

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

**TRAFİK YOĞUNLUĞUNUN ENERJİ TÜKETİMİ VE
HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİLERİNİN ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Reyyan KAVAK YÜRÜK

İSTANBUL, 2010

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü
Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

TRAFİK YOĞUNLUĞUNUN ENERJİ TÜKETİMİ VE HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİLERİNİN ANALİZİ

Yüksek Lisans Tezi

Reyyan KAVAK YÜRÜK

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet TEKTAŞ

İstanbul, 2010

T.C.

BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tezin Başlığı : Trafik Yoğunluğunun Enerji Tüketimi ve Hava Kirliliğine Etkilerinin Analizi

Öğrencinin Adı Soyadı : Reyhan KAVAK YÜRÜK

Tez Savunma Tarihi : 14.09.2010

Bu yüksek lisans tezi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylamıştır.

Yrd. Doç.Dr. F.Tunç BOZBURA

Enstitü Müdür Vekili

Bu tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Tez Sınav Jürisi Üyeleri:

İmzalar

Yrd. Doç. Dr. Mehmet TEKTAŞ (Tez Danışmanı) :

Yrd. Doç. Dr. Necla TEKTAŞ :

Prof. Dr. M. Oktay ALNIAK :

T.C.

BAHÇEŞEHİR UNIVERSITY

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Urban Systems and Transportation Management

Title of the Master's Thesis : Analysis of Traffic Density Effects on Energy Consumption and Air Pollution

Name/Last Name of the Student : Reyhan KAVAK YÜRÜK

Date of Thesis Defense : 14.09.2010

The thesis has been approved by the Graduate School of Natural and Applied Sciences.

Assistant Prof. Dr. F.Tunç BOZBURA

Enstitü Müdür Vekili

This is to certify that we have read this thesis and that we find it fully adequate in scope, quality and content, as a thesis for the degree of Master of Science.

Examining Committee Members:

Signatures

Assistant Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ (Supervisor) :

Assistant Prof. Dr. Necla TEKTAŞ :

Prof. Dr. M. Oktay ALNIAK :

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezinin hazırlanmasında değerli fikirleri ve yol göstericilikleri ile bana destek olan tez danışmanım Sn. Yrd. Doç. Mehmet TEKTAŞ'a ve tez jüri üyelerim Sn. Yrd. Doç. Necla TEKTAŞ ve kıymetli hocam Sn. Prof. Dr. M. Oktay ALNIAK'a,

Tezimde kullandığım trafik verilerini temin etmem konusunda yardımlarını esirgemeyen İBB Trafik Müdürlüğü ve Ulaşım Daire Başkanlığı çalışanlarına, fikirleriyle bana katkıda bulunan Şehir Aydınlatma ve Enerji Müdürlüğü'ndeki çalışma arkadaşlarıma,

Çalışmalarım süresince gösterdiği hoşgörü, anlayış ve destek nedeniyle sevgili eşime,

Eğitim hayatım boyunca beni destekleyen ve her zaman yanımda olan sevgili anneme, babama ve kardeşlerime; bana gösterdikleri sabır, anlayış ve hoşgörü için ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Reyyan KAVAK YÜRÜK

İstanbul, 2010

ÖZET

TRAFİK YOĞUNLUĞUNUN ENERJİ TÜKETİMİ VE HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİLERİNİN ANALİZİ

KAVAK YÜRÜK, Reyyan

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mehmet TEKTAŞ

Eylül, 2010, 128 sayfa

Günümüzde sosyal ve ekonomik hayatın işlevlerini yerine getirebilmesi için ulaşım hizmetleri vazgeçilmez bir gerekliliktir. Ancak gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde artan nüfusa bağlı olarak taşıt trafiğinde oluşan yoğunluk, birçok sorunu ortaya çıkarmıştır. Özellikle büyük kentlerdeki trafik sorunu günlük hayatı olumsuz olarak etkilemekte, ülke ekonomisine ve ekolojik olarak çevreye önemli zararlar vermektedir. Bu sebeple trafik tıkanıklığı etkilerinin sistematik olarak belirlenmesi ve kent içi planlama politikalarında dikkate alınması gerekmektedir.

Trafik tıkanıklığının etkilerini belirlemek için ilgili bilgilerin toplanması, trafik tıkanıklığında artışa neden olabilecek ve önceden belirlenen tüm etkilerin hesaba dahil edilerek sonuca gidilmesi planlama politikalarına ışık tutacaktır.

Bu çalışmanın amacı; büyük kentlerin en önemli sorunlarından biri olan trafik yoğunluğunun yakıt tüketimi ve emisyon değerlerini büyük ölçüde arttırdığını ortaya koymak, trafik parametreleri ile yakıt tüketimi ve emisyon miktarı arasındaki ilişkiyi literatürde belirlenen kriterler bağlamında irdelemek ve geleceğe yönelik çıkarımlarda bulunmaktır.

Çalışmada ilk olarak; konunun önemi ve araştırmanın çıkış noktası üzerinde durulmuş, çalışmanın amacı ve kapsamı belirtilerek giriş yapılmıştır.

İkinci bölümde; enerji, ulaşım ve çevre konuları arasındaki bağlantıya dikkat çekilmiş, bu amaçla dünyadaki ve ülkemizdeki enerji değerleri, ulaşım sektöründe enerji tüketimi ile enerji kullanımının hava kirliliğine sebep olan sera gazı salınımlarına etkileri ortaya konulmuştur.

Üçüncü bölümde; trafik yoğunluğu ile ilgili parametreler tanımlanmış ve bunlar arasındaki ilişki ele alınıp çalışmada referans alınacak kriterler belirtilmiştir.

Çalışmanın uygulama aşaması olan dördüncü bölümünde; İstanbul ili örneğinde trafik parametreleri ile yakıt tüketimi ve emisyon hesabı yapılarak trafik yoğunluğundan kaynaklanan yakıt tüketimi fazlası ve emisyon fazlası, her güzergâh için ayrı ayrı belirlenmiştir.

Beşinci bölümde; örnek alan olarak seçilen İstanbul ilinin 13 güzergâhına ait trafik verileri kullanılarak yakıt tüketim değerini tahmin eden model, çoklu lineer regresyon analizi ve zaman serileri analizi ARIMA tekniği kullanılarak oluşturulmuştur.

Son bölümde ise çalışmada elde edilen sonuçlar ortaya konularak genel bir değerlendirme yapılmış, gelecek için öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Trafik Parametreleri, Trafik Yoğunluğunun Etkileri, Yakıt Tüketim Tahmini, Çoklu Regresyon Analizi, Zaman Serileri Analizi

ABSTRACT

ANALYSIS OF TRAFFIC DENSITY EFFECTS ON ENERGY CONSUMPTION AND AIR POLLUTION

KAVAK YÜRÜK, Reyyan

Urban Systems and Transportation Management

Supervisor : Assistant Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

(September 2010), 128

In the 21st century, transportation services are essential requirements for the social and economical life functions to be carried out. However the heavy traffic based on the increasing population in the developed and developing countries causes various problems. Especially, the traffic problem in the major cities affects daily life negatively and causes serious harms to the national economy and environment ecologically. For this reason, it is necessary to define the effects of traffic jam systematically and to consider these findings in the urban planning policies. Collecting information to define the effects of traffic jam, reaching a conclusion by including all the factors that can cause increase in the traffic jam and all the predefined effects will shed light on planning policies.

The aim of this study is to reveal the fact that heavy traffic, which is one of the most important problems of the major cities, increase the fuel consumption and emission values significantly, to examine the relation between traffic parameters and fuel consumption, emission amount in the light of the criteria defined in the literature, and to reach findings that will be beneficial for the future.

In the first part of the study, the importance of the subject and the starting point of the research are discussed, the purpose and scope of the study are defined as an introduction.

In the second part, the aim is to attract attention to the relation between energy, transportation and environment issues. And in order to achieve this aim; the energy values in the world and Turkey, the effect of energy consumption and energy use in transportation sector to the greenhouse gas emissions that cause air pollution are discussed.

In the third part, the parameters about heavy traffic and the relations between these parameters are mentioned, and the reference criteria for the study are defined.

In the fourth part, which is the application phase of the study, the excessive fuel consumption and the excessive emission caused by heavy traffic are determined separately for each sensor by calculating fuel consumption and emission in Istanbul sample using traffic parameters.

In the fifth part, the model that estimates the fuel consumption value by using the traffic data obtaining from the 13 road sensors in Istanbul, which is the city that is selected as the sample, is formed by using multilinear regression analysis and time series analysis “ARIMA” technique.

And in the last part, a general evaluation is made by discussing the results obtained from the research and suggestions for the future are presented.

Key words: The Effects of Traffic Density, Energy Consumption in Transportation, Prediction of Fuel Consumption, Multilinear Regression Analysis, Time Series Analysis.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER	x
TABLO LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xiv
KISALTMALAR ve SEMBOLLER	xviii
BÖLÜM 1: GİRİŞ	1
1.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI	3
1.2. MATERYAL VE YÖNTEM	5
BÖLÜM 2: ENERJİ, ULAŞIM VE ÇEVRE	7
2.1. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE ENERJİ	7
2.1.1. Dünya’da Genel Enerji Durumu	7
2.1.2. Türkiye’de Genel Enerji Durumu	9
2.2. ULAŞIM SEKTÖRÜNDE ENERJİ TÜKETİMİ	12
2.2.1. Ulaşımда Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler	17
2.3. ULAŞIMDAN KAYNAKLANAN ÇEVRE KİRLİLİĞİ	20
2.3.1. Emisyonların Etkileri	24
2.3.2. Emisyonun Önlenmesi için Yapılan Çalışmalar	26
2.4. SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA VE ULAŞIMDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ	28
2.4.1. Ulaşımда Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik :	29

2.4.2. Araçlarda Alternatif Yakıtların Kullanılması	31
2.4.3. Ulaşımda ve Taşıt Araçlarında Enerjinin Verimli Kullanılmasında Dikkat Edilecek Hususlar	32
BÖLÜM 3: KENT İÇİ ULAŞIMDA TRAFİK YOĞUNLUĞU VE ETKİLERİ.....	37
3.1. TRAFİK YOĞUNLUĞU	37
3.2. TRAFİK YOĞUNLUĞUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	38
3.3. TRAFİK YOĞUNLUĞUNUN TEMEL SONUÇLARI	39
3.4. TRAFİK AKIMI PARAMETRELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ.....	40
3.5. TRAFİK YOĞUNLUĞUNUN ORTALAMA HIZA BAĞLI ETKİLERİ	43
BÖLÜM 4: KENT İÇİ ULAŞIMDA TRAFİK YOĞUNLUĞU VE ETKİLERİNİN ANALİZİ: İSTANBUL İLİ ÖRNEĞİ	46
4.1. İSTANBUL TRAFİĞİNİN GENEL DURUMU	46
4.2. İSTANBUL TRAFİĞİNDE BAZI GÜZERGÂHLARIN İNCELENMESİ	52
4.2.1. Trafik Parametreleri	55
1. TEM - Seyrantepe 1:	55
2. TEM - Seyrantepe 2:	59
3. TEM - İstoç 1:.....	62
4. TEM - İstoç 2:.....	65
5. E-5 Şirinevler 1:	68
6. E-5 Şirinevler 2:	70
7. TEM - Çakmak Köprüsü:	73
8. E-5 Küçükalyalı 1:	76
9. E-5 Küçükalyalı 2:	79
10. Bağdat Caddesi:	82
11. TEM - Mahmutbey Gişeler 1:.....	85

12. TEM - Mahmutbey Gişeler 2:	88
13. E-5 Mecidiyeköy:	91
4.2.2. Yakıt Tüketimi Fazlası	94
4.2.3. Emisyon Fazlası	96
BÖLÜM 5: İSTANBUL ULAŞIMI İÇİN YAKIT TÜKETİMİ TAHMİN MODELİ	99
5.1. ÇOKLU LİNEER REGRESYON ANALİZİ	99
5.1.1. Çoklu Lineer Regresyon Analizi Metodu.....	99
5.1.2. Trafik Verilerinde İlişkiler ve Türetimler.....	101
5.1.3. Model ve Çıktılar	102
5.2. ZAMAN SERİLERİ ANALİZİ.....	107
5.2.1. Zaman Serileri ile Tahmin Metodu.....	107
5.2.2. ARIMA(p,d,q) Modelleri	111
5.2.3. Model Performansı.....	111
5.2.4. Model ve Çıktılar	113
BÖLÜM 6: SONUÇ VE ÖNERİLER.....	115
6.1. SONUÇLAR.....	115
6.2. ÖNERİLER	117
KAYNAKLAR	119
EK 1 – YILLIK ORTALAMA SAATLİK DEĞERLER	125
ÖZGEÇMİŞ	128

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1: 2008 Yılı Genel Enerji Dengesi.....	10
Tablo 2.2: Ulaştırma sektörü enerji kullanımı (Bin Tep).	13
Tablo 2.3: Motorlu kara taşıtları sayısı.	13
Tablo 2.4: Kullanılan yakıt türüne göre motorlu kara taşıt sayısı.	14
Tablo 2.5: Sera gazı salımına sahip sektörler.....	22
Tablo 2.6 : Bazı çalışma şartları için emisyon değerleri.....	23
Tablo 3.1: Yakıt tüketimi ve kirletici gaz emisyonlarının araç hızıyla değişimi.	45
Tablo 4.1: Trafiğe Kayıtlı Araç Sayısı.....	47
Tablo 4.2: Taşıma türüne göre Kentiçi Karayolu Ulaşımı dağılımı.	48
Tablo 4.3: İstanbul kenti ulaşım bilgileri.	50
Tablo 4.4: Köprülerin Günlük Trafik Yüğü.	51
Tablo 4.5: Köprülerin Günlük Trafik Yüğü.	52
Tablo 4.6: İstanbul trafiğinde analiz edilen güzergâhlar.	54
Tablo 4.7: Trafik Yoğunluğundan Kaynaklanan Yakıt Tüketimi Fazlası.	95
Tablo 4.8: Trafik Yoğunluğundan Kaynaklanan HC Emisyon Fazlası.	96
Tablo 4.9: Trafik Yoğunluğundan Kaynaklanan CO Emisyon Fazlası.	97
Tablo 5.1: Korelasyon Analizi.	102
Tablo 5.2: Saat Bazlı Lineer Regresyon Modelleri	104
Tablo 5.3: 2009 yılı gerçek değerlerle modelden elde edilen değerlerin karşılaştırılması.	105
Tablo 5.4: Modele göre 2010 yılı yakıt tüketim tahmini.	106
Tablo 5.5: ARIMA(1,0,2)(0,1,1) modeli.	113

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Dünya Sektörel Enerji Dağılımı.....	7
Şekil 2.2: Dünya Enerji Tüketiminin 2030 yılına kadar projeksiyonu.	8
Şekil 2.3: Küresel Birincil Enerji Talebi.	9
Şekil 2.4: 2006 Yılı Türkiye Birincil Enerji Arzı.	10
Şekil 2.5: Ülkelerin Enerji Yoğunluk durumları, Türkiye'nin ok yönünde gelişim göstermesi beklenmektedir.	11
Şekil 2.6: Türkiye'de Karayollarında Enerji Tüketimi (TOE) ³	15
Şekil 2.7: Kişi başına ulaştırma sektörü enerji tüketimi.	16
Şekil 2.8: Yapılan yolculuk başına sektörel enerji tüketimi.	17
Şekil 2.9: Yakıt Tüketiminin Araç Hızıyla İlişkisi.	19
Şekil 2.10: Küresel Sera Gazı Salımları (Toplam:42 MMt e CO ₂ /yıl).	20
Şekil 2.11: Ulaşım sektöründe sera gazı emisyon miktarı dağılımı.	21
Şekil 3.1 : Trafik hacmi ile hız arasındaki ilişki.	42
Şekil 3.2: Trafik hacmi ile yoğunluk arasındaki ilişki.	42
Şekil 3.3: Trafik yoğunluğu ile hız arasındaki ilişki.	43
Şekil 4.1: Kentiçi Ulaşımında Araç Kullanımı.	49
Şekil 4.2: TEM çevreyolu Hasdal - FSM Köprüsü istikameti.....	56
Şekil 4.3: TEM-Seyrantepe 1 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.	57
Şekil 4.4: TEM-Seyrantepe 1 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.....	58
Şekil 4.5: TEM-Seyrantepe 1 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.	58
Şekil 4.6: TEM çevreyolu FSM Köprüsü - Hasdal istikameti.....	59

Şekil 4.7: TEM-Seyrantepe 2 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.	60
Şekil 4.8: TEM-Seyrantepe 2 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.	61
Şekil 4.9: TEM-Seyrantepe 2 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.	61
Şekil 4.10: TEM çevreyolu İkitelli - Mahmutbey istikameti.	62
Şekil 4.11: TEM-İstoç 1 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.	63
Şekil 4.12: TEM-İstoç 1 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.	64
Şekil 4.13: TEM-İstoç 1 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.	64
Şekil 4.14: TEM çevreyolu Mahmutbey - Esenyurt istikameti.	65
Şekil 4.15: TEM-İstoç 2 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.	66
Şekil 4.16: TEM-İstoç 2 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.	67
Şekil 4.17: TEM-İstoç 2 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.	67
Şekil 4.18: E-5 çevreyolu Sefaköy – Bakırköy istikameti.	68
Şekil 4.19: E-5 Şirinevler 1 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.	69
Şekil 4.20: E-5 Şirinevler 1 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.	69
Şekil 4.21: E-5 Şirinevler 1 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.	70
Şekil 4.22: E-5 çevreyolu Merter - Havaalanı istikameti.	71
Şekil 4.23: E-5 Şirinevler 2 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.	72
Şekil 4.24: E-5 Şirinevler 2 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.	72
Şekil 4.25: E-5 Şirinevler 2 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.	73
Şekil 4.26: TEM çevreyolu Kavacık - Kadıköy istikameti.	74
Şekil 4.27: TEM-Çakmak Köprüsü yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.	75
Şekil 4.28: TEM-Çakmak Köprüsü yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.	75
Şekil 4.29: TEM-Çakmak Köprüsü yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.	76

Şekil 4.30: E-5 çevreyolu Bostancı - Kartal istikameti.....	77
Şekil 4.31: E-5 Küçükyalı 1 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.	78
Şekil 4.32: E-5 Küçükyalı 1 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.....	78
Şekil 4.33: E-5 Küçükyalı 1 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.	79
Şekil 4.34: E-5 çevreyolu Kartal - Bostancı istikameti.....	79
Şekil 4.35: E-5 Küçükyalı 2 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.	80
Şekil 4.36: E-5 Küçükyalı 2 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.....	81
Şekil 4.37: E-5 Küçükyalı 2 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.	81
Şekil 4.38: Bağdat Caddesi Göztepe - Kadıköy istikameti.	82
Şekil 4.39: Bağdat Caddesi için ortalama hız & hacim ilişkisi.	83
Şekil 4.40: Bağdat Caddesi ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.	84
Şekil 4.41: Bağdat Caddesi saat bazlı yoğunluk oranı.....	84
Şekil 4.42: TEM çevreyolu Mahmutbey - Avcılar istikameti.	85
Şekil 4.43: TEM-Mahmutbey Gişeler 1 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.....	86
Şekil 4.44: TEM-Mahmutbey Gişeler 1 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.	87
Şekil 4.45: TEM-Mahmutbey Gişeler 1 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.....	87
Şekil 4.46: TEM çevreyolu Avcılar - Mahmutbey istikameti.	88
Şekil 4.47: TEM-Mahmutbey Gişeler 2 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.....	89
Şekil 4.48: TEM-Mahmutbey Gişeler 2 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.	90
Şekil 4.49: TEM-Mahmutbey Gişeler 2 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.....	90
Şekil 4.50: E-5 çevreyolu Boğaziçi Köprüsü – Çağlayan istikameti.....	91
Şekil 4.51: E-5 Küçükyalı 1 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.	92
Şekil 4.52: E-5 Küçükyalı 1 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.....	93

Şekil 4.53: E-5 Küçükyaalı 1 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.	93
Şekil 4.54: Güzergâhların yıl bazında yakıt tüketimi fazlası.	95
Şekil 4.55: Güzergâhların yıl bazında HC emisyon fazlası.	97
Şekil 4.56: Güzergâhların yıl bazında CO emisyon fazlası.	98
Şekil 5.1: Box-Jenkins algoritması akış diyagramı.	108
Şekil 5.2: Gerçek değerler ile ARIMA modelinden elde edilen değerlerin karşılaştırılması.	114
Şekil 7.1: Yıl bazında ortalama yoğunluk.	125
Şekil 7.2: Yıl bazında toplam yakıt tüketimi.	125
Şekil 7.3: Trafik yoğunluğundan kaynaklanan yakıt tüketimi fazlası.	126
Şekil 7.4: Trafik Yoğunluğundan kaynaklanan HC emisyon fazlası.	126
Şekil 7.5: Trafik yoğunluğundan kaynaklanan CO emisyon fazlası.	127

KISALTMALAR ve SEMBOLLER

AB : Avrupa Birliği

Bkz : Bakınız

C : Karbon

CO : Karbonmonoksit

CO₂ : Karbondioksit

ÇLR : Çoklu Lineer Regresyon

DİE : Devlet İstatistik Enstitüsü

DPT : Devlet Planlama Teşkilatı

EİE : Elektrik İşleri Etüt İdaresi

ETKB : Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı

EVK : Enerji Verimliliği Kanunu

GSYİH : Gayri Safi Yurt İçi Hasıla

HC : Hidrokarbonlar

İBB : İstanbul Büyükşehir Belediyesi

IEA : International Energy Ajans (Uluslar arası Enerji Ajansı)

KPE : Kilogram Petroleum Equivalent (Kilogram Eşdeğer Petrol)

MMO : Makine Mühendisleri Odası

MTEP : Milyon Ton Eşdeğer Petrol

NO_x : Azotoksitler

OECD : Organisation for Economic Co-operation and Development

TEP : Ton Eşdeğer Petrol

TOE : Tonne of oil equivalent (Ton Eşdeğer Petrol)

BÖLÜM 1: GİRİŞ

Şehirlerdeki barınma, çalışma, dinlenme ve sosyal alanlar arasındaki hareketler ulaşım ağı üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu dört ana fonksiyonun oluşturduğu şehirselleşen bölgeleri birbirine bağlayan, aralarındaki her türlü ulaşımı sağlayan bir trafik hareketi mevcuttur. Kentiçi ulaşım ağındaki aksaklıklar bu sirkülasyonu olumsuz olarak etkilemekte ve ciddi problemler oluşturmaktadır. Özellikle kritik saatlerde meydana gelen yoğunluk ve tıkanıklıklar enerji, iş, zaman, para kaybı dışında çevresel, sosyolojik ve psikolojik sorunlar doğurmaktadır.

Son yıllarda otomotiv sanayinin gelişmesi, nüfus artışı ve Türkiye'nin yaşam seviyesinin büyük gelişme göstermesi sonucunda, Motorlu Karayolu Taşıtları sayısı büyük bir hızla artmıştır. Bugün ülkemizde toplam araç sayısı 13 milyonu, sürücü sayısı da 18 milyonu aşmıştır. 2006 yılında 1.125.000'in üzerinde, 2007 yılında da 850.000 civarında yeni araç trafiğe çıkmış olup, buna göre 2006'da 3.100, 2007'de de 2.350 araç ortalama her gün karayolu trafiğine katılmıştır (Uzunkaya 2008).

Ulaşım sektörünün en önemli girdisi enerjidir. Bu sebeple sürdürülebilir yani etkin, verimli ve güvenli ulaşım için enerjinin temini, maliyetlerinin düşürülmesi ve güvenliğinin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Dünya genelinde birincil enerji kaynaklarının yaklaşık beşte-biri, ulaştırma sektörü tarafından tüketilmektedir. 2008 yılı ETKB verilerine göre bu sektör, yaklaşık 16 milyon ton petrol eşdeğeri (TEP) enerji tüketimi ile ülkemiz nihai enerji tüketiminde yaklaşık % 20'lik bir pay almaktadır.

Ayrıca bu sektör yaklaşık olarak aynı miktarlardaki sera gazları üretiminden de sorumludur. Türkiye'nin 2004 yılındaki toplam sera gazı salımı 296.6 milyon ton CO₂ eşdeğeri olup bunun % 81.6'sı CO₂ salımıdır. Ulaştırma kesiminin sera gazı salımı 1990 – 2005 yılları

arasında % 57.1 oranında artarak 26.3 milyon ton CO₂ eşdeğerinden 41.3 Mt CO₂ eşdeğerine çıkmıştır. CO₂ salımlarının ulaştırma kesimi içindeki dağılımına bakıldığında, 2004 yılında, karayolu taşımacılığı % 84 ile en büyük paya sahiptir (İklim Değişikliği 1. Ulusal Bildirimi 2007).

Gelecek yıllarda, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde hızla artan ulaşım talebi karşısında sera gazlarının etkisinin artışı daha kötü durumlara gelebilecektir (CEYLAN ve diğerleri). Yakıtlardan kaynaklanan kirlетici emisyonların (partikül madde, CO, NO_x, hidrokarbonlar) yanı sıra, küresel ısınmaya neden olan CO₂ emisyonları sebebiyle, ulaşım sektörü Kyoto Protokolü taahhütleri kapsamında tedbirlerin yoğunlaştırıldığı bir sektör olmaktadır (MMO 2008).

Mevcut durumu itibariyle ülkemizde yük ve yolcu taşımacılığı çok büyük ölçüde karayolu ağırlıklıdır. Fabrikadan satış yerine minimum araç ve personel sayısı (bir kamyon, bir şoför) ile taşıyabilme pratikliğinin getirdiği avantaj, bu ulaşım şeklinin yol açtığı hava kirliliği, petrol tüketimi, trafik yoğunluğu, gürültü, altyapı tahribatı, maddî hasarlı ve can kayıplı kazalar şeklinde ortaya çıkan bütün olumsuzluklara göz yumulmasına sebep olmaktadır. Taşıma maliyeti hesaplanırken sadece yakıt sarfıyatı, taşıt amortismanı ve sürücünün işgücü maliyeti göz önüne alınmamalıdır. Saydığımız olumsuzlukların getirdiği maliyetin ve bozuk trafik düzenini ayakta tutmaya çalışan, bu yönüyle büyük ölçüde yıpranan ve yapmaya çalıştığı hizmet de boşa giden trafik ekiplerinin maliyeti de eklenecek olursa karayoluyla yük ve yolcu taşımacılığının ülke ekonomisine gerçek maliyetinin çok yüksek olduğu görülecektir (Ayvaz 1996).

İstanbul'da da trafikteki akışın istenen seviyede olmaması sebebiyle yıllık işgücü kaybı ve fazladan yakılan akaryakıtın maliyeti 3 milyar TL'yi aşmıştır (Yıldırım 2010). Buna emisyon salınımından doğan maliyetleri ve atmosfere bırakılan yanlışı gazların miktarını,

bunların olumsuz sonuçlarını ilave ettiğimizde konunun ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde, artan talebin yanında artık sınırlı ve yetersiz kalmaya başlayan yol kapasitelerinin en etkili şekilde kullanılması, ulaştırma yönetimi ile ilgili birimlerin temel amaçlardan birisi haline gelmiştir. Bu amaçla, trafiğin kontrolüne ilişkin uygulamaların yaygınlaşmasının yanı sıra, ulaşım altyapısının daha etkin kullanımı amacıyla alternatif çözümlerin geliştirilmesine yönelik çalışmaların da hız kazandığı gözlenmektedir. Özellikle elektronik, bilgisayar ve haberleşme teknolojilerindeki gelişmeler, bu hususta itici bir rol oynamaktadır. Karayolu ulaşımı ile beraber diğer ulaşım çeşitlerini de ilgilendiren bu olgu, yeni dönemde akıllı sistem çözümlerinin desteğiyle, ulaşım sorunlarına esnek çözümler üretilmesi gayretlerine yeni ufuklar açmaktadır (Akbaş 2009).

Matematiksel tekniklerin kullanılmasıyla, metropol kentlerin en önemli konusu olan trafik sorunlarını tahmin etmek planlamadan uygulamaya kadar tüm aşamalarda birçok yönden önemlidir. Tahmin sonuçları, ilgili kurum ve kuruluşların politikalarını, yerel yönetimlerin bölgesel planlamalarını, son kullanıcıların da kullanım maliyetlerini belirleyebilmesine olanak tanırırlar. Doğru tahminin başarılı kararları beraberinde getireceği ve bu şekilde fayda maksimizasyonunun sağlanabileceği gerçeği bu tür çalışmaların önemini daha da artırmaktadır.

1.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI

Bu araştırmanın amacı, büyük kentlerin en önemli sorunlarından biri olan trafik yoğunluğunun çok fazla hesaba katılmayan bir sonucu olarak yakıt tüketimi ve emisyon değerlerini büyük ölçüde arttırdığını ortaya koymak, trafik parametreleri ile yakıt tüketimi ve emisyon miktarı arasındaki ilişkiyi literatürde belirlenen kriterler ışığında irdelemek ve geleceğe yönelik çıkarımlarda bulunmaktır.

Çalışmada, kentlerin yaşanabilir olduğu, enerji tüketiminin ve hava kirliliğinin azaltıldığı, ulaşım güvenliğinin sağlandığı, ulaşım maliyetlerinin düşürüldüğü sürdürülebilir bir ulaşım için trafik yoğunluğu probleminin çözümüne yönelik gerekli adımların atılması yönünde bir katkı sağlanmak istenmiştir.

Bu çalışma kapsamında Türkiye'nin en büyük ve kalabalık şehri olan İstanbul'da rasgele seçilen 13 önemli güzergâh için trafik parametreleri incelenmiştir. İstanbul trafiğindeki yakıt tüketimi ve emisyon değerlerini irdelemek ve geleceğe yönelik çıkarımlarda bulunabilmek amacıyla trafik parametreleri ve yakıt tüketimi değerlerinin Çoklu Lineer Regresyon Analizi ve Zaman Serileri Analizi yapılmış, trafik yoğunluğuna bağlı olarak yakıt tüketimi tahmin modeli geliştirilmiştir.

Çalışma altı bölüm halinde hazırlanmıştır. Birinci bölümde, konunun önemi ve araştırmanın çıkış noktası üzerinde durulmuş, çalışmanın amacı ve kapsamı belirtilerek giriş yapılmıştır.

İkinci bölümde, enerji, ulaşım ve çevre konuları arasındaki bağlantıya dikkat çekilmek istenmiş, bu amaçla dünyada ve ülkemizdeki enerji değerleri, ulaşım da enerji tüketimi ve enerji kullanımının hava kirliliğine sebep olan sera gazı salınımlarına etkileri ortaya koyulmuştur.

Üçüncü bölümde trafik yoğunluğu ile ilgili parametreler ve bunlar arasındaki ilişki ifade edilmiş, analizde referans alınacak kriterler belirtilmiştir.

Dördüncü bölümde çalışmanın uygulama aşaması olarak İstanbul ili örneğinde trafik parametreleri ile yakıt tüketimi ve emisyon hesabı yapılarak trafik yoğunluğundan

kaynaklanan yakıt tüketimi fazlası ve emisyon fazlası her güzergâh için ayrı ayrı belirlenmiştir.

Beşinci bölümde örnek alan olarak seçilen İstanbul ilinin rasgele seçilen 13 güzergâhına ait trafik verileri ile yakıt tüketim değerini tahmin eden model, Çoklu Lineer Regresyon Analizi ve Zaman Serileri Analizi “ARIMA” tekniği kullanılarak oluşturulmuştur.

Altıncı bölümde çalışmada elde edilen sonuçlar ortaya konularak genel bir değerlendirme yapılmıştır. Gelecek için öneriler getirilmiştir.

1.2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma başlıca iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda konu ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Literatür taramasında;

- Makaleler,
- Doktora ve Yüksek Lisans Tezleri,
- Kitap ve Dergiler,
- Bildiriler,
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Verileri,
- Karayolları, İstanbul Valiliği, TÜİK vb. Kamu Kurumları Verileri,
- İstanbul 2007 yılı “Ulaşım Ana Planı Analitik Etüt ve Model Kalibrasyonu” Anketi Sonuçları,
- İnternet Siteleri

kaynaklarından yararlanılmıştır.

Çalışmada; ilgili kamu kurumlarından alınan istatistiksel verilerin yanında, İBB Trafik Müdürlüğü’nün trafik akımı bilgilerinin elde edilmesi amacıyla kullandığı, İstanbul genelinde yol ağının belirli kesimlerine (ana arter ve çevre yollarına) yerleştirilen ve 8 şeride kadar ölçüm yapabilen özel sensörlerin verileri kullanılmıştır. Bu sensörler ile,

- Araç Hızları
- Araç Sayısı
- Araç Sınıflandırma
- Trafik yoğunluğu
- Kuyruk uzunluğu

verileri elde edilebilmektedir.

Araştırmanın ikinci kısmında, örnek alan olarak seçilmiş olan İstanbul ilinde rasgele seçilen 13 güzergâhın trafik parametreleri incelenmiş, gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen verilerden Çoklu Lineer Regresyon Analizi ve Zaman Serileri Analizi “ARIMA” tekniği kullanılarak bir tahmin modeli oluşturulmuştur.

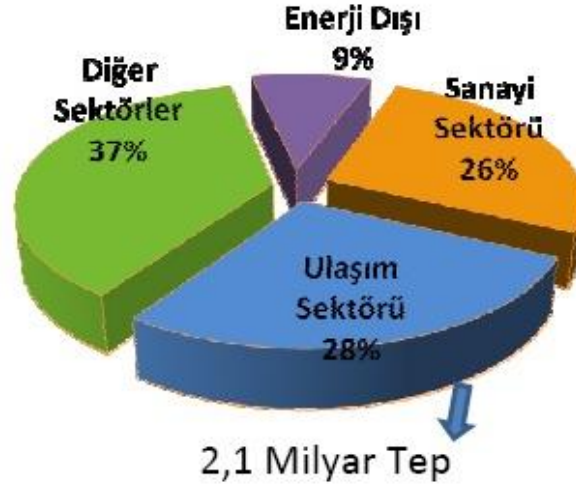
BÖLÜM 2: ENERJİ, ULAŞIM VE ÇEVRE

2.1. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE ENERJİ

2.1.1. Dünya'da Genel Enerji Durumu

Enerji, bir ülkenin ekonomik ve sosyal gelişmesinin, en temel ve sürükleyici gereksinimlerinden biridir. Ülkelerin hızla kalkınması ve üçüncü dünya ülkelerinin de modern enerji kaynaklarına ulaşması sonucunda dünya toplam enerji ihtiyacı her geçen gün artmakta ve nihayetinde enerji, çağımızın en önemli stratejik değeri haline gelmektedir.

Dünya toplam enerji tüketimi 2005 yılında 7,9 Milyar Tep olarak belirlenmiş olup bunların sektörel dağılımı Şekil 2.1'de verilmiştir. Bu dağılıma göre ulaşım sektörü %28 oranında 2,1 Milyar Tep değeriyle en önemli sektör durumundadır (IEA Key World Energy Statistics-2007).

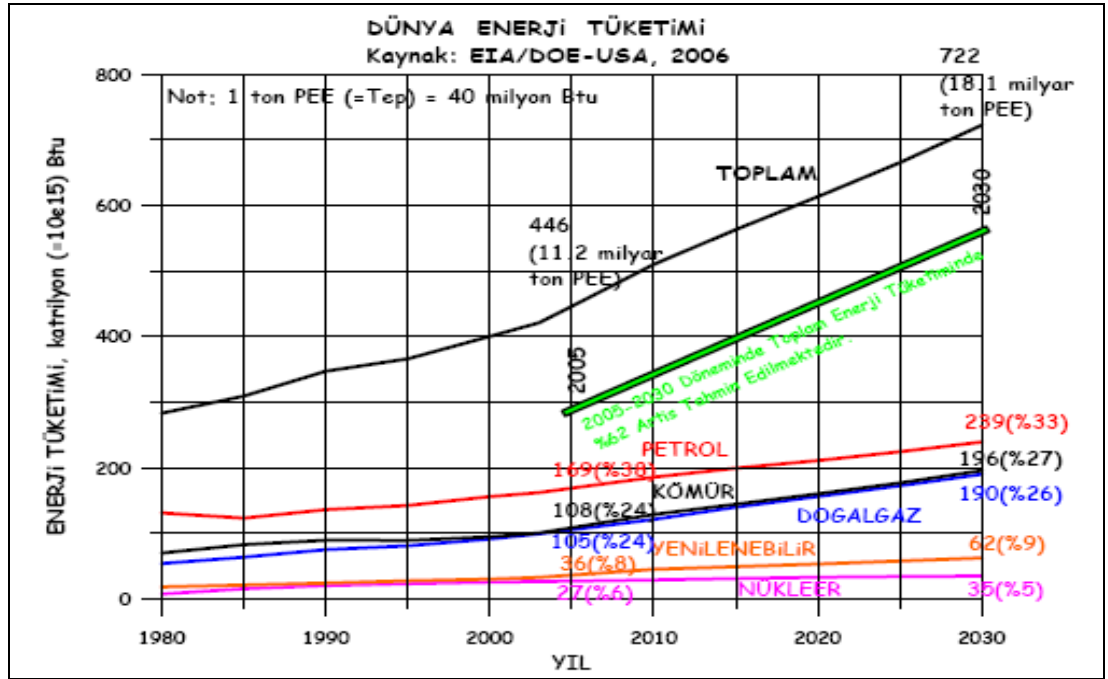


Kaynak: IEA Key World Energy Statistics 2007.

Şekil 2.1: Dünya Sektörel Enerji Dağılımı.

Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency, IEA) gibi birçok uzman kurum dünya enerji talebinin gelecekte nasıl artacağı konusunda tahminler yapmaktadırlar. Gelecek 30 yıl içinde dünya enerji talebinin %60 civarında artabileceği öngörülmektedir. Burada en kritik soru, bu talebin nasıl karşılanacağıdır.

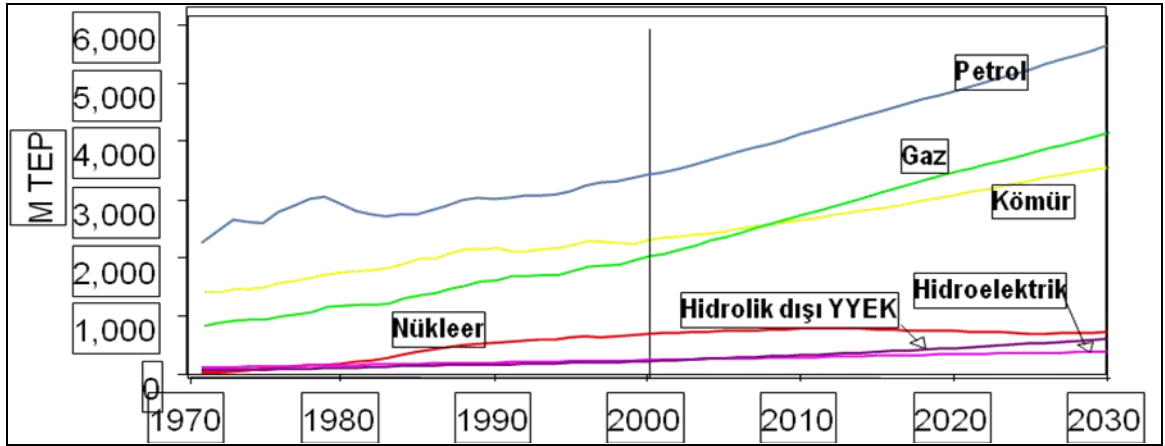
Şekil 2.2, Energy Information Administration/DOE (ABD) tarafından 2006 yılında yapılan bir çalışmada elde edilen tahmini dünya enerji tüketiminin 2030 yılına kadar değişimini göstermektedir.



Kaynak: Energy Information Administration/DOE 2006.

Şekil 2.2: Dünya Enerji Tüketiminin 2030 yılına kadar projeksiyonu.

Yakıtlar bazında Dünya Birincil Enerji talebindeki tahminde %33'lük oranla ilk sırayı petrol almaktadır. Şekil 2.3'de Dünya enerji tüketiminde kaynakların durumu ve 2030 yılında ne olacağı verilmiştir.



Kaynak: WEO 2002.

Şekil 2.3: Küresel Birincil Enerji Talebi.

Gelecek 30 yılda petrol talebinin yılda ortalama %1.6 oranında ve ham petrol toplam rafineri kapasitesinin yıllık ortalama %1.3 artması bekleniyor. 2000 yılında 81.5 milyon varil/gün olan Dünya ham petrol işleme kapasitesinin 2030 yılında 121 milyon varil/gün olacağı tahmin edilmektedir. Hâlihazırda petrolün %47'si ulaşım sektöründe kullanılırken, bu oranın 2030'da %55'e ulaşacağı tahmin edilmektedir (EİE 2007).

Başta OECD ve gelişmekte olan Asya ekonomileri olmak üzere, tüketici konumunda olan başlıca ülkelerin, ithal petrole bağımlılık oranlarının, özellikle 2010'dan sonra artması öngörülmektedir.

2.1.2. Türkiye'de Genel Enerji Durumu

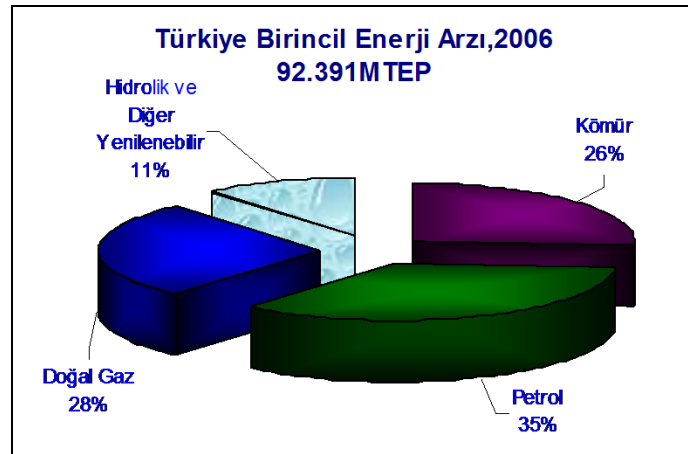
2006 yılında, 92,3 Milyon TEP olan ülkemizin nihai enerji tüketimi 2008 yılında yaklaşık 80 Milyon TEP olarak gerçekleşmiştir (ETKB 2007).

Tablo 2.1: 2008 Yılı Genel Enerji Dengesi.

	Toplam Katı Yakıt	Petrol	D. Gaz	Hidrolik	Jeoter mal	Biyo yakıt	Rüzgar	Elektrik	Jeo. Isı Diğer Isı	Güneş	Toplam
Birincil Enerji Arzı	36205	31784	33807	2861	140	66	73	-29	1011	420	106338
Toplam Nihai Enerji Tüketimi	20599	28732	13957	0	0	66	0	13758	2027	420	79559
Ulaştırma	0	15733	203	0	0	66	0	42	0	0	16044
Karayolları	0	13348	29	0	0	66	0	10	0	0	13453

Kaynak: ETKB 2009.

Türkiye Birincil Enerji Arzının sektörlere göre dağılımında ise petrol %35 oranıyla birinci sırada yer almaktadır.



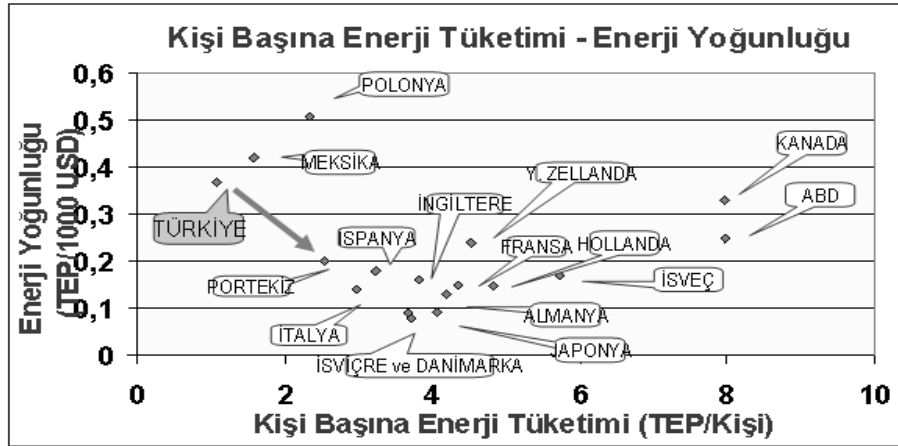
Kaynak: ETKB 2007.

Şekil 2.4: 2006 Yılı Türkiye Birincil Enerji Arzı.

Enerji kaynakları bakımından zengin olmayan ülkemiz, enerji ihtiyacının %74 oranındaki önemli bir kısmını ithal etmek durumundadır. Bu oran her yıl % 4-5 arasında artmaktadır. Ayrıca enerji verimliliği açısından önemli bir gösterge olan enerji yoğunluğumuz da OECD ülkeleri ortalamasının iki katına yakındır (Öznur 2008).

Enerji yoğunluğu, Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) başına tüketilen birincil enerji miktarını temsil eden ve tüm dünyada kullanılan bir göstergedir. Bu gösterge içinde, ekonomik fayda, enerji verimliliğindeki artış veya azalma ve yakıt ikamesindeki değişimler ile birlikte ifade edilmekte ve bu değişimler tek tek bu gösterge içinden ayırt edilememekle birlikte, dünyada enerji yoğunluğu, enerji verimliliğinin takip ve karşılaştırılmasında yaygın olarak kullanılan bir araçtır.

Ülkemiz enerji yoğunluğunun OECD'nin gelişmiş ülkeleri ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek ve kişi başına enerji tüketiminin de OECD ortalamasının 1/4'ü civarında olduğu görülmektedir. Türkiye'nin enerji yoğunluğu 0.38 iken gelişmiş ülkelere; Japonya 0.09, Danimarka 0.10, Almanya 0.13, İtalya 0.14 ve Fransa 0.15 gibi enerji yoğunluğu değerine sahiptir. Çoğu trilyon dolar mertebesinde GSYİH üreten bu ülkeler, söz konusu hasılayı sağlayan üretimlerini bize kıyasla çok daha az enerji tüketimiyle gerçekleştirmektedirler. Kişi başına enerji tüketimimizin diğer gelişmiş ülkelere göre daha düşük olması, önümüzdeki kalkınma sürecinde kişi başına enerji tüketiminde hızlı bir artışın olacağını işaret etmektedir (EÖİKR 2006).



Kaynak: EİE 2007.

Şekil 2.5: Ülkelerin Enerji Yoğunluk durumları, Türkiye'nin ok yönünde gelişim göstermesi beklenmektedir.

Türkiye'nin 2004 yılı petrol tüketimi 32 milyon ton seviyesinde olup, her yıl giderek artmaktadır. 2020 yılında 69 Mton'a ulaşması beklenmektedir. Bu tüketime bağlı olarak da petrol ithalatında artış görülmektedir (Öznur 2008).

2.2. ULAŞIM SEKTÖRÜNDE ENERJİ TÜKETİMİ

Ulaştırma sektörü yenilenemeyen enerji kaynaklarının tüketimi konusunda tüm sektörler içinde önemli bir paya sahiptir. Ulaştırma sektörünün tüketilen petrol enerjisindeki payının fazla oluşu, özel araç sahipliğinin ve kullanımının günden güne artması, hızla artan nüfus ve benzin pompa fiyatlarının yıllar itibariyle artan bir eğilim göstermesinin bazı sorunlar doğuracağı açıktır.

1980'li yıllardan itibaren ulaşım sektörü, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de büyük bir gelişme göstermiştir. Bu gelişmenin temel sebebi, halkın refah seviyesinin artmasıyla birlikte artan yaşam kalitesi ve buna bağlı gelişen ulaşım talebindeki artıştır. Dolayısıyla, ülkemizin enerji tüketiminde başta gelen sektörlerden biri de ulaşım sektörü olmuştur. 2008 yılı ETKB verilerine göre bu sektör, yaklaşık 16 milyon ton petrol eşdeğeri (TEP) enerji tüketimi ile ülkemiz nihai enerji tüketiminde yaklaşık % 20'lik bir pay almaktadır.

Türkiye'de 1990-2004 yılları arasında final enerji tüketiminin sektörlere dağılımı incelendiğinde; 1990 yılında 8.7 Milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) olan ulaşım sektörü enerji tüketimi %63 artarak 2004 yılında 13.8 MTEP'e ulaşmıştır. Türkiye'de ulaşım sektörü, gerek yolcu gerekse yük taşımacılığında karayolu ağırlıklı olup, sektörde tüketilen enerjinin çok büyük bir bölümü karayolunda kullanılmaktadır. 2004 yılı sonu itibariyle sektörün toplam enerji tüketiminin %84'ünü karayolu, %12'sini havayolu, %3'ünü denizyolu ve %1'ini ise demiryolu oluşturmuştur (ETKB, 2007).

Tablo 2.2: Ulaştırma sektörü enerji kullanımı (Bin Tep).

	1990		1995		2000		2001		2004	
	Tüketim	Pay (%)	Tüketim	Pay (%)	Tüketim	Pay (%)	Tüketim	Pay (%)	Tüketim	Pay (%)
Ulaştırma	8723	21	11066	22	12007	20	12000	22	13775	20

Kaynak: ETKB 2007.

Gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de nüfus artışı ve ekonomik gelişmeler beraberinde araç sayısının hızla artmasına, araç sayısındaki bu artış ise karayolu ağı üzerindeki taşıt hareketliliğinin büyümesine neden olmuştur. 1990 yılında 56 milyon olan ülke nüfusu yaklaşık 1.28 kat artarak 2008 yılı itibari ile 72 milyona ulaşmıştır. Aynı dönem içindeki trafik göstergelerine bakıldığında araç sayısı 3.67 kat artarak 13 milyonu, araç-km değeri ise 2.70 kat artarak 72 milyarı geçmiştir. Görüldüğü üzere trafik değerlerindeki artış hızı, nüfus artış hızından daha fazla olmuştur (V.D.Ç.G. 2005).

Tablo 2.3: Motorlu kara taşıtları sayısı.

İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflaması 1. düzeye göre, taşıt türleri ve motorlu kara taşıtları sayısı Vehicle types and number of road motor vehicles, according to Classification of Statistical Region Units Level 1									
								Özel amaçlı taşıtlar Special purpose vehicles	Traktör Tractor
		Toplam Otomobil ⁽¹⁾ Total	Minibüs Car ⁽¹⁾	Otobüs Minibus	Kamyonet ⁽¹⁾ Small Truck ⁽¹⁾	Kamyon Truck	Motosiklet Motorcycle		
İBBS 1. Düzey - SRE Level 1									
TR Türkiye - Turkey									
	2005	11 145 826	5 772 745	338 539	163 390	1 475 057	676 929	1 441 066	30 333
	2006	12 227 393	6 140 992	357 523	175 949	1 695 624	709 535	1 822 831	34 260
	2007	13 022 945	6 472 156	372 601	189 128	1 890 459	729 202	2 003 492	38 573
	2008	13 765 395	6 796 629	383 548	199 934	2 066 007	744 217	2 181 383	35 100

Kaynak: TÜİK 2010.

Ulaşım sektöründe enerji tüketiminin %99'dan fazlasını petrol ürünleri teşkil etmekte olup enerji tüketimi açısından tamamen ithal kaynağa bağımlıdır. Özellikle gelişmiş ülkelerde nihai enerji tüketimi içinde payı sürekli artma eğiliminde olan ulaştırma sektörü, önemli bir sera gazı emisyon üreticisi olarak görülmektedir. IEA World Energy Referans senaryosu bu sektörün CO₂ emisyon oranını 2030 yılına kadar %50 oranında arttırarak büyüyeceğini öngörmüştür. Bu nedenle de Kyoto Protokolü taahhütleri için tedbirlerin yoğunlaştırıldığı bir sektördür (IEA-WEO 2004).

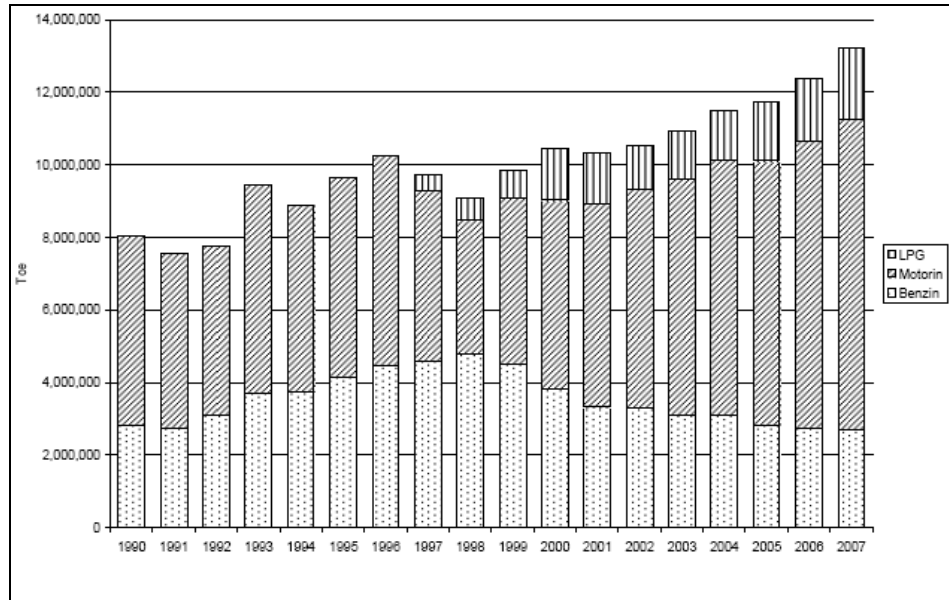
Tablo 2.4: Kullanılan yakıt türüne göre motorlu kara taşıt sayısı.

Kullanılan yakıt türüne göre motorlu kara taşıt sayısı Number of road motor vehicles by kind of fuel used					
Yıl Year	Genel toplam General total	Benzin Gasoline	Dizel Diesel	Lpg Lpg	Bilinmiyor Unknown
2001	⁽¹⁾ 6 123 158	4 981 422	1 141 736	-	-
2002	⁽¹⁾ 6 236 343	5 044 259	1 192 084	-	-
2003	⁽¹⁾ 6 447 728	5 130 400	1 317 328	-	-
2004	10 236 357	5 569 192	3 346 355	819 007	501 803
2005	11 145 826	5 606 321	3 836 399	1 298 830	404 276
2006	12 227 393	5 935 725	4 372 042	1 569 951	349 675
2007	13 022 945	5 980 516	4 850 837	1 880 023	311 569
2008	13 765 395	5 952 746	5 323 478	2 276 283	212 888
Kaynak:TÜİK Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri			Source: TURKSTAT Road Motor Vehicle Statistics		
(1) Motosiklet, özel amaçlı taşıtlar, yol ve iş makineleri ile traktörler dahil değildir.			Note. Motorcycles, special purpose vehicles and road construction and work machinery and tractors are excluded.		

Kaynak: TÜİK 2010.

Ülkemizde yakın zamanda tüketime sunulan kurşunsuz benzin tüketimi 2004 yılında 1.5 milyon ton seviyesine ulaşmıştır. Ulaştırmadan kaynaklanan kirliliğin azaltılması amacıyla araçların yakıt tüketim sistemlerinin benzinden LPG'li sisteme dönüştürülmektedir. Ankara ve İstanbul'daki taksilerin yaklaşık %80'i benzinden LPG'ye dönüştürülmüştür. Bunlara ilave olarak aynı illerde bazı otobüsler doğal gaz yakıtı kullanmaktadır (EÖİKR, 2006).

1990 – 2007 döneminde Türkiye'de karayolu ulaştırmasının enerji tüketimi 8 MTOE'den 13.2 MTOE'e çıkmıştır (Sekil 4). 1990 – 1998 yılları arasında benzin tüketiminin payı % 35'den % 52'ye çıkmış; daha sonra motorin ve LPG kullanan araçların artışına koşut olarak, 2007 yılında % 20 düzeyine inmiştir. Karayollarında tüketilen enerjinin % 65'i motorin, % 15'i LPG tüketimidir. 2008 yılında benzin tüketimi önceki yıla göre % 9.7 azalarak 2.96 milyon m3, toplam otomotiv yakıtları tüketimi ise % 0.3 azalarak 17.47 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (PETDER 2008).

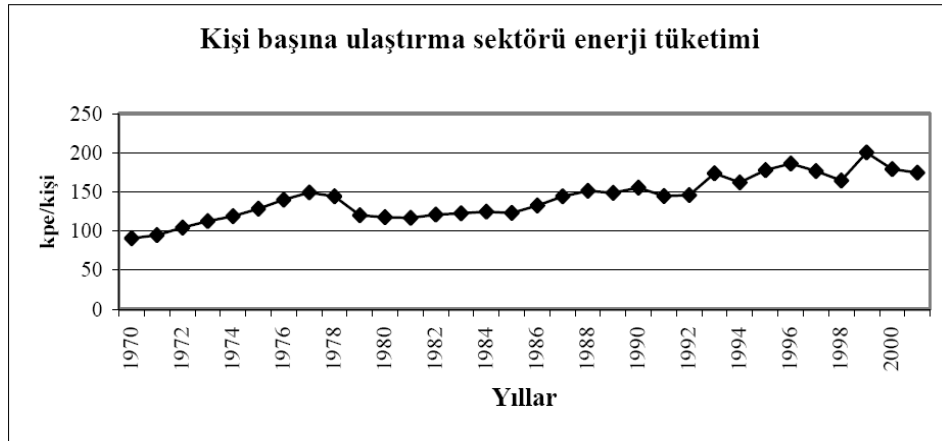


Kaynak: Karayolları Genel Müdürlüğü 2010.

Şekil 2.6: Türkiye'de Karayollarında Enerji Tüketimi (TOE)³.

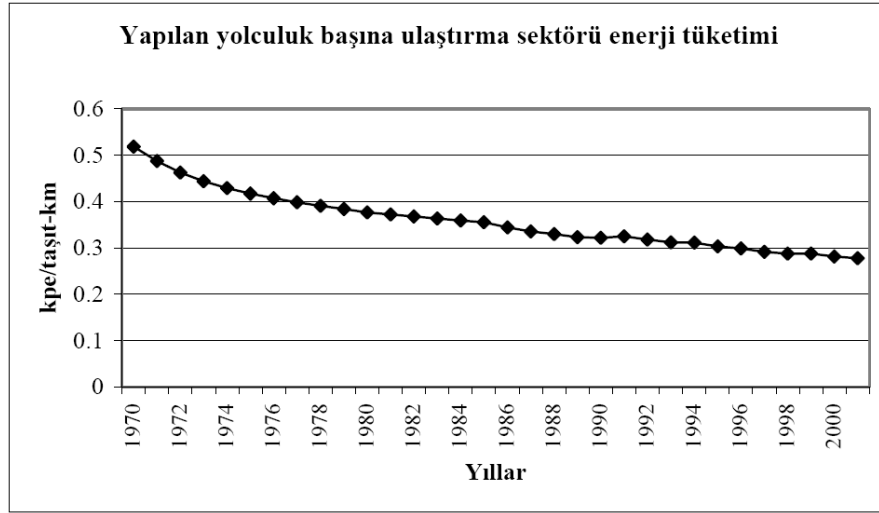
1990-2004 yılları arasında ulaştırma sektörünün toplam elektrik enerjisi tüketiminden almış olduğu payda önemli bir değişiklik olmamıştır. Benzer şekilde doğal gaz kullanımında da büyük bir değişme olmamasına rağmen 2004 yılında yaklaşık 4 Bin eşdeğer petrol (BTEP)'lük bir kullanım söz konusudur (DEK-TMK 2006).

Şekil 2.7 ve 2.8'de 1970 ve 2000 yılları arasında kişi başına ve taşıt-km başına tüketilen enerji miktarındaki değişim görülmektedir. 1970-2000 yılları arasında kişi başına sektörel enerji tüketimi yaklaşık 2 kat artmıştır, ancak toplam tüketimdeki payında ciddi bir değişiklik gözlenmemiştir. Yapılan taşıt-km başına tüketim ise enerji tüketimi azalım eğilimindedir. 1970 yılında 0.51 kpe/taşıt-km olan tüketim 2000 yılında 0.27 kpe/taşıt-km'ye düşmüştür. Bunun nedeni 1980'lerden sonra karayollarındaki standartların iyileşmesi, motor ve yakıt teknolojisindeki gelişmeler olarak düşünülebilir (Haldenbilen 2003).



Kaynak: Haldenbilen 2003.

Şekil 2.7: Kişi başına ulaştırma sektörü enerji tüketimi.



Kaynak: Haldenbilen 2003.

Şekil 2.8: Yapılan yolculuk başına sektörel enerji tüketimi.

2.2.1. Ulaşımın Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler

Motorlu taşıtların çalışmasında temel madde yakıttır. Ulaşım masraflarının büyük bir bölümünü yakıt oluşturmaktadır. Yakıt tüketimi, motorun belirli bir kararlı çalışma durumuna eriştikten sonra birim zamanda tükettiği yakıt miktarıdır (Birimi kg/h'dır).

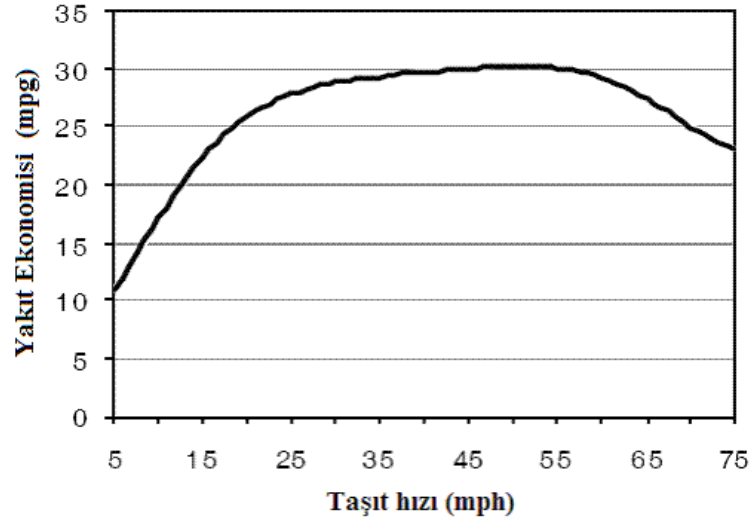
Yakıt tüketim değerleri; Avrupa Ekonomik Topluluğu'nun EEC 80/1268/EC direktifi uyarınca laboratuvar ortamında yapılan testlerde elde edilen, l/100 km mertebesinde sonuçlarla gösterilir. Araçların şehir içi, şehirlerarası ve toplam yakıt tüketim değerleri Avrupa Birliği'nin 1999/100/ EC (Avrupa Topluluğu) talimatına göre tespit edilmektedir (<http://www.otomotivbilgi.com/>).

Araçlarda yakıt tüketimini etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar taşıtın tasarımından, teknik durumuna, yol ve iklim şartlarından, sürücü deneyimine kadar çeşitli faktörleri içine alır. Ulaşım organizasyonu durumu da bunlara eklenebilir. Her geçen gün taşıtların

performansı, sürüş kolaylığı ve konforu artırılmaya çalışılmakta bunları sağlarken de yakıt ekonomisini en üst düzeyde tutmak için taşıtın toplam verimini yükseltilmeye yönelik çalışmalar da yapılmaktadır. Yüksek oktan, yüksek sıkıştırma oranı, geliştirilmiş yanma odası, geliştirilmiş ateşleme sistemleriyle daha fakir karışımlar ateşlenebilmekte yüksek verimli tork konvektörü ve aktarma organlarıyla sürtünme kayıpları en aza indirilmektedir. Ayrıca yol kalitelerindeki artış da önemlidir (Fidan 2010).

Yakıt ekonomisini etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesi taşıt büyüklüğüdür. Bir taşıtı yatay yolda sabit hızda hareket ettirebilmek için taşıta karşı oluşan dirençlerden yuvarlanma ve hava dirençlerinin yenilmesi gerekir. Yuvarlanma taşıt ağırlığının bir fonksiyonudur. Taşıt büyüklüğü ile birlikte taşıtın ağırlığı da artacağından yuvarlanma direncide bunlara paralel olarak doğru aranda artar. Hava direncini yenmek için gerekli olan güç taşıt hızı, taşıtın kesit alanı ve hava direnç katsayısına (cd) bağlıdır. Taşıt büyüklüğü kesit alanla doğru orantılı olduğundan hava direncini yenmek için gerekli olan güç taşıt büyüklüğü arttıkça artacaktır bu da yakıt ekonomisindeki %15-20'lik değişime eşdeğer bir artış demektir (Fidan 2010).

Yüksek hızlardaki yakıt ekonomisindeki hızlı kötüleşme taşıtı hareket ettirebilmek için gerekli gücün, hızın küpüyle doğru orantılı olarak artmasından kaynaklanır. Hava direnç katsayısı taşıtın aerodinamik yapısına bağlıdır. Bu da yüksek hızlarda hava direncinin önemli ölçüde artmasına neden olur (Fidan 2010).



Kaynak: Öztürk 2005.

Şekil 2.9: Yakıt Tüketiminin Araç Hızıyla İlişkisi.

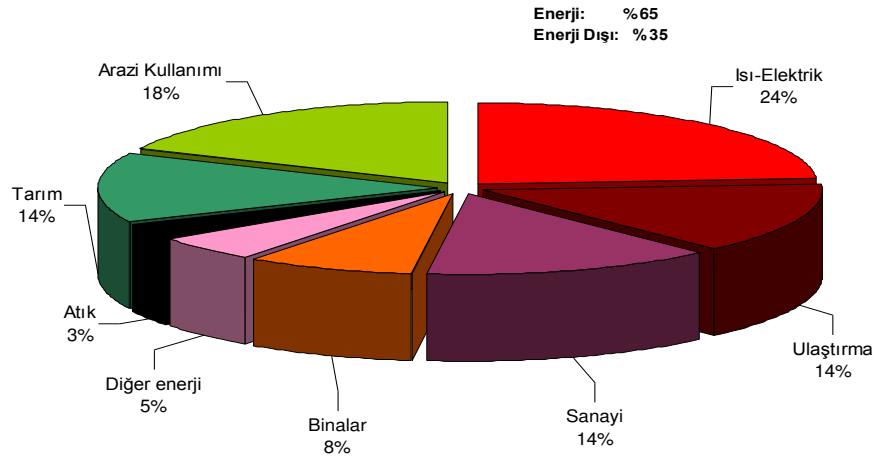
Çalışma (işletme) şartları da yakıt ekonomisini önemli ölçüde etkiler. Motor ayarlarının düzensiz olması yakıt tüketimini artırır. Düşük motor soğutma suyu sıcaklığı ısı kaybını azaltacağından verim düşer, bunun yanı sıra yakıt silindirlere daha büyük zerreler halinde gireceğinden yanma verimsizleşir. Aktarma organları dişlileri ve yataklarındaki aşırı sürtünmeler, fren sıkılığı, lastik hava basınçlarının düşüklüğü, ön düzen ayarsızlığı ve alternatöre binen yük gibi faktörler toplam direnç kuvvetlerini artıracığından yakıt sarfıyatı da artacaktır (Fidan 2010).

Bahsedilen faktörlerin dışında ulaşım organizasyonu, değişken olan trafik ve iklim şartları yakıt sarfıyatını artıracaktır. Bunlara rağmen iyi bir araç bakımı, dikkatli bir sürüş alışkanlığı önemli ölçülerde yakıt sarfıyatını azaltacaktır. Sürücü deneyimine göre taşıt kullanımı değişir. Özellikle bu farklılık vites değiştirme zamanlarının seçiminde olur. Aynı taşıtın değişik sürücülerle kullanımında %10 az veya fazla fark görülebilir (Fidan 2010).

2.3. ULAŞIMDAN KAYNAKLANAN ÇEVRE KİRLİLİĞİ

Trafiğin sebep olacağı çevre etkilerinin başında gürültü ve hava kirliliği gelmektedir. Trafikte araçların kullanımıyla oluşan gürültü genellikle araçların motorlarında, egzozdan ve süspansiyondan kaynaklanan gürültüdür. Trafik gürültüsü motor gücüne, hızına, seyreden taşıtların cinsine, yol eğim derecelerine ve kaplama özelliğine bağlı olarak değişmektedir. Tüm bu nedenlerle oluşan trafik gürültüsü insan yaşamıyla içice olması sebebiyle hem çevre açısından hem de insanların sağlığı açısından önemli etkiler yaratmaktadır. Trafiğin olumsuz çevre etkilerinden bir diğeri de çevre kirliliğinin en önemli parametrelerinden biri olan, canlıların içinde yaşadığı ortamı oluşturan hava kirliliğidir. Benzinli ve dizel motorların egzoz gazları hava kirliliğine neden olan kaynakların başında gelmektedir. Açığa çıkan bu emisyonlar nedeniyle çevre kalitesi düşmekte, canlıların sağlığı tehlikeye girmektedir. (Dülgeroğlu, Trafik ve Çevre Etkisi)

İnsan kaynaklı sera gazı salımında enerji sektörünün, tüm diğer sektörlerden çok daha yüksek bir payı vardır. Toplam sera gazı oluşumunun yaklaşık %15'inin karayolu ulaştırma sektöründen kaynaklandığı hesaplanmıştır. Ulaştırma sektöründen kaynaklanan karbondioksit emisyonunda karayolu taşıtlarının payı % 90 civarındadır (Özgür 2008).

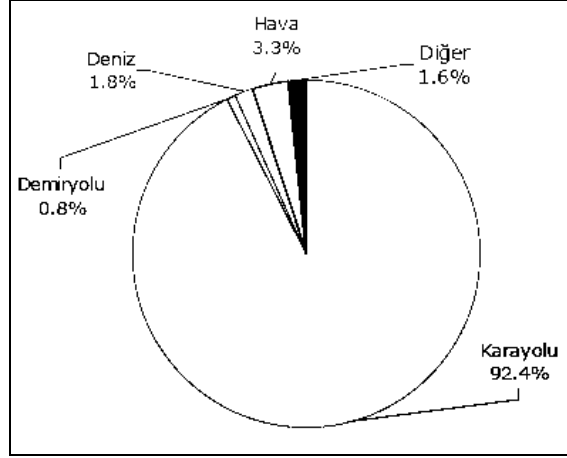


Kaynak: Stern 2006.

Şekil 2.10: Küresel Sera Gazı Salımları (Toplam:42 MMt e CO₂/yıl).

1990-2001 yılları arasında AB ulaştırma sektörü kaynaklı sera gazı emisyonları %20 mertebesinde artmıştır (TIRIS 2007).

- CO₂, %97'lik pay ile ana sera gazı emisyonu
- Karayolu taşımacılığı en büyük emisyon kaynağıdır (%92.4,2001).



Kaynak: European Environment Agency 2001.

Şekil 2.11: Ulaşım sektöründe sera gazı emisyon miktarı dağılımı.

Türkiye’de yakıt tüketiminden kaynaklanan karbondioksit, CO₂, salınımları incelendiğinde 1970 yılında 41.581 bin ton olan CO₂ salınımlarını, 1990 yılında 142.727 ton’a ve 1998 yılında da 198.744 ton'a ulaşmıştır. Enerji denge çizelgelerinde verilen projeksiyon verileri kullanıldığında, CO₂ salınımının 2010 yılında 486.465 ton’a ulaşacağı ortaya çıkmaktadır. Öngörülen yakıt tüketimi tutarları gerçekleşirse, 1990 yılına göre 2010 yılında %241 oranında bir artış beklenmektedir. Yıllara göre sektörlerin yakıt tüketiminden kaynaklanan toplam salınımına katkı payları incelendiğinde, 1970 yılında toplam CO₂ salınımlarının % 28'si enerji ve çevrim, %26'sı sanayi, %24'ü ulaştırma ve %22'si diğer sektörlerden kaynaklanırken, bu oranlar 1990 yılında % 36 enerji ve çevrim, %26 sanayi, %19 ulaştırma ve %19 sektörler olarak gerçekleşmiştir. 2010 yılında ise, enerji ve çevrim sektörünün payındaki artışın devam ederek %46'ya, ulaşması beklenmektedir. 2010 yılında, sanayi,

ulaştırma ve diğer sektörlerin beklenen payları ise sırasıyla, %27, %16 ve %11 olarak hesaplanmıştır (PÜÖİKR 2000).

Gelecek yıllarda en önemli salınım kaynağının enerji ve çevrim sektörü olacağı ve 2010'larda toplam salınımın yaklaşık yarısının bu sektörden kaynaklanacağı öngörülmektedir. Bu sebeple, sera gazlarının etkisinin azaltılabilmesi ve sektördeki enerji tüketiminin kontrol edilebilir hale getirilebilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılması ve ulaşım talebinin yönetilmesi gerekliliği açıktır.

Özellikle gelişmiş ülkelerde nihai enerji tüketimi içinde payı sürekli artma eğiliminde olan ulaştırma sektörü, önemli bir sera gazı emisyon üreticisi olarak görülmektedir. IEA World Energy Referans senaryosu bu sektörün CO₂ emisyon oranını 2030 yılına kadar %50 oranında arttırarak büyüyeceğini öngörmüştür. Bu nedenle de Kyoto Protokolü taahhütleri için tedbirlerin yoğunlaştırıldığı bir sektördür (IEA-WEO, 2004).

Tablo 2.5: Sera gazı salımına sahip sektörler.

2004	1990	Kategori	Yakıt	
1	1	Karayolu Taşımacılığı (Ulaştırma)	Petrol	En Yüksek Sera Gazı Salımı Değerine Sahip ilk 5 Sektör
2	10	Katı Atık		
3	12	Elektrik ve Isı Üretimi	Doğal Gaz	
4	2	Elektrik ve Isı Üretimi	Linyit	
5	13	Diğer (Çimento, Şeker, Gübre ve Diğer)	Taşkömürü	
3	12	Elektrik ve Isı Üretimi	Doğal Gaz	En Yüksek Toplam Sera Gazı Salımı Artışına Sahip ilk 5 Sektör
2	10	Katı Atık		
5	13	Diğer (Çimento, Şeker, Gübre ve Diğer)	Taşkömürü	
1	1	Karayolu Taşımacılığı (Ulaştırma)	Petrol	
8	>25	Diğer (Konutlar)	Doğal Gaz	

Ülkelerin sık yerleşim birimlerinde kişisel ulaşım araçları zararlı taşıt egzoz emisyonlarının başlıca ve en büyük üreticisidir. Egzoz emisyonları benzin ya da dizel güçlü içten yanmalı motorlarda yanan hava yakıt karışımı tarafından üretilir. Emisyonlar aynı zamanda taşıtlar durduğunda yakıtın buharlaşmasından ve sonrasında tekrar yakıt akışı sağlandığında da üretilir. Taşıt emisyonlarının seçimi, arabalarda (benzin ya da dizel) ve kamyonlarda (dizel) yakıt tipine ve çalışma karakterlerine göre çeşitlilik gösterir. Taşıt emisyonlarının bileşenleri su buharı, karbondioksit, nitrojen ve oksijendir. Aynı zamanda başka kirleticiler de mevcuttur; bunlar karbonmonoksit, nitrooksitler, yanmamış yakıt ve küçük toz parçalarıdır. Bu içeriklerden bazıları iklim değişimlerine neden olabilen taşıt bazlı hava kirliliğinde çok büyük rol oynamaktadır. (U.S. Department of Energy 2003)

Tablo 2.6 : Bazı çalışma şartları için emisyon değerleri.

Bileşen, hacimce %	Rölanti Benzinli	Rölanti Dizel	Kısmi yük Benzinli	Kısmi yük Dizel	Tam yük Benzinli	Tam yük Dizel
Hidrokarbon	0.01-0.05	0.005-0.06	0.01-0.02	0.01-0.035	0.01-0.3	0.02-0.06
Karbonmonoksit, CO	2.4-5	0.01-0.045	0.2-1	0.1-0.06	2-5	0.035-0.2
Karbondioksit, CO ₂	10-13	3.5	13.5-14	6.5	11-13	12
Azotoksitler, NO _x	0.005-0.03	0.005-0.025	0.25-0.35	0.25-0.080	0.15-0.45	0.06-0.15
Kükürtoksitler, SO _x	-	-	-	-	0.343	3.496
Aldehit, HCHO	-	-	-	-	0.152	0.921
Hidrojen, H ₂	1.5	-	0.5	-	0.1-0.5	-
Oksijen, O ₂	1-1.5	16	1.5-2.5	14	0.3-0.5	10
Azot, N ₂	geri kalan	geri kalan	geri kalan	geri kalan	geri kalan	geri kalan
Kurşun bileşikleri (mg/m ³)	50	-	40	-	50	-
Partikül madde (kg/ton)	-	-	-	-	1.96	16.19
Egzoz supabı çıkışında gaz sıcaklığı	200-250	550-650	550-650	250-550	750-850	550-750

2.3.1. Emisyonların Etkileri

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar, sadece küresel ısınmayı tetiklediği için değil, bu emisyonlar ozon tabakasını deforme ettiği ve birçok canlı organizmaya zarar verdiği için, çevrecilerin ve toksikologların dikkatini çekmeye devam etmektedir.

Trafik akışının yoğun olduğu şehir içi ve şehir dışı yollarda, kirleticiler oranlarının oldukça arttığı, bölge sakinleri ve sürücüler tarafından belirgin olarak gözlenmektedir. Bunun yanında bazı şehirlerde, özellikle kış aylarında, taşıtlardan kaynaklanan kirleticilere bacalardan ve sanayiden kaynaklanan kirleticiler miktarlarının da eklenmesi ile çeşitli rahatsızlık ve hastalıklarla ilgili sayılarında belirli oranlarda artışların meydana geldiği görülmektedir. Taşıtlardan kaynaklanan bu kirleticiler genel olarak, solunum ve solunum yolları hastalıkları ile başağrısı, unutkanlık ve kanser türü hastalıklara yol açmaktadır (Ertürk 1993).

Araçlardan kaynaklanan başlıca emisyonlar şunlardır:

Karbonmonoksit (CO):

- Yakıtın eksik yanması sonucu doğan (CO) renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır.
- Havada binde 3 sınır değerinde öldürücüdür. Özellikle benzinli araçlarda rölantide çıkar.
- Kapalı bir ortamda çalışan bir otomobilin egzozundan çıkan (CO) orada bulunanları zehirler ve öldürür.
- Atmosferde kendiliğinden havanın oksijen ile birleşerek CO₂'ye dönüşür.

Azotoksitler (NO_x):

- NO renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Motor içindeki yüksek sıcaklık nedeni ile ortaya çıkar.

- NO, havanın oksijeni ile NO₂ oluşur.
- Kahverengi ve kokulu olan NO₂, akciğer dokusunda hasara ve felce neden olur.

Hidrokarbonlar (HC):

- Yakıtın eksik yanması ve benzinin depodan veya dolum sırasında buharlaşması ile ortaya çıkar.
- Bazı HC'ler mukozada tahrişe yol açar, bazıları ise kanserojendir.
- Hidrokarbonlar, NO ve güneş etkisi ile OZON (O₃) meydana getirir.

Partikül Maddeler (Duman)

- İs veya duman olarak tanınırlar,
- Dizel motorlarında görülür,
- Zararlı oldukları halen tartışma konusudur,
- Kaliteli yakıt kullanılması ve yakıt pompasının doğru ayarlanması ile büyük bir ölçüde önlenabilir,
- Bunlara karşı ticari kullanımı olan bir filtre düzeni mevcut değildir.

Kurşun Bileşikleri

- Benzinde vurutuya karşı direnci sağlamak amacı ile Kurşun Tetra Etil katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.
- Bunun sonucu egzoz gazında oluşan kurşun bileşikleri doku, kan dolaşımı ve sinir sisteminde tahribat yaratmaktadır.
- Benzindeki kurşun katkısı için, çeşitli benzinlerde 20.Mart.1985 tarih ve EEC 85/210 sayılı AT direktifinde aşağıdaki sınırlar verilmiştir;

- Kurşunlu benzinde kurşun miktarı en çok 0,40 gr Pb/litre, en az 0,15 gr Pb/litre
- Kurşunsuz benzinde kurşun miktarı en çok 0,013 gr Pb/litre
- Benzen miktarı en çok hacim olarak %5,0
- Ülkemizde TÜPRAŞ tarafından üretilen normal benzinde en çok 0,15 gr Pb/litre, süper benzinde en çok 0,40 gr Pb/litre ve kurşunsuz benzinde en çok 0,013 gr Pb/litre değerleri verilmektedir.
- 1985 yılında yayınlanan bu direktifin, 01.Ekim. 1989 tarihinde AT üyesi ülkelerde yürürlüğe girmesi kabul edilmiştir.
- Kurşunsuz benzin üretiminde, rafineli maliyeti özel proses nedeni ile kurşunlu benzine kıyasla daha pahalıdır.
- Kurşun katkısı subap yuvalarında yağlama etkisine sahiptir. Bu nedenle kurşunsuz benzin kullanılması için subap ve subap yuvalarında özel malzeme gerekir.
- Benzinde sadece kurşun miktarının azaltılması, çevre kirliliği açısından yeterli değildir. Katalizatör için kurşunsuz benzin kullanma zorunluluğu, dolaylı olarak kurşunun zararlı etkisini de azaltmaktadır.
- AT ülkelerinde 1985 tarihinden itibaren kurşunsuz benzinin yaygınlaşması için önce bu benzine uygun motorlar geliştirerek talep yaratılmış ve dağıtım sistemi yaygın hale gelince katalizatörün tüm otomobillerde uygulanması zorunlu kılan EURO 93 standardı 01.01.1993'den itibaren başlatılmıştır.

2.3.2. Emisyonun Önlenmesi için Yapılan Çalışmalar

Avrupa'da motorların çevreye daha az atık bırakması yönünde 1990 yılından günümüze kadar Euro 1, 2, 3, 4, 5 olmak üzere çeşitli standartlar oluşturulmuş, bu normlar ile NOx, CO, C ve partiküllerin belirli oranlarda azaltılması şart koşulmuştur.

Ülkemizde de bu uygulama 1992 yılında “Motorlu Taşıtlar Egzoz Gazlarının Yol Açtıkları Kirlenmenin Önlenmesine İlişkin Tebliği” ile gündeme gelmiştir. Otomobil Sanayi Derneği ile 1993 yılında imzalanan “Otomobil Sanayi Çevre Deklarasyonu” çerçevesinde ve 01.01.1995 yılından itibaren öncelikle büyük motor silindir hacimlerinden başlamak üzere “EURO 93” normlarını sağlayabilen ve sadece kurşunsuz benzin kullanabilen katalitik konvertörlü otomobil üretim ve ithaline başlanmıştır. 01.01.2000 tarihinden itibaren ülkemizde üretilen ve ithal edilen tüm otomobiller katalitik konvertörlü olarak piyasaya sunulmaktadır (Doğan 2009).

Egzoz emisyon ölçüm ve denetlenmesine ilişkin olarak uygulamalar devam ederken 08.05.2003 tarih ve 25102 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren 4856 sayılı kanunla Çevre ve Orman Bakanlığı Teşkilat ve Görevleri Motorlu kara taşıtları işletenlerin, egzoz emisyonlarının yönetmelikte belirlenen standartlara uygunluğunu belgelemek üzere bakanlığa ait yada bakanlıkça yetkili kılınacak egzoz emisyon ölçüm istasyonlarında ölçüm yaptırmalarını sağlamak, bu konuda idari, mali, teknik esas ve usulleri belirlemek görevi Çevre ve Orman Bakanlığı’na verilmiştir. Bu çerçevede, motorlu kara taşıtlarının egzoz gazlarının yol açtığı hava kirliliğini kontrol altına almak ve bununla ilgili gerekli usul ve esasları belirlemek amacıyla AB mevzuatına uyum çalışmaları kapsamında Avrupa Birliği’nin 96/96/EC direktifi dikkate alınarak hazırlanan “Trafikte Seyreden Motorlu Kara Taşıtlarından Kaynaklanan Egzoz Gazı Emisyonlarının Kontrolüne Dair Yönetmelik” 08 Temmuz 2005 tarihinde yayımlanmıştır. Bu yönetmelik ile de egzoz emisyonlarının ölçülmesi ve denetlenmesi kapsamında teknik ve ölçüm istasyonlarına ilişkin düzenlemeler getirilmiştir. Egzoz gazı emisyon ölçümlerinin yapılması motorlu taşıtların araç muayenesi ile uyumlu hale getirilmiştir (Doğan 2009).

Ülkemizde motorlu araçlarda kullanılan benzin ve motorinin Avrupa Birliği normlarında üretilmesi “Benzin ve Motorin Kalitesi Yönetmeliği” ile 2004 tarihinde yayımlanmıştır. Bu yönetmelikle;

- 1 Ocak 2005 tarihinden itibaren kurşunlu benzindeki kursun oranı aşağıya çekilmiştir.
- 1 Ocak 2006 tarihinden itibaren kurşunlu benzinin satışı yasaklanmıştır.
- 1 Ocak 2007 tarihinden itibaren AB'nin ilgili mevzuatı ile birebir uyumlu benzin ve motorin üretimine başlanmıştır.

Emisyon sınırları; araç sayısı ve çevresel etkilerinin artması, gelişen teknoloji, küresel ısınmada araçların rolü gibi etkenlerle ve atmosfere CO₂ emisyonlarının azaltılması (KYOTO) gibi hedeflerle, her dört-beş yılda bir gittikçe düşürülerek sıkılaştırılmaktadır.

Bazı yerel yönetimler (California, Londra, Milano vb.) “Low Emission Zone” amaçlı veya aşırı kirlilik nedeniyle daha da düşük limitler (EEV) talep edebilmektedir. Emisyon sınırlarına uyum için motorlar sürekli geliştirilmekte, günümüzde motorlarda son derece kompleks ve pahalı teknolojiler kullanılmaktadır.

Gelecekteki “Sıfır Emisyon” hedefi için, Elektrik veya Hidrojen gibi alternatif enerjiler kullanan “Hibrid” motorların geliştirme süreci başlamıştır (Aktaş 2008).

2.4. SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA VE ULAŞIMDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Enerji verimliliği hem enerji arz güvenliğini artıran, hem de sera gazı emisyonlarını azaltan, sosyoekonomik faydaları, maliyetlerinin çok üzerinde olan en ucuz azaltım yöntemidir.

İnsan, eşya ve bilgi taşınmasının, doğaya, ekonomiye ve topluma olumsuz etkilerini azaltacak yöntemlerin uygulanması ve bulunmasıdır. Tüm dünyada çeşitli alanlardaki enerji tasarrufu ve enerji verimliliği arayışları, ulaşım sistemleri ve araçlarında da kendini göstermektedir.

Özellikle 1973 yılında ortaya çıkan petrol krizinden sonra ABD, AB Ülkeleri ve Japonya ulaşımda enerji verimliliği ve tasarrufuna yönelik araştırma ve geliştirme çalışmalarına büyük hız vermişlerdir. Bunların başında,

- Ulaştırmada enerjinin daha verimli kullanıldığı yöntemlerin uygulanması
- Temiz yakıt ve teknolojilerin kullanılması
- Bu yöntemlerin uygun politikalar ile desteklenmesi

gelmektedir.

2.4.1. Ulaşımda Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik :

Ulaşımda Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik, 9 Haziran 2008 tarihinde Ulaştırma Bakanlığı tarafından yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğin amacı; ulaşımda enerji verimliliğinin artırılması amacıyla; motorlu araçların birim yakıt tüketimlerinin düşürülmesine, araçlarda verimlilik standartlarının yükseltilmesine, toplu taşımacılığın yaygınlaştırılmasına, trafik akımının arttırılmasına yönelik çalışmaları düzenlemektir.

Yönetmeliğe göre, Ulaştırma Bakanlığı, blok tren uygulaması ve elektrikli işletmecilik uygulaması, İçişleri Bakanlığı da kent merkezlerinde araç kullanımını azaltıcı uygulamaları, taksi uygulamalarını ve otoparkların oluşturulması ile ilgili tedbirleri alacak. Ulaştırma ve İçişleri bakanlıkları, yön levhaları, elektronik yol yönlendirme sistemi, seyahat talep yönetimi, trafik yönetimi, modlar arası taşımacılık, kentsel ulaşım planları, toplu taşıma, akaryakıt tüketiminin izlenmesi ve trafik sinyalizasyon sistemleri hakkında gerekli tedbirleri alacak. Yük taşımacılığında yük trenlerinin blok tren şeklinde çalıştırılmasına ve raylı ulaşımda enerji tüketimini asgari seviyeye düşürmek için elektrikli işletmeciliğe öncelik verilecek. Ulaşımda etkinlik, verimlilik ve sürücülere kolaylık

sağlamak için; seyahat talep yönetimi, modlar arası taşımacılık sistemi, trafik yönetimi, yön levhaları ve elektronik yol yönlendirme sistemleri ilgili kurum ve kuruluşlarca uygulanacak. Uygulamalarda, ulusal ve uluslararası standartlara uygunluk aranacak. Kent merkezi girişlerine yapılacak yönlendirme sistemleri ile yoğun trafik alanlarına girmek yerine, araçların alternatif yollardan ulaşımı sağlanacak.

Yönetmelik, belediyelere çeşitli sorumluluklar getirmiştir. Bunlardan bazıları şunlardır:

- Ulaşım Master Planlarının Yapılması,
- Kent merkezlerinde araç kullanımını azaltıcı uygulamalar yapılması,
- Toplu taşıma sisteminin oluşturulması ve geliştirilmesi(Araç duraklarında modlararası taşımacılık, Raylı sistemler, ayrılmış yol uygulamaları v.b.)
- Motorlu taşıtların şehir girişinde park edilebilmesi için otopark kurulması ve otoparktan şehir merkezine gidiş ve dönüş güzergâhlarında toplu taşıma hizmetlerinin planlanması
- Trafik sinyalizasyon sistemleri (LED li, Trafik Kontrol Donanımlı, Yeşil dalga uygulamaları)
- Taksi Uygulamaları (Telefonlu, telsizli durak ve merkezi alanlarda taksi cepleri, bekleme alanları)
- Doğalgaz dağıtım şebekesi bulunan şehirlerde toplu taşıma aracı olarak doğalgazlı araçlara öncelik verilmesi,
- Tüketimlerin İzlenmesi ve Bildirilmesi (Taşınan yıllık yolcu sayısını, yolcu-km, araç-km verilerini, raylı sistemlerin ve karayolları sinyalizasyon sistemlerinin işletilmesi için kullanılan yıllık elektrik miktarını Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bildirilmesi)

Ulaşımında enerji verimliliğinin artırılması ile ilgili olarak; yurt içinde üretilen araçların birim yakıt tüketimlerinin düşürülmesine, araçlarda verimlilik standartlarının

yükseltilmesine, toplu taşımacılığın yaygınlaştırılmasına ve gelişmiş trafik sistemlerinin kurulmasına ilişkin çalışmalar yapılacağı hususu 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanununda da yer almaktadır.

Motorlu araçlardan yayılan kirletici gaz emisyonları ile ilgili mevzuat, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı'nın sorumluluğunda bulunmaktadır. Özellikle benzin veya dizel motorlu araçlar için emisyonla ilgili direktifler yanında, tarım traktörleri, motosikletler ve karayolu dışında kullanılan makinelerin (iş makineleri) motorlarından yayılan gaz emisyonları ile ilgili mevzuat da bulunmaktadır.

2.4.2. Araçlarda Alternatif Yakıtların Kullanılması

Araçlarda, benzin ve motorine alternatif olarak; LPG, CNG, etanol ve teknolojiye bağlı olarak hidrojen, elektrik ve güneş enerjisi sayılabilir. Söz konusu alternatif yakıtların yaygın olarak kullanılması için yurt içinden tedarik ve temin edilmesi, ucuz olması ve bu yönde teşvik edilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde araçlarda alternatif yakıt olarak LPG yaygın şekilde kullanılmaktadır. LPG kullanan araçların büyük bir kısmı benzin sistemli araçlar olup, LPG'li sisteme dönüşümleri yapılmıştır. Ayrıca orijinal LPG'li araç üretimine de başlanmış olup piyasaya arz edilmektedir. LPG taşıtlarda benzin ve motorinden daha ucuz olması, yakıt verimliliği ve emisyon değerlerinin düşük olması nedeniyle tercih edilmektedir. Araçlarda doğalgaz kullanımı konusunda Sıkıştırılmış Doğalgaz CNG, yüksek basınca dayanıklı ağır tanklara doldurulması nedeniyle otomobillerde kullanılması yaygınlaşmamıştır. Bazı büyük şehirlerde şehir içi otobüslerde kullanılmaktadır (Özgür 2008).

Araçlarda biyodizel ve biyoetanol kullanılması konusunda gerekli mevzuat yürürlüğe konulmuş olmakla birlikte, bu yakıtların ülkemizde üretimi ve taşıtlarda kullanılması konusunda çalışmalar devam etmektedir. Araçlarda elektrik, hidrojen ve güneş enerjisinin yakıt olarak kullanılması konusunda ise ülkemizde proje çalışmaları halen devam etmektedir. ‘TÜBİTAK MAM ELİT-1 Elektrikli Taşıt Projesi’nde, DOBLO marka taşıt hibrid elektrikli taşıta dönüştürülerek Türkiye’nin ilk hibrid elektrikli taşıt prototipi geliştirilmiştir (Özgür 2008).

Karayolu taşıtlarında enerjinin verimli kullanılması ve karbondioksit emisyonlarının azaltılması; taşıtların yakıt tüketiminin azaltılması, taşıtlarda alternatif yakıtların kullanılması, trafik akışının düzenlenmesi ve ulaştırma politikalarının belirlenmesi ile mümkün olacaktır.

2.4.3. Ulaşım ve Taşıt Araçlarında Enerjinin Verimli Kullanılmasında Dikkat Edilecek Hususlar

Ulaşım Enerji Tasarruf Önlemleri

- 1- Araç gerekmediği zaman kullanılmamalı, kısa mesafelerde araca binme yerine yürünmeli ya da toplu taşıma araçları tercih edilmelidir.
- 2- Yolculuklarda özel araç yerine, tren, otobüs, metro, vapur gibi toplu taşıma araçları tercih edilmelidir.
- 3- İşyerine gidiş ve gelişlerde, birlikte çalışılan kişilerin aynı güzergâhlarda araçları ortaklaşa kullanması halinde, araç ve yakıt giderleri azalacaktır.
- 4- Araç kullanmadan önce yolculuğun planlanması suretiyle yapılacak işlerin birleştirilmesi ve trafiğin az yoğunlukta olduğu yolların tercih edilmesi yerinde olacaktır.

Bir aracın fazla yakıt harcadığını aşağıdaki gelişmelerden anlayabiliriz;

- Motorun çekişinde azalma olur.

- Egzoz gazı siyah, göz yaşartıcıdır, yakıt kokusu hissedilir.
- Egzoz kuyruk borusu içinde karbon isi oluşur.
- Egzozda patırtılı sesler olur.
- Motor soğukken kolay, sıcakken güç çalışır.
- Bilinen miktarda yakıtla yapılan kilometrede azalma olur.

Bir araçta fazla yakıt harcamasının nedenlerini iki grupta toplamak mümkündür. Birincisi araçtan kaynaklanan hatalar ikincisi ise sürücüden kaynaklanan hatalardır.

Araçtan Kaynaklanan Hataların Önlenmesi

- 1- Otomotiv sanayisindeki teknolojik gelişmelere bağlı olarak her geçen gün araçların yakıt tüketimi azalmaktadır. Benzinli araçlarda yakıt sistemi enjeksiyonlu olmalıdır. Karbüratörlü araçlar enjeksiyonlu araçlara göre en az %10 daha fazla benzin tüketirler. Enjeksiyonlu yakıt sistemi olanlarda da Çok Noktalı Enjeksiyon olanlar tercih edilmelidir.
- 2- Aracın kullanıma bağlı olarak yaptığı yol arttıkça ve aracın yaşı büyüdükçe tüketeceği yakıt miktarı artacaktır. Aynı model 10 yaşındaki bir araç, yeni bir araçtan oldukça fazla yakıt tüketir.
- 3- Araçlarda klima, rüzgarlık, üst bagaj ve otomatik transmisyon gibi aksesuar ve parçalar daha fazla yakıt tüketimine neden olacaktır. Aracınıza gerçekten ihtiyacınız olan parçaları taktırınız. Eğer bagaj için kullanmıyorsanız üst bagajınızı sökünüz. Üst bagaj araçların aerodinamik verimliliğini etkiler. Sürtünme kayıplarını ve dolayısıyla akaryakıt tüketimini artırır.
- 4- Araçlarda sürtünme kayıplarını ve dolayısıyla yakıt tüketimini artıracığından aracın gövdesinde fazla girinti ve çıkıntı olmamalı pencere camları gömmeli olmalı ve aynalar aşırı büyük olmamalıdır.

Sürücüden Kaynaklanan Hataların Önlenmesi

Sürücü aracı kullanırken aşağıdaki hususlara dikkat ettiğinde daha az yakıtla daha çok kilometre yapabilir.

1- Saldırgan ve agresif araç kullanmak, emniyetli kullanmaya oranla % 30 daha fazla yakıt harcanmasına sebep olur. Kalkışlarda, sürüş sırasında ve vites değiştirirken sert ve ani hızlanmalardan ve frenlerden kaçınılmalıdır. Hızlanma gerektiğinde gaz pedalına yavaş yavaş basılmalı ve vites değişimleri uygun hızlarda gerçekleştirilmelidir. Durma gerektiğinde hız önceden düşürülerek, frenler en az miktarda kullanılmalıdır. Direksiyon kullanımının da mümkün olduğunca düzgün olmasına özen gösterilmelidir.

2- Hareket halinde el freninin mutlaka tam olarak bırakıldığından emin olunmalıdır.

3- Trafiğin elverdiği durumlarda araç sabit hızda kullanılmalıdır. Trafikte önünüzdeki aracı çok yakından takip etmeyiniz. Zira devamlı olarak aracınızı frenler veya gazlarsınız, bu durum ilave benzin pompalanmasına neden olur. Ani fren ve ardından gaza basmak yakıt tüketimini % 5 artırır.

4- Araç sürerken yüksek hızlardan kaçınılmalıdır. Ne kadar hızlı giderseniz, aracınızın karşılaştığı rüzgar direnci o kadar artacak ve hızı sabit tutmak için bile aracınız daha fazla yakıt harcayacaktır. Şehirlerarası yolda en verimli hız saatte 80–90 km arasındadır. 90 km' nin üstünde her kilometre hız artışı yakıt tüketimini ortalama % 1 arttırır. Araç 95 km/saat yerine 115 km/saat hızda sürüldüğünde % 15 civarında daha fazla yakıt tüketir.

5- Araç düşük viteste iken motor yüksek devirde kullanılmamalıdır. Motoru zorlamadan mümkün oldukça bir üst vites geçilmelidir. Vites ne kadar yüksek olursa motor hızınız o kadar düşer, bu da yakıt verimliliğini artırır. Ayrıca vites değişimleri uygun hızlarda gerçekleştirilmelidir. Son vitesdeki 90 km/saat' lik hız yaklaşık 3.000–3.300 motor devrine eşittir. Diğer viteslerde de araç motorunun 2.750–3.000 devirler arasında çalıştırılması faydalı olur.

6- Aracın rölantide çalıştırılması sırasında da yakıt harcanır. Uzun beklemelelerde araç motoru durdurulmalıdır.

7- Aracın pencereleri sürüş sırasında kapalı tutulmalıdır ya da hava değişimini sağlayacak kadar açılmalıdır. Aksi takdirde açık pencere yakıt sarfiyatını artırır. Camları açık olarak saatte 100 km hız yapan bir araç % 4 civarında daha fazla yakıt tüketilmesine sebep olur.

8- Araca kapasitesinin üzerinde yük yüklenmemelidir. Taşıdığınız her fazla yük yakıt sarfiyatını artıracak gibi fren duruş mesafesini de artıracaktır.

9- Araçta mevsimine uygun motor yağı kullanılmalıdır. Motor yağı değişimi sırasında yağ filtresini de değiştiriniz. Aksi takdirde motor performansı düşer ve yakıt tüketimi artar.

10- Motorunuzun sıcaklığı yakıt tüketimini etkiler.

- İlk hareketten önce motorun ısınması için en fazla 30 saniye bekleyiniz. Fazla ısınmasını beklemek yakıt tüketimini arttırır.

- Ancak şehirlerarası yola çıkarken, sıcaklık göstergesinin normale yaklaşmasını bekleyiniz.

- Kışın motorunuzun çok soğumaması için radyatör önünü gazete kağıdı ya da benzeri bir şeyle kapatınız.

- Soğuk motorda yakıt sarfiyatı fazladır. Motor tam ısınmadan yapılan yolculuklardan, özellikle kısa mesafelerden kaçınınız. Böyle durumlarda aracınız % 25 daha fazla yakıt harcar.

11- Araç deposu daima dolu bulundurulmalıdır. Çünkü depoda az yakıt bulunursa buharlaşma daha fazla olacaktır. Ancak hiçbir zaman da depo aşırı şekilde doldurulmamalıdır. Bu durumda yakıt sızıntılarına ve dolayısıyla buharlaşma kayıplarına neden olur.

12- Aracın periyodik bakım ve ayarları zamanında yaptırılmalıdır. Uygun şekilde bakımı yapılmayan araçların mekanik sistemleri yakıt tüketimini artıracaktır. Araçta, motor, ateşleme sistemi, soğutma sistemi, fren ve gaz emisyon kontrolleri tanıtım, kullanım ve bakım kılavuzunda belirtilen esaslara uygun olarak yaptırılmalıdır.

13- Aracın egzoz gazı ölçümleri periyodik olarak yaptırılmalıdır. Benzinli araçlarda; egzoz gazındaki oksijen, karbon monoksit ve hidrokarbonun düşük seviyelerde, karbondioksit oranının ise yüksek olması gerekir. Dizel araçlarda egzoz dan çıkan gaz belirsiz siyah olmalıdır. Hava filtresinin kirlenmesi durumunda yakıt sarfıyatı artar. Bunun göstergesi ise egzoz gazının siyah olmasıdır.

14- Aracın lastik basınçları kullanım kılavuzunda önerilen ayarda olmalıdır. Havası az olan lastikte yuvarlanma güç olduğundan yakıt tüketimi artacaktır. Radyal lastikler şehir içinde ve özellikle oto yolda yakıt tasarrufu sağlar ve uzun ömürlüdürler. Kışın soğuk hava basıncın düşmesine neden olur. Lastik basıncının düzenli olarak kontrol edilmesi gerekir.

<http://www.elektrikport.com> (Özgür 2008)

BÖLÜM 3: KENT İÇİ ULAŞIMDA TRAFİK YOĞUNLUĞU VE ETKİLERİ

3.1. TRAFİK YOĞUNLUĞU

Trafik yoğunluğu, yol ağının kullanımının artması sonucu, daha yavaş hızlarla ilerlemek, daha uzun süre yolculuk etmek ve sıra beklemek olarak tanımlanmaktadır. En yaygın olarak otoyol araçları için kullanılır. Trafik yoğunluğu araçların hareketlerini kısıtlıyor ve araçları yavaşlatıyorsa trafik sıkışıklığı meydana gelmiş olarak kabul edilir. Eğer trafik yoğunluğu yolun bir bölümünde veya tamamında yolun kapasitesine yaklaşırsa, yoğun bir trafik sıkışıklığı gözlemlenir. Hatta bazı durumlarda sıkışıklık sonucu araçlar tamamen durma noktasına gelebilirler.

Kentiçi karayolunda trafiğin oluşumu trafik şeridi adı verilen yol kesimleri boyunca oluşturdukları kuyruklar şeklindedir. Her trafik şeridi için belirli bir yöne ve yol kullanım şartlarına sahip olan bu görüntüye trafik akımı denir. Her trafik akımı bir arz-talep ilişkisi çerçevesinde şekillenir. Buna göre, bir yoldan birim sürede geçmek isteyen taşıtların sayısı talebi, yoldan birim sürede geçebilecek maksimum taşıt sayısı da kapasiteyi oluşturur. Yol kapasiteleri sınırlı, talepler sürekli artma eğilimindedir (Tektaş 2003).

Metropolitan alanlardaki ana yollarda, kazalar ya da yol bakımı gibi nedenlerle oluşan tekrarlamayan karakterdeki trafik sıkışıklıkları, bu yolların belirli kesimlerinde zirve saatlerde meydana gelen tekrarlayan karakterdeki trafik sıkışıklıkları, can kayıplarının yanı sıra büyük boyutlarda ekonomik kayıplara da neden olmaktadır (Tektaş 2003).

3.2. TRAFİK YOĞUNLUĞUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Trafik sıkışıklığı hemen hemen bütün büyük kentlerin en önemli sorunlarından biridir. Trafik, kazalar gibi kimi etkenlerin yanı sıra kimi zaman hiçbir sebep yokken de sıkışabilir. Trafik yoğunluğunu etkileyen ve tahmin edilmesi çok güç olan birçok etmen vardır. Bu etmenlerin hangisi olduğunu ve trafik yoğunluğunu nasıl etkilediğini açık matematiksel ifadeler ile belirtmek son derece güç bir olgudur.

Tıkanma nedenleri ülkelerin sosyo–ekonomik yapısına göre farklılık göstermektedir. Gelişmiş ülkelerde otomobil sahipliği oldukça fazla olup, yol uzunlukları ve standartları yeterli olsa bile bazı şehirlerde tıkanıklık probleminin yaşanması kaçınılmazdır. Hollanda, İngiltere, Belçika, Luxemburg, Almanya, Fransa, Avusturya, İtalya, İsviçre gibi hayat standartları yüksek olan ülkelerde 2- 2.5-3 kişiye bir otomobil yani her aileye bir otomobil düşerken, bu değer Bulgaristan’da 6 kişiye bir otomobil, ülkemizde ise 20 kişiye bir otomobile düşmektedir. Yani ülkemizde bir aile ortalama 4 kişi kabul edildiğinde 5 aileye bir otomobil düştüğü söylenebilir. Batılı ülkelerdeki yüksek otomobil sahipliği ülkemizde olmamasına rağmen özellikle pik saatlerde büyük tıkanıklık problemi yaşanması dikkat çekicidir (Öztürk, Karayolu Şehir içi Trafikte Tıkanma Maliyeti).

Ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde hatalı ulaşım politikaları, hızlı nüfus artışı, kırsal kesimden kente olan göçler, yolların planlananın üzerinde trafik yüküne maruz kalmasına neden olmaktadır. Ulaşım yükünün neredeyse tamamına yakınının karayoluna yüklendiği ülkelerde pik saatlerde trafik tıkanıklığı kaçınılmazdır. Ayrıca yetersiz yol standartları, büyük eğimler, yetersiz yol kesitleri, küçük kurb yarıçapları, bozuk kaplamalar, çabuk silinen yol çizgileri, yağmurlu havalarda yetersiz ve iyi çalışmayan drenaj gibi fiziksel aksaklıklar ile hatalı noktalarda yapılan polis kontrolleri, hatalı sinyalizasyon uygulamaları, trafiği aksatacak yol boyu otoparklar, yollarda ve yaya kaldırımlarında sık sık yapılan bakım onarım çalışmaları, dikkatsiz araba kullanımı da trafik tıkanıklığına neden olabilmektedir. Bu faktörlere kişilerin iyi bir trafik eğitimi almamış olmaları ve kırsal

kesimden kentlere göç edenler için gerekli olan adaptasyon süresi gibi etkenler de eklenmelidir. Konut–işyeri yakınlığının sağlanamadığı İstanbul gibi büyük şehirlerde işe gitmek için kat edilen yol ve geçen süreler büyük boyutlardadır. Toplu taşıma sistemlerinin çok yetersiz kaldığı böyle şehirlerde kişiler özel araçları ile trafiğe çıkmak zorunda kalmaktadırlar ve doluluk oranı çok az olan otomobiller ise taşıdıkları yolcu sayısı ile ters orantılı bir trafik yoğunluğu oluşturmaktadırlar. Bu aksaklıklar nedeni ile ülkemizde karayolu ağı yetersiz sayılamayacak uzunlukta olduğu halde tıkanma problemleri devam etmektedir (Öztürk, Karayolu Şehiriçi Trafikte Tıkanma Maliyeti).

Trafik yoğunluğunun başlıca sebeplerini şöyle sıralayabiliriz:

1. Trafik akış kapasitesinin yetersiz kalması (araç sayısının artması, araçların yol kenarına park edilmesi vb.)
2. Kaza vb. durumlar
3. Yol durumu ve altyapı yetersizliği
4. Olumsuz Hava Şartları
5. Sürücü Davranışları
6. Alternatif Yol ve Güzergâh Eksikliği
7. Özel Durumlar (özel etkinlikler, spor müsabakaları, sosyal olaylar, intihar girişimi, vb.).

3.3. TRAFİK YOĞUNLUĞUNUN TEMEL SONUÇLARI

Trafik yoğunluğunun olumsuz sonuçları çeşitli şekillerde kendini hissettirir ve trafik sıkışıklığını yaşayan insanların ve şehrin hayat kalitesini düşürür. Bunlardan en önemlileri trafik akışının yavaşlaması, yakıt sarfiyatının artması, araç bakım maliyetinin artması, zamanın verimsiz kullanılması, artan gürültü ve hava kirliliği olarak sayılabilir. Son yıllarda özellikle büyükşehirlerde trafik sıkışıklığı sebebiyle kentiçi karayolu ağlarında trafik güvenliği azalmaya, ulaşım süreleri, ulaşım maliyetleri ve egzoz emisyonundan

kaynaklanan çevre kirliliği artmaya başlamıştır. Bütün bu etkiler para kaybına dönüşmekte ve sonuç itibariyle ülke ekonomisi zarar görmektedir: Yani;

$$\left. \begin{array}{l} \text{Zaman Kaybı} \\ \text{Enerji Kaybı} \\ \text{Sera Gazı Emisyonu} \end{array} \right\} = \text{Ekonomik Kayıp}$$

Ayrıca trafik yoğunluğu, oluşturduğu stres ve gürültü ile sosyal ve psikolojik açıdan insanları olumsuz etkilemekte, hayat kalitesini düşürmektedir. Bunların sonucunda ise trafikte kaza ve kavga gibi istenmeyen olaylar yaşanabilmektedir.

Kent içi ulaşım sistemi, bir kent coğrafyasındaki bütün ulaşım imkanlarının entegre edildiği karmaşık bir sistemdir. İşlevi itibariyle, canlı organizmaların dolaşım sistemine benzetilebilir. Dolaşım sistemindeki rahatsızlıkların, bütün vücut organlarının sağlıklı çalışma şartlarını olumsuz yönde etkilemesi gibi; ulaşım sorunları da, kentlerde ekonomik ve sosyal hayatın sağlıklı bir yapıya kavuşmasını olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle, kent içi ulaşım sorunlarının çözülmesi ve ulaşım verimliliğinin artırılması öncelikli bir ihtiyaçtır (Tektaş ve diğerleri 2003).

3.4. TRAFİK AKIMI PARAMETRELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Bütün fiziksel olaylar gibi, trafik akımları da, bu olayı karakterize eden büyüklüklerin yol ve zamana göre değişimi ile; bu büyüklükler arasındaki statik ilişkiler dikkate alınarak izah edilir ve yorumlanırlar. Buna göre, trafik akımlarını karakterize eden üç temel büyüklük vardır. Bunlar literatürde, akım, yoğunluk ve hız kavramları ile ifade edilmektedir (Tektaş 2003).

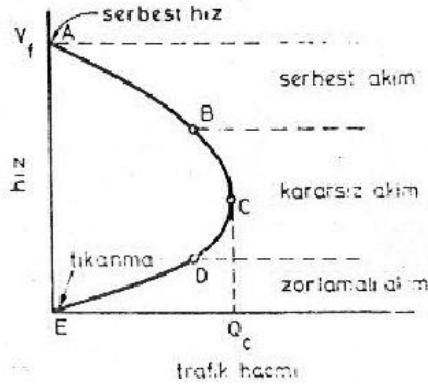
Karayolu trafiğinin değişkenleri arasındaki ilişkileri açıklayabilmek için şimdiye kadar çeşitli modeller geliştirilmiştir: (Greenshields, 1934), (Akçelik, 2003), (Singh, 1999). Trafik akımını karakterize eden, hız (V), yoğunluk (k) ve trafik hacmi (q) arasındaki ilişki daha önceki çalışmalarda belirlenmiştir.

Bir yoldan veya yolun bir şeridinden birim zamanda geçen araç sayısına trafik hacmi denir. Genelde saatlik, günlük ve yıllık olarak verilir. Herhangi bir anda yolun birim uzunluğundaki taşıt sayısına ise trafik yoğunluğu denir. Birim uzunluk olarak genellikle 1 km alınır.

Buna göre karakteristik büyüklüklerin, yolun herhangi bir x konumunda ve herhangi bir t anında aldığı değerler sırasıyla $q(x,t)$, $k(x,t)$ ve $v(x,t)$ olmak üzere, bu büyüklükler arasındaki ilişkiyi ifade eden temel matematiksel model aşağıdaki gibidir.

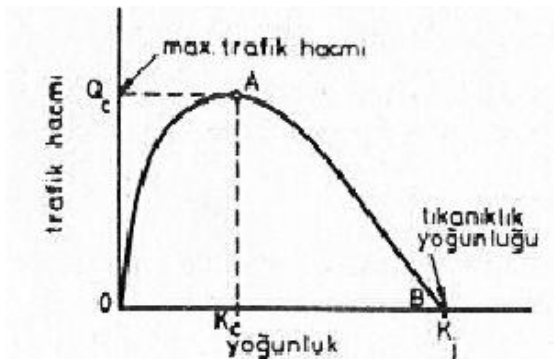
$$q(x,t) = k(x,t) * v(x,t) \quad (3.1)$$

Trafik hacmi ile hız arasında aşağıdaki ilişki Şekil3.1'deki gibidir. Yoldaki trafik hacmi çok az ise sürücüler birbirlerinden bağımsızdırlar ve istedikleri hız ile gidebilirler. Sürücüler birbirlerini etkilemezler. Bu durumda yapılan hıza serbest hız (V_f) denir. Bu durumda hız sadece yol şartlarıyla sınırlıdır. Yoldaki trafik arttıkça hız azalmaya başlar ve trafiğin belli bir değerine kadar (A-B arası) akım serbest yani sürücüler birbirlerini fazla etkilemeyecek şekilde devam eder. Bu değerden sonra hız iyice düşmeye başlar ve taşıtların birbirlerine olan etkileri arttığı için yolda kararlı olmayan bir trafik akımı başlar. Bu kararsız durumda (B-D arası) akım içindeki bir taşıtın kısa bir duraklaması derhal arkaya intikal eder ve akımda dalgalanma, kuyruk oluşmasına yol açar. Nihayet belli bir trafik miktarından sonra kararsız akımdan da öteye olmak üzere zorlamalı bir trafik akımı başlar (D-E arası). Bunun en son hali trafiğin kilitlenmesi yani akımın tamamen durmasıdır. Bu durumda yol, araçların büyüklüklerine bağlı olarak en fazla sayıda araç alır ve araçların arasında çok az mesafeler kalır (Karayolları Ders Notları, Osmangazi Üniversitesi).



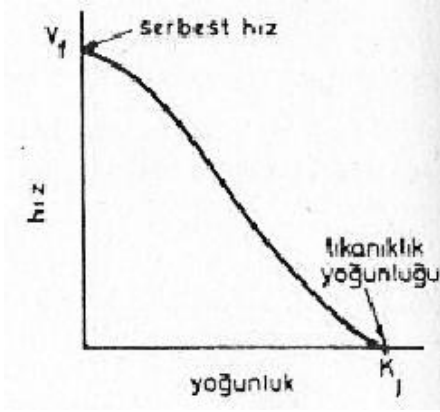
Şekil 3.1 : Trafik hacmi ile hız arasındaki ilişki.

Trafik hacmi ile yoğunluk arasındaki ilişki ise aşağıdaki Şekil3.2’de görüldüğü gibidir. Yolda hiç taşıt yoksa hacim sıfır demektir. Bunun zıt hali, trafik akmayacak kadar çok taşıt varsa, bu mümkün olan en yoğun durumdur (K_j). Bu duruma da araçlar tampon tampona demektir ve buna tıkanıklık yoğunluğu adı verilir. Bu durumda da akım olmadığı için trafik hacmi yine sıfır olacaktır. Bu iki sınır değer arasında yoğunluğun belli bir kritik değerine (K_c) karşılık gelen bir trafik hacmi vardır (Q_c) ve bu o yoldan geçebilecek en fazla taşıt sayısıdır.



Şekil 3.2: Trafik hacmi ile yoğunluk arasındaki ilişki.

Yapılan gözlem sonuçlarına göre, serbest akım durumunda trafik hacmi ile hız arasında doğrusala yakın bir ilişki vardır. Kolaylık olması bakımından bu ilişki doğrusal kabul edilebilir (Şekil3.3) (Karayolları Ders Notları, Osmangazi Üniversitesi).



Şekil 3.3: Trafik yoğunluğu ile hız arasındaki ilişki.

3.5. TRAFİK YOĞUNLUĞUNUN ORTALAMA HIZA BAĞLI ETKİLERİ

Trafik akımının durumu, yolculuk süresi ve konforu, yakıt tüketimi, araçtaki yıpranma, zararlı gaz emisyonu ve gürültü seviyeleri gibi pek çok konuda etkilidir. Bu konularda akım hızı dışında sürücünün araç kullanma alışkanlıkları, trafik akımındaki ani hız değişimleri, dur-kalk hareketinin sıklığı, araç ve yolun özellikleri de etkili faktörlerdir (Litman 2003). Analizde sürücü ve yol özelliklerinin homojen ve yoldaki araçların benzer oldukları kabul edilmiştir. Trafik yoğunluğunun etkilerinden hız-akım bağıntısından faydalanarak hesaplanacak aşağıdaki faktörler analiz edilecektir.

- Yolculuk zamanı
- Yakıt tüketimi
- Hava kirliliğine yol açan zararlı gaz emisyonları.

Yolculuk Zamanı: Yolculuk için harcanan zamanın artması personel maliyeti dışında daha fazla yakıt tüketimi ve çevre kirliliği demektir. Özellikle bir yere zamanında yetişmek için yapılan yolculuklar, ev-iş yolculukları gibi, kullanıcılar açısından zamanın önemli olduğu yolculuklar, daha yüksek maliyetli olarak değerlendirilmektedir.

Yakıt Tüketimi ve Zararlı Gaz Emisyonu: İstanbul'daki ağırlıklı ortalama özel otomobil yaşı 8,70 yıl olarak hesaplanmıştır. Tescilli araçların % 61'i 7 yaşından büyüktür. Yeni üretilen araçlar hariç, trafikte kullanılan motor hacmi 1600 cc'nin altında olan araçlar için EURO 93 standardına uyma yasal zorunluluğu yoktur. Tescilli araçların % 83'ünü motor hacmi 1600 cc altında olan araçlar oluşturmaktadır ve daha önce bahsedildiği gibi büyük bir kısmı 7 yaşından büyüktür. Bu koşullar altında yakıt tüketimi ve zararlı gaz emisyon değerlerinin hesaplanması için ECE 15-04 standartlarındaki araçların ölçüm değerlerinin dikkate alınması daha gerçekçi bulunmuştur (Yüksel 2005).

Araçlar tarafından atılan hava kirleticiler arasında gazlar ve partiküller bulunmaktadır. Çevre ve insan sağlığı açısından en zararlı olanlar CO (karbonmonoksit), CO₂ (karbondioksit), NO_x (azotoksitler), VOC ya da HC (uçucu organik bileşikler, hidrokarbonlar) ve mikro partiküllerdir. Bu çalışmada kullanılmak üzere CO, NO_x, HC emisyonlarının araç hızıyla değişimi incelenmiştir. ECE 15-04 standartlarına uygun araçların tipik yakıt tüketimi ve zararlı gaz emisyonu ölçüm değerleri Tablo3.1'de verilmiştir (Yüksel 2005).

Tablo 3.1: Yakıt tüketimi ve kirletici gaz emisyonlarının araç hızıyla değişimi.

Ortalama Hız (km/saat)	HC Emisyon Miktarı (gr/km)	CO Emisyon Miktarı (gr/km)	NOx Emisyon Miktarı (gr/km)	Yakıt Tüketim Miktarı (gr/km)
10	3,75	55	1,4	130
20	2,4	25	1,6	80
30	1,75	20	1,75	65
40	1,5	18	1,85	55
50	1,3	15	2,2	50
60	1,2	13	2,4	45
70	1,1	12	2,6	55
80	1	11	2,8	55
90	0,95	10	3,2	57
100	0,9	11	3,5	60
110	0,9	12	3,8	63
120	1	15	4,3	70
130	1,1	18	4,8	75

Kaynak: Haworth ve Symmons 2001.

BÖLÜM 4: KENT İÇİ ULAŞIMDA TRAFİK YOĞUNLUĞU VE ETKİLERİNİN ANALİZİ: İSTANBUL İLİ ÖRNEĞİ

4.1. İSTANBUL TRAFİĞİNİN GENEL DURUMU

İstanbul; ticari, ekonomik, finansal, kültürel, eğitim ve sosyal yönleri ile Türkiye'nin en büyük merkezi; en kalabalık ve iktisadi açıdan en önemli kentidir. İstanbul, 12 milyonu aşan nüfusuyla belediye sınırları göz önüne alınarak yapılan sıralamaya göre Avrupa'nın en yüksek nüfusa sahip şehridir. Bu özellikleri ve trafik yoğunluğu probleminin en çok yaşandığı şehir olması sebebiyle çalışmamızda uygulama bölgesi olarak İstanbul ili seçilmiştir.

İstanbul'da özellikle 1970'li yıllardan sonra, sosyo-ekonomik ve otomotiv sanayinde başlayan gelişmelere paralel olarak motorlu taşıt artışı hızlanmıştır. Bugün Türkiye'deki toplam motorlu taşıt sayısının yaklaşık %24'ü, otomobil sayısının ise %28'i İstanbul'da bulunmaktadır. Bu taşıtların içinde otomobil en hızlı artan taşıt türü olmuştur (V.D.Ç.G. 2005).

İstanbul'daki toplam motorlu taşıt sayısı 2005 yılı başı itibariyle 2.050.859 olup bunlardan 1.435.125'i otomobildir. İstanbul'da otomobil sahipliği bölgeden bölgeye değişmekle birlikte, kent genelinde ortalama olarak, 2005 yılı başı itibariyle 1.000 kişi başına 137 otomobildir. Buna karşılık bu oran Batı Avrupa kentlerinde 450-500 otomobil /1.000 kişi olarak değişmektedir. Buna göre, önümüzdeki yıllarda sosyo-ekonomik durumdaki iyileşmeler ve otomotiv sanayinin gelişmesi yanında ithal serbestliği, ayrıca otomobil edinmede getirilen kredi bulma, taksitlendirme vb. kolaylıklarla otomobil sahipliğinin hızla yükseleceği beklenmektedir. Son birkaç yıldaki gelişmeler bunu ortaya koymaktadır (V.D.Ç.G. 2005).

İstanbul Valiliği 2007 yılı verilerine göre ise İstanbul'da trafiğe kayıtlı 2.323.557 araç bulunmaktadır. Ülkede 8 kişiye 1 araç düşerken ilimizde 4 kişiye 1 araç düşmektedir (Tablo4.1).

Tablo 4.1: Trafiğe Kayıtlı Araç Sayısı.

TRAFİĞE KAYITLI ARAÇ SAYISI		
-	TÜRKİYE	İSTANBUL
TRAFİĞE KAYITLI ARAÇ SAYISI	6.500.000	2.323.557
KİŞİ/ARAÇ ORANI	8 KİŞİYE 1	4 KİŞİYE 1

Kaynak: İstanbul Valiliği, Sayılarla İstanbul – Ulaştırma İstatistikleri, 2007

İstanbul'da motorlu araç ile yapılan günlük yolculuk sayısı (hareketlilik katsayısı) kişi başına 1,0 dolayında olup bu değer gelişmiş ülkelerde 2'nin üzerinde, hatta bazı ülkelere 3,0 dolayındadır (V.D.Ç.G. 2005).

İstanbul'un ticari, turistik ve kültürel yönden büyük bir çekim merkezi olması sebebi ile İzmit ile Tekirdağ arasındaki bölgeden İstanbul'a önemli bir bölgesel trafik oluşmaktadır. 1. ve 2. Çevre Yolları üzerindeki, yani batı - doğu yönündeki trafiğin %80-85'i kentiçi trafik, %10-15'i bölgesel trafik ve %1-2'si transit trafiktir. Buna göre trafik talebinin çok büyük kısmı İstanbul Metropolü ile ilgilidir. İstanbul ve çevresi için en önemli ve batı-doğu yönündeki kentiçi ve bölgesel trafik yanında ulusal ve uluslararası transit trafiğe de hizmet veren iki karayolu aksı D-100 devlet yolu ile TEM (E-80) otoyoludur. Bu yolların İstanbul kentiçi kesimleri 1. Çevreyolu (0-1) ve 2.Çevre Yolunu (0-2) oluşturmaktadır. D-100 yolu kısmen 2x2 şeritli ve kısmen 2x3 şeritli olup İstanbul'daki radyal ana arterleri birbirine bağlamaktadır. Ülkemizin de taraf olduğu uluslararası bir anlaşma ile planlanıp oluşturulan TEM otoyolunun kent içindeki kesimi olan 2. Çevre Yolu 2x4 şeritli olup diğer kesimleri

2x2 ve 2x3 şeritlidir. Boğaziçi Köprüsü'nde yaşanan trafik sıkışıklığı sebebi ile şehirlerarası otobüs trafiği ile kamyon trafiği bu yola verilmiştir (V.D.Ç.G. 2005).

Diğer yandan, İstanbul'da yapılan yolculukların taşıma türleri arasındaki dağılımına bakıldığında, taşımanın çok büyük kısmının karayolu araçları ile; bunlar içinde de otomobil, taksi, minibüs gibi küçük kapasiteli araçlar ile yapıldığı görülmektedir (Tablo4.2). Raylı taşımanın toplam taşımadaki payı oldukça az olup raylı sistem ağı kent düzeyinde yaygınlaştırılmadığı sürece bu böyle devam edecektir. Deniz taşımacılığı da olması gerekenin çok altında paya sahip bulunmaktadır. Kısaca, kent düzeyinde, yolcu taşımacılığında çevreyi kirleten, trafik güvenliği düşük, bireysel taşımanın hakim olduğu bir taşıma düzeni hüküm sürmektedir. Bunun bir an önce değiştirilmesi için altyapı, işletme ve yönetsel olarak gereken önlemlerin alınması kaçınılmaz olup gecikilen her günde çözüm daha zorlaşmaktadır (V.Ç.D.G. 2005).

Tablo 4.2: Taşıma türüne göre Kentiçi Karayolu Ulaşımı dağılımı.

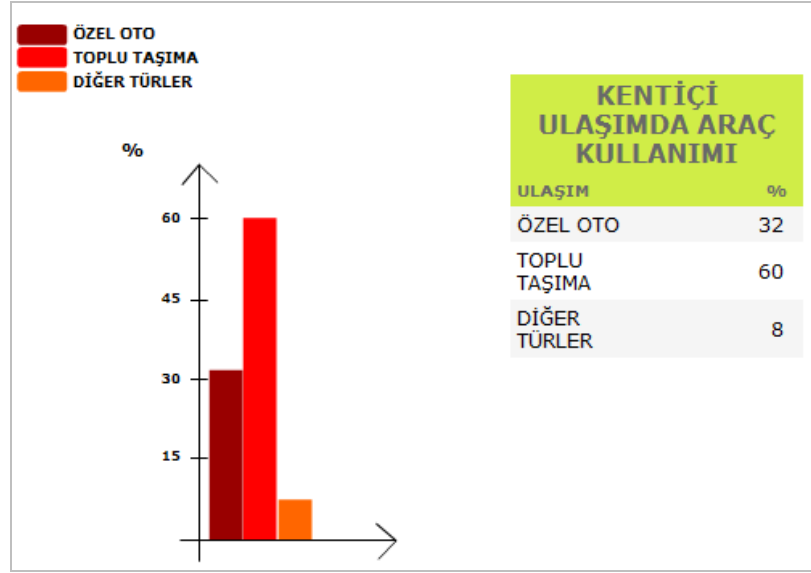
KENTİÇİ KARAYOLU ULAŞIMI			
TAŞIMA TÜRÜ	ARAÇ SAYISI	GÜNLÜK ORTALAMA TAŞIMA	GENEL İÇERİSİNDEKİ PAYI (%)
İETT	2.841	2.200.000	14,4
ÖHO	2.075	1.016.000	8,6
ÖZEL OTO	1.602.730	2.800.000	23,8
MİNİBÜS (Tic.,Ruh.)	6.361	1.800.000	16
TAKSİ DOLMUŞ	17.222	1.400.000	4,5
SERVİS (Kayıtlı)	36.902	2.000.000	20,6
TOPLAM	1.668.131	11.216.000	100

Kaynak: İstanbul Valiliği, Sayılarla İstanbul – Ulaştırma İstatistikleri, 2010

2010 yılı verilerinde, İstanbul kent içi ulaşımında araç türlerine göre kullanım oranları şu şekildedir.

- Özel oto kullanımı % 32
- Toplu taşıma araçları % 60,
- Diğer taşıma türleri ise % 8

oranındadır (Şekil4.1).



Kaynak: İstanbul Valiliği, Sayılarla İstanbul – Ulaştırma İstatistikleri, 2010

Şekil 4.1: Kentiçi Ulaşımında Araç Kullanımı.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi’nden alınan verilere göre İstanbul’un ulaşım istatistikleri şu şekildedir:

Tablo 4.3: İstanbul kenti ulaşım bilgileri.

Alan	: 5.389 km ²
Nüfus	: ~ 12,6 Milyon
Günlük Yolculuk	: ~ 21 Milyon
Toplam Araç Sayısı	: ~ 2,5 Milyon
Toplam Otomobil Sayısı	: ~ 1,6 Milyon
Trafikteki Araç Sayısı	: ~ 1,7-1,8 Milyon
Her gün Trafığe Giren Yeni Araç	: ~ 400 Araç / Gün
Toplam Yol ağı	: 25.000 Km
İki Kıta Arası Günlük Yolculuk	: ~ 1.1 Milyon
Ortalama Araçlı Yolculuk Süresi	: 49 dakika
1000 Kişiye Düşen Otomobil Sayısı	: 133 otomobil

Kaynak: İBB 2009.

İstanbul 2007 yılı “Ulaşım Ana Planı Analitik Etüt ve Model Kalibrasyonu” Anketi Sonuçları:

İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından Ulaşım Master Planı’na veri oluşturmak amacıyla başlatılan ve 90 bin hane halkı ile anket çalışması yapılarak kent içinde trafik kullanım davranışlarının analiz edildiği "Ulaşım Ana Planı Analitik Etüt ve Model Kalibrasyonu" çalışması sonuçlarına göre;

- 12 milyon 7 bin nüfusta günde 7 milyon 425 bin 118 (% 62) kişi günde 20 milyon 924 bin 133 yolculuk yapıyor.
- Bu yolculukların 10 milyon 321 bin 875’ini (yüzde 49,3) yaya yolculukları, 10 milyon 602 bin 258’i de (yüzde 50,7) motorlu taşıtlarla yapılıyor.
- Yolculukları %37,5’i Anadolu yakasında, %62,5’i ise Avrupa yakasında gerçekleşiyor.

- Amaçlarına göre yolculuk dağılımı;
 - Ev-İş arasında 6 milyon 758 bin 495 (yüzde 32,3)
 - Ev-Okul arası 4 milyon 477 bin 765 (yüzde 21,4)
 - Ev-Diğer 7 milyon 783 bin 778 (yüzde 37,2)
 - Ev uçlu olmayan 1 milyon 904 bin 95 (yüzde 9,1)
- Yolculukların başlangıç saatlerine göre en yüksek yolculuk oranı yüzde 14,68 ile sabah 07:00- 08:00 saatleri arası, akşam da yüzde 10,33'lük oranla 18.00-19.00 saatleri arasında gerçekleşiyor.
- Araçlı yolculukların ortalama yolculuk süresi 45,8 dakika, yaya yolculuklarında ise 15,1 dakika olarak tespit edilmiştir. Yaka geçişlerinde ise ortalama yolculuk süresi 80 dakikayı bulmaktadır.
- Araçla yapılan yolculukların % 28,96'sı özel araçla olup, % 71,04'ünün de toplu taşıma ile olmaktadır.

Köprülerdeki Trafik Yoğunluğu:

Tablo 4.4: Köprülerin Günlük Trafik Yüğü.

KÖPRÜLERİN GÜNLÜK TRAFİK YÜKÜ (Adet)				
-	MANUEL	OGS	KGS	TOPLAM
BOĞAZİÇİ KÖPRÜSÜ	0	118.446	61.657	180.103
FATİH SULTAN MEHMET KÖPRÜSÜ	0	116.873	97.865	214.738
TOPLAM	0	235.318	159.522	394.840

Kaynak: İstanbul Valiliği, Sayılarla İstanbul – Ulaştırma İstatistikleri, 2010

Tablo 4.5: Köprülerin Günlük Trafik Yüğü.

KÖPRÜLERİN GÜNLÜK TRAFİK YÜKÜ (ADET)												
KÖPRÜ	MANUEL ARAÇ	MANUEL KAÇIŞ	MANUEL TOPLAM	OGS ARAÇ	OGS KAÇIŞ	OGS TOPLAM	KGS ARAÇ	KGS KAÇIŞ	KGS TOPLAM	TOPLAM ARAÇ	TOPLAM KAÇIŞ	TOPLAM
BOĞAZ KÖPRÜSÜ	16.620	91	16.711	126.224	4.442	130.666	26.699	1.400	28.099	169.542	5.933	175.476
FATİH SULTAN MEHMET KÖPRÜSÜ	76.565	647	77.211	107.563	4.120	111.682	21.811	942	22.753	205.939	5.708	211.647
TOPLAM	93.184	738	93.922	233.786	8.562	242.348	48.511	2.342	50.853	375.481	11.641	387.123

Kaynak: İstanbul Valiliği, Sayılarla İstanbul – Ulaştırma İstatistikleri, 2007

Anakütle olarak belirlenen İstanbul için örneklem olarak aşağıda detaylı olarak incelenen rasgele 13 güzergâh seçilmiştir.

4.2. İSTANBUL TRAFİĞİNDE BAZI GÜZERGÂHLARIN İNCELENMESİ

İstanbul Büyükşehir Belediyesi, kentin önemli noktalarına yerleştirdiği yol sensörleri ile trafik akımı bilgilerinin elde edilmesini amaçlamıştır. Bu bilgilerin elde edilmesi; İstanbul genelinde yol ağının belirli kesimlerine (yoldan 7m.geriye - 7m. yukarıya) yerleştirilen ve 8 şeride kadar ölçüm yapabilen özel sensörler aracılığı ile sağlanmaktadır. Elde edilen veriler iki ana işlemde girdi olarak kullanılmaktadır. Birincisi; kavşakları yönetmek-sinyal sürelerini ayarlamak, ikincisi ise şehir genelindeki ana arterler ve çevre yollardaki trafik akım bilgilerini tespit edip, mevcut alt yapının daha verimli kullanılması amacıyla yönlendirmede bulunmaktır (tkm.ibb.gov.tr).

Kavşaklarda, araç sayılarını ve kuyruk uzunluklarını tespit etme amacı ile asfalt altına monte edilen "loop sensörler" kullanılırken, ana arterler ve çevre yollardaki trafik akım bilgilerini elde etmek için yol kenarına monte edilen "Yol kesmeyen sensör" (Non-Invasive) olarak adlandırılan dedektörler kullanılmaktadır.

Sensörler ile;

- Araç Hızları
- Araç Sayısı
- Araç Sınıflandırma
- Trafik yoğunluğu (yolun doluluk oranı - işgaliyet oranı)
- Kuyruk uzunluğu

verileri elde edilebilmektedir. (tkm.ibb.gov.tr)

Bu bölümde İBB Trafik Müdürlüğü'nden alınan, İstanbul'un trafik yoğunluğu açısından önemli bazı güzergâhlarındaki belli noktaların 2008-2009 yıllarına ait trafik verileri incelenecektir. Bu çalışmada İstanbul genelinde bulunan toplam 369 adet trafik sensörünün 13 tanesine ait veriler kullanılmıştır. Tablo4.6'da verilen bu sensörlere ait yolların çevreyolu (E-5, TEM), bağlantı yolu gibi ana arter olduğu görülmektedir.

Tablo 4.6: İstanbul trafiğinde analiz edilen güzergâhlar.

No	Yer	Şerit Sayısı	Güzergâh
13	TEM Seyrantepe 1	4	Hasdal - FSM Köp.
152	TEM Seyrantepe 2	4	FSM Köp. - Hasdal
22	TEM İstoç 1	5	İkitelli - Mahmutbey
43	TEM İstoç 2	5	Mahmutbey - Esenyurt
28	E-5 Şirinevler 1	3	Sefaköy - Bakırköy
167	E-5 Şirinevler 2	3	Merter - Havaalanı
83	TEM Çakmak Köprüsü	4	Kavacık - Kadıköy
107	E-5 Küçükyalı 1	3	Bostancı - Kartal
108	E-5 Küçükyalı 2	3	Kartal -Bostancı
123	Bağdat Cad. Göztepe Parkı	3	Göztepe - Kadıköy
143	Mahmutbey Gişeler 1	3	Mahmutbey - Avcılar
144	Mahmutbey Gişeler 2	3	Avcılar - Mahmutbey
286	E-5 Mecidiyeköy 1	3	Boğaziçi Köp.- Çağlayan

Tablo4.6'daki güzergâhlara ait son iki yıla ait günlük-saatlik veriler şu şekildedir: Toplam araç sayısı, büyük vasıta sayısı, ortalama hız ve trafik yoğunluğu (işgaliyet) oranı.

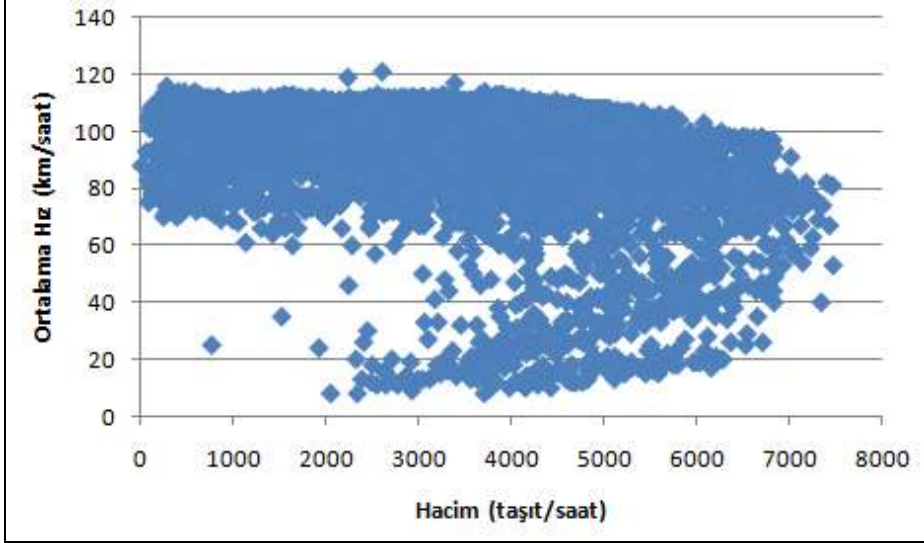
Her bir güzergâh için yaklaşık 16.000 veri bulunmaktadır. Örneklem olarak rasgele seçtiğimiz 13 güzergâhın her biri için yol durumu, kapasite, hacim (taşıt/saat), trafik yoğunluğu (taşıt/km), ortalama hız (km/saat), yoğunluk oranı gibi trafik parametrelerini, trafik yoğunluğundan kaynaklanan yakıt tüketimi fazlası, HC ve CO emisyon fazlası ve yolculuk süresindeki artış parametreleri Tablo3.1 (Yakıt tüketimi ve kirletici gaz emisyonlarının araç hızıyla değişimi) ve Şekil2.9 (Yakıt Ekonomisi yani litre başına gidilen mesafe ile ortalama hız arasındaki ilişki) referans alınarak Excel ortamında hesaplanmıştır. Örneklem olarak rasgele seçtiğimiz 13 güzergâhın her biri için bu parametreleri detaylı olarak inceleyelim.

4.2.1. Trafik Parametreleri

1. TEM - Seyrantepe 1:

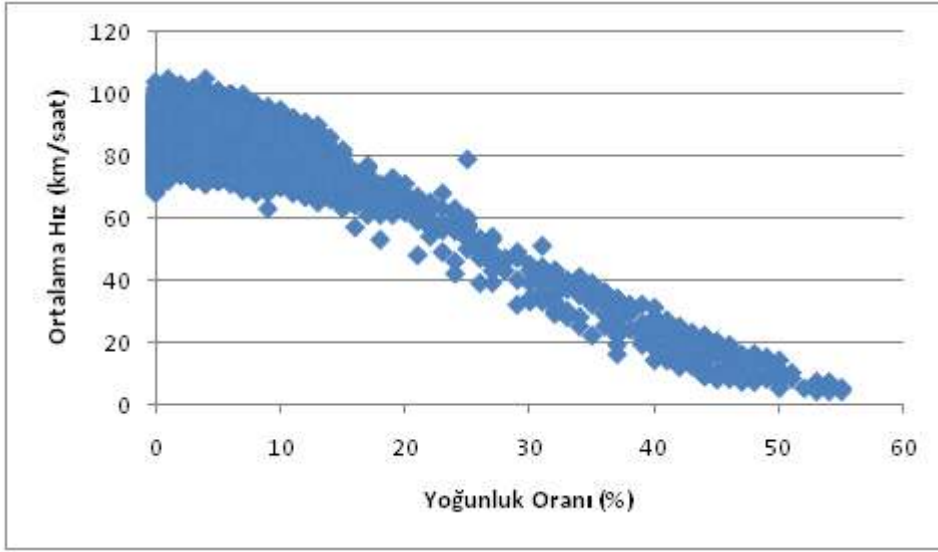
Yol Durumu: İstanbul'un en önemli yollarından olan TEM çevreyolunun Hasdal - FSM Köprüsü istikametindeki kavşak giriş noktasında bulunan sensörümüz Şekil4.2'de gösterilmiştir. Yol otoyol olup şerit sayısı 4'tür.

Ortalama hızın hacim ile ilişkisi 3. bölümün 4. konusunda verilen grafiğe uymaktadır (Şekil4.3).



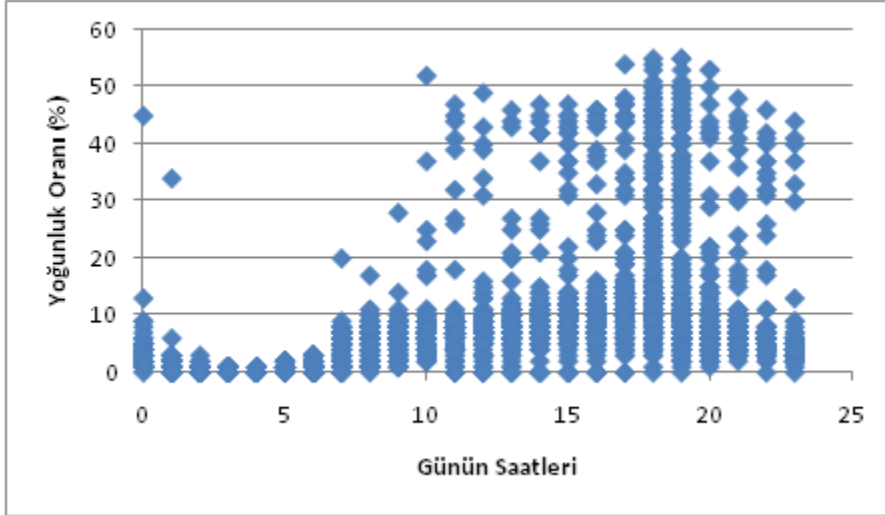
Şekil 4.3: TEM-Seyrantepe 1 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.

Trafik Yoğunluğu: TEM-Seyrantepe 1 yolunun ortalama yoğunluk (taşıt/km) değeri 2008 yılında 36,57 iken, 2009 yılında bu değer 38,13'e yükselmiştir. Trafik yoğunluk oranının ortalama hız ile ilişkisi Şekil4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4: TEM-Seyrantepe 1 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.

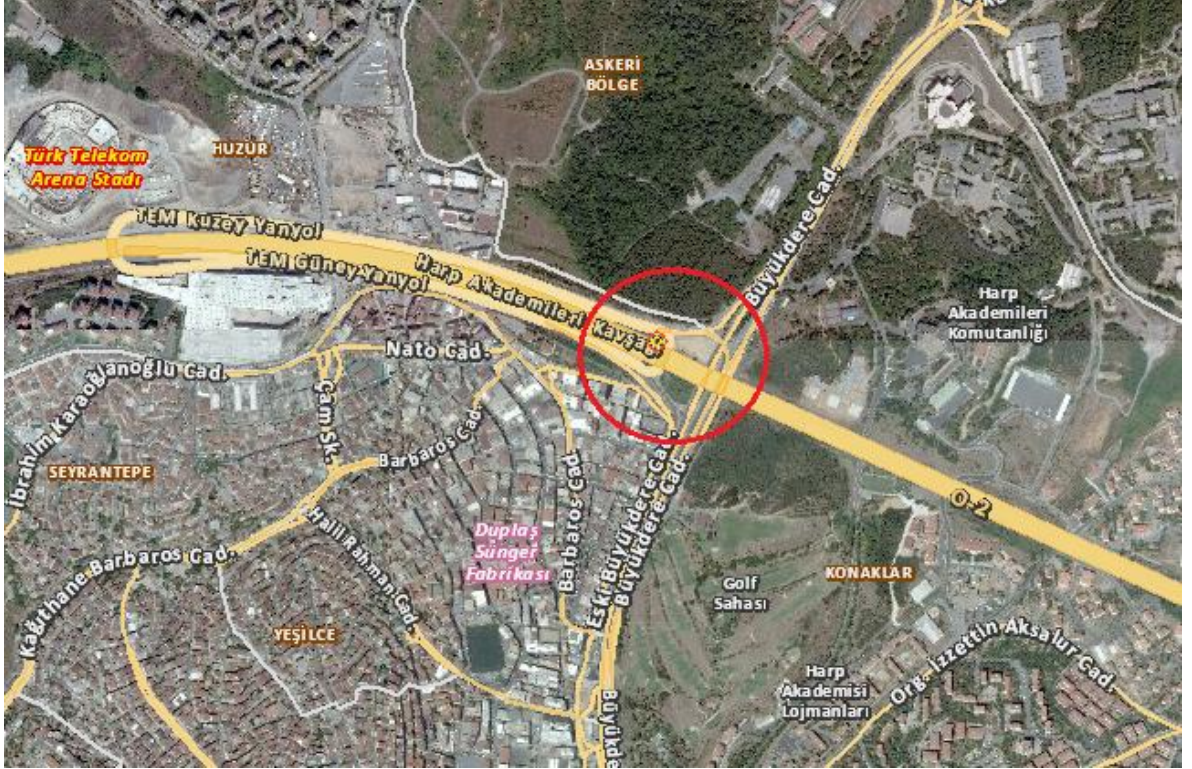
Yoğunluk oranının saat bazındaki dağılımı ise Şekil4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5: TEM-Seyrantepe 1 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.

2. TEM - Seyrantepe 2:

Yol Durumu: İstanbul'un en önemli yollarından olan TEM çevreyolunun FSM Köprüsü - Hasdal istikametindeki kavşak çıkış noktasında bulunan sensörümüz Şekil4.6'da gösterilmiştir. Yol otoyol olup şerit sayısı 4'tür.

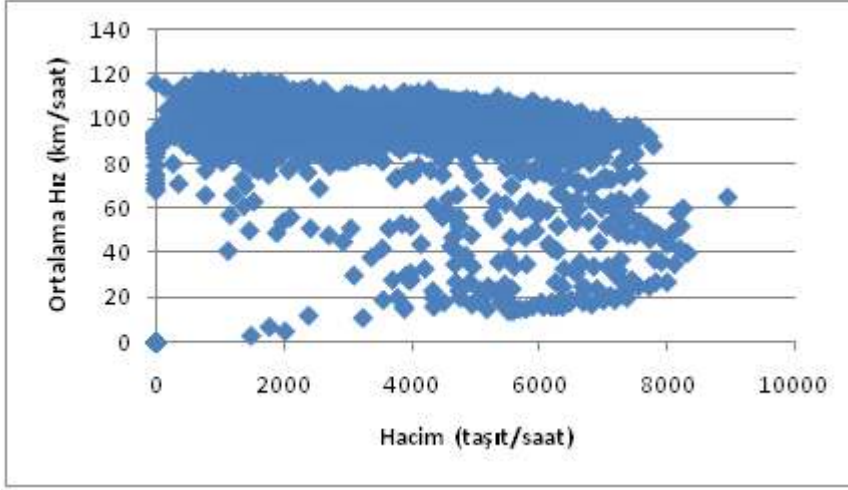


Şekil 4.6: TEM çevreyolu FSM Köprüsü - Hasdal istikameti.

Kapasite: Otoyolların şerit başına pratik kapasitesi 2200 taşıt/saat olarak kabul edilmiştir (VDÇG, 2000). 4 şeritli bir yolun $2200 \times 4 = 8800$ taşıt/saat'lik bir kapasitesi vardır.

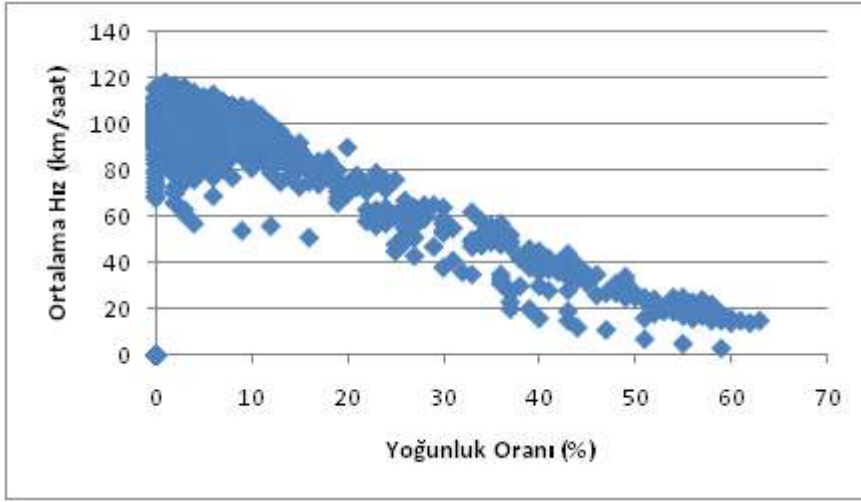
Hacim (taşıt/saat): TEM-Seyrantepe 2 istikametinde yoldan geçen maximum araç sayısı 2008 yılında 6211 taşıt/saat olup araçların ortalama hızı 65 km/saat'tir. 2008 yılı için saatteki ortalama araç sayısı ise 3137'dir. 2009 yılında bu değerler artış göstermiştir:

Yoldan bir saatte en fazla 8945 araç, ortalama 65 km/saat'lik hızla geçmiştir. 2009 yılının saatlik ortalama taşıt sayısı ise 3475'tir. Her iki yılın ortalama Hacim/Kapasite oranı 0,38'dir.



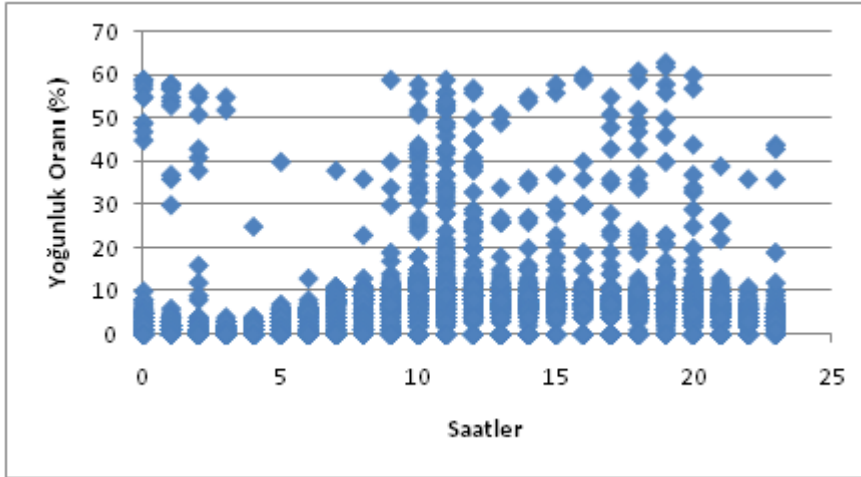
Şekil 4.7: TEM-Seyrantepe 2 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.

Trafik Yoğunluğu: TEM-Seyrantepe 2 kesiminde ortalama yoğunluk (taşıt/km) değeri 2008 yılında 27,81 iken, 2009 yılında bu değer 29,71'e yükselmiştir. Trafik yoğunluk oranının ortalama hız ile ilişkisi Şekil4.8'de verilmiştir.



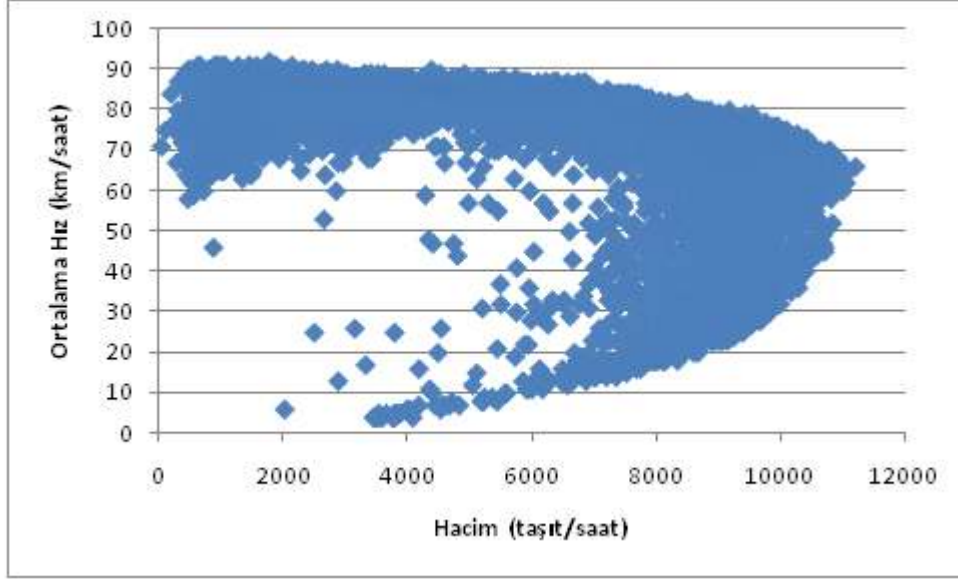
Şekil 4.8: TEM-Seyrantepe 2 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.

Yoğunluk oranının saat bazındaki dağılımı ise Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



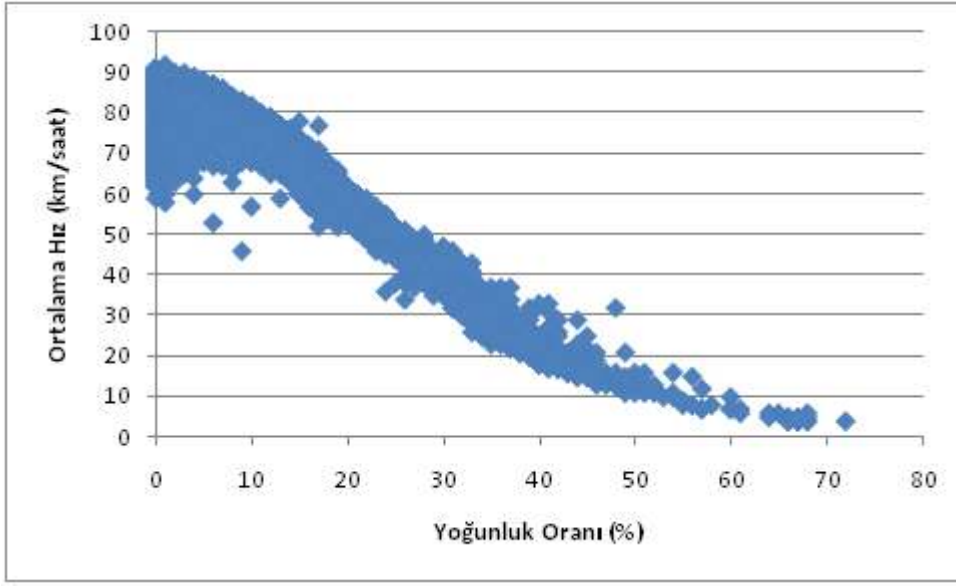
Şekil 4.9: TEM-Seyrantepe 2 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.

fazla 11.223 araç, ortalama 66 km/saat'lik hızla geçmiştir. 2009 yılının saatlik ortalama taşıt sayısı ise 5782'dir. Her iki yılın ortalama Hacim/Kapasite oranı 0,52'dir.



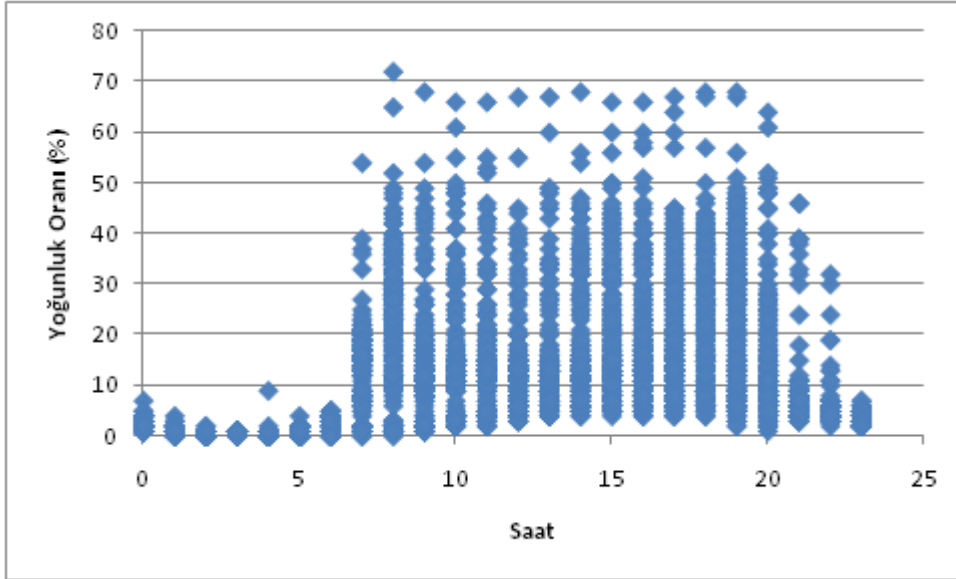
Şekil 4.11: TEM-İstoç 1 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.

Trafik Yoğunluğu: TEM-İstoç 1 kesiminde ortalama yoğunluk (taşıt/km) değeri 2008 yılında 68,2 iken, 2009 yılında bu değer 93,14'e yükselmiştir. Trafik yoğunluk oranının ortalama hız ile ilişkisi Şekil4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12: TEM-İstoç 1 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.

Yoğunluk oranının saat bazındaki dağılımı ise Şekil4.13’da gösterilmiştir.



Şekil 4.13: TEM-İstoç 1 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.

4. TEM - İstoç 2:

Yol Durumu: İstanbul'un en önemli yollarından olan TEM çevreyolunun Mahmutbey - Esenyurt istikametindeki kavşak çıkış noktasında bulunan sensörümüz Şekil4.14'de gösterilmiştir. Yol otoyol olup şerit sayısı 5'tir.

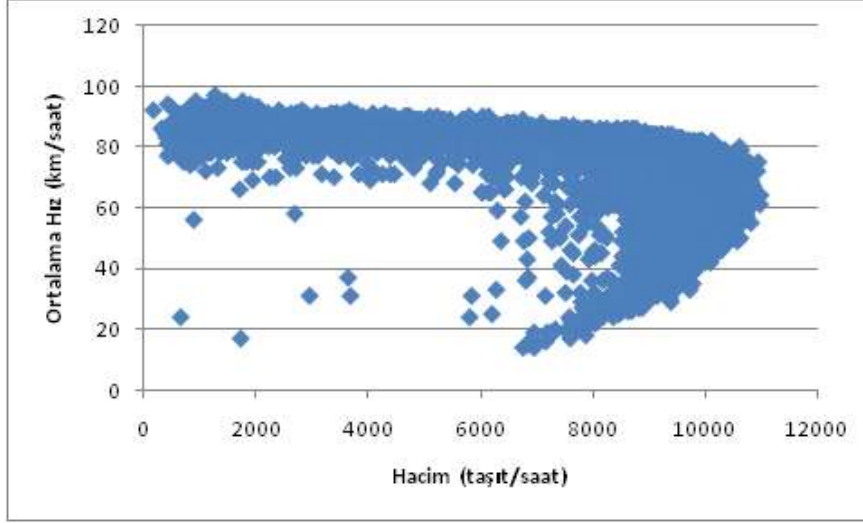


Şekil 4.14: TEM çevreyolu Mahmutbey - Esenyurt istikameti.

Kapasite: Otoyolların şerit başına pratik kapasitesi 2200 taşıt/saat olarak kabul edilmiştir (VDÇG, 2000). 5 şeritli bir yolun $2200 \times 5 = 11000$ taşıt/saat'lik bir kapasitesi vardır.

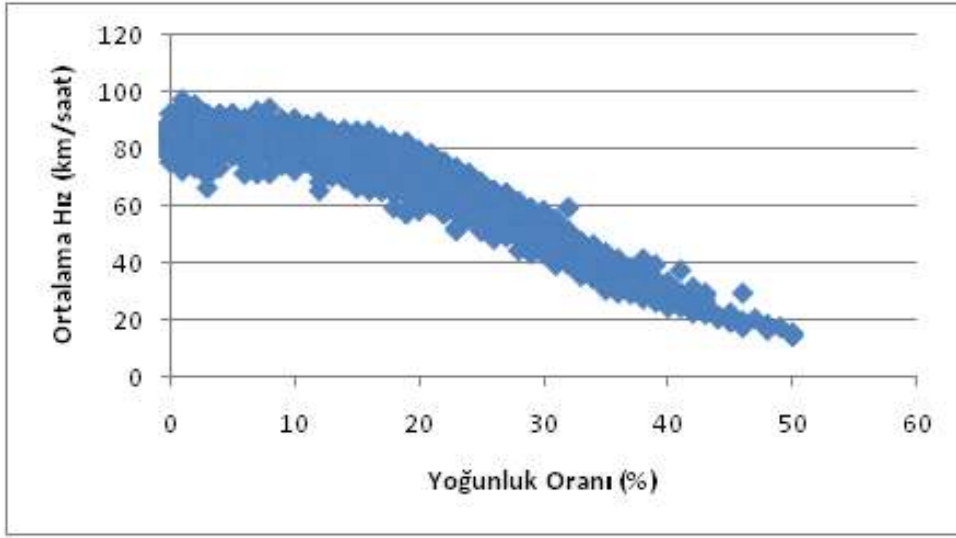
Hacim (taşıt/saat): TEM-İstoç 2 kesitinden geçen maximum araç sayısı 2008 yılında 11.334 taşıt/saat olup araçların ortalama hızı 62 km/saat'tir. 2008 yılı için saatteki ortalama araç sayısı ise 6127'dir. 2009 yılında bu değerler pek değişmemiştir: Yoldan bir saatte en

fazla 10.988 araç, ortalama 64 km/saat'lik hızla geçmiştir. 2009 yılının saatlik ortalama taşıt sayısı ise 6124'tür. Her iki yılın ortalama Hacim/Kapasite oranı 0,56'dır.



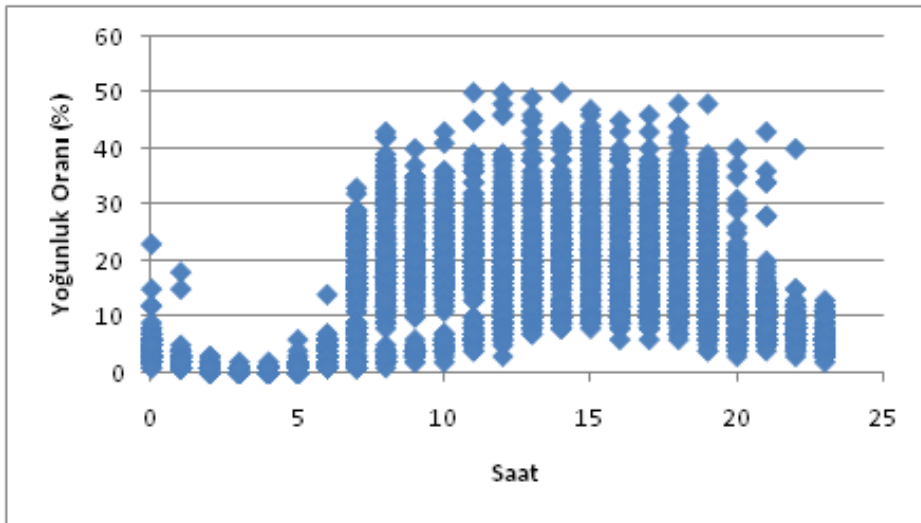
Şekil 4.15: TEM-İstoç 2 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.

Trafik Yoğunluğu: TEM-İstoç 2 kesiminde ortalama yoğunluk (taşıt/km) değeri 2008 yılında 76,5 iken, 2009 yılında bu değer 78,84'e yükselmiştir. Trafik yoğunluk oranının ortalama hız ile ilişkisi Şekil4.16'da verilmiştir.

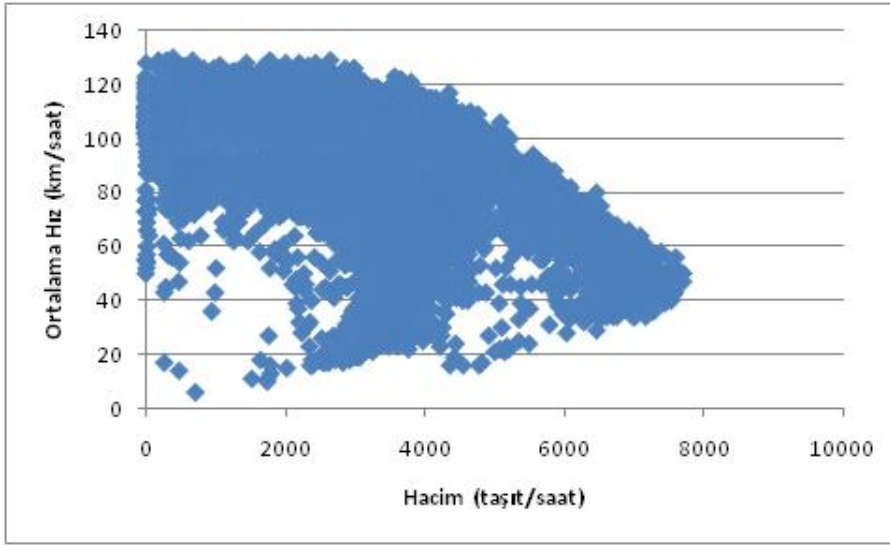


Şekil 4.16: TEM-İstoç 2 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.

Yoğunluk oranının saat bazındaki dağılımı ise Şekil4.17’de gösterilmiştir.

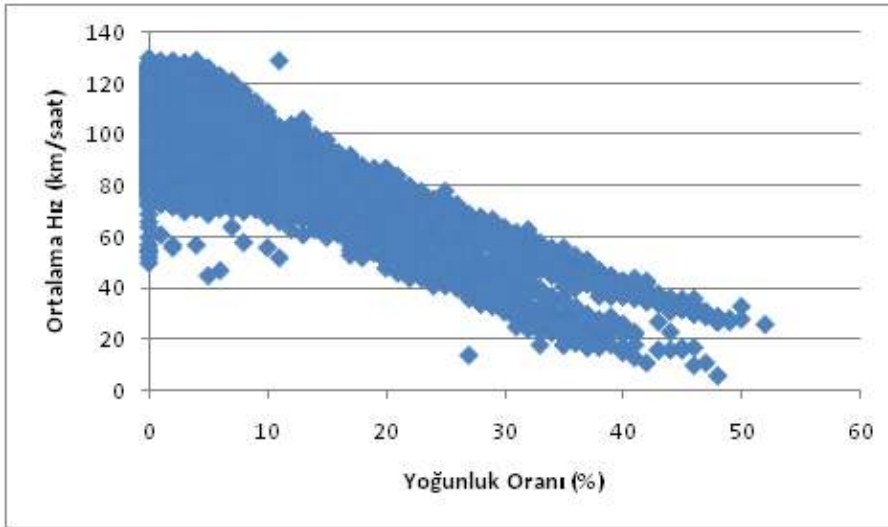


Şekil 4.17: TEM-İstoç 2 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.



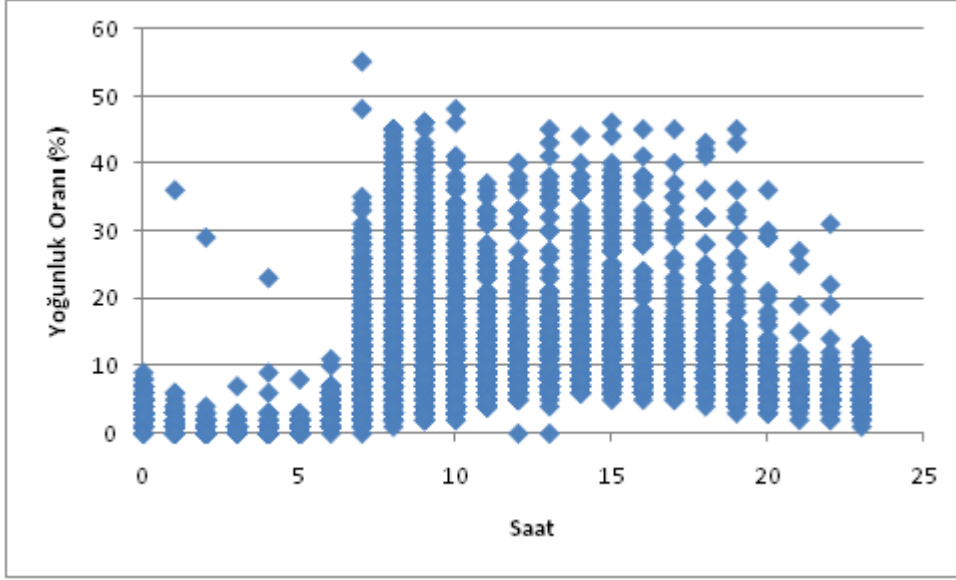
Şekil 4.19: E-5 Şirinevler 1 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.

Trafik Yoğunluğu: E-5 Şirinevler 1 kesiminde ortalama yoğunluk (taşıt/km) değeri 2008 yılında 28,96 iken, 2009 yılında bu değer 35,15'e yükselmiştir. Trafik yoğunluk oranının ortalama hız ile ilişkisi Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20: E-5 Şirinevler 1 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.

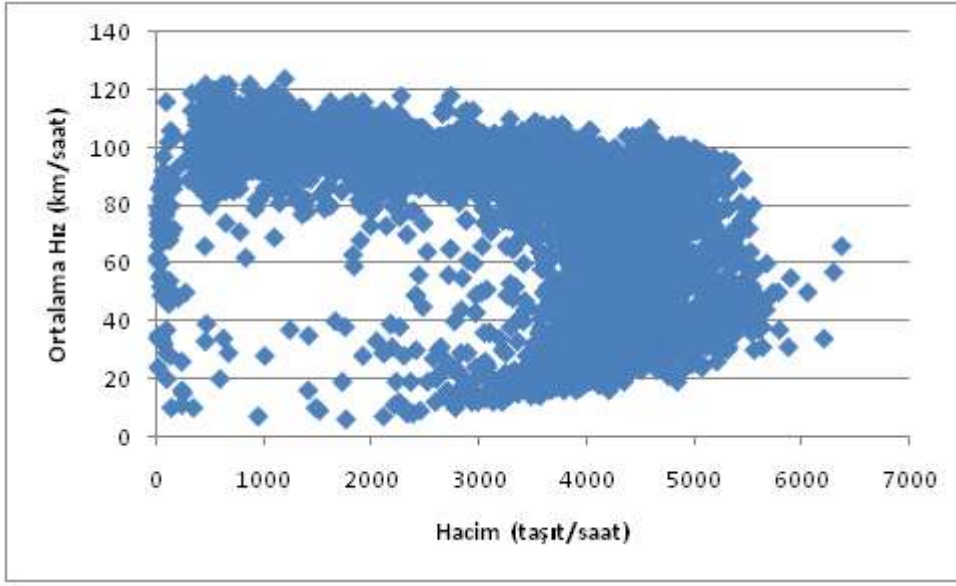
Yoğunluk oranının saat bazındaki dağılımı ise Şekil4.21’de gösterilmiştir.



Şekil 4.21: E-5 Şirinevler 1 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.

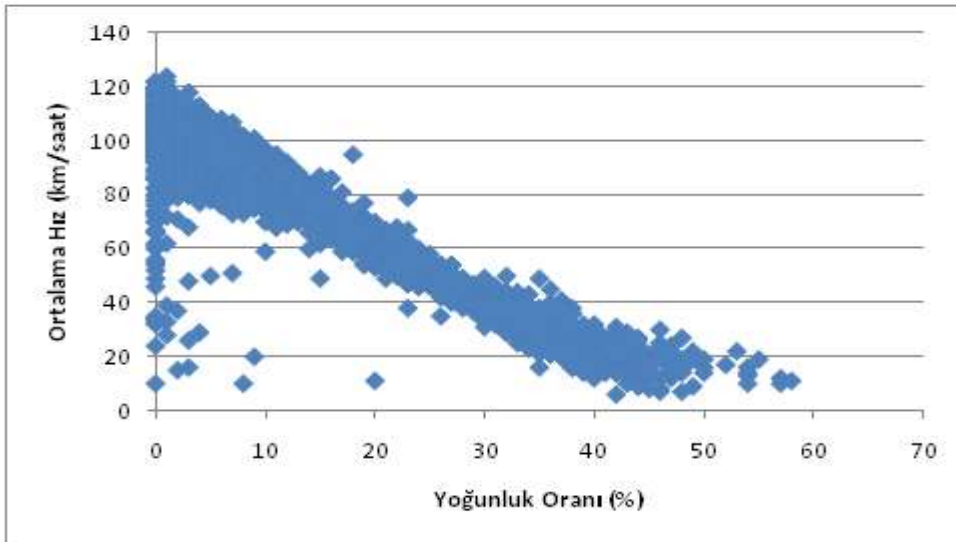
6. E-5 Şirinevler 2:

Yol Durumu: İstanbul’un en önemli yollarından biri olan D100 karayolu (E-5) Merter - Havaalanı istikametindeki kavşak giriş noktasında bulunan sensörümüz Şekil4.22’de gösterilmiştir. Yol karayolu olup şerit sayısı 3’tür.



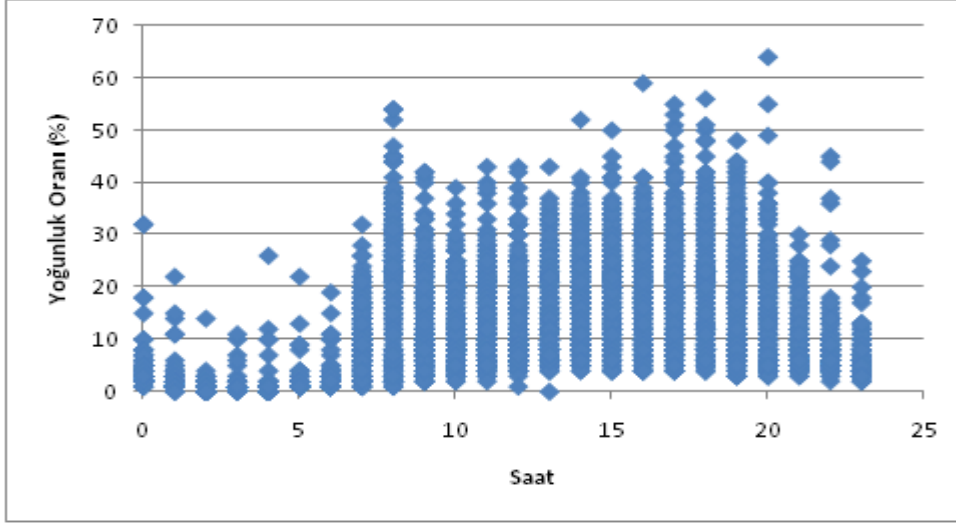
Şekil 4.23: E-5 Şirinevler 2 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.

Trafik Yoğunluğu: E-5 Şirinevler 2 kesiminde ortalama yoğunluk (taşıt/km) değeri 2008 yılında 50,19 iken, 2009 yılında bu değer 60,01'e yükselmiştir. Trafik yoğunluk oranının ortalama hız ile ilişkisi Şekil 4.24'de verilmiştir.



Şekil 4.24: E-5 Şirinevler 2 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.

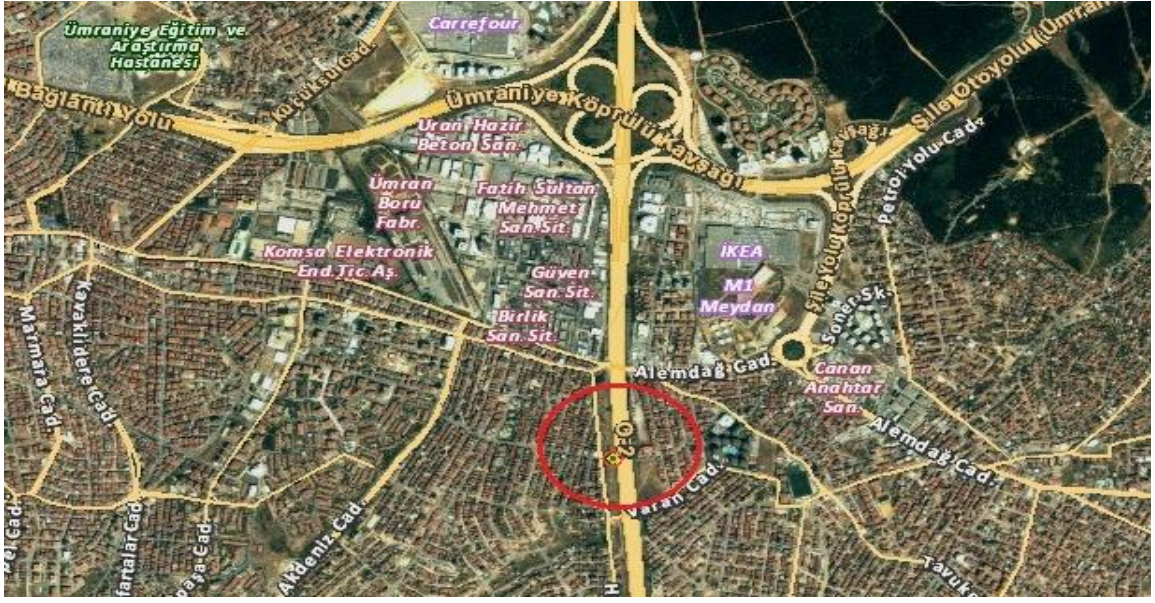
Yoğunluk oranının saat bazındaki dağılımı ise Şekil4.25’de gösterilmiştir.



Şekil 4.25: E-5 Şirinevler 2 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.

7. TEM - Çakmak Köprüsü:

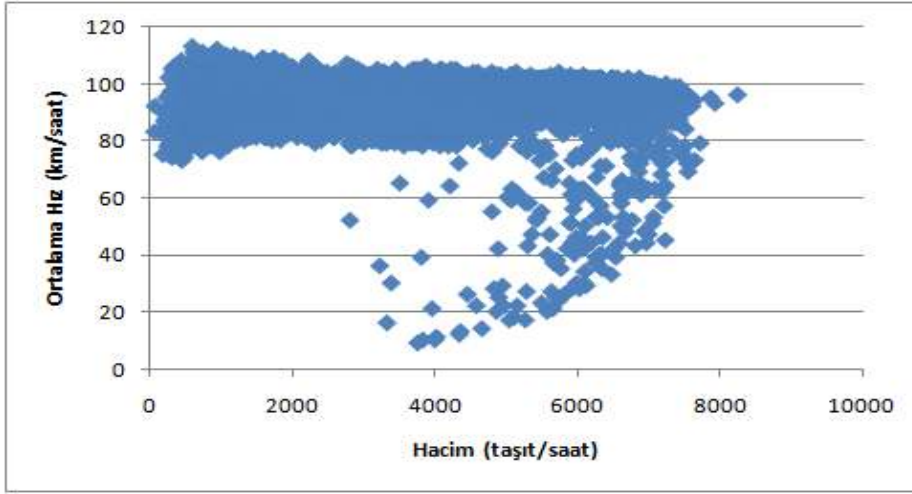
Yol Durumu: İstanbul’un en önemli yollarından olan TEM çevreyolunun Kavacık - Kadıköy istikametindeki Çakmak Köprüsü bölgesinde bulunan sensörümüz Şekil4.26’da gösterilmiştir. Yol otoyol olup şerit sayısı 4’tür.



Şekil 4.26: TEM çevreyolu Kavacık - Kadıköy istikameti.

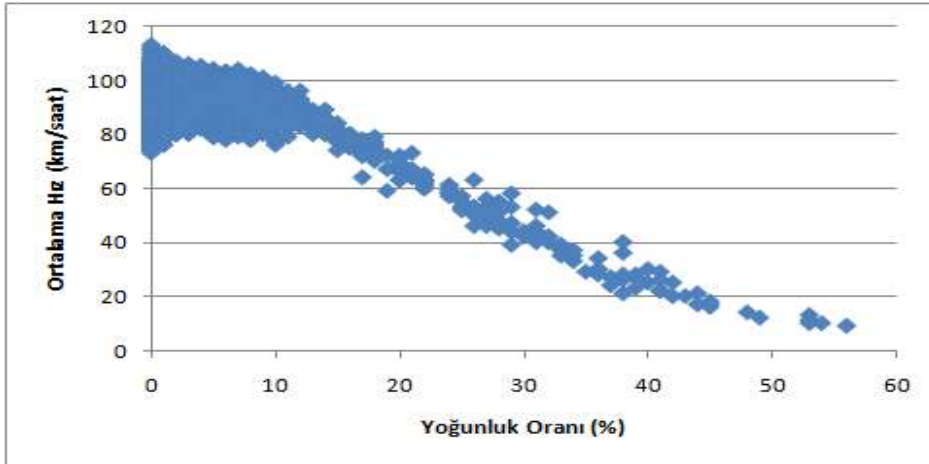
Kapasite: Otoyolların şerit başına pratik kapasitesi 2200 taşıt/saat olarak kabul edilmiştir (VDÇG, 2000). 4 şeritli bir yolun $2200 \times 4 = 8800$ taşıt/saat'lik bir kapasitesi vardır.

Hacim (taşıt/saat): TEM-Çakmak Köprüsü yolundan geçen maksimum araç sayısı 2008 yılında 8953 taşıt/saat olup araçların ortalama hızı 50 km/saat'tir. 2008 yılı için saatteki ortalama araç sayısı ise 3989'dur. 2009 yılında yoldan bir saatte en fazla 8247 araç, ortalama 96 km/saat'lik hızla geçmiştir. 2009 yılının saatlik ortalama taşıt sayısı ise 4081'dir. Her iki yılın ortalama Hacim/Kapasite oranı 0,46'dır. Ortalama hızın hacim ile ilişkisi 3. bölümün 4. konusunda verilen grafiğe uymaktadır (Şekil 4.27).



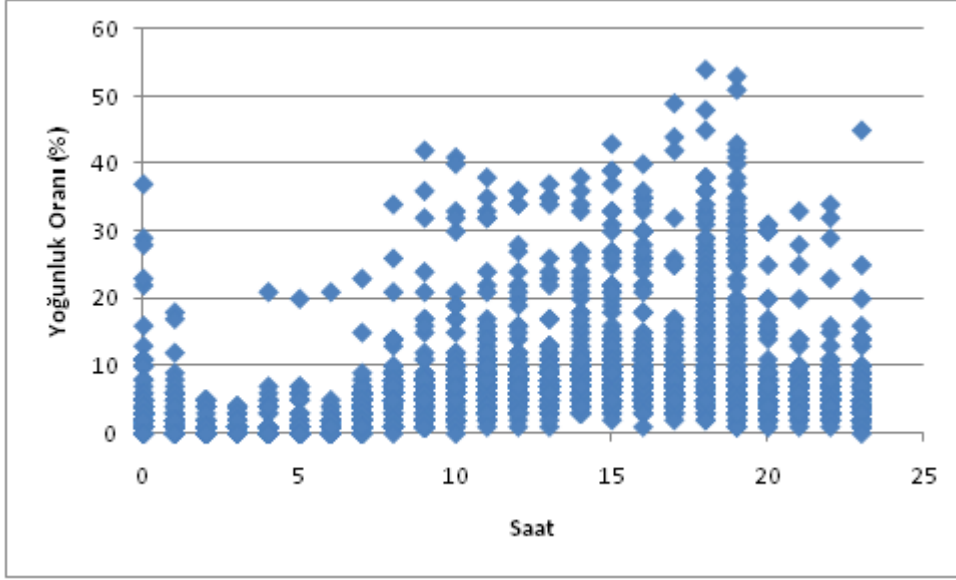
Şekil 4.27: TEM-Çakmak Köprüsü yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.

Trafik Yoğunluğu: TEM-Çakmak Köprüsü yolunun ortalama yoğunluk (taşıt/km) değeri 2008 yılında 40,13 iken, 2009 yılında bu değer 42,46'ya yükselmiştir. Trafik yoğunluk oranının ortalama hız ile ilişkisi Şekil4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.28: TEM-Çakmak Köprüsü yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.

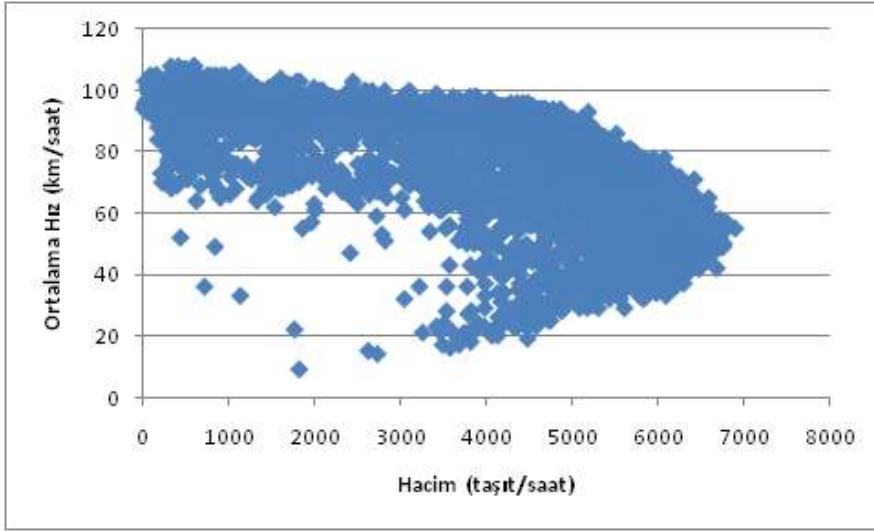
Yoğunluk oranının saat bazındaki dağılımı ise Şekil4.29’da gösterilmiştir.



Şekil 4.29: TEM-Çakmak Köprüsü yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.

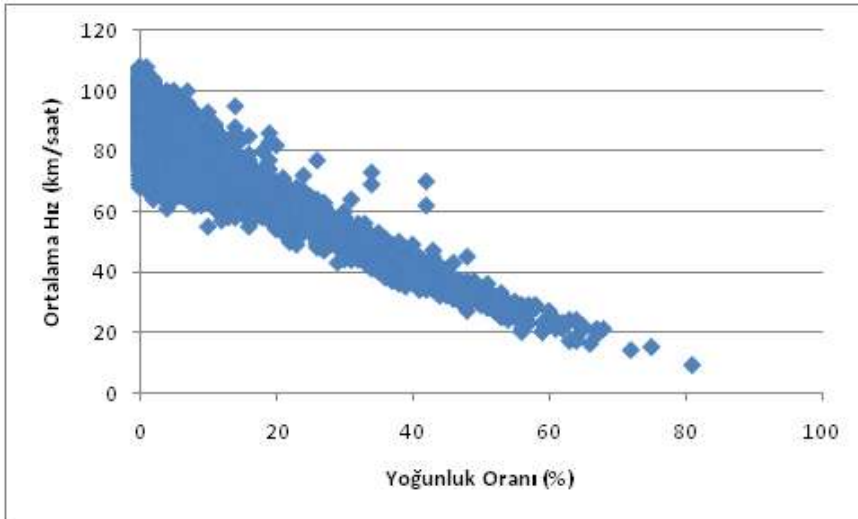
8. E-5 Küçükyalı 1:

Yol Durumu: İstanbul’un en önemli yollarından biri olan D100 karayolu (E-5) Bostancı – Kartal istikametindeki kavşak giriş noktasında bulunan sensörümüz Şekil4.30’da gösterilmiştir. Yol karayolu olup şerit sayısı 3’tür.



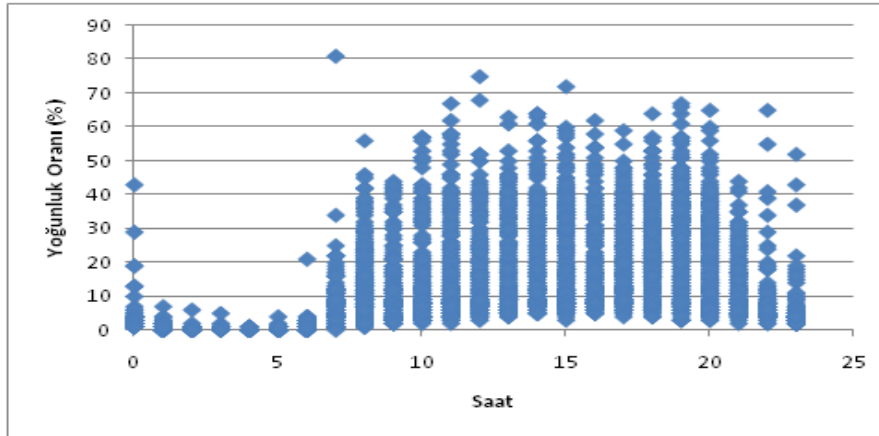
Şekil 4.31: E-5 Küçükyalı 1 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.

Trafik Yoğunluğu: E-5 Küçükyalı 1 kesiminde ortalama yoğunluk (taşıt/km) değeri 2008 yılında 47,76 iken, 2009 yılında bu değer 44,67'e düşmüştür. Trafik yoğunluk oranının ortalama hız ile ilişkisi Şekil4.32'de verilmiştir.



Şekil 4.32: E-5 Küçükyalı 1 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.

Yoğunluk oranının saat bazındaki dağılımı ise Şekil4.33'te gösterilmiştir.



Şekil 4.33: E-5 Küçükyalı 1 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.

9. E-5 Küçükyalı 2:

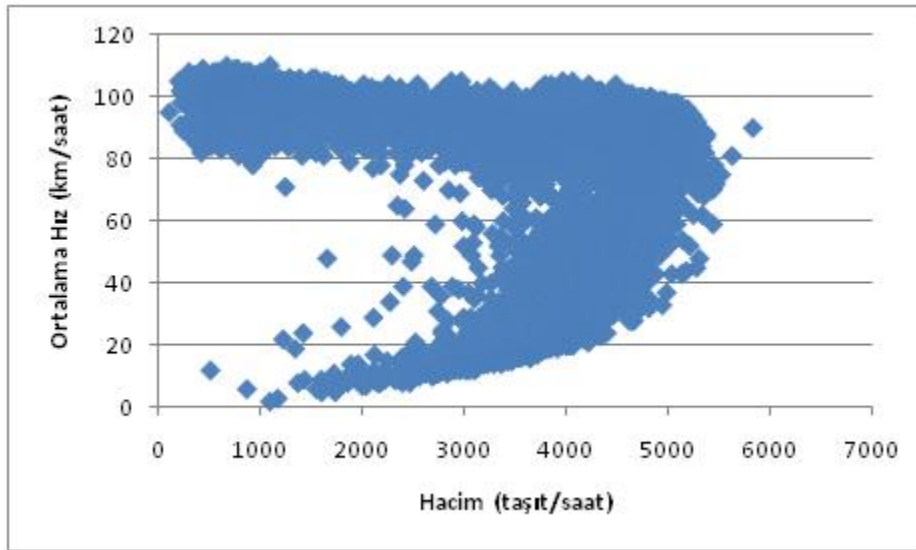
Yol Durumu: İstanbul'un en önemli yollarından biri olan D100 karayolu (E-5) Kartal – Bostancı istikametindeki kavşak çıkış noktasında bulunan sensörümüz Şekil4.34'te gösterilmiştir. Yol karayolu olup şerit sayısı 3'tür.



Şekil 4.34: E-5 çevreyolu Kartal - Bostancı istikameti.

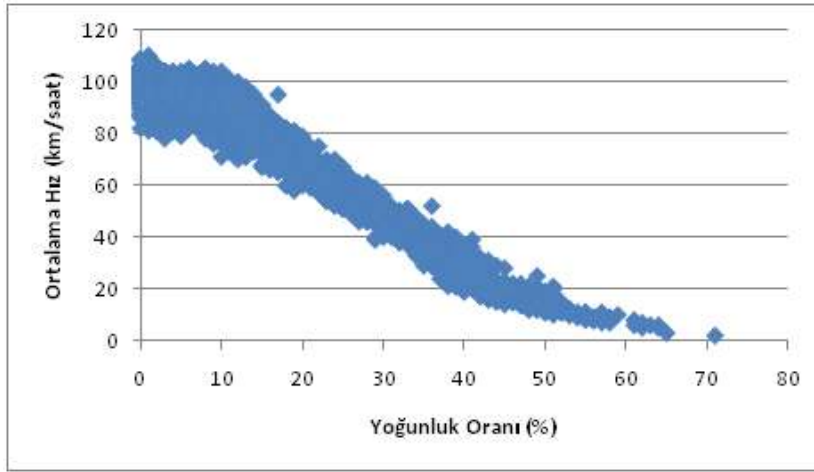
Kapasite: Trafik akımı yönündeki her bir şerit için kapasite 1800 araç/saat olarak alınmıştır (Zhang, 1999). 3 şeritli bir karayolunun yaklaşık $1800 \times 3 = 5400$ taşıt/saat'lik bir kapasitesi vardır.

Hacim (taşıt/saat): E-5 Küçükyalı 2 kesitinden geçen maximum araç sayısı 2008 yılında 5.778 taşıt/saat olup araçların ortalama hızı 81 km/saat'tir. 2008 yılı için saatteki ortalama araç sayısı ise 3284'tür. 2009 yılında yoldan bir saatte en fazla 5.823 araç, ortalama 90 km/saat'lik hızla geçmiştir. 2009 yılının saatlik ortalama taşıt sayısı ise 3180'dir. Her iki yılın ortalama Hacim/Kapasite oranı 0,61'dir.



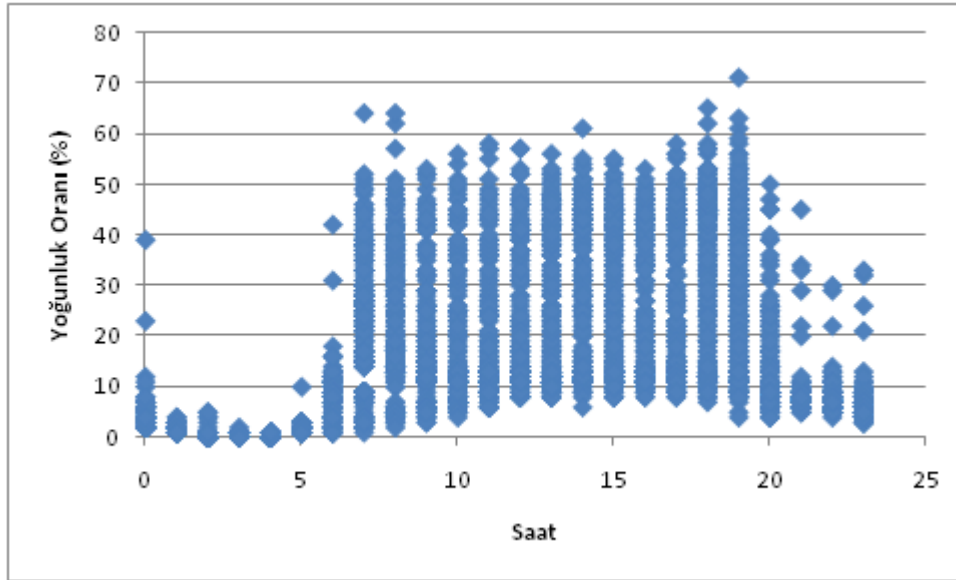
Şekil 4.35: E-5 Küçükyalı 2 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.

Trafik Yoğunluğu: E-5 Küçükyalı 2 kesiminde ortalama yoğunluk (taşıt/km) değeri 2008 yılında 43,60 iken, 2009 yılında bu değer 52,45'e çıkmıştır. Trafik yoğunluk oranının ortalama hız ile ilişkisi Şekil4.36'da verilmiştir.



Şekil 4.36: E-5 Küçükyalı 2 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.

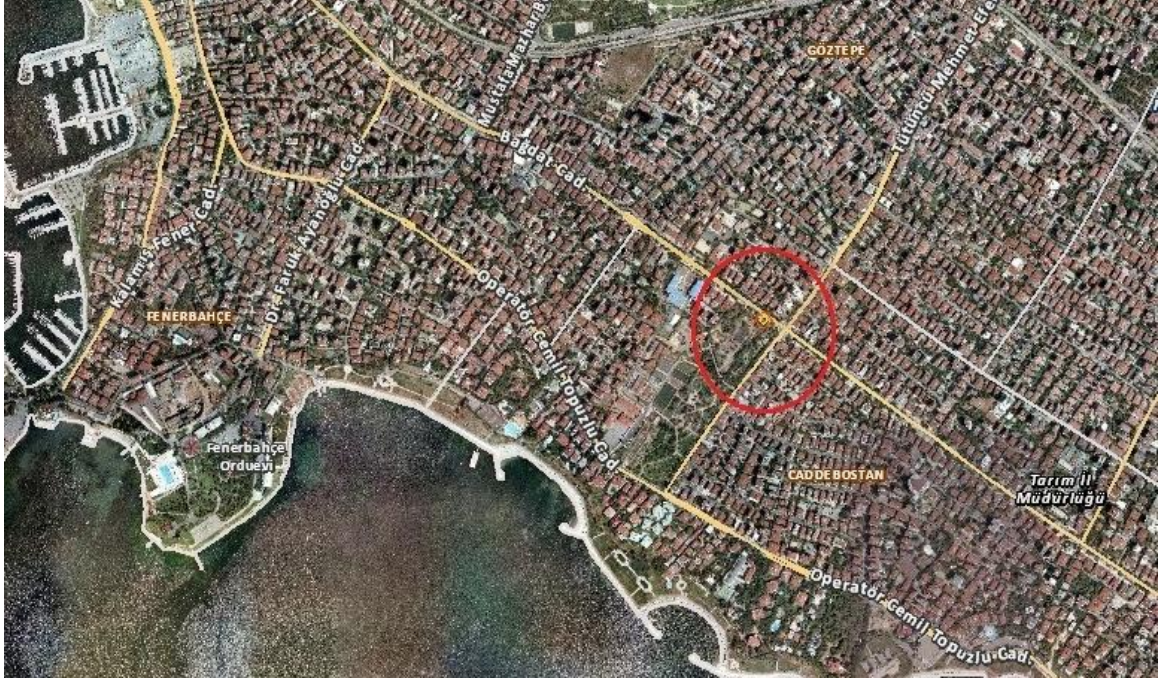
Yoğunluk oranının saat bazındaki dağılımı ise Şekil4.37’de gösterilmiştir.



Şekil 4.37: E-5 Küçükyalı 2 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.

10. Bağdat Caddesi:

Yol Durumu: İstanbul'un işlek yollarından biri olan Göztepe - Kadıköy istikametindeki kavşak çıkış noktasında bulunan sensörümüz Şekil4.38'de gösterilmiştir. Yol ana arter olup şerit sayısı 3'tür.

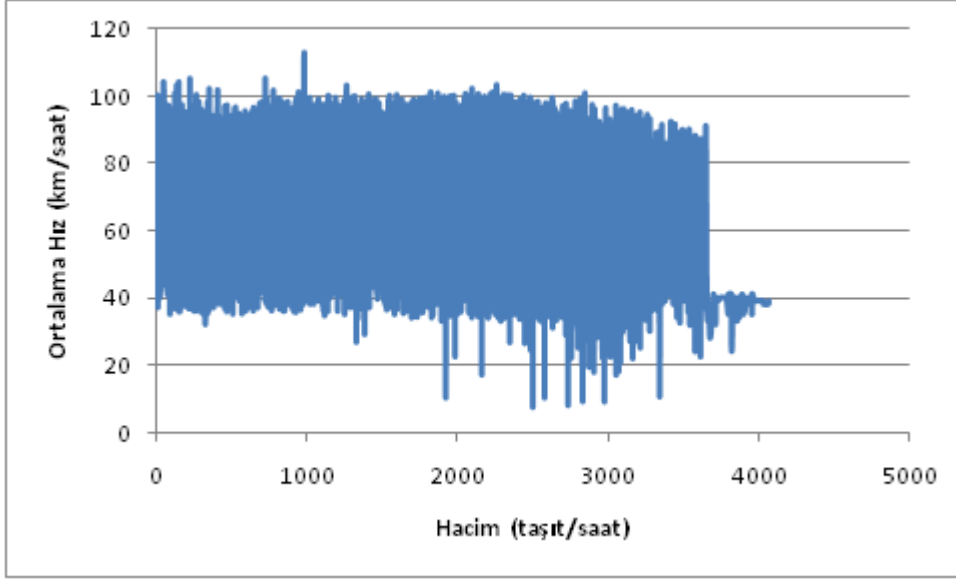


Şekil 4.38: Bağdat Caddesi Göztepe - Kadıköy istikameti.

Kapasite: Trafik akımı yönündeki her bir şerit için kapasite 1800 araç/saat olarak alınmıştır (Zhang, 1999). 3 şeritli bir karayolunun yaklaşık $1800 \times 3 = 5400$ taşıt/saat'lik bir kapasitesi vardır.

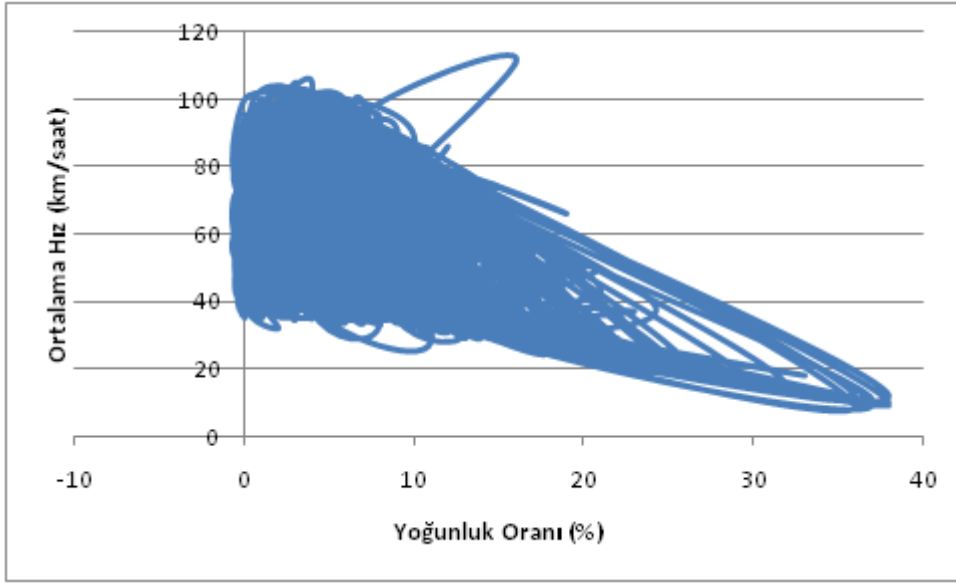
Hacim (taşıt/saat): Bağdat Caddesi Göztepe Parkı kesitinden geçen maximum araç sayısı 2008 yılında 4.058 taşıt/saat olup araçların ortalama hızı 39 km/saat'tir. 2008 yılı için saatteki ortalama araç sayısı ise 1780'dir. 2009 yılında yoldan bir saatte en fazla 3.998 araç,

ortalama 35 km/saat'lik hızla geçmiştir. 2009 yılının saatlik ortalama taşıt sayısı ise 1949'dur. Her iki yılın ortalama Hacim/Kapasite oranı 0,35'dir.



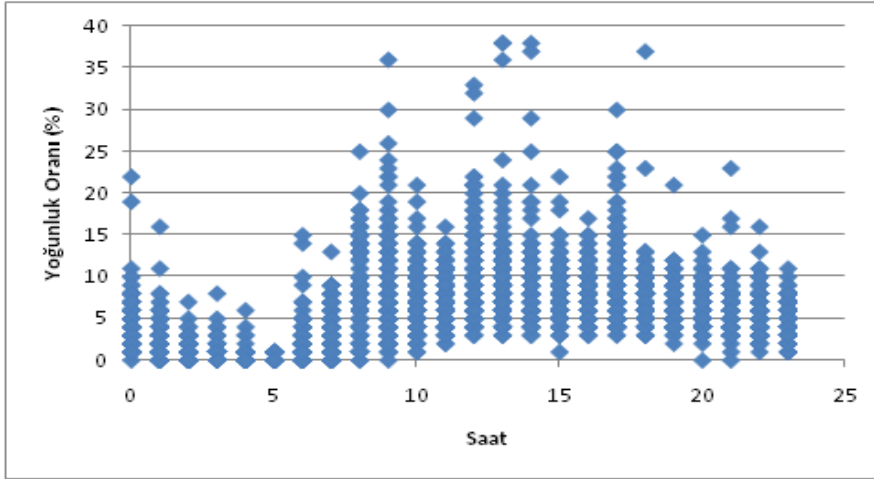
Şekil 4.39: Bağdat Caddesi için ortalama hız & hacim ilişkisi.

Trafik Yoğunluğu: Bağdat Caddesi Göztepe Parkı kesiminde ortalama yoğunluk (taşıt/km) değeri 2008 yılında 32,62 iken, 2009 yılında bu değer 47,78'e çıkmıştır. Trafik yoğunluk oranının ortalama hız ile ilişkisi Şekil4.40'da verilmiştir.



Şekil 4.40: Bağdat Caddesi ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.

Yoğunluk oranının saat bazındaki dağılımı ise Şekil4.41’de gösterilmiştir.



Şekil 4.41: Bağdat Caddesi saat bazlı yoğunluk oranı.

11. TEM - Mahmutbey Gişeler 1:

Yol Durumu: İstanbul'un en önemli yollarından olan TEM çevreyolunun Mahmutbey - Avcılar istikametindeki otoban gişeleri çıkış noktasında bulunan sensörümüz Şekil4.42'de gösterilmiştir. Yol otoyol olup şerit sayısı 3'tür.



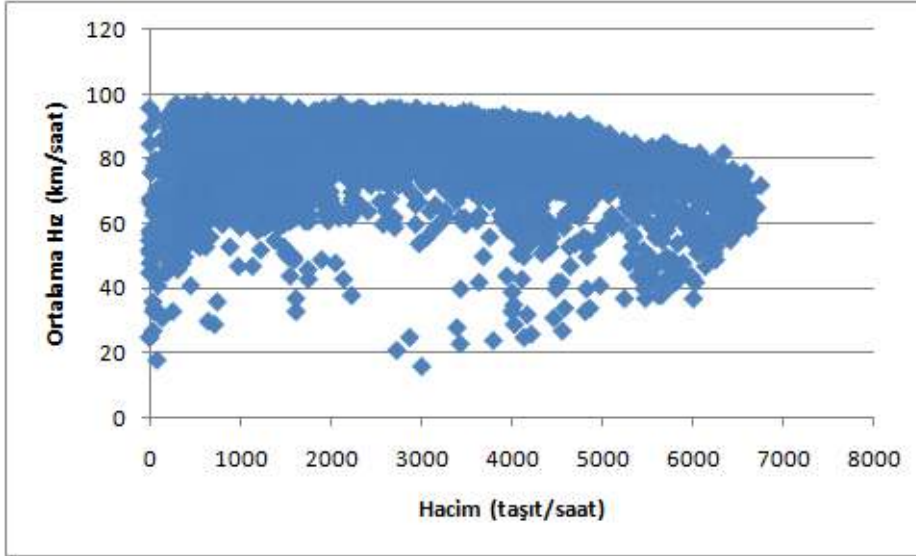
Şekil 4.42: TEM çevreyolu Mahmutbey - Avcılar istikameti.

Kapasite: Otoyolların şerit başına pratik kapasitesi 2200 taşıt/saat olarak kabul edilmiştir (VDÇG, 2000). 3 şeritli bir yolun $2200 \times 3 = 6600$ taşıt/saat'lik bir kapasitesi vardır.

Hacim (taşıt/saat): TEM-Mahmutbey Gişeler 1 yolundan geçen maximum araç sayısı 2008 yılında 6484 taşıt/saat olup araçların ortalama hızı 99 km/saat'tir. 2008 yılı için saatteki ortalama araç sayısı ise 2518'dir. 2009 yılında bu değerler artış göstermiştir. Yoldan bir saatte en fazla 6745 araç, ortalama 72 km/saat'lik hızla geçmiştir. 2009 yılının

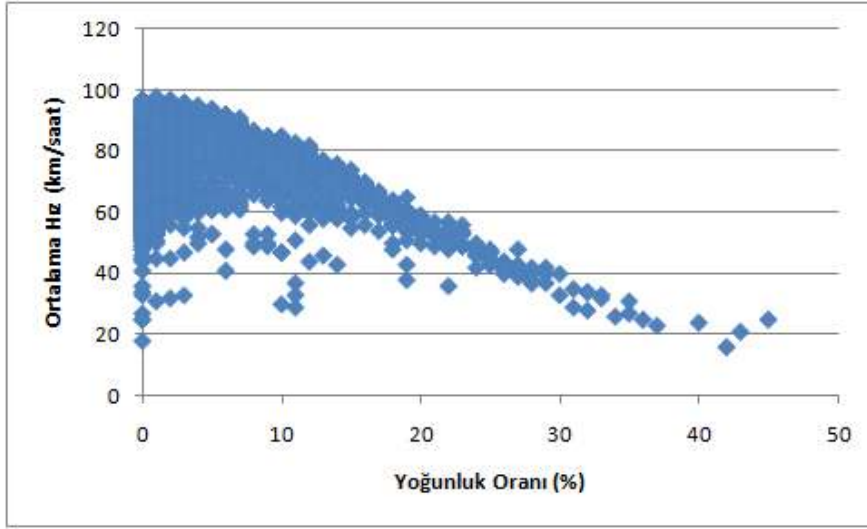
saatlik ortalama taşıt sayısı ise 2820'dir. Her iki yılın ortalama Hacim/Kapasite oranı 0,40'dır.

Ortalama hızın hacim ile ilişkisi 3. bölümün 4. konusunda verilen grafiğe uymaktadır (Şekil4.43).



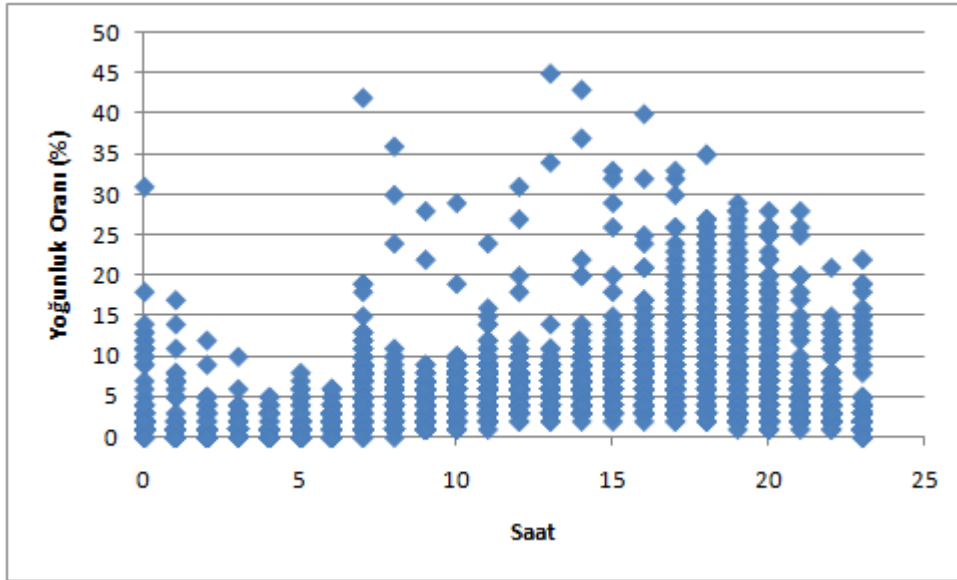
Şekil 4.43: TEM-Mahmutbey Gışeler 1 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.

Trafik Yoğunluğu: TEM-Mahmutbey Gışeler 1 yolunun ortalama yoğunluk (taşıt/km) değeri 2008 yılında 26,08 iken, 2009 yılında bu değer 35,07'e yükselmiştir. Trafik yoğunluk oranının ortalama hız ile ilişkisi Şekil4.44'de verilmiştir.



Şekil 4.44: TEM-Mahmutbey Gişeler 1 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.

Yoğunluk oranının saat bazındaki dağılımı ise Şekil4.45’te gösterilmiştir.



Şekil 4.45: TEM-Mahmutbey Gişeler 1 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.

12. TEM - Mahmutbey Gişeler 2:

Yol Durumu: İstanbul'un en önemli yollarından olan TEM çevreyolunun Avcılar - Mahmutbey istikametindeki otoban gişeleri giriş noktasında bulunan sensörümüz Şekil4.46'da gösterilmiştir. Yol otoyol olup şerit sayısı 3'tür.

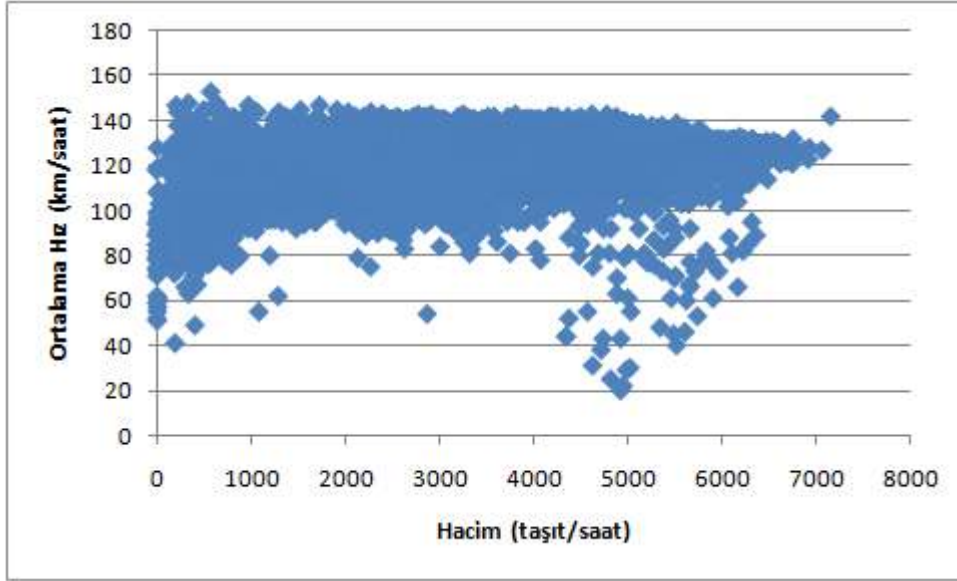


Şekil 4.46: TEM çevreyolu Avcılar - Mahmutbey istikameti.

Kapasite: Otoyolların şerit başına pratik kapasitesi 2200 taşıt/saat olarak kabul edilmiştir (VDÇG, 2000). 3 şeritli bir yolun $2200 \times 3 = 6600$ taşıt/saat'lik bir kapasitesi vardır.

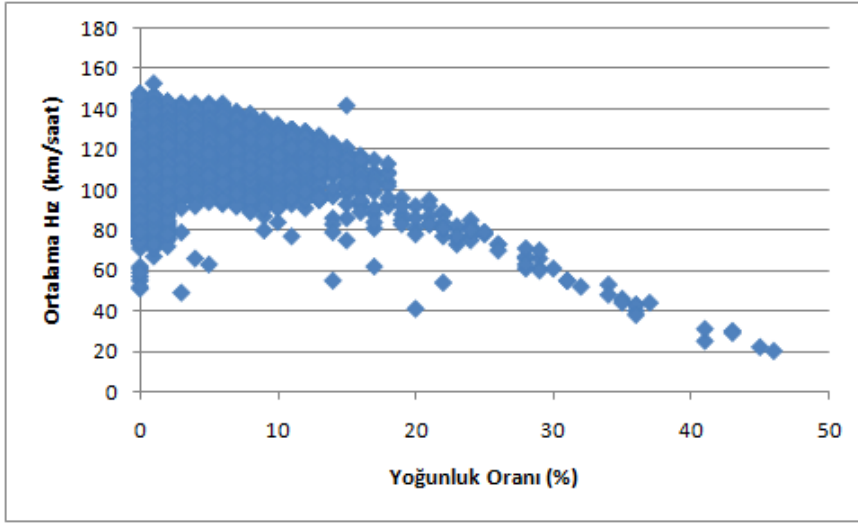
Hacim (taşıt/saat): TEM-Mahmutbey Gişeler 2 istikametinde yoldan geçen maximum araç sayısı 2008 yılında 6542 taşıt/saat olup araçların ortalama hızı 127 km/saat'tir. 2008 yılı için saatteki ortalama araç sayısı ise 2768'dir. 2009 yılında bu değerler artış göstermiştir. Yoldan bir saatte en fazla 7142 araç, ortalama 142 km/saat'lik hızla geçmiştir. 2009 yılının

saatlik ortalama taşıt sayısı ise 2854'tür. Her iki yılın ortalama Hacim/Kapasite oranı 0,43'dür.



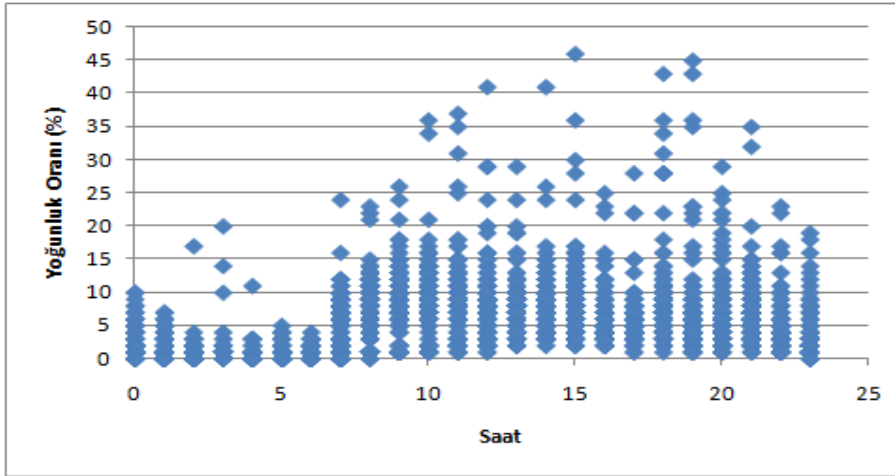
Şekil 4.47: TEM-Mahmutbey Gışeler 2 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.

Trafik Yoğunluğu: TEM-Mahmutbey Gışeler 2 kesiminde ortalama yoğunluk (taşıt/km) değeri 2008 yılında 21,76 iken, 2009 yılında bu değeri 22,17'ye yükselmiştir. Trafik yoğunluk oranının ortalama hız ile ilişkisi Şekil4.48'de verilmiştir.



Şekil 4.48: TEM-Mahmutbey Gışeler 2 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.

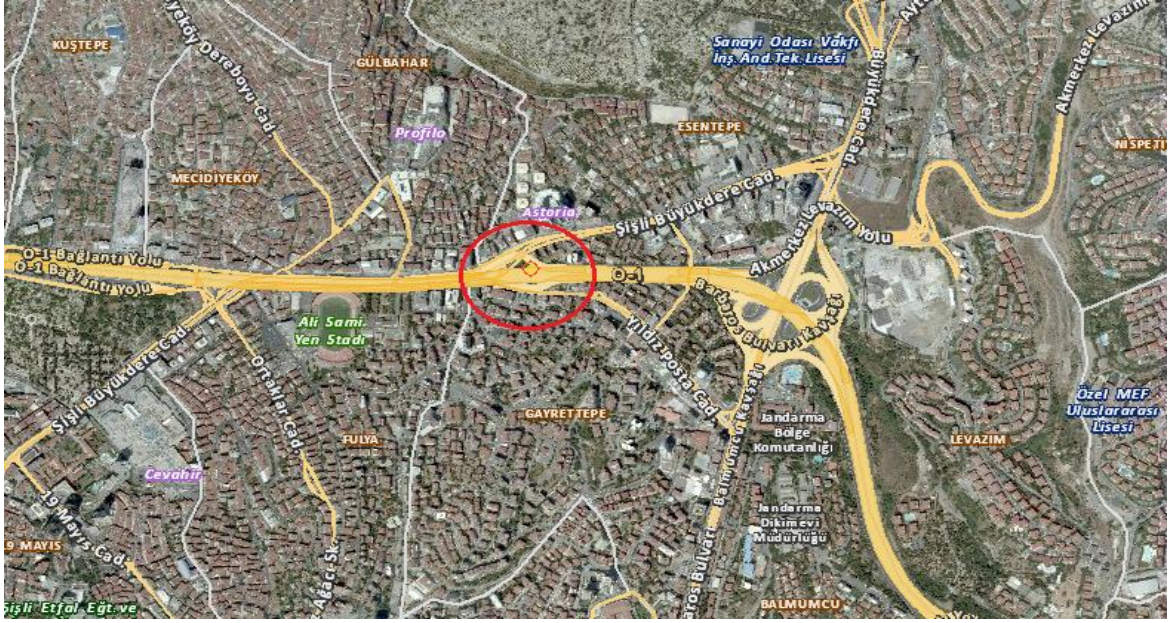
Yoğunluk oranının saat bazındaki dağılımı ise Şekil4.49’da gösterilmiştir.



Şekil 4.49: TEM-Mahmutbey Gışeler 2 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.

13. E-5 Mecidiyeköy:

Yol Durumu: İstanbul'un en önemli yollarından biri olan D100 karayolu (E-5) Boğaziçi Köprüsü – Çağlayan istikametindeki kavşak çıkış noktasında bulunan sensörümüz Şekil4.50'de gösterilmiştir. Yol karayolu olup şerit sayısı 3'tür.

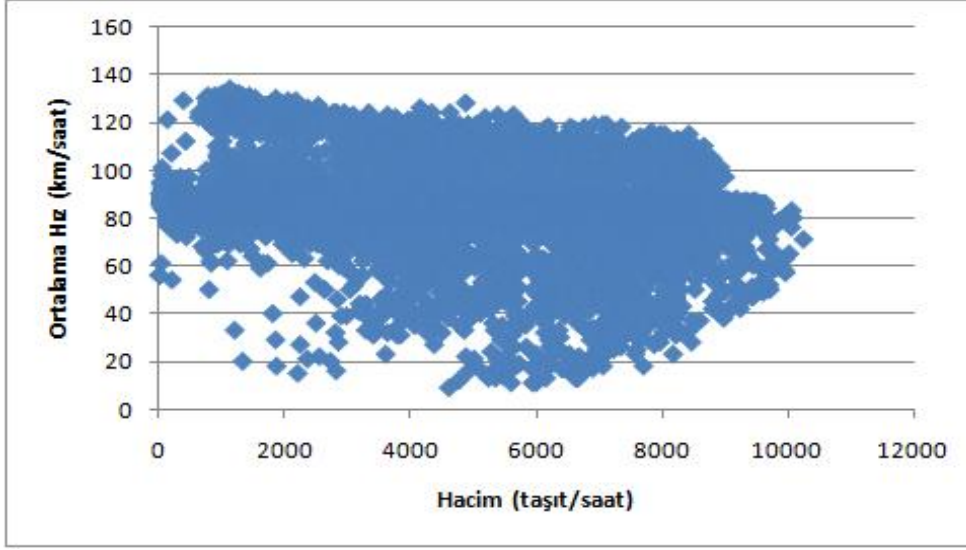


Şekil 4.50: E-5 çevreyolu Boğaziçi Köprüsü – Çağlayan istikameti.

Kapasite: Trafik akımı yönündeki her bir şerit için kapasite 1800 araç/saat olarak alınmıştır (Zhang, 1999). 3 şeritli bir karayolunun yaklaşık $1800 \times 3 = 5400$ taşıt/saat'lik bir kapasitesi vardır.

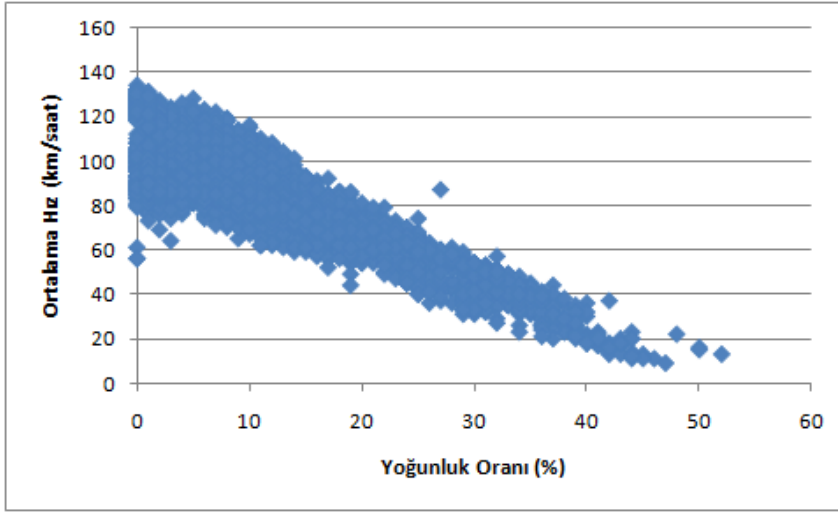
Hacim (taşıt/saat): E-5 Küçükalyalı 1 kesitinden geçen maximum araç sayısı 2008 yılında 10.256 taşıt/saat olup araçların ortalama hızı 71 km/saat'tir. 2008 yılı için saatteki ortalama araç sayısı ise 4767'dir. 2009 yılında yoldan bir saatte en fazla 8.476 araç, ortalama 78

km/saat'lik hızla geçmiştir. 2009 yılının saatlik ortalama taşıt sayısı ise 3301'dir. Her iki yılın ortalama Hacim/Kapasite oranı 0,75'dir.



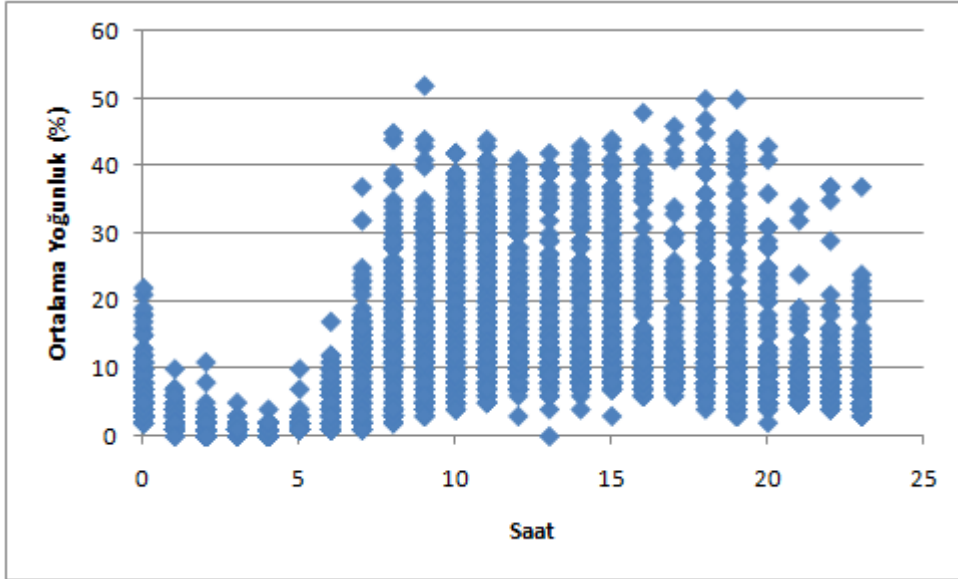
Şekil 4.51: E-5 Küçükalyalı 1 yolu için ortalama hız & hacim ilişkisi.

Trafik Yoğunluğu: E-5 Küçükalyalı 1 kesiminde ortalama yoğunluk (taşıt/km) değeri 2008 yılında 62,97 iken, 2009 yılında bu değer 48,42'ye düşmüştür. Trafik yoğunluk oranının ortalama hız ile ilişkisi Şekil4.52'de verilmiştir.



Şekil 4.52: E-5 Küçükyağ 1 yolunun ortalama hız ve yoğunluk oranı ilişkisi.

Yoğunluk oranının saat bazındaki dağılımı ise Şekil4.53'te gösterilmiştir.



Şekil 4.53: E-5 Küçükyağ 1 yolunun saat bazlı yoğunluk oranı.

4.2.2. Yakıt Tüketimi Fazlası

Yakıt tüketimi fazlası, trafik yoğunluğunun ortalama hıza bağlı etkileri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Bölüm 3.5'te anlatılan bu etkiler referans alınarak formülasyon şu şekilde yapılmıştır:

Toplam Yakıt Tüketimi Fazlası = Düşük hızdan kaynaklanan yakıt tüketimi fazlası + Yolculuk süresinin artmasından kaynaklanan yakıt tüketimi fazlası.

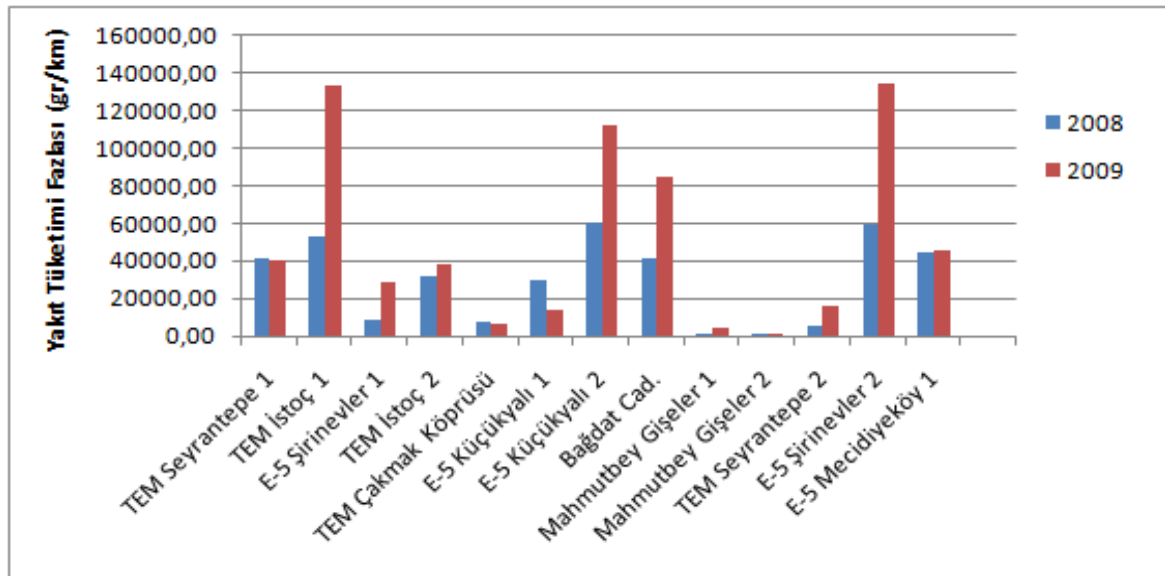
Düşük hızdan kaynaklanan yakıt tüketimi fazlası: Tablo3.1'deki hızlar referans alınarak ortalama hız verileri ile aradaki fark bulunarak hesaplanmıştır. Ancak çalışmada sadece trafik yoğunluğundan kaynaklanan yakıt tüketimi fazlası hesaplanacağı için yüksek hızlardaki artış ihmal edilmiştir.

Yolculuk süresinin artmasından kaynaklanan yakıt tüketimi fazlası: İncelediğimiz güzergâhlar otoyol, karayolu vb. ana arterler oldukları için referans hız 70 km/saat alınarak ortalama hız verileri ile kıyaslanmıştır. Yolculuk süresindeki artış, $x=v.t$ formülü kullanılarak basit şekilde yolculuk zamanındaki fark hız değerinden yola çıkılarak hesaplanmıştır. (Aynı x yolunu, v_1 hızıyla giden araç t_1 zamanında; v_2 hızıyla giden araç ise t_2 zamanında alır). Artan yolculuk süresi oranında yakıt tüketimi fazlası alınmıştır.

Bu hesaplamalara göre Tablo4.7 ve Şekil4.54 oluşturulmuştur.

Tablo 4.7: Trafik Yoğunluğundan Kaynaklanan Yakıt Tüketimi Fazlası.

Güzergâh Noktaları	Fazladan Harcanan Süre Oranı (%)		Ortalama Hızdan Kaynaklanan Yakıt Tüketimi Fazlası (gr/km)		Yolculuk Süresinin Artmasından Kaynaklanan Yakıt Tüketimi Fazlası (gr/km)		TOPLAM YAKIT TÜKETİMİ FAZLASI (gr/km)	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
TEM Seyrantepe 1	9,83	9,08	3794,28	3395,89	37106,87	36114,39	40901,15	39510,28
TEM İstoç 1	8,89	21,63	3959,61	10368,63	48526,35	123452,24	52485,96	133820,86
E-5 Şirinevler 1	4,36	10,38	541,24	1431,48	8103,48	26493,38	8644,73	27924,86
TEM İstoç 2	5,71	6,72	1160,88	1607,31	29933,63	36182,26	31094,51	37789,57
TEM Ç. Köprüsü	2,09	1,45	472,80	539,57	6653,74	5968,84	7126,54	6508,41
E-5 Küçükyalı 1	9,17	4,30	865,03	880,59	28284,10	12121,63	29149,13	13002,22
E-5 Küçükyalı 2	19,36	36,13	4279,76	10594,61	55856,82	101117,45	60136,57	111712,07
Bağdat Cad.	33,02	68,30	974,83	1895,37	39939,36	82505,88	40914,19	84401,25
Mahmutbey Gişeler 1	0,60	2,66	41,50	100,10	856,81	3324,48	898,30	3424,58
Mahmutbey Gişeler 2	0,17	0,25	61,42	51,13	626,31	683,47	687,74	734,60
TEM Seyrantepe 2	1,93	3,54	353,71	1330,99	4692,56	13980,19	5046,27	15311,18
E-5 Şirinevler 2	24,08	43,17	2794,52	12637,07	56802,11	121982,29	59596,62	134619,36
E-5 Mecidiyeköy 1	9,53	19,12	3291,98	3138,94	41390,83	42241,41	44682,81	45380,35



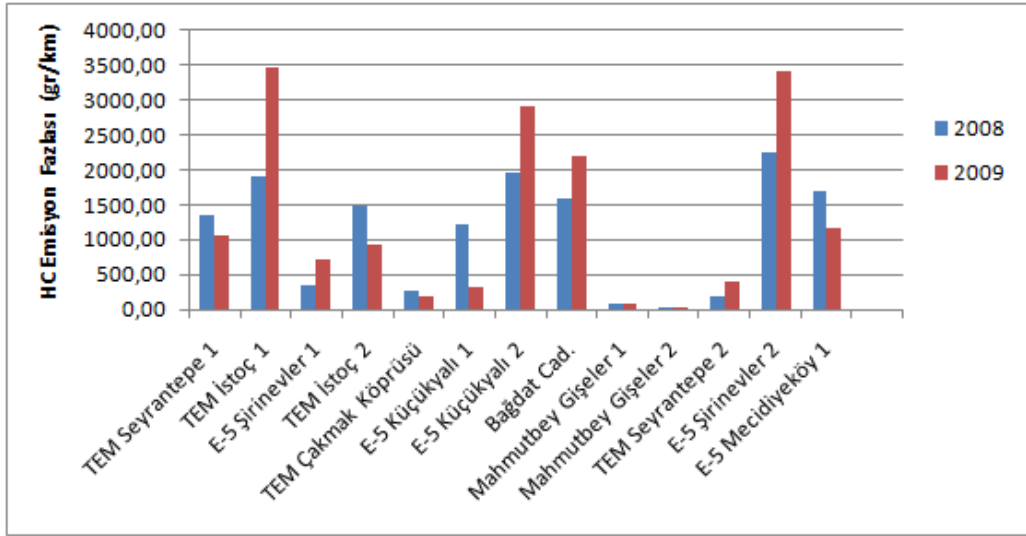
Şekil 4.54: Güzergâhların yıl bazında yakıt tüketimi fazlası.

4.2.3. Emisyon Fazlası

Bir önceki konuda anlatılan yakıt tüketimi fazlası hesap metodu emisyon miktarındaki artışın hesaplanması için de kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre oluşturulan HC Emisyon Fazlası Tablo4.8 ve Şekil4.55'te, CO Emisyon Fazlası Tablo4.9 ve Şekil4.56'da gösterilmiştir.

Tablo 4.8: Trafik Yoğunluğundan Kaynaklanan HC Emisyon Fazlası.

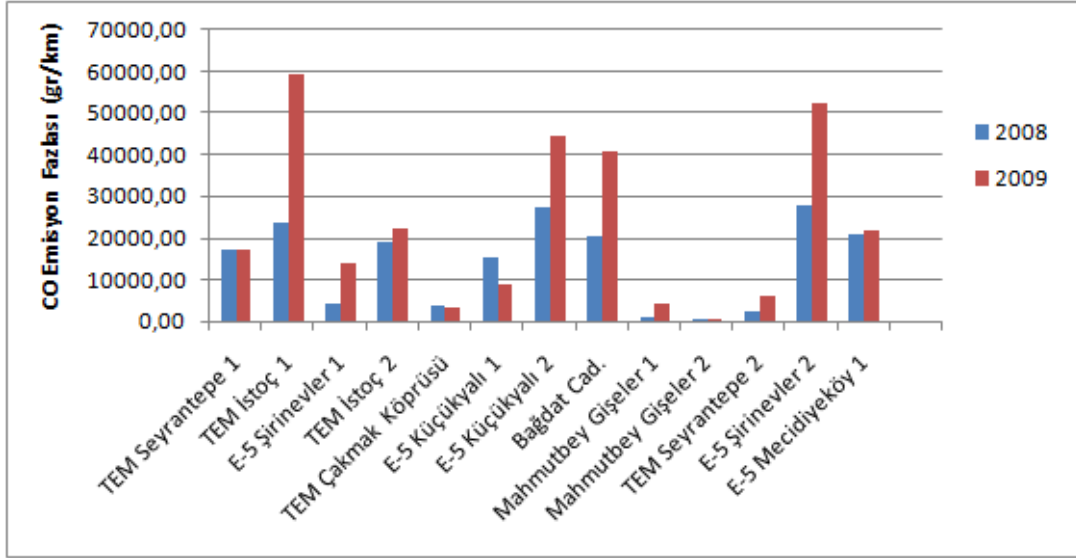
Güzergâh Noktaları	Fazladan Harcanan Süre Oranı (%)		Ortalama Hızdan Kaynaklanan HC Emisyonu Fazlası (gr/km)		Yolculuk Süresinin Artmasından Kaynaklanan HC Emisyonu Fazlası (gr/km)		TOPLAM HC EMİSYON FAZLASI (gr/km)	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
TEM Seyrantepe 1	9,83	9,08	291,11	248,28	1065,10	3513,28	1356,21	1042,06
TEM İstoç 1	8,89	21,63	569,81	1297,99	1335,06	17433,26	1904,87	3470,58
E-5 Şirinevler 1	4,36	10,38	126,91	405,82	216,85	5582,94	343,77	700,58
TEM İstoç 2	5,71	6,72	720,62	791,84	767,27	11324,70	1487,89	931,32
TEM Ç. Köprüsü	2,09	1,45	85,43	60,93	181,71	872,51	267,14	167,59
E-5 Küçükyalı 1	9,17	4,30	507,78	361,74	722,19	5102,01	1229,96	322,74
E-5 Küçükyalı 2	19,36	36,13	369,44	736,73	1589,51	9379,96	1958,96	2920,86
Bağdat Cad.	33,02	68,30	511,31	1018,13	1076,36	14487,81	1587,67	2203,71
Mahmutbey Gişeler 1	0,60	2,66	43,59	206,51	22,78	3271,66	66,37	82,46
Mahmutbey Gişeler 2	0,17	0,25	8,23	9,56	16,98	129,48	25,21	18,56
TEM Seyrantepe 2	1,93	3,54	43,87	106,34	130,08	1293,02	173,94	402,98
E-5 Şirinevler 2	24,08	43,17	745,69	1120,63	1517,44	13815,66	2263,13	3427,73
E-5 Mecidiyeköy 1	9,53	19,12	543,39	545,84	1138,79	7501,22	1682,18	1158,55



Şekil 4.55: Güzergâhların yıl bazında HC emisyon fazlası.

Tablo 4.9: Trafik Yoğunluğundan Kaynaklanan CO Emisyon Fazlası.

Güzergâh Noktaları	Fazladan Harcanan Süre Oranı (%)		Ortalama Hızdan Kaynaklanan CO Emisyonu Fazlası (gr/km)		Yolculuk Süresinin Artmasından Kaynaklanan CO Emisyonu Fazlası (gr/km)		TOPLAM CO EMİSYON FAZLASI (gr/km)	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
TEM Seyrantepe 1	9,83	9,08	3897,89	1290,34	13122,02	13636,34	17019,91	17149,62
TEM İstoç 1	8,89	21,63	7695,43	4768,57	15826,52	41787,75	23521,95	59221,01
E-5 Şirinevler 1	4,36	10,38	1791,87	1106,41	2475,71	7995,04	4267,58	13577,98
TEM İstoç 2	5,71	6,72	10365,77	1723,16	8730,47	10649,59	19096,24	21974,29
TEM Ç. Köprüsü	2,09	1,45	1196,90	228,53	2168,50	2092,81	3365,40	2965,32
E-5 Küçükyalı 1	9,17	4,30	7076,12	684,48	8310,09	3696,83	15386,21	8798,84
E-5 Küçükyalı 2	19,36	36,13	5479,37	3657,59	21961,74	35160,91	27441,12	44540,88
Bağdat Cad.	33,02	68,30	7326,89	3221,84	12863,19	26262,36	20190,09	40750,18
Mahmutbey Gişeler 1	0,60	2,66	715,03	288,97	254,27	932,99	969,30	4204,65
Mahmutbey Gişeler 2	0,17	0,25	117,50	28,12	214,30	207,13	331,80	336,62
TEM Seyrantepe 2	1,93	3,54	589,35	509,32	1590,91	4598,68	2180,26	5891,70
E-5 Şirinevler 2	24,08	43,17	10229,77	4548,36	17705,03	38550,56	27934,80	52366,22
E-5 Mecidiyeköy 1	9,53	19,12	7435,23	1704,40	13344,31	13996,91	20779,54	21498,14



Şekil 4.56: Güzergâhların yıl bazında CO emisyon fazlası.

BÖLÜM 5: İSTANBUL ULAŞIMI İÇİN YAKIT TÜKETİMİ TAHMİN MODELİ

5.1. ÇOKLU LİNEER REGRESYON ANALİZİ

5.1.1. Çoklu Lineer Regresyon Analizi Metodu

Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) metodu, doğrusal bir sistem ya da proses içerisindeki girdi ve çıktı parametreleri arasındaki nicel ilişkiyi kuran ve bu ilişkide hangi parametrelerin daha etkili olduğunu belirlemeye yardımcı olan çoklu bir istatistiksel analiz metodudur.

Lineer regresyon analizi, tanımlanan X ve Y veri setleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Eğer tanımlanan veri setleri arasındaki ilişki doğrusal ise, veriler grafik üzerinde gösterildiğinde kesişime noktalarından geçen çizgi de doğrusal olacaktır. Bu ilişki doğrusal korelasyon olarak adlandırılmakta ve $y = mx + b$ şeklinde ifade edilmektedir. Bu eşitlikteki m ve b , sırasıyla, doğrusal çizginin eğimini ve Y eksenindeki kesişim sabitini ifade etmektedir (Berthouex ve Brown 2002).

Tanımlanan bir veri seti içerisinde (x_i, y_i) n adet veri noktasında korelasyon katsayısı (R), aşağıdaki eşitlik yardımıyla ifade edilebilmektedir:

$$R = \frac{n \cdot \sum_i (x \cdot y) - \sum_i x \cdot \sum_i y}{\sqrt{\left[n \cdot \sum_i (x^2) - \left(\sum_i (x) \right)^2 \right] \cdot \left[n \cdot \sum_i (y^2) - \left(\sum_i (y) \right)^2 \right]}} \quad (5.1)$$

Basit lineer regresyonda tek bir bağımsız değişken (X) ile tek bağımlı değişken (Y) tahmin edilebilmektedir. Çoklu lineer regresyon analizi de benzer hesap yöntemleri ile birden fazla bağımsız değişkenin ($X_1, \dots, X_n$) tek bağımsız değişken (Y) ile olan doğrusal ilişkisi tespit edilebilmektedir. Fakat çoklu lineer regresyon analizinde birden çok bağımsız değişken olduğu için regresyon doğrusu iki boyutlu bir düzlemde grafiksel olarak gösterilememektedir. ÇLR analizine ait genel matematiksel ifade aşağıda verilmiştir:

$$y = m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + \dots + m_nx_n + b \quad (5.2)$$

ÇLR denkleminde her bir bağımsız değişken (X_i), bağımlı değişken (Y) ile belirli bir doğrusal korelasyona sahiptir. Bu tür korelasyona kısmi korelasyon olarak adlandırılmaktadır.

Regresyon analizinde X ve Y değişkenleri arasındaki doğrusal ilişki belirlenirken, ölçülen değerler ve bu değerler arasından geçirilen doğru arasındaki değişime fark değeri adı verilmektedir. Eğer X ve Y değişkenleri arasında herhangi bir doğrusal ilişki yok ise orijinal varyansın fark değeri varyansına oranı birdir. Eğer bu ilişki çok iyi bir şekilde tanımlanmışsa varyans oranı sıfır olarak ifade edilmektedir. Çoğu zaman verilerin varyans oranı belirtilen sıfır ve bir değerleri arasında bulunmaktadır. Bir sayısından varyans oranının çıkartılması ile de R^2 veya saptama katsayısı elde edilmektedir. Eğer R^2 değeri bire ne kadar yakınsa, değişken varyansının büyük bir kısmının ÇLR modeli ile ifade edilebildiği ortaya çıkmaktadır (Civelekoğlu 2006).

Regresyon analizinde R^2 değerinin kara kökü alınırsa elde edilen R parametresine korelasyon katsayısı adı verilmektedir. Korelasyon katsayısı ise -1 ile +1 değerleri arasında değerlendirilmektedir. Eğer katsayı değeri negatif ise, bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişkide negatiftir. Bu önermenin tersi de doğrudur. Korelasyon katsayısı sıfır ya da sıfıra yakın bir değer ise değişkenler arası iliksiden bahsetmek mümkün

değildir. Çoklu regresyon analizinde ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkın normal dağılıma uyduğu kabul edilmektedir. Her ne kadar uygulanan bazı istatistiksel testler (F istatistiği gibi) bu yaklaşıma uygun olmayan sonuçlar verse de, fark değerlerine ait normal dağılım histogramlarının oluşturularak yaklaşımın görsel olarak da test edilmesi gerekli görülmektedir (Civelekoğlu 2006).

Regresyon eşitliklerindeki değişkenlere ait katsayıların ($m_1, \dots, m_n$) aldığı negatif ve pozitif değerler, bağımlı değişken arasındaki ilişkinin bir ifadesidir. Eğer ÇLR model eşitliğindeki herhangi bir değişkene ait katsayı negatif ise, bağımlı değişken ile arasında negatif bir ilişkiden bahsedilebilmektedir (Civelekoğlu 2006).

5.1.2. Trafik Verilerinde İlişkiler ve Türetimler

Bu analizde, yol sensörlerinden alınan, Bölüm4'te detaylı olarak incelenen güzergâhlara ait yaklaşık 210.000 adet saatlik trafik verisi yıl, ay, gün, saat bazında sınıflandırılmış, ilgili alt gruplara ait veriler türetilmiştir. Sensörlerden alınan ağır ve hafif araç sayısı, ortalama hız (km/saat), yoğunluk oranı(%) verileri kullanılarak ortalama yoğunluk (taşıt/saat), yolculuk süresi artış oranı, toplam yakıt tüketimi, yakıt tüketimi fazlası, toplam HC emisyonu, HC emisyonu fazlası, toplam CO emisyonu, CO emisyonu fazlası gibi değerler hesaplanmıştır.

Elde edilen tüm veriler üzerinden aylık ortalama saatlik veriler ve ortalama saatlik veriler üretilmiştir. Yapılan analizde değişkenler arasındaki ilişkiler 24 saatlik süreç baz alınarak belirlenmiştir. 2008 verileri, SPSS 17 programında tahmin modeli geliştirmek, 2009 verileri ise bu modeli kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır.

5.1.3. Model ve Çıktılar

Model için hazırlanan veriler, SPSS 17 programında bulunan regresyon analiz aracı kullanılarak analiz edilmiş, ortalama yakıt tüketiminin gün içindeki saat aralıklarına dağılımları irdelenerek model oluşturulmuştur. Analiz kapsamında parametreler içerisinde tahmin edilecek hedef parametre bağımlı değişken olarak, diğer parametreler ise bağımsız değişkenler olarak tanımlanmıştır. Bağımlı değişkenimiz yakıt tüketimi ile bağımsız değişkenlerimiz ağır ve hafif araç sayısı, ortalama hız, işgaliet oranı, hacim ve ortalama yoğunluk oranı arasında ilişki, ilişkinin yönünü ve ilişkinin gücünü belirlemek için korelasyon analizi yapılmıştır.

Tablo 5.1: Korelasyon Analizi.

	Toplam Uzun Araç	Toplam Hafif Araç	Ortalama Hız	İşgaliet oranı (%)	Hacim (taşıt/saat)	Ortalama Yoğunluk (taşıt/km)	Toplam Yakıt Tüketimi
Toplam Uzun Araç	1						
Toplam Hafif Araç	,782**	1					
Ortalama Hız	-,621**	-,671**	1				
İşgaliet oranı (%)	,816**	,932**	-,868**	1			
Hacim (taşıt/saat)	,825**	,997**	-,680**	,940**	1		
Ortalama Yoğunluk (taşıt/km)	,807**	,954**	-,840**	,991**	,959**	1	
Toplam Yakıt Tüketimi	,790**	,936**	-,846**	,985**	,940**	,996**	1

Korelasyon analizinde;

Yakıt tüketimi ile uzun araç sayısı arasında $R= 0,79$ kuvvetli ve doğru yönde bir ilişki,

Yakıt tüketimi ile hafif araç sayısı arasında $R= 0,936$ kuvvetli ve doğru yönde bir ilişki,

Yakıt tüketimi ile ortalama hız arasında $R= - 0,846$ kuvvetli ve ters yönde bir ilişki,

Yakıt tüketimi ile işgaliyet oranı arasında $R= 0,985$ kuvvetli ve doğru yönde bir ilişki,

Yakıt tüketimi ile hacim arasında $R= 0,94$ kuvvetli ve doğru yönde bir ilişki,

Yakıt tüketimi ile ortalama yoğunluk arasında $R= 0,996$ kuvvetli ve doğru yönde bir ilişki bulunmuştur.

Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini ve ilişkinin şeklini belirlemek için çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Bu analizin sonucunda bütün değişkenlerin etkisi belirlenmiş yakıt tüketimi ile ortalama hız ve yoğunluk değerine bağlı olarak saat bazlı modeller oluşturulmuştur. Ortalama hız ve yoğunluk değerinin dışındaki değişkenler yakıt tüketimi ile ilişkili olmasına rağmen çoklu doğrusal bağlantı nedeniyle modele alınmamıştır. Yakıt tüketimini en iyi belirleyen ortalama hız ve yoğunluk değişkenlerimiz ile modeller elde edilmiştir (Tablo5.2).

Y yakıt tüketimi, x_1 ortalama hız (km/saat) ve x_2 ortalama yoğunluk (taşıt/km) olmak üzere her saat için ayrı elde edilen denklem modeli şu şekildedir:

$$Y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 \quad (5.3)$$

Tablo 5.2: Saat Bazlı Lineer Regresyon Modelleri

Saat	R ²	a	b ₁	b ₂
00:00-01:00	0,995	-56505,246	634,500	4865,008
01:00-02:00	0,996	-45036,035	505,627	4896,896
02:00-03:00	0,994	-30667,194	348,442	4867,691
03:00-04:00	0,998	-22725,369	261,231	4838,399
04:00-05:00	0,995	-22273,517	257,388	4833,389
05:00-06:00	0,997	-34949,923	405,487	4824,328
06:00-07:00	0,998	-91141,637	1042,872	4842,894
07:00-08:00	0,988	-157935,465	1871,283	4573,453
08:00-09:00	0,944	-138649,214	1340,368	4997,151
09:00-10:00	0,880	-225250,387	2193,916	5369,316
10:00-11:00	0,889	-111709,808	1168,763	4869,237
11:00-12:00	0,933	-82710,458	923,169	4718,271
12:00-13:00	0,951	-147907,290	1403,312	5129,665
13:00-14:00	0,979	-135458,485	1256,289	5148,738
14:00-15:00	0,987	-191490,258	1566,126	5264,666
15:00-16:00	0,967	-252986,261	1957,189	5954,651
16:00-17:00	0,962	-118932,606	903,951	5276,069
17:00-18:00	0,943	-121537,610	688,207	5529,281
18:00-19:00	0,979	-58919,174	-783,320	6007,572
19:00-20:00	0,949	120483,352	-2426,601	5404,559
20:00-21:00	0,951	66832,395	-950,576	4815,228
21:00-22:00	0,988	-91571,543	939,350	4965,538
22:00-23:00	0,986	-120346,579	1382,535	4800,047
23:00-00:00	0,976	-113698,472	1336,006	4755,154

2008 yılı verileri ile oluşturulan modelde 2009 yılı tahmini verileri hesaplanarak gerçek değerleri ile kontrol edilmiştir (Tablo5.3).

Tablo 5.3: 2009 yılı gerçek değerlerle modelden elde edilen değerlerin karşılaştırılması.

Saat	2009 Yılı Gerçek Yakıt Tüketim Değerleri (lt/km)	2009 Yılı Tahmin Edilen Yakıt Tüketim Değerleri (lt/km)
00:00-01:00	119,94	119,73
01:00-02:00	70,03	70,05
02:00-03:00	43,91	43,94
03:00-04:00	32,40	32,43
04:00-05:00	31,49	31,56
05:00-06:00	50,40	50,47
06:00-07:00	100,39	100,36
07:00-08:00	243,73	243,71
08:00-09:00	353,38	352,56
09:00-10:00	303,80	305,75
10:00-11:00	317,42	316,89
11:00-12:00	321,51	320,47
12:00-13:00	320,41	319,89
13:00-14:00	325,62	324,40
14:00-15:00	367,24	340,78
15:00-16:00	378,85	379,82
16:00-17:00	368,75	371,68
17:00-18:00	413,33	414,21
18:00-19:00	518,82	513,57
19:00-20:00	491,78	487,46
20:00-21:00	299,23	298,19
21:00-22:00	226,21	225,91
22:00-23:00	190,93	191,38
23:00-00:00	162,93	162,64
Günlük Toplam	6052,49	6017,83

Görüldüğü üzere 2009 yılı için tahmin edilen değerler, gerçek değerlere çok yaklaşmıştır. 2008 yılı verileri kullanılarak elde edilen modele göre 2010 yılı tahmini yakıt tüketim

değerleri de hesaplanmıştır (Tablo5.4). Yakıt tüketim modeline emisyon verilerinin uygulanmasıyla emisyon tahmin değerleri de elde edilebilmektedir.

Tablo 5.4: Modele göre 2010 yılı yakıt tüketim tahmini.

Saat	2010 Yılı Tahmin Edilen Yakıt Tüketim Değerleri (lt/km)
00:00-01:00	115,22
01:00-02:00	66,55
02:00-03:00	42,64
03:00-04:00	32,72
04:00-05:00	34,03
05:00-06:00	55,63
06:00-07:00	117,31
07:00-08:00	277,23
08:00-09:00	382,59
09:00-10:00	355,17
10:00-11:00	350,49
11:00-12:00	346,05
12:00-13:00	357,94
13:00-14:00	349,67
14:00-15:00	364,86
15:00-16:00	398,74
16:00-17:00	378,84
17:00-18:00	400,14
18:00-19:00	458,85
19:00-20:00	438,01
20:00-21:00	314,68
21:00-22:00	246,48
22:00-23:00	220,21
23:00-00:00	172,74
Günlük Toplam	6276,80

5.2. ZAMAN SERİLERİ ANALİZİ

5.2.1. Zaman Serileri ile Tahmin Metodu

Zaman serisi, bir değişkene ilişkin zamanın belli düzenli periyotlarında ortaya çıkan nümerik verilerin kronolojik dizilişle oluşan veri setleridir. Zaman serilerine ilişkin veriler stokastiktir. Diğer bir ifadeyle, zamanın belli anlarında rassal değerler alırlar ve aldıkları bu değerlerin önceden kestirilebilmesi mümkün değildir. Zaman serileri yıllık, üç aylık ve aylık periyotlarda toplanmış verilerden oluşabileceği gibi daha dar ya da daha geniş periyotlar bazında da ölçümlenebilir. Tek bir değişkene ait veri setiyle yapılan analizler tek değişkenli zaman serisi analizi olarak adlandırılmaktadır. Tek değişkenli zaman serileri analizleri genel olarak ilgili değişkenin gelecek değerlerinin tahmini amacıyla kullanılır. Bir serinin ileriki dönemlerine ilişkin tutarlı tahminlerinin yapılabilmesi bu serinin, eğer varsa, nasıl bir fonksiyonel yapı içerisinde oluştuğunun veya bu yapıya en yakın fonksiyonel formun bulunmasını gerektirir (DEMİREL 2009).

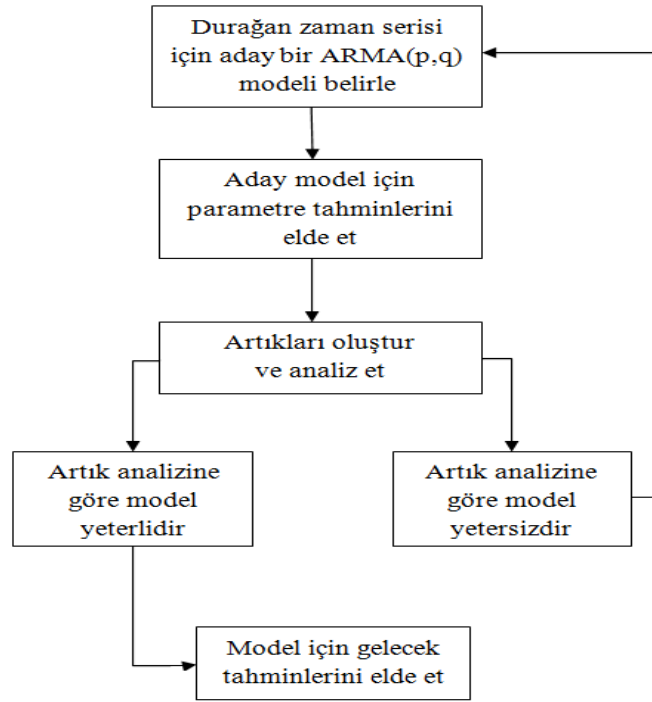
Normal şartlar altında, zaman serilerinin gerçekte nasıl bir fonksiyonel yapıya bağlı olarak oluştuğu tam olarak hiçbir zaman bilinemez. Bununla beraber, ilgili serilere ilişkin çeşitli istatistiksel test ve analiz araçları kullanılarak elde edilen bulgular yardımıyla bu fonksiyonel formlara dair ipuçları sağlanabilir.

Zaman serilerinde bir analiz ve tahmin yöntemi olan Box-Jenkins tekniği; kesikli, doğrusal stokastik süreçlere dayanır. Otoregresif (Auto Regressive-AR), Hareketli Ortalama (Moving Average - MA), Otoregresif - Hareketli Ortalama (Autoregressive-Moving Average - ARMA) ve Bütünlenen Otoregresif-Hareketli Ortalama (Autoregressive Integrated Moving Average - ARIMA), Box-Jenkins tahmin modelleridir. $AR(p)$, $MA(q)$ ve bunların birleşimi olan $ARMA(p,q)$ modelleri durağan süreçlere uygulanırken, $ARIMA(p,d,q)$ modelleri durağan olmayan süreçler için kullanılmaktadır (Hamzaçebi ve Kutay 2004).

Box-Jenkins yöntemi dört ana aşamadan oluşmaktadır. Bunlar,

- Model bulma aşaması
- Parametre aşaması
- Artık analizi aşaması
- Gelecekle ilgili tahmin yapma aşaması

olarak isimlendirilir (Günay ve diğerleri 2007).



Şekil 5.1: Box-Jenkins algoritması akış diyagramı.

i. Model bulma aşaması :

Trend içeren serilerin trendden arındırılarak ARIMA modelleri ile modellenmesidir. Bu aşama durağan zaman serisine ARMA modellerinden herhangi birinin aday olarak

belirlenmesi aşamasıdır. Burada ARMA(p,q) modelinde p ve q'nun değerin bulunması aşamasıdır. Bu değerler otoregresif ve hareketli ortalamalar sürecinin özelliklerinden yararlanarak bulunur. ARMA modelleri otokorelasyon fonksiyonu ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu sayesinde karakterize edilebilir.

ARMA modelleri, ele alınan serilerin durağan olmasını gerektirir. Diğer bir ifadeyle, serilerin trend içermemesi gerekir. Trend, uzun bir zaman devresi içerisinde, zaman serisinin belirli bir yönde gösterdiği genel eğilimdir. Trend analizi uzun bir dönem analizi olduğundan verilerin aylık veya mevsimlik olarak verilmiş olması tahlilin sonucunu etkilemeyecektir. Serinin genel eğiliminin ölçülebilmesi için, ele alınan dönemin 10 yıldan az olmaması gerekli görülmektedir. Bir serinin trendi doğrusal veya eğrisel olabilir. Ancak trendin önemli bir özelliği her iki durumda da istikrarlı oluşudur. Trendi etkileyen faktörlere bünyesel faktörler denir. Örneğin teknolojik gelişmeler, nüfustaki artış, gelirlerdeki artış, sanayi üretimindeki yükselme gibi (Günay ve diğerleri 2007).

ii.Parametre tahmin aşaması:

Box-Jenkins yönteminde aday model belirlendikten sonra parametre tahmin aşamasına geçilir. ARMA modellerinde parametrelerin tahmin edilmesinde olabilirlik fonksiyonuna dayalı yöntemler ve eğrisel en küçük kareler yöntemleridir. Bir ARMA modelinin parametreleri olabilirlik fonksiyonunun maksimize edilmesi ile ya da hata kareler fonksiyonunun minimize edilmesi ile bulunabilmektedir. Bundan başka yöntemler ile tahmin edilmesi üzerine de literatürde birçok yöntem olmasına rağmen karmaşık integrasyon işlemler gerektirdiğinden yaygın kullanım alanı bulamamıştır (Günay ve diğerleri 2007).

iii. Artık Analiz Aşaması:

Bu aşamada, bulunan ve parametreleri tahmin edilen modelin artıkları incelenir. Eğer modelin artıkları standart normal dağılımlı rastgele değişkenlerin dizisinden oluşan ak gürültü süreci ise iyi bir model olduğu sonucuna ulaşılır. Burada modelin performans ölçütü (AIC, BIC gibi) elde edilir. Ölçüt istenen düzeyde ise gelecekle ilgili tahminler yapılır. Eğer istenen düzeyde değilse model bulma aşamasına dönülerek başka bir model için aynı işlemler tekrar edilir. Performans ölçütü en iyi olan model için gelecekle ilgili tahminler yapılır. Modelin performans ölçütü olarak artık kareler toplamına dayalı Akaike Bilgi Ölçütü(AIC) ve Bayesci Bilgi Ölçütü(BIC) istatistikleri kullanılabilir. Bu istatistikler modelin parametre sayısına bağlı olarak hesaplanır. Ayrıca model kurma aşamasında bu istatistiklerden yararlanılabilir (Günay ve diğerleri 2007).

iv. Gelecek tahmini yapma aşaması:

Box-Jenkins yönteminin son aşaması, gelecekle ilgili tahmin yapma aşamasıdır. Bu aşamada zaman serileri için öngörü değerleri elde edilir. ARMA modellerinde öngörü elde etmek için kullanılan birçok yöntem literatürde bulunmaktadır. N gözlemlili bir zaman serisi verilsin. $\hat{X}_{nk}$ ile zaman serisinin k dönem sonraki tahmin değeri gösterilsin.

$$X_{n+1} = \phi_1 X_n + \phi_2 X_{n-1} + Z_{n+1} + \theta_1 Z_n + \theta_2 Z_{n-1} \quad (5.4)$$

Burada X_n ve X_{n-1} gözlenmiştir. Z_n ve Z_{n-1} yerine de tahmin edilen artıklar kullanılmıştır (Günay ve diğerleri 2007).

Box-Jenkins Yöntemi ile tahmin edilen zaman serisi modelleri; Otoregresif (AR) Modeli, Hareketli Ortalama (MA) Modeli, Otoregresif-Hareketli Ortalama (ARMA) Modeli ve Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama (ARIMA) Modelidir.

5.2.2. ARIMA(p,d,q) Modelleri

Zaman serisinin durağan olduğu durumlarda, yani sürecin ortalamasının, varyansının ve kovaryansının zamana bağlı olarak değişmediği durumlarda ARMA(p,q) veya ARMA(p,q)'nın özel hali olan AR(p) veya MA(q) modellerinden uygun olanı kullanılabilir. Ancak gerçekte zaman serilerinin ortalama ve varyansında zamana bağlı olarak bir değişim olmaktadır. Bu durum durağan olmayan durum olarak adlandırılır. Bu tip zaman serileri durağan hale dönüştürüldüğünde yukarıda bahsedilen ARMA(p,q) modelleri tahmin için kullanılabilir. Zaman serisinin durağanlaştırılması ise fark almak suretiyle yapılır. Zaman serisinin doğrusal bir trendi var ise birinci fark serisi durağan olur. Eğer zaman serisinin eğrisel bir trendi var ise farkların tekrar farkı alınarak ikinci farklar serisi durağan olur. Bu durumda model, ARIMA(p,d,q) olarak ifade edilir. Burada “d” serinin durağanlaştırma (fark alma) parametresidir (Hamzaçebi ve Kutay 2004).

5.2.3. Model Performansı

Bir modelleme işleminin başarısı (*performansı*), geliştirilen modelin temsil ettiği gerçek sistemin belirli bir giriş işaretine karşılık ürettiği çıkış ile, modelin aynı giriş karşılık ürettiği çıkış arasındaki farkın (*hata*) esas alındığı çeşitli tanımlamalara göre belirlenmektedir (Taş 2009).

Buna göre, model performansının ölçümü için kullanılan ölçülerden birincisi, gerçek sistem çıkışı ile model çıkışı arasındaki farkın karelerinin toplamıdır (*toplam karesel hata, sum squared error, SSE*).

$$SSE = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (5.5)$$

Model performansının ölçümü için kullanılan ikinci bir ölçü, 5.6 eşitliği ile verilen toplam karesel hatanın ortalaması alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır (*ortalama karesel hata, mean squared error, MSE*):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (5.6)$$

Model performansının ölçümü için kullanılan üçüncü bir ölçü, 5.7 eşitliği ile verilen ortalama karesel hatanın karekökünün alınması suretiyle belirlenen hatadır (Hataların Karelerinin Ortalamasının Karekökü(HKOK), *root mean squared error, RMSE*):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (5.7)$$

Model performansının ölçümü için kullanılan dördüncü ölçü, 5.8 eşitliği ile verilen hataların mutlak değerinin ortalamasının bulunması suretiyle belirlenen hatadır.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (5.8)$$

Model performansının ölçümü için kullanılan beşinci ölçü, 5.9 eşitliği ile verilen hataların mutlak değerinin toplamının ortalamasının 100 ile çarpılması suretiyle belirlenen hatadır.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i - y_i}{x_i} \right| * 100\% \quad (5.9)$$

Bu eşitliklerde; i ayrık veri indeksini, n hata ölçümü için kullanılan ayrık çıkış verilerinin sayısını, x_i sistemin gerçek çıkış verisini, y_i sistem modelinin çıkışını, ε_i hatayı temsil etmektedir.

Model parametrelerinin optimizasyonu için genellikle yukarıdaki eşitliklerle verilen hata tanımlarından birisi kullanılır. Model parametrelerinin tahmini, kullanılan hata ölçüsünün en aza indirilmesini esas alan algoritmalarla yapılır (Taş 2009).

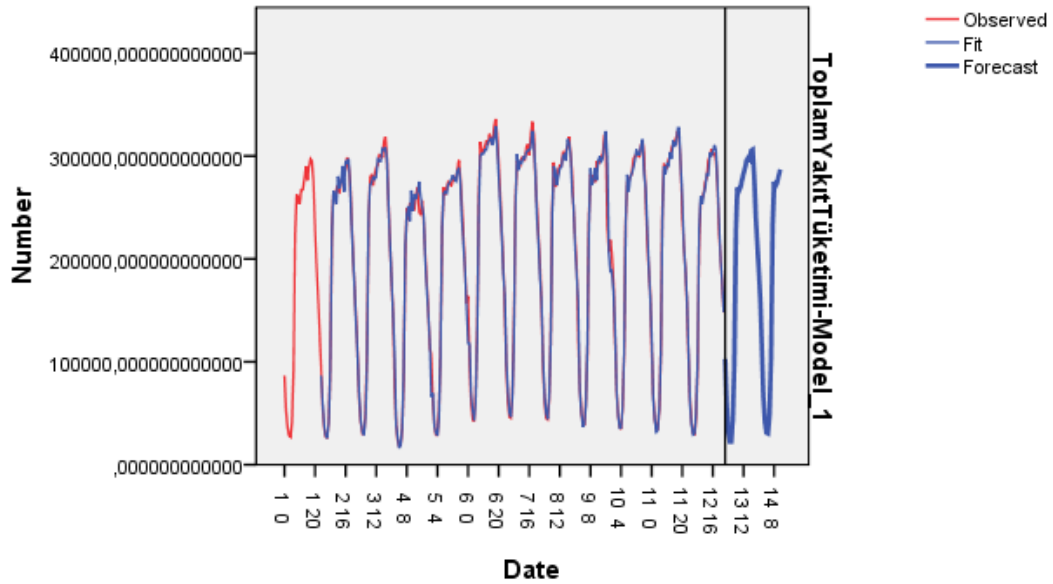
5.2.4. Model ve Çıktılar

Trafik verilerimize uygun Box-Jenkins modelinin belirlenmesi için aylık saatlik ortalama veriler alınmış, 2008 yılı verileri ile model oluşturulmuş, 2009 yılı verileri ile de test edilmiştir. SPSS 17 programı kullanılarak yapılan analizde verilerimiz için en uygun model ARIMA(1,0,2)(0,1,1) modeli olarak belirlenmiştir. Elde edilen modele ait nihai parametre tahminleri Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.5: ARIMA(1,0,2)(0,1,1) modeli.

Değişken	Tahmin	Standart Hata	t-istatistiği	Olasılık
AR (1)	,914	,028	32,636	,000
MA (2)	,144	,067	2,145	,033
MA, Seasonal (1)	,791	,062	12,750	,000
R^2	,806			
Düzenlenmiş R^2	,990			
RMSE	9990,032			
MAPE	4,135			
MAE	6637,486			

MAPE performans ölçütü dikkate alındığında bu değerin 4,135 olduğu görülmektedir. Bu da modelimizin doğruluğunu göstermektedir. Şekil5.2’de yakıt tüketim tahmini için gerçek değerler ile ARIMA modelinden elde edilen değerlerin üst üste geldiği ve durağanlık koşulunun sağlandığı görülmektedir.



Şekil 5.2: Gerçek değerler ile ARIMA modelinden elde edilen değerlerin karşılaştırılması.

BÖLÜM 6: SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada; Türkiye'nin en büyük metropolü olan İstanbul'da ana arterlerde trafik ölçümü yapan 369 yol sensöründen rasgele örnekleme yöntemiyle 13 tane seçilerek bu güzergâhların 2008 ve 2009 yıllarına ait saatlik trafik parametreleri olan Araç Hızları, Araç Sayısı, Araç Sınıflandırma ve Trafik Yoğunluk Oranı incelenmiştir.

İstanbul trafiğindeki yakıt tüketimi ve emisyon değerlerini irdelemek ve geleceğe yönelik tahmin yapabilmek amacıyla bu trafik parametreleri ile yakıt tüketimi değerleri arasında fonksiyonel bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır.

Bu araştırma sonucunda, trafik parametreleri ile yakıt tüketimi değerleri arasında istatistik yöntemlerden olan Çoklu Lineer Regresyon Analizi ve Zaman Serileri Analizi kullanılarak trafik yoğunluğuna bağlı yakıt tüketimi tahmin modeli geliştirilmiştir. Ayrıca, trafik yoğunluğundan kaynaklanan yakıt tüketimi fazlası ve emisyon fazlası olan değerler formülize edilerek hesaplanmıştır.

Çoklu Lineer Regresyon Analizi ve Zaman Serileri Analizi kullanılarak geliştirilen model ile saat bazında yakıt tüketimi tahmini yapılmıştır. Her iki model için R^2 değerleri yaklaşık 0,99 olarak bulunmuş olup bu değer modelimizin geçerliliğini ve güvenilirliğini göstermektedir.

Elde edilen sonuçlara göre 2008 yılı saatlik ortalama veriler için;

- Trafik yoğunluğundan kaynaklanan yakıt tüketimi fazlası, toplam tüketimin %13'üdür.

- Trafik yoğunluğundan kaynaklanan HC emisyon miktarı fazlası, toplam HC emisyon miktarının %24'üdür.
- Trafik yoğunluğundan kaynaklanan CO emisyon miktarı fazlası, toplam CO emisyon miktarının %28'idir.

Benzer şekilde 2009 yılı saatlik ortalama veriler için;

- Trafik yoğunluğundan kaynaklanan yakıt tüketimi fazlası, toplam tüketimin %23'üdür.
- Trafik yoğunluğundan kaynaklanan HC emisyon miktarı fazlası, toplam HC emisyon miktarının %37'sidir.
- Trafik yoğunluğundan kaynaklanan CO emisyon miktarı fazlası, toplam CO emisyon miktarının %41'idir.

2009 yılı Ocak-Ekim ayları arasındaki otomobil satışı, 2008 yılına göre %12,1 oranında artmıştır (ODD 2009). Görüldüğü üzere araç sayısındaki bu büyük artış, altyapı ve yol kapasitesinin yetersizliği gibi sebeplerle bir yılda yakıt tüketimi fazlası ve emisyon fazlası yaklaşık 2 kat artmıştır. Bu hızlı artışın gerekli önlemler alınmazsa önümüzdeki yıllarda ülkemiz ve özellikle İstanbul için ciddi problemler oluşturacağı açıktır.

Türkiye'de 2009 yılında tüketilen toplam otomotiv yakıtları 18.037.834 tondur (PETDER 2009). TÜİK verilerine göre İstanbul, Türkiye'deki araç sayısının yaklaşık %20'sini bulundurmaktadır. Bu durumda toplam akaryakıtın yaklaşık %20'si İstanbul'da tüketilmektedir. Bu verilere göre 2009 yılında İstanbul'da yaklaşık 3.607.567 ton akaryakıt tüketilmiş ve 829.740 ton akaryakıt trafik yoğunluğundan dolayı boşa harcanmıştır. 2009 yılı benzin, dizel, LPG fiyat ortalaması 2,7 TL/lt alındığında boşa giden bu tüketimin maliyeti 2.240.299.000 TL olmaktadır. Yani İstanbul'da trafik yoğunluğunun sadece yakıt tüketimi açısından bedeli her yıl yaklaşık 2,5 milyar TL'dir. Buna, emisyon salınımindan

doğan maliyetleri ve atmosfere bırakılan yanmış gazların miktarını ve bunların doğurduğu olumsuz sonuçları ilave ettiğimizde maliyet çok daha büyük boyutlara ulaşacaktır.

Akaryakıt fiyatının ve araç sayısının her geçen yıl arttığı ülkemizin, petrol konusunda %90 dışa bağımlılığı göz önüne alındığında trafik yoğunluğunun ülke ekonomisine vermiş olduğu zarar daha açık ortaya çıkmaktadır.

Trafik yoğunluğunun sosyal, psikolojik ve ekonomik etkileri de göz ardı edilmemelidir. İnsanların ruhsal sağlığının bozulması, trafik kazası oranının artması, araç bakım maliyetlerinin yükselmesi, iş gücü kaybı ve boşa harcanan zaman da ülke ekonomisine büyük zararlar vermektedir.

2010 yılında yaptığımız bu çalışma, Avrupa Kültür Başkenti İstanbul'un en önemli sorunu olan trafik yoğunluğunun çözümü için ufak bir adım olup, elde edilen çıktıların bu alandaki akademik çalışmalara zemin hazırlayacağı, belediye ve ilgili kurumların ulaşım politikaları ve uygulamalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

6.2. ÖNERİLER

Ulaşımda enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik olarak, yurt içinde üretilen araçların birim yakıt tüketimlerinin düşürülmesine, araçlarda verimlilik standartlarının yükseltilmesine; toplu taşımacılığın yaygınlaştırılmasına, gelişmiş trafik sinyalizasyon sistemlerinin kurulmasına, yüklerin karayolu dışındaki ulaştırma tipleri ile taşınmasının özendirilmesine yönelik çalışmaların etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ancak ulaşım sektöründeki yakıt ekonomisi, taşıt verimliliği ve teknolojinin ötesindedir. Uzun vadede çözüme, şehir ve ulaşım planlarının doğru yapılması ve uygulanması ile ulaşılabilir.

Önümüzdeki yıllarda karayolu taşımacılığı temelde petrole bağımlı olmaya devam edecektir. Ülkemizin petrol konusunda dışa bağımlılığı düşünüldüğünde, taşıt tasarımında yapılacak iyileştirmelerin yanı sıra alternatif yakıtlar, verimliliği arttırmada ve zararlı emisyonları azaltmada önemli rol oynayabilir. Ayrıca taşıtların emisyon ve yakıt ekonomisini etkileyen faktörlerin, üreticilerin dışında tüketiciye de bağılı olduğunun bilinmesi, bu konuda tüketicilere sunulan eğitim olanaklarının geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Sürdürülebilir gelişme ve sektörlerin çevresel etkilerinin önem kazandığı bu dönemde sektörel bazda enerji verimliliğinin sağlanması, Kyoto Protokolüne taraf olmamız durumunda ulaştırma sektörü açısından salınım hedeflerinin indirgenmesi için de en etkin yöntem olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akbaş, A., 2009. Toplu Ulaşımında Akıllı Sistem Çözümleri, Toplu Ulaşımında Akıllı Sistemler ve Uygulamaları Akyolbil Sistemi Paneli, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul.
- Akbaş, A., Tektaş, N., Tektaş, M., 2002. “Trafik Sıkışıklıklarının Analizi; Sanal Ortamda Katılım Denetimi Üzerine Bir Eğitim Çalışması”, II. Uluslararası Eğitim Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, Sakarya, 1-16.
- Akçelik, R., 2003. “Speed-Flow Models for Uninterrupted Traffic Facilities”, Akcelik and Associates, Technical Report, www.sidrasolutions.com/traffic_resources_downloads.htm.
- Aktaş, S., 2008. Egzoz emisyonlarının dünyadaki evrimi günümüzün dizel motor teknolojileri ve askeri araçlardaki etkileri”, Ankara.
- Altun, İ., 2003. Sinyalize Kavşaklarda Trafik Akım Etkileşimleri. Dokuz Eylül Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Ayvaz, Z., 1996. Türkiye’de Ulaşım Mühendisliğine İhtiyaç, Ekoloji Çevre Dergisi, Sayı:20.
- Başkan, Ö., Ceylan, H., Haldenbilen, S., Ceylan, H. Kentiçi Yollarda Hız Yoğunluk Kapasite İlişkisi ve Kapasite Kullanım Oranının Belirlenmesi. 5. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu Bildiri Kitabı Sf 159-169.
- Batmaz, İ., 1999. “Benzin Motorlu Taşıtlarda Yol-Yakıt Ekonomisi İlişkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara, 1–50.
- Berthouex PM, Brown LC 2002 Statistics for Environmental Engineers. CRC Press LLC, Florida.
- Bunevska, J., Todorova, M., Speed-Flow Regression Models For Interrupted Traffic Stream: A Case Study, University of Bitola Technical Faculty Department Of Traffic and Transport Engineering, Ivo Lola Ribar bb, Bitola, R. Macedonia

Ceylan, H., Karaşahin, M., Haldenbilen, S., Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkelerde Ulaşım: Yenilenebilir Enerjiye Karşın Enerji Azal(t)ımı. <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/3123.pdf>

Civelekoğlu, G., 2006. Arıtma Proseslerinin Yapay Zeka ve Çoklu İstatistiksel Yöntemler İle Modellenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

DEK-TMK, 2006. Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi, Enerji İstatistikleri, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara.

Demirel, Ö., 2009. Anfis ve Arma Modelleri ile Elektrik Enerjisi Yük Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Doğan, P., 2009. Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Hava Kirliliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, Eskişehir.

Doğan, F., Kitapçıoğlu, G., İzmir İlinde Hava Kirliliğinin Yıllar İtibariyle Karşılaştırılması. Ege Tıp Dergisi / Ege Journal of Medicine 46(3) : 129 -133, 2007

Dülgeroğlu, A., Trafik ve Çevre Etkisi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

EÖİKR, 2006. Enerji Özel İhtisas Komisyonu Raporu, DPT, Ankara,

ETKB, 2007. Enerji Bakanlığı, <http://www.enerji.gov.tr>.

Fidan, A., 2010. Taşıtlarda Yakıt Ekonomisi, http://www.gazetecanik.com/author_article_detail.php?article_id=199

Greenshields B. D., 1935. "A Study of Traffic Capacity", Highway Research Board Proceedings, vol.14, pp: 448-477.

Günay, S.; Eğrioğlu, E.; Aladağ, Ç., 2007. "Tek Değişkenli Zaman Serileri Analizine Giriş", Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, Türkiye, 68-77.

Gürsoy, M., Yüksel, H., Kentiçi Kavşak Bölgelerinde Trafik Akım Hızlarının Belirlenmesine Yönelik Bir Analiz
http://ius.imoizmir.org.tr/ius_bildiriler/60_k14_ius_gursoy_yuksel.pdf

Haldenbilen, S., Ceylan H., 2005. The Development of a Policy for Road Tax in Turkey, Using a Genetic Algorithm Approach for Demand Estimation, Transportation Research 39A, 861-877.

Haldenbilen, S., 2003. Genetik Algoritma Yaklaşımı İle Türkiye İçin Sürdürülebilir Ulaştırma Göstergelerinin Analizi ve Planlanması, PAU Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli

Hamzaçebi, C.; Kutay, F., 2004. “Yapay Sinir Ağları İle Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 Yılına Kadar Tahmini”, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 228.

Haworth, N., Symmons, M., 2001. “The Relationship between Fuel Economy and Safety Outcomes”, Monash University Accident Research Centre, Report No 188.

IEA-WEO, 2004. International Energy Agency-World Energy Outlook.

Karayolları Ders Notları, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

Karayolu Ulaşım İstatistikleri, 2008. Karayolları Genel Müdürlüğü Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, Ankara

Litman, T.A., 2003. “Transportation Cost and Benefit Analysis. Techniques, Estimates and Implications”, Victoria Transport Policy Institute.

MMO, 2008. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği Oda Raporu, Ankara.

ODD, Otomotiv Distribütörleri Derneği, 2009. Avrupa Binek Otomobil Pazarı, Ocak-Ekim 2009/2008.

OECD/IEA, Head of Publications Service, OECD, Fransa.

Otoyollar ve Devlet Yollarının Trafik Dilimlerine Göre Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri ve Ulaşım Bilgileri, Mayıs 2009. Karayolları Genel Müdürlüğü Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, Ankara

Özgür, N., 2008. “Ulaştırma Sektöründe Enerji Verimliliği”, <http://www.elektrikport.com>.

Özkan, M., Yavaşlıoğlu, İ., Seyir Hızı ve Seçilen Vites Kademesinin Yakıt Tüketimi Üzerine Etkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Öznur, F.D., 2009. Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Arttırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik ve Gelişme Alanları, EİE, Ankara.

Öznur, F.D., 2008. Genel Enerji Durumu ve Yasal Düzenlemeler, EİE, Ankara.

Öztürk, M., 2005. Araçlarda Verimli Yakıt Kullanma Kılavuzu, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

Öztürk, Z. Karayolu Şehiriçi Trafikte Tıkanma Maliyeti <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/11166.pdf>

Petrol Ürünleri Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2000.

Pekin, M. A., 2006. Ulaşım Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

PTRC, A.M.Caceres and J.V. Gredilla, 1994. “Assesement of Congestion Costs in Madrid”, The 22nd European Transport Forum, Transport Policy and its Implementation: Volume 1, 12-16 September.

Şahin, M., 2008. İklim Değişikliğine Neden Olan Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılmasında Enerji Verimliliğinin Önemi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara

Taş, Ü., 2009. “Fizyolojik Sistemlerin Yapay Zekâ Teknikleri Kullanılarak Modellenmesi ve Kontrolü İçin Eğitim Amaçlı Bir Simülatör Tasarımı”, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 10-13.

Tektaş, M., 2010. Weather Forecasting Using ANFIS and ARIMA MODELS. A Case Study for Istanbul, Environmental Research, Engineering and Management, Vol 51, No 1.

Tektaş, M., Akbaş, A., Topuz, V., “Yapay Zeka Tekniklerinin Trafik Kontrolünde Kullanılması Üzerine Bir İnceleme”, I. Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, Ankara, 551-559, 2002.

Tektaş, N., 2002. Kentiçi Transit Yollarda Trafiğin Optimizasyonu-İstanbul İçin Bir Uygulama, Doktora Tezi, M.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Tercan, Ş. H., Gedizlioğlu, E., 2003. Kent İç Trafik Akım Hızının Modellenmesi. İTÜ Dergisi/d mühendislik Cilt:2, Sayı:4, 35-44

Tırıs, M., 2007. Sürdürülebilir Ulaştırma Elektrikli Taşıt, Hibrid Elektrikli Taşıt ve Alternatif Yakıt Teknolojileri, İstanbul.

Türkiye’de Enerji ve Geleceği İTÜ Görüşü, Nisan 2007, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Ulaştırma Sektöründe Enerji Verimliliği. Mühendis ve Makine. Cilt : 49 Sayı: 581

Ulaşım ve Trafik Politikalarında Planlama Gerekliği Oda Raporu. http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/7898dd0f8f970b2_ek.pdf

Underwood R. T., 1961. “Speed, Volume, and Density Relationships: Quality and Theory of Traffic Flow”, Yale Bureau of Highway Traffic, pp: 141-188.

Uzunkaya, C. 2008. Türkiye’de Karayolu Ulaşımı ve Geleceği, Karayolu 1. Ulusal Kongresi, Ankara.

V.D.Ç.G., 2005. İstanbul'un Ulaşım ve Trafik Sorunu - Üçüncü Çevre Yolu ve Boğaz Geçişi, İstanbul.

Vecdi Diker Çalışma Grubu. İstanbul'un Ulaşım ve Trafik Sorunu - Üçüncü Çevre Yolu ve Boğaz Geçişi. <http://www.vecdidiker.org/rapor2.html>

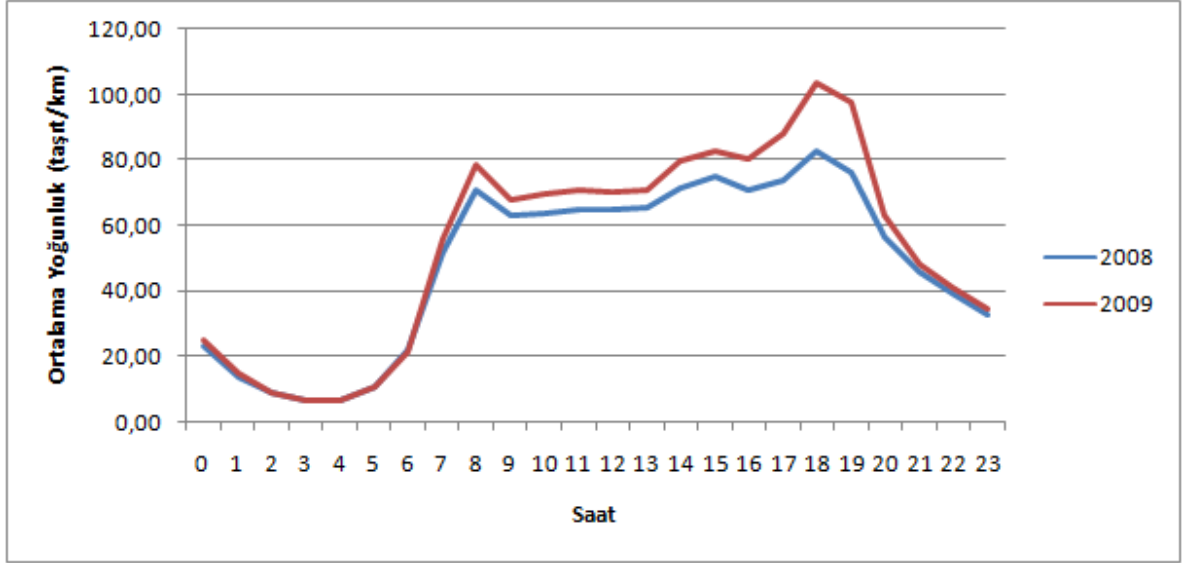
Yetişkul, E., Şenbil, M., Kentsel Ulaşım Sektöründe Enerji Verimliliği: Uluslararası Bir Karşılaştırma. METU JFA 2010/1

Yıldırım, B., 2010. Ulaştırma Bakanlığı 3. Köprü Güzergâhı Basın Açıklaması.

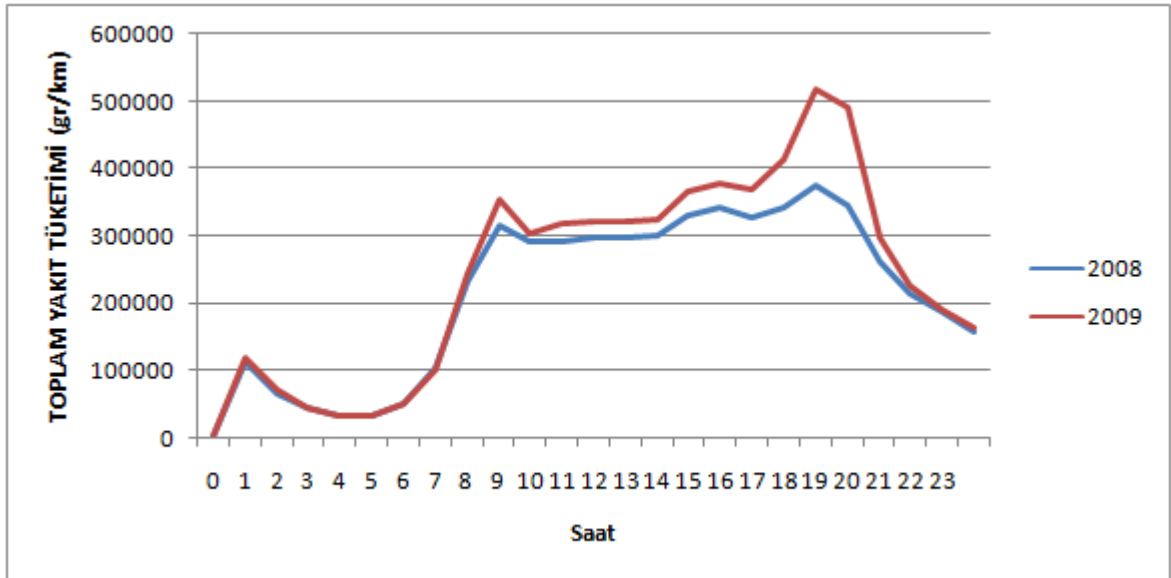
Yüksel, H., 2005. İstanbul'da Özel Otomobiller İçin Bir Teorik Tıkanıklık Fiyatı Hesaplama Modeli Önerisi, Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 2005/4

[online] <http://tkm.ibb.gov.tr>

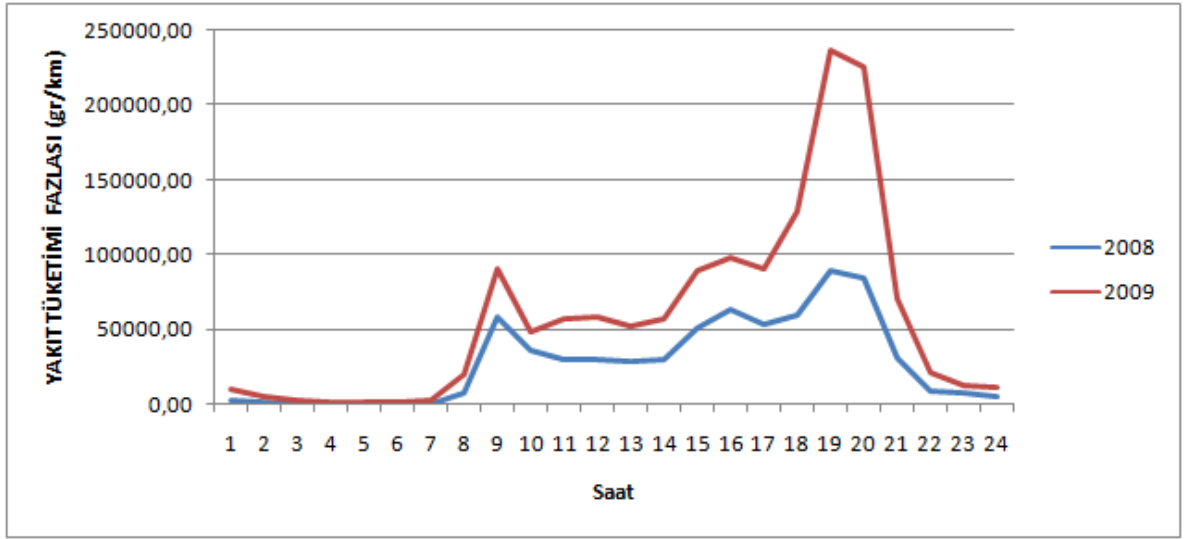
EK 1 – YILLIK ORTALAMA SAATLİK DEĞERLER



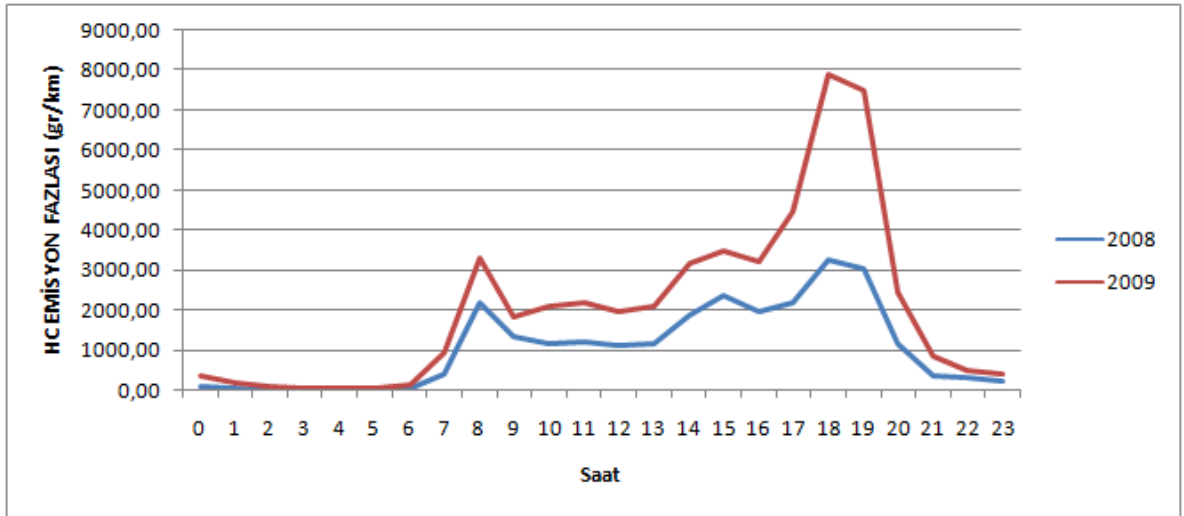
Şekil 7.1: Yıl bazında ortalama yoğunluk.



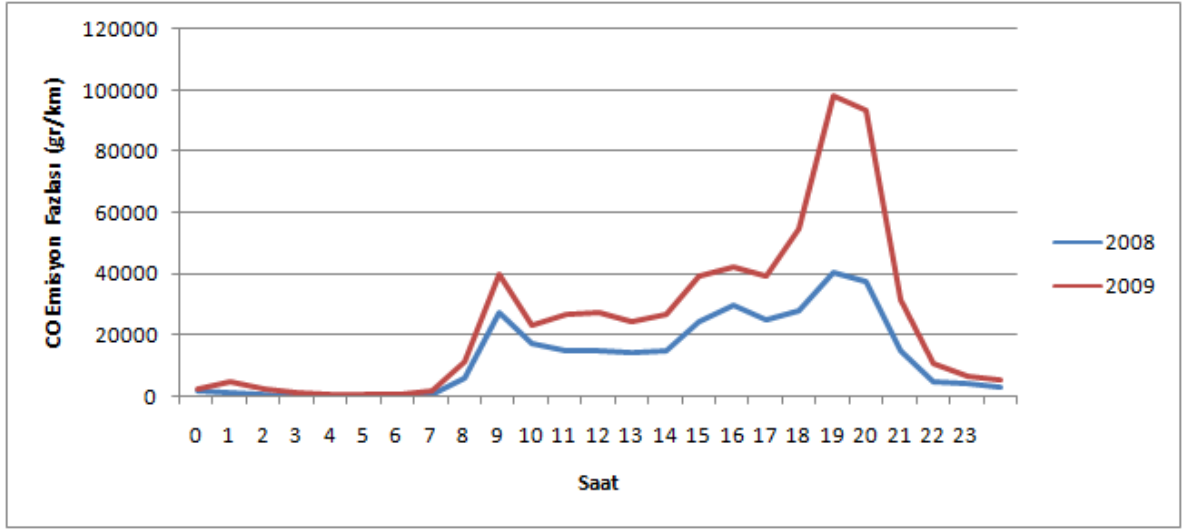
Şekil 7.2: Yıl bazında toplam yakıt tüketimi.



Şekil 7.3: Trafik yoğunluğundan kaynaklanan yakıt tüketimi fazlası.



Şekil 7.4: Trafik Yoğunluğundan kaynaklanan HC emisyon fazlası.



Şekil 7.5: Trafik yoğunluğundan kaynaklanan CO emisyon fazlası.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Reyyan KAVAK YÜRÜK

Sürekli Adresi : Mardin Artuklu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Yenişehir Yerleşkesi, Mardin

Doğum Yeri ve Yılı : Kurtalan-Siirt/1981

Yabancı Dili : İngilizce

İlk Öğretim : Ali Emiri İlkokulu, Diyarbakır - 1992 / Batman İmam Hatip Lisesi, Batman - 1995

Orta Öğretim : Diyarbakır İmam Hatip Lisesi, Diyarbakır - 1999

Lisans : Ankara Ün. Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Ankara - 2004

Y. Lisans : Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara - 2006

Çalışma Hayatı : Mardin Artuklu Üniversitesi, Uzman (2009 -)
İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Fizikçi (2007 - 2009)
Mikrobim Yazılım Şirketi, Yazılım Uzmanı (2005 - 2006)
Goldsoft Yazılım Şirketi, Programcı (2004 - 2005)