sürüş için herhangi bir zaman kısıtı bulunmamaktadır.

12.02.2019 tarihinde saat 06:11 'de B → A YSS Köprüsü güzergahı seyri:

Google Haritlar'da okunan tahmini seyir süresi: 70 dakika

Gerçekleşen seyir süresi: 62 dakika

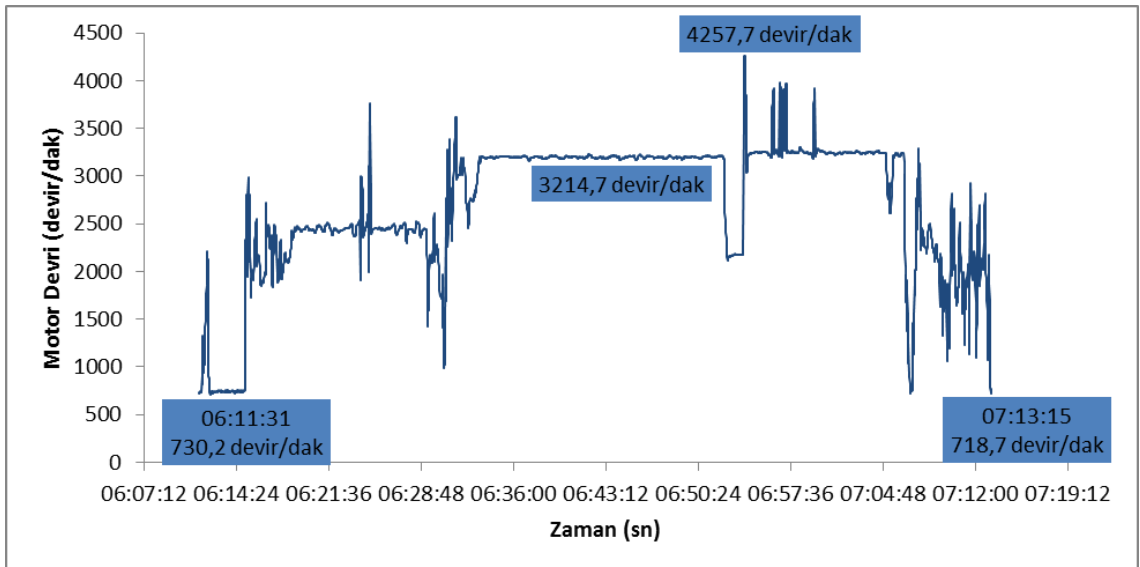
Seyir verileri aşağıdaki şekildedir:



Şekil 6.31 B noktasından A noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyrinde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği

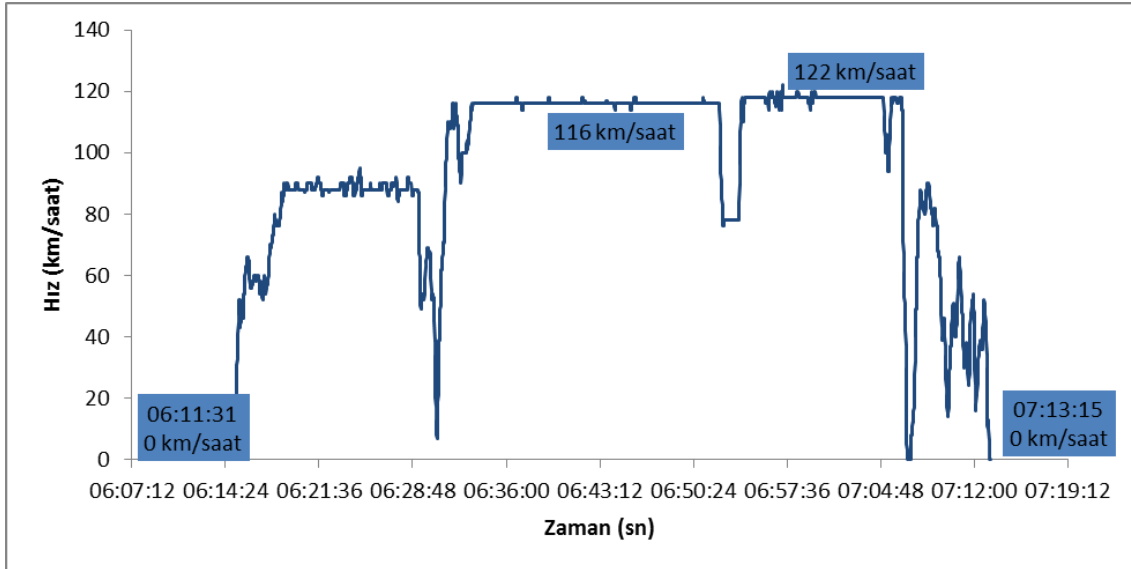
Şekil 6.31’deki grafikte gösterildiği gibi maksimum enjektör sinyal genişliği 11,26 ms’dir. Genliklerin diğer bölgelere göre daha sık olduğu bölgelerde trafik yoğunluğunun daha fazla olduğunu söyleyebiliriz.

Gaz keleşi pozisyonu seyir boyunca %13,3 ile %87,4 arasında değişmekte ve ortalama %27,2 pozisyonudur. Saat 07:00 civarında enjektör sinyal genişliği 11,26 ms ile maksimum değerde iken gaz keleşi pozisyonu da %87,4 ile maksimumdur.



Şekil 6.32 B noktasından A noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyrinde motor devri – zaman grafiği

Trafik yoğunluğunun minimum olduğu bölgelerde aracın neredeyse sabit devirde, 3214 devir/dakikada, seyir ettiğini ve maksimum 4257 devir/dakika'ya çıktığını grafikten anlayabiliriz. Gişe giriş ve çıkışlarını da motor devrinin ani düşüş yaşadığı noktalar ile tahmin etmek mümkündür.



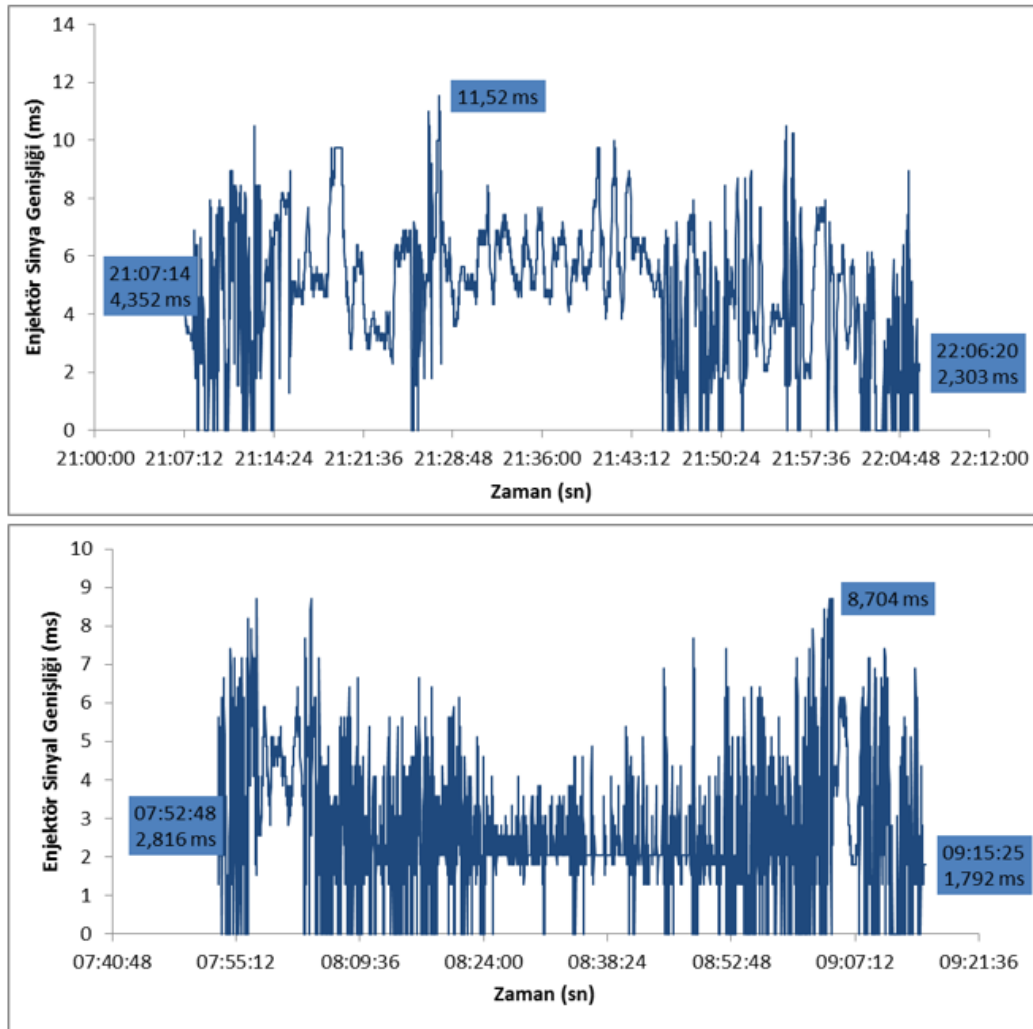
Şekil 6.33 B noktasından A noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyirinde hız – zaman grafiği Hız – zaman grafiğinden anlaşılacağı üzere, maksimum 122 km/saat hız ile seyir edilmiş olup, trafik yoğunluğunun minimum olduğu bölgelerde ortalama 116 km/saat sabit hız ile gidilmiştir. Seyir boyunca ortalama hız ise 92 km/saat'tir. Toplam tüketilen yakıt miktarı ise 6,37 litredir.

6.8 A Noktasından B Noktasına E-80 Otoyolu ile O-7 Otoyolu Kullanımının CO₂ Emisyonu ve Yakıt Tüketimi Açısından Değerlendirilmesi

A Noktasından B Noktasına kısa mesafe, yoğun trafikli yol (E-80) ile dış çeper çevre yolu (O-7) kullanımının enjektör sinyal genişliği, motor devri, gaz keleşi pozisyonu, hız verileri ile CO₂ emisyonu ve yakıt tüketimi değerlerinin karşılaştırılması aşağıda özetlenmiştir.

CO₂ emisyon miktarları EPA'nın sitesindeki uygulama ile hesaplanmıştır [25]. Bu hesaplamada EPA'nın 7 Mayıs 2010 tarihi ile kabul ettiği bir eşitlik kullanılmaktadır. Bu eşitliğe göre 1 galon benzin yakıtı yakıldığında 8887 gram CO₂ emisyonu ortaya çıkmaktadır [26].

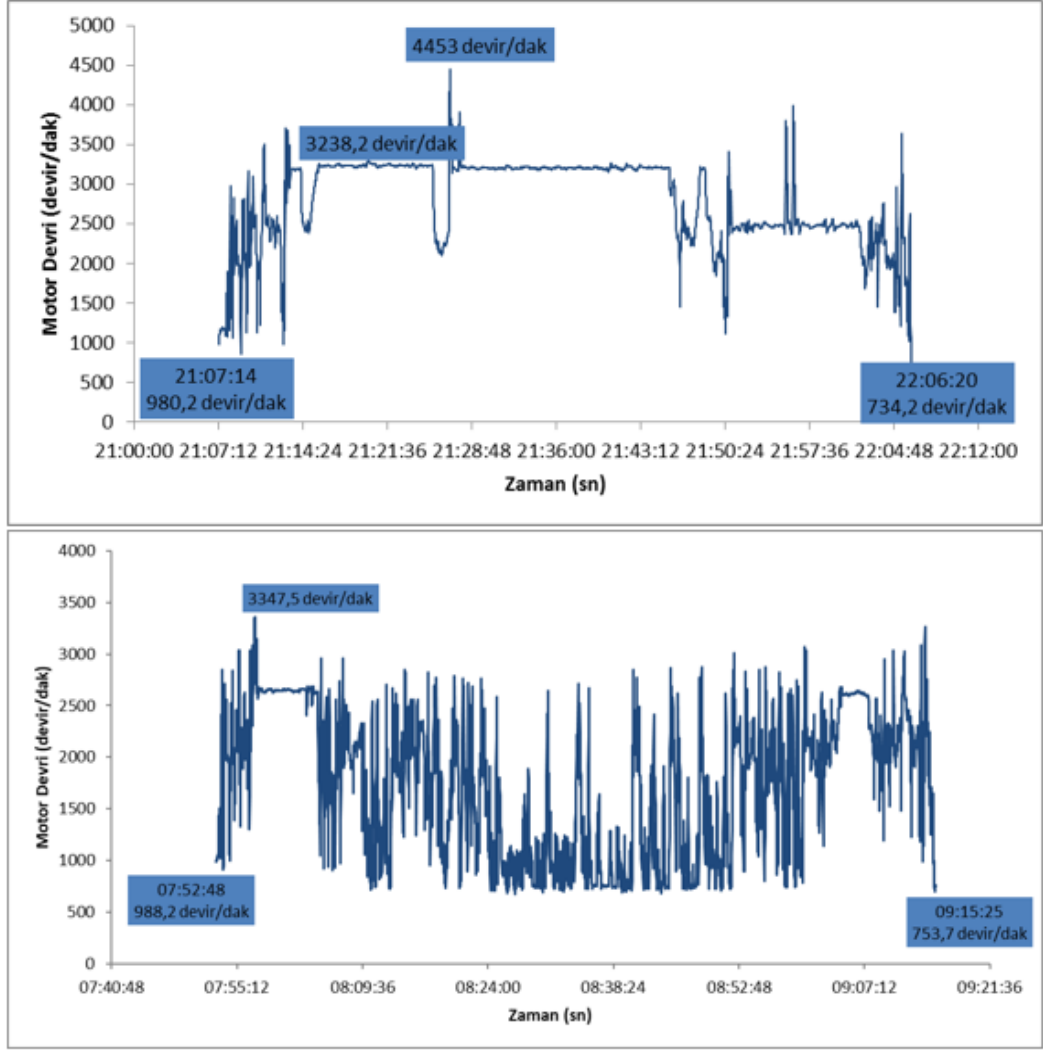
Kıyaslama yapılırken referans olarak seyir süresi daha uzun olan A→B FSM Köprüsü kullanımının 2. seyri alınmıştır.



Şekil 6.34 A noktasından B noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyri ile E-80 otoyolu yoğun trafikli seyrinde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği

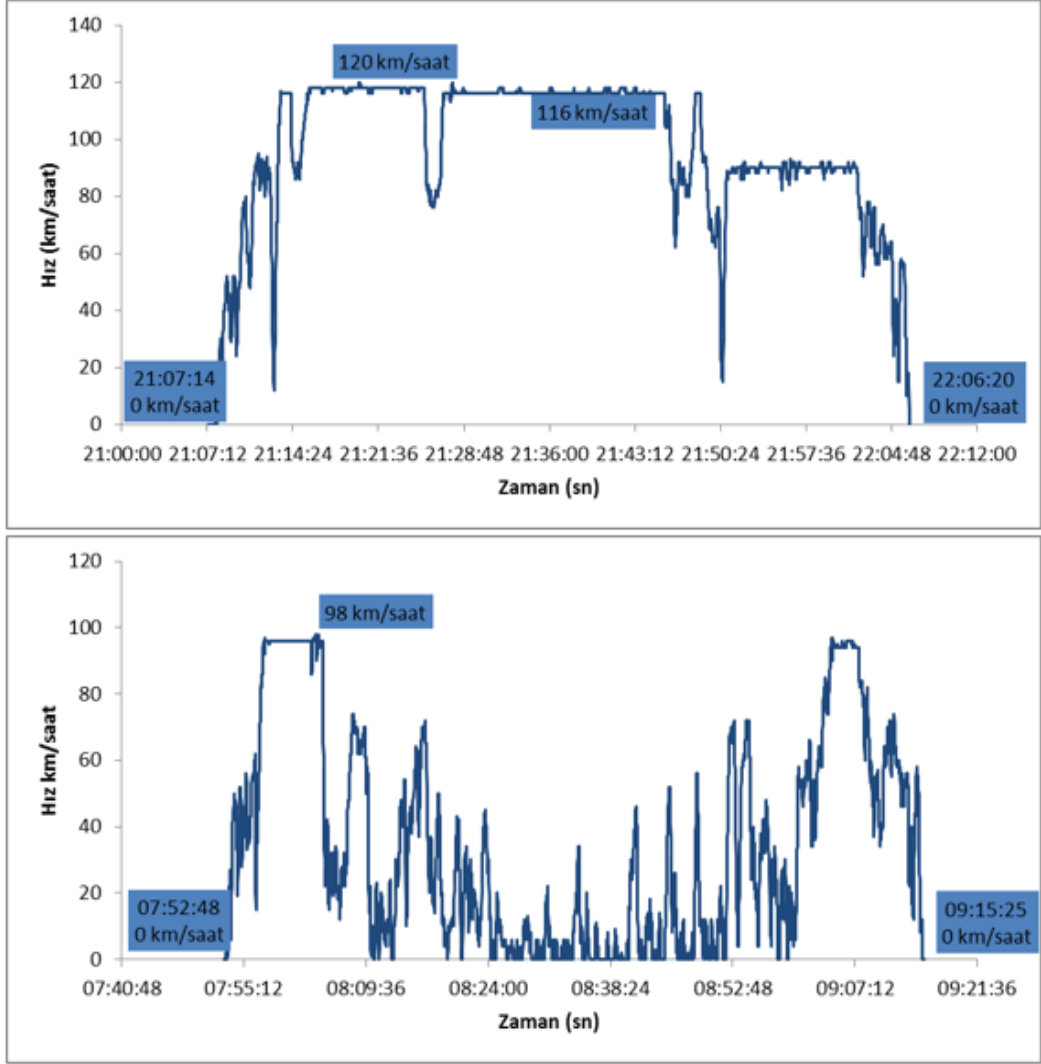
Bu bölüm boyunca karşılaştırılan grafiklerden üstteki grafik YSS Köprüsü kullanımını, alttaki grafik ise FSM Köprüsü kullanımını temsil etmektedir.

YSS Köprüsü kullanımı ile yapılan seyrin enjektör sinyal genişlikleri FSM Köprüsü kullanımı ile yapılan seyre göre daha seyrek olduğunu grafiklerden görmekteyiz. Maksimum enjektör sinyal genişliği 11,52 ms ile ve maksimum gaz keleşi pozisyonu %87,4 ile YSS Köprüsü kullanımı ile yapılan seyre ait olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 6.35 A noktasından B noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyri ile E-80 otoyolu yoğun trafikli seyride motor devri – zaman grafiği

Motor devirlerini kıyasladığımızda, YSS Köprüsü kullanılan seyride trafik yoğunluğunun az olduğu bölgelerde çoğunlukla sabit devirde gidildiği görünürken, FSM Köprüsü kullanılan seyride motor devrinin sürekli değiştiğini görmekteyiz. Maksimum motor devri 4453 devir/dakika ile YSS Köprüsü seyride görülmüştür.



Şekil 6.36 A noktasından B noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyri ile E-80 otoyolu yoğun trafikli seyrinde hız – zaman grafiği

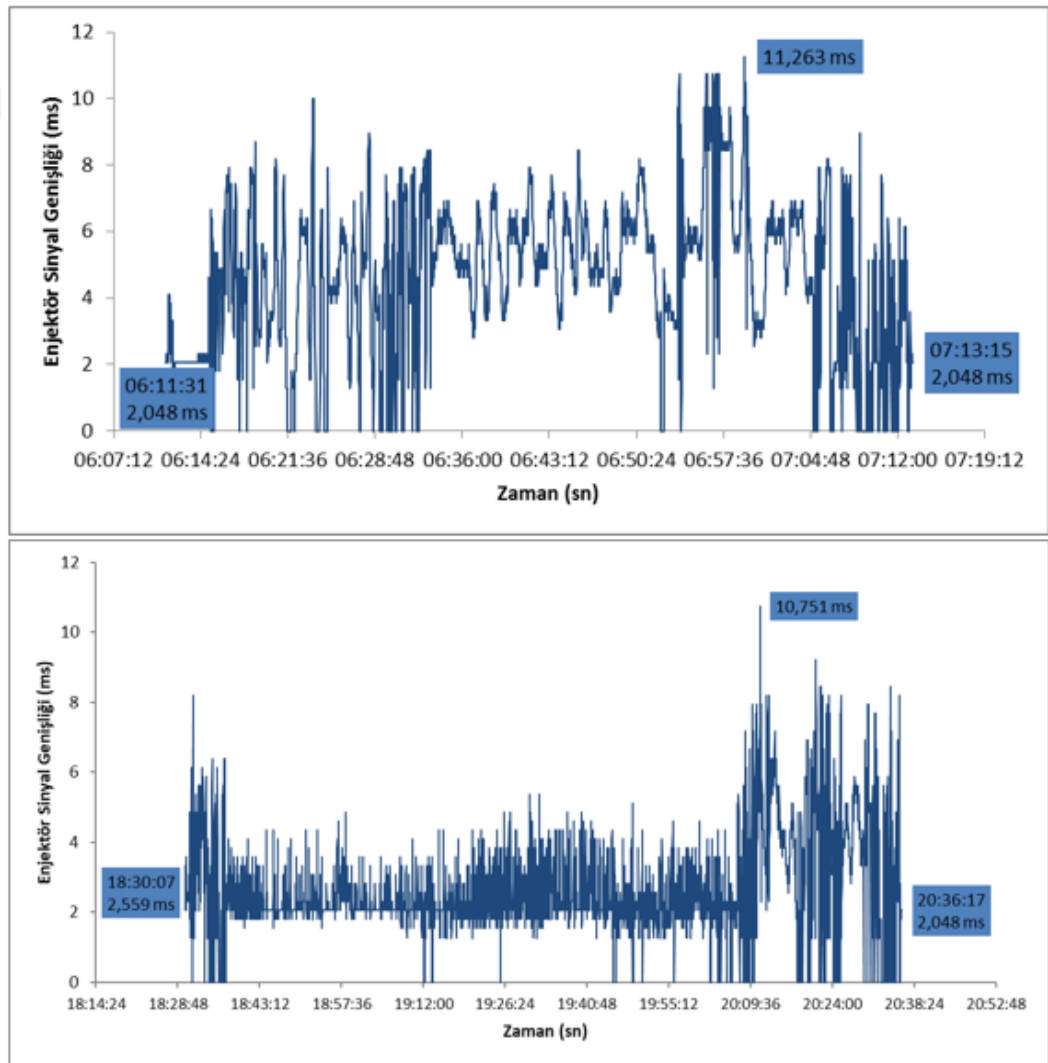
Hız zaman grafiklerini karşılaştırdığımızda YSS Köprüsü kullanılan seyrinde ortalama hız 97 km/saat iken, FSM Köprüsü kullanılan seyrinde ise 35 km/saat'tir. Maksimum çıkılan hızlar ise sırasıyla 120 km/saat ve 98 km/saat'tir. Grafiklere göre, YSS Köprüsü kullanılan seyrinde, seyrin süresini yarısından fazla bir sürede sabit hızla gitme olanağı bulunurken, FSM Köprüsü kullanılan seyrinde araç hızı sürekli değişkendir.

YSS Köprüsü kullanılan seyrin toplam süresi 59 dakika iken, FSM Köprüsü kullanılan seyrin toplam süresi ise 83 dakikadır. Toplam tüketilen yakıt miktarları ise sırasıyla 6,44 litre ve 3,1 litre iken toplam CO₂ emisyonları yine sırayla 15,12 kg ve 7,28 kg'dır.

6.9 B Noktasından A Noktasına E-80 Otoyolu ile O-7 Otoyolu Kullanımının CO₂ Emisyonu ve Yakıt Tüketimi Açısından Değerlendirilmesi

B Noktasından A Noktasına kısa mesafe, yoğun trafikli yol (E-80) ile dış çeper çevre yolu (O-7) kullanımının enjektör sinyal genişliği, motor devri, gaz keleşi pozisyonu, hız verileri ile CO₂ emisyonu ve yakıt tüketimi değerlerinin karşılaştırılması aşağıda özetlenmiştir.

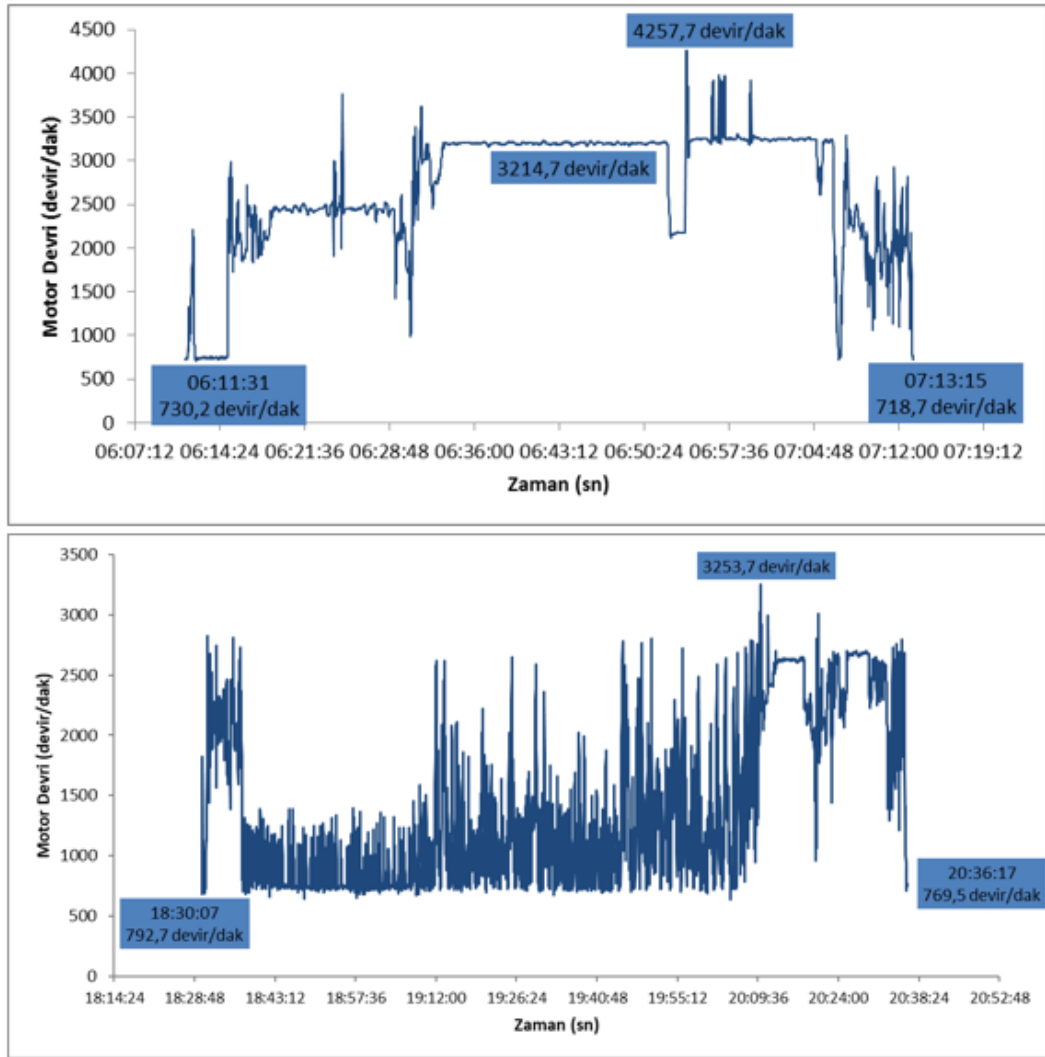
Kıyaslama yapılırken referans olarak seyir süresi daha uzun olan B→A FSM Köprüsü kullanımının 1. seyri alınmıştır.



Şekil 6.37 B noktasından A noktasına O-7 Otoyolu kullanımı seyri ile E-80 otoyolu yoğun trafikli seyirde enjektör sinyal genişliği – zaman grafiği

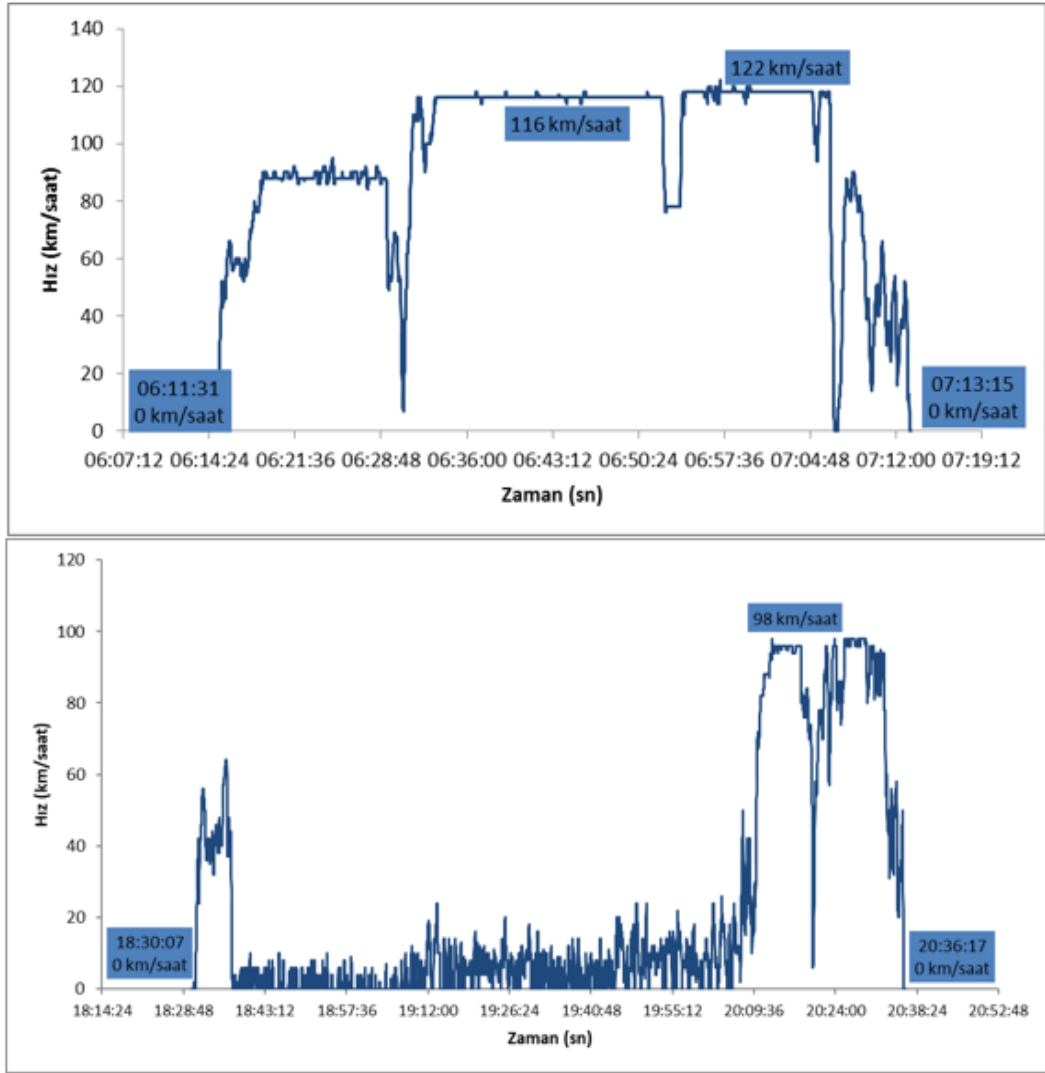
Bu bölüm boyunca karşılaştırılan grafiklerden üstteki grafik YSS Köprüsü kullanımını, alttaki grafik ise FSM Köprüsü kullanımını temsil etmektedir.

YSS Köprüsü kullanımı ile yapılan seyrin enjektör sinyal genişlikleri FSM Köprüsü kullanımı ile yapılan seyre göre daha seyrek olduğunu grafiklerden görmekteyiz. Maksimum enjektör sinyal genişliği 11,26 ms ile ve maksimum gaz keleşi pozisyonu %87,4 ile YSS Köprüsü kullanımı ile yapılan seyre ait olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 6.38 B noktasından A noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyri ile E-80 otoyolu yoğun trafikli seyrinde motor devri – zaman grafiği

Motor devirlerini kıyasladığımızda, YSS Köprüsü kullanılan seyrinde trafik yoğunluğunun az olduğu bölgelerde çoğunlukla sabit devirde gidildiği görünürken, FSM Köprüsü kullanılan seyrinde motor devrinin sürekli değiştiğini görmekteyiz. Maksimum motor devri 4257 devir/dakika ile YSS Köprüsü seyrinde görülmüştür.



Şekil 6.39 B noktasından A noktasına O-7 otoyolu kullanımı seyri ile E-80 otoyolu yoğun trafikli seyrinde hız – zaman grafiği

Hız zaman grafiklerini karşılaştırdığımızda YSS Köprüsü kullanılan seyrinde ortalama hız 92 km/saat iken, FSM Köprüsü kullanılan seyrinde ise 23 km/saat'tir. Maksimum çıkılan hızlar ise sırasıyla 122 km/saat ve 98 km/saat'tir. Grafiklere göre, YSS Köprüsü kullanılan seyrinde, seyrin süresini yarısından fazla bir sürede sabit hızla gitme olanağı bulunurken, FSM Köprüsü kullanılan seyrinde araç hızı sürekli değişkendir.

YSS Köprüsü kullanılan seyrin toplam süresi 59 dakika iken, FSM Köprüsü kullanılan seyrin toplam süresi ise 83 dakikadır. Toplam tüketilen yakıt miktarları ise sırasıyla 6,37 litre ve 4,4 litre iken toplam CO₂ emisyonları yine sırayla 14,95 kg ve 10,33 kg'dır.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

İstanbul trafiğinin en önemli sebeplerinden birisi, bir yakadan diğer yakaya geçerken oluşan trafik sıkışıklığıdır. Bu çalışmada trafiğin en yoğun olduğu zaman dilimlerinde, sabah işe gidiş – akşam iş çıkışı, İstanbul boğazı geçişinde kısa mesafe, yoğun trafikli yol ile dış çeper çevre yolu kullanımında yakıt tüketimi ve karbondioksit emisyonu deneysel yöntem ile kıyaslanmış ve sonuçları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 7.1 İstanbul boğazı geçişinde farklı çevre yolu kullanımında yakıt tüketimi ve karbondioksit emisyonu karşılaştırması

Seyir	Köprü Kullanımı	Seyir Süresi (Dakika)	Toplam Yakıt Tüketimi (Litre)	Toplam CO ₂ Emisyonu (Kilogram)
A-->B 1. Seyir	FSM	76	2,99	7,02
A-->B 2. Seyir	FSM	83	3,1	7,28
A-->B	YSS	59	6,44	15,12
B-->A 1. Seyir	FSM	126	4,4	10,33
B-->A 2. Seyir	FSM	94	4,25	9,98
B-->A	YSS	62	6,37	14,95

Çizelge 7.1'e göre:

A noktasından B noktasına seyirde FSM Köprüsü güzergahının kullanılması durumunda tüketilen yakıt miktarı 3,1 litre iken, YSS Köprüsü güzergahının kullanılması durumunda tüketilen yakıt miktarı 6,44 litredir. Toplam CO₂ emisyon miktarları ise sırasıyla 7,28 kg ve 15,12 kilogramdır. Toplam seyir sürelerinin arasında 24 dakika mevcuttur. Referans olarak 2. seyir değerleri alınmıştır.

B noktasından A noktasına seyirde FSM Köprüsü güzergahının kullanılması durumunda tüketilen yakıt miktarı 4,4 litre iken, YSS Köprüsü güzergahının kullanılması durumunda tüketilen yakıt miktarı 6,37 litredir. Toplam CO₂ emisyon miktarları ise sırasıyla 10,33 kg ve 14,95 kilogramdır. Toplam seyir sürelerinin arasında 64 dakika mevcuttur. Referans olarak 2. seyir değerleri alınmıştır.

Çizelge 7.2 İstanbul boğazı geçişinde farklı çevre yolu kullanımında seyir maliyetleri karşılaştırması

Seyir	Köprü Kullanımı	Seyir Süresi (Dakika)	Benzin Litre Fiyatı (TL)	Toplam Yakıt Tüketimi (Litre)	Toplam Benzin Bedeli (TL)	Toplam Otoyol/Köprü Bedeli (TL)	Toplam Seyir Bedeli (TL)
A-->B 2. Seyir	FSM	83	6,37	3,1	19,75	3,5	23,25
A-->B	YSS	59		6,44	41,02	42,35	83,37
B-->A 1. Seyir	FSM	126		4,4	28,03	12,25	40,28
B-->A	YSS	62		6,37	40,58	61,5	102,08

Benzin litre fiyatı için referans olarak 20.02.2019 tarihli OPET İstanbul satış bedeli alınmıştır.

A noktasından B noktasına seyrederken yaklaşık 50 TL daha fazla ödeyerek 24 dakika kazanmak mümkünken, B noktasından A noktasına seyrederken 62 TL fazla ödeyerek 64 dakika seviyelerinde zamandan tasarruf edilebilir.

Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi A noktasından B noktasına trafiksiz seyir durumunda toplam seyir süresi 40 dakika iken toplam yakıt tüketimi 2,4 litredir. FSM Köprüsü trafik yoğunluğu gün geçtikçe arttığından, YSS Köprüsü güzergahının kullanım oranının artacağı düşünülmektedir.

YSS Köprüsü geçiş ücretleri daha uygun seviyeye çekilmesi durumunda tercih edilme durumu artabilir. Ancak bu değişiklik güzergahın mesafesinden dolayı CO₂ emisyonlarında bir farklılık getirmeyecektir.

Yapılan deneysel çalışma 1.3 litre motor hacmine sahip binek araçla yapılmış olup, farklı motor hacmine sahip araçlar ile yapılacak deneylerin sonuçları farklılık gösterecektir. Özellikle 1.6 ve üzeri litre hacimli binek araçlar ve ağır ticari araçlar ile deneysel çalışmaların yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Michal K., Birgit K., Dibbert ve Jürgen S., (2005). "Health Effects of Transport-Related Air Pollution", World Health Organization.
- [2] Shodhganga, Literature Review of Automotive Emissions, http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/28247/5/chapter_2.pdf, 18 Kasım 2018.
- [3] Atik M., Koruvatan T., Yılmaz B. ve Köse Y., Otomobillerdeki Yakıt Sistem Değişikliğinin Vergi Ve Tüketici Yatırım Politikalarına Etkilerinin Analizi, <http://dergipark.gov.tr/verimlilik/issue/21774/234004>, 22 Kasım 2018.
- [4] Zacharof N.G. ve Fontas G., (2016). "Review of in use factors affecting the fuel consumption and CO₂ emissions of passenger cars", JRC Science for Policy Report.
- [5] Wang L. K., Pereira N. C., Hung Y., (2004). Air Pollution Control Engineering, Handbook of Environment Engineering, Volume 1, Humana Press, New Jersey
- [6] Baubel R. W., Fox D.L., Turner D. B., ve Stern A. C., (2008) Fundamentals of Air Pollution, Fourth Eddition, Elsevier.
- [7] Mutlu İ., Bayrakçeken H., Yavuz İ., Çengelci E. ve Kunt M., (2018). "Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları ve Önleme Yöntemleri", INCOS2018 Yayını, 240-244.
- [8] Pekin, M. M., (2006). Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Dayı R. ve Çelikten İ., (2018). "2030 Yılına Kadar Türkiye'deki Motorlu Taşıtların Sayılarının ve Emisyon Yükünün Tahmini", INCOS2018 Yayını, 530-539.
- [10] Dhaliwal B., (2000). Alternative Fuel Effects on Vehicle Emissions and Indoor Air Quality, Yüksek Lisans Tezi, Alberta Üniversitesi, Edmonton, Canada.
- [11] Türkiye İstatistik Kurumu, (2018). Ulaştırma İstatistikleri, Motorlu Kara Taşıtları, Motorlu Kara Taşıtlar Sayısı Tablosu, Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü.
- [12] Türkiye İstatistik Kurumu, (2016). Çevre İstatistikleri, Hava İstatistikleri, Seragazı Emisyonları Tablosu.

- [13] Global Karbon Atlası Dünya ve Ülkelerde Karbondioksit Emisyon Durumu, <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>, 25 Kasım 2018.
- [14] New Climate, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, Science Global Insight, Greenhouse Gas Mitigation Scenarios For Major Emitting Countries, <http://newclimate.org/publications/>, 02 Ocak 2019.
- [15] Öztürk, H. A. T., (2010). İstanbul Şehir Çevriminin ABD ve Avrupa Test Çevrimleri ile Emisyon Faktörleri ve Yakıt Tüketimi Açısından Deneysel Olarak Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] Çağatan, K., (2011). İstanbul Atatürk Havalimanı İçin Uçak Emisyonlarının Belirlenmesi ve Çevresel Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] EPA Greenhouse Gas Emissions, Overview of Greenhouse Gases, <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>, 07 Ocak 2019.
- [18] Soruşbay, C., Egzoz Gazları Emisyonu Ders Notları, İTÜ, İstanbul.
- [19] Kutlar O. A., Ergeneman M., Arslan H., Mutlu M., (1998). Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [20] Akbal O., (2013). Ağır Ticari Taşıt Dizel Motoru SCR Sisteminin Sıcaklık Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] Soruşbay C., Ergeneman M., Öztürk T. ve Sel E., (2010). "Binek Araçlarında Sürüş Koşullarının Kirletici Egzoz Emisyonlarına Etkisi", HKK 2010 Yayınevi.
- [22] Dinç, C., (2013). Methodology Development For The Construction Of A Driving Cycle In Order To Determine The Exhaust Emissions Of Road Vehicles, Doktora Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] Car Engineer, <http://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/>, 18 Ekim 2018.
- [24] Gürsürer, K. M., (2009). Avrupa Şehir Çevrimi ile Amerika Şehir Çevriminin Arasındaki Farkların Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25] EPA, United States Environmental Protection Agency, Greenhouse Gas Equivalencies Calculator, <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>, 23 Mart 2019
- [26] EPA, United States Environmental Protection Agency, Greenhouse Gas Equivalencies Calculator, <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references>, 23 Mart 2019

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Serhad ŞENGÜL
Doğum Tarihi ve Yeri :06.03.1986, İzmir
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :serhadsengul@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lise	Sayısal	Ödemiş HU Anadolu Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009	Üçgen Yazılım Danışmanlık Bilgisayar ve Makine San. Tic. Ltd. Şti.	CAD/CAM Danışmanlık/Eğitim
2011	Ford Otomotiv Sanayi A.Ş.	Ürün Geliştirme Mühendisi