T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YOL GEOMETRİK STANDARTLARININ KARAYOLU İŞLETME MALİYETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

SONER CANVER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ULAŞTIRMA PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. HALİT ÖZEN

İSTANBUL, 2018

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YOL GEOMETRİK STANDARTLARININ KARAYOLU MALİYETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Soner CANVER tarafından hazırlanan tez çalışması 27.12.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Halit ÖZEN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Halit ÖZEN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr.Ögrt.Üyesi Yavuz DELİCE

Yalova Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana yardımcı olan yalnızca eğitimim süresince değil, hayatın diğer alanlarında da fikirleriyle, destekleriyle beni yönlendiren ve hayata bakış açısı ile bana ilham veren tez danışmanım ve kıymetli hocam Doç. Dr. Halit ÖZEN'e en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca, bu tezi bitirmemde desteklerini hiç bir zaman ve hiçbir koşulda esirgemeyen yüksek lisans eğitiminin bana en büyük armağanları olan dostlarım Abdulsamet SARAÇOĞLU ve Abdullah MALTAŞ'a teşekkür ederim.

Son olarak bu buhranlı süreçte bana sonsuz anlayış gösteren, destek veren, çayımı bile eksik etmeyen hayatımın anlamı, sevgili eşim Tuba CANVER'e teşekkür ederim.

Aralık, 2018

Soner CANVER

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

ÇİZELGE LİSTESİ xii

ÖZET xiv

ABSTRACT xvi

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Hipotez 2

BÖLÜM 2

KARAYOLU İŞLETME MALİYETLERİ 4

2.1 Taşıt İşletme Maliyetleri 4
2.1.1 Yakıt Maliyeti 5
2.1.1.1 Yuvarlanma Direnci 10
2.1.1.2 Hava Direnci 10
2.1.1.3 Eğim Direnci 11
2.1.1.4 Kurba Direnci 11
2.1.1.5 Eylemsizlik (İvme) Direnci 12
2.1.2 Yağ Maliyeti 12
2.1.3 Lastik Maliyeti 12
2.1.3.1 Winfrey Lastik Maliyetlerinin İncelenmesi 17
2.1.3.2 Lastik Maliyetinde Yolun Etkisi 18
2.1.4 Bakım ve Onarım Maliyeti 19
2.2 Emisyon Maliyeti 23

2.2.1 Ortalama Hız 26
2.2.2 Tekli Emisyon Faktörleri 27
2.2.3 Yakıt Tüketimi 27
2.3 Yol Güvenliği Maliyeti 27
2.4 Zaman Kaybı Maliyeti 33
2.4.1 Zaman Değeri Perspektifleri 34
2.4.2 Hizmet Düzeyi Oranları 36
2.4.3 Seyahat Süresi Değerleri 37

BÖLÜM 3

KARAYOLU İŞLETME MALİYETLERİNİN BELİRLENMESİ 41

3.1 HDM-4 Yazılımının Amaçları 40
3.2 HDM-4 Kalibrasyonu 41
3.3 Veri Gereksinimi 42
3.4 Yol Kullanıcı Maliyetleri 42
3.5 HDM-4 Yazılımının Kullanılması 44

BÖLÜM 4

GELİBOLU-ANIT GÜZERGAHININ İŞLETME MALİYETLERİNİN İNCELENMESİ 46

4.1 Uygulama Girdileri 46
4.1.1 Hizmet Ömrü ve Eşdeğer Taşıt Standartları 48
4.1.2 Direnim Kuvvetleri 51
4.1.2.1 Aerodinamik Kuvvet 51
4.1.2.2 Yuvarlanma Direnci 53
4.1.3 Taşıt Filosu Maliyet Girdileri 54
4.1.4 Seyahat Süresi Girdileri 55
4.1.5 Emisyon Girdileri 58
4.1.5.1 Karbonmonoksit 58
4.1.5.2 Sülfür dioksit 59
4.1.5.3 Nitrojen oksit 59
4.1.5.4 Hidrokarbonlar 59
4.1.5.5 Partiküller 60
4.1.5.6 Kurşun 60
4.1.5.7 Karbondioksit 60
4.1.6 Yol Güvenliği Girdileri 61
4.1.7 Yol Geometrisi Girdileri 62
4.1.8 Yol Trafik Girdileri 64
4.2 Uygulama Çıktıları 66
4.2.1 Yol Kullanıcı Maliyetleri 66
4.2.2 Kaynaklar ve Taşıt Performansları 71
4.2.3 Emisyon Miktarları 73
4.2.4 Duyarlılık Analizleri 74
4.2.4.1 Pürüzlülük Analizleri 75
4.2.4.2 Trafik Analizi 79
4.2.4.3 Yatay ve Düşey Geometri Analizi 81

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER 86

KAYNAKLAR 87

ÖZGEÇMİŞ 89

SİMGE LİSTESİ

D_y	Yuvarlanma direnci
Q	Taşıtın ağırlığı
μ_r	Yuvarlanma direnci katsayısı
D_h	Hava direnci
C	Taşıt yüzeyinin düzgünlük derecesine göre değişen bir boyutsuz katsayı
ρ	Deniz seviyesinde havanın özgül kütlesi
F	Taşıtın hareket doğrultusuna dik düzlem üzerindeki izdüşüm alanı
V	Taşıtın hızı
D_e	Eğimden kaynaklanan direnç
α	Yolun yatayla yaptığı açıdır
D_α	Eylemsizlik direnci
γ	Hızlanma ivmesi
V_{WR}	Dış kaplamanın aşınan hacmi
E_{SLIP}	Kayma enerjisi
S_{WE}	Kayma enerji–aşınma katsayısı
D_S	Kaymaya maruz kalınan mesafe
F_H	Toplam yatay kuvveti
S	Kayma oranı
M	Çekici kuvvet oranı
F_V	Düşey yük
TPE	Egzoz borusundan çevreye yayılan emisyon miktarı
EOE	Motorun yanma işlemi sırasında açığa çıkan emisyon
CPF	Katalitik dönüştürücü fraksiyonu
EOE_{CO}	Motorun km başına saldığı emisyon miktarı
a_{CO}	Tüketilen gram yakıtın motor salınımı yapılan karbonmonoksit miktarı
FC	Km başına düşen yakıt tüketimini
EOE_{SO2}	Motorun salınım yaptığı SO_2 miktarı
a_{SO2}	Tüketilen gram yakıtın motor salınımı yapılan kükürtdioksit miktarı
EOE_{No}	Motorun salınım yaptığı NOx miktarı
a_{Nox}	Tüketilen gram yakıtın motor salınımı yapılan nitrözoksit miktarı
EOE_{HC}	Motorun salınım yaptığı HC miktarı
a_{HC}	Tüketilen gram yakıtın motor salınımı yapılan hidrokarbon miktarı
EOE_{Pb}	Motorun salınım yaptığı Pb miktarı

a_{PM} Tüketilen gram yakıtın motor salınımı yapılan kurşun miktarı

KISALTMA LİSTESİ

AASHTO	The American Association of State Highway and Transportation Officials
ACCNO	Number Of Accidents On The Section
ADT	Average Daily Traffic
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
CO	Karbonmonoksit
GSKD	Gayri Safi Katma Değer
HC	Hidrokarbon
HDM	Highway Development and Management
IDAS	Intelligent Transportation Systems Deployment Analysis System
LEN	Length Of The Section
LOS	Level Of Service Ratings
PCSE	Passenger Car Space Equivalent
PSI	Present Serviceability Index
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Yakıt tüketimi – Hız ve Eğim Grafiği [5] 5
Şekil 2. 2 Düşey profil ve itici güç grafiği [7] 8
Şekil 2. 3 Yakıt tüketimi – Hız grafiği [8] 9
Şekil 2. 4 Lastik türlerine göre aşınma miktarı [10] 16
Şekil 2. 5 Çarpışma hızına göre trafik kazalarındaki ölüm riski [12] 32
Şekil 2. 6 Kuvvet modeline göre hızdaki yüzdelik değişim ve kazalardaki yüzdelik değişim arasındaki ilişki [12] 33
Şekil 3. 1 HDM-4 Program Arayüzü [17] 45
Şekil 4. 1 Gelibolu-Eceabat-Abide ve Anıt Devlet Yolu konumu 47
Şekil 4. 2 Projeye ait tip enkesit 48
Şekil 4. 3 Taşıt hizmet ömür – giderler grafiği [18] 49
Şekil 4. 4 Hizmet ömrü – yol pürüzlülüğü ilişkisi [18] 50
Şekil 4. 5 Eşdeğer taşıt mesafesi (PCSE) [18] 51
Şekil 4. 6 Çalışan sayılarının Türkiye toplamı içindeki bölgesel yüzdesi (2011) [20] ... 55
Şekil 4. 7 Bölgesel gayri safi katma değerleri(2011) [20] 56
Şekil 4. 8 Kot Farkı (Rise&Fall) şematik gösterimi 62
Şekil 4. 9 Yatay Eğrilik (Horizontal Curvature) şematik gösterimi 63
Şekil 4. 10 Hız akış modeli [18] 64
Şekil 4. 11 Toplam yol kullanıcı maliyetleri yüzdeleri 66
Şekil 4. 12 Otomobil için yol kullanıcı maliyetleri 68
Şekil 4. 13 Orta yüklü ticari taşıt için yol kullanıcı maliyetleri 68
Şekil 4. 14 Kamyon için yol kullanıcı maliyetleri 69
Şekil 4. 15 Tır için yol kullanıcı maliyetleri 69
Şekil 4. 16 Otobüs için yol kullanıcı maliyetleri 70
Şekil 4. 17 Taşıt filosu için ortalama yol kullanıcı maliyetleri 70
Şekil 4. 18 Taşıt bazında yakıt tüketimi (litre/km) 72
Şekil 4. 19 Taşıt bazında CO_2 salınımı (gram/km) 74
Şekil 4. 20 Otomobil için pürüzlülük – yol kullanıcı maliyeti ilişkisi 76
Şekil 4. 21 Orta yüklü ticari taşıt için pürüzlülük – yol kullanıcı maliyeti ilişkisi 76
Şekil 4. 22 Kamyon için pürüzlülük – yol kullanıcı maliyeti ilişkisi 77
Şekil 4. 23 Tır için pürüzlülük – yol kullanıcı maliyeti ilişkisi 77
Şekil 4. 24 Otobüs için pürüzlülük – yol kullanıcı maliyeti ilişkisi 78
Şekil 4. 25 Farklı hız ve pürüzlülük değerlerine göre yol kullanıcı maliyetleri 78
Şekil 4. 26 Otomobil için trafik hacmine bağlı yol kullanıcı maliyetleri 80

Şekil 4. 27 Orta yüklü ticari taşıt için trafik hacmine bağlı yol kullanıcı maliyetleri..... 80
Şekil 4. 28 Tır için trafik hacmine bağlı yol kullanıcı maliyetleri 81
Şekil 4. 29 Otobüs için trafik hacmine bağlı yol kullanıcı maliyetleri..... 81

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Kaplama cinsine göre taşıt işletme maliyetleri [5] 6
Çizelge 2. 2 IDAS Yakıt Tüketim Oranları [8] 9
Çizelge 2. 3 Kaplamalara göre yuvarlanma katsayısı [5] 13
Çizelge 2. 4 Kayma-enerji lastik aşınma modeli katsayıları [10] 15
Çizelge 2. 5 Kayma-enerji lastik aşınma modeli katsayıları [10] 15
Çizelge 2. 6 Lastik maliyeti dengeleme faktörleri yüzey koşullarına bağlı değişimi 19
Çizelge 2. 7 Bakım ve Onarım Maliyeti Bileşenlerinin Sınıfılandırılması [10] 20
Çizelge 2. 8 Bakım ve onarım maliyetlerinin yüzdelik analizi [10] 21
Çizelge 2. 9 Yol yüzey koşulları için bakım ve onarım masrafı dengeleme faktörleri . 22
Çizelge 2. 10 Emisyon model katsayıları [10] 24
Çizelge 2. 11 Ağır taşıtlar için ortalama emisyon oranları [10] 25
Çizelge 2. 12 Motor tiplerine göre emisyon oranları [10] 26
Çizelge 2. 13 Yol hizmet düzeyi – Kaza sayıları[10] 29
Çizelge 2. 14 Zaman kaybı hesabı için kullanılan perspektifler [13] 34
Çizelge 2. 15 Etkin hız tahmininde kullanılan parametreler [13] 35
Çizelge 2. 16 Hizmet düzeyi faktörleri [14] 36
Çizelge 2. 17 Çalışma ücretlerine (Prevailing wage) bağlı seyahat süresi değerleri 39
Çizelge 3. 1 Otobüs için seyahat süresi değeri (iş saati ve dışındaki zamanlar için) ... 43
Çizelge 3. 2 Diğer taşıt tipleri için seyahat süresi değerleri[16] 44
Çizelge 4. 1 Proje özellikleri 47
Çizelge 4. 2 Taşıt tipleri ve hizmet ömrü değerleri [18] 49
Çizelge 4. 3 Taşıt tiplerine göre eşdeğer taşıt mesafeleri [18] 50
Çizelge 4. 4 Aerodinamik kuvvet eşitlikleri [19] 52
Çizelge 4. 5 Aerodinamik kuvvet katsayıları [19] 52
Çizelge 4. 6 Yuvarlanma direnci eşitlikleri [19] 53
Çizelge 4. 7 Yuvarlanma direnci katsayıları [19] 53
Çizelge 4. 8 Taşıt filosu maliyetleri 54
Çizelge 4. 9 Otobüsle seyahat süresi değerinin belirlenmesi 57
Çizelge 4. 10 Diğer taşıt türlerinin seyahat süresi değerinin belirlenmesi 57
Çizelge 4. 11 Program girdisi olarak taşıt türlerine göre seyahat süresi değerleri 57
Çizelge 4. 12 Zararlı gaz emisyon birim maliyetleri 61
Çizelge 4. 13 HDM-4 yol güvenliği maliyeti girdileri 61
Çizelge 4. 14 Kot Farkı(Rise & Fall) gösterimi 62
Çizelge 4. 15 Proje yatay kurp değerleri 63

Çizelge 4. 16 Yol tipine göre trafik akış modeli [18] 65
Çizelge 4. 17 Trafik akımı girdileri [18] 65
Çizelge 4. 18 Yol kullanıcı maliyetleri (HDM-4) 67
Çizelge 4. 19 Taşıt işletme maliyetleri (HDM-4) 71
Çizelge 4. 20 Emisyon maliyetleri (HDM-4) 73
Çizelge 4. 21 Farklı yol pürüzlülüğüne göre birim maliyetler (HDM-4) (TL/taşıt-km) ... 75
Çizelge 4. 22 Farklı Y.O.G.T değerlerinde birim maliyetler (HDM-4) (TL/taşıt-km) 79
Çizelge 4. 23 Düşük standartlı yol için ortalama yol kullanıcı maliyetinin değişimi 83
Çizelge 4. 24 Yüksek standartlı yol için ortalama yol kullanıcı maliyetinin değişimi 84

ÖZET

YOL GEOMETRİK STANDARTLARININ KARAYOLU İŞLETME MALİYETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Soner CANVER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Halit ÖZEN

Ulaştırmanın üç temel bileşeni; insan, taşıt ve yol şeklindedir. İnsan ve taşıt karakteristikleri yol geometrisinin tanımlanması veya tasarımında önemli rol oynamaktadır. Ulaştırma sistemlerinde, projesi tamalanmış bir yolda maliyet yapım, bakım ve işletme maliyetleri olmak üzere üç ana başlık halinde ele alınmaktadır. Yapım maliyetleri projenin uygulanma aşamasında toprak işleri, tünel, köprü menfez gibi sanat yapıları imalat giderlerini, bakım maliyetleri yol imalatlarının tamamlanıp proje hayata geçirilmesinden sonra yolda oluşan problemlerin giderilmesi için ortaya çıkan yeni imalat giderlerini ve işletme maliyetleri ise yolun karakteristik özelliklerine ve kullanıcı davranışlarına göre yolu kullananların gerek kendilerine gerekse çevreye yansıttıkları maliyetleri kapsamaktadır. Ulaştırma sistemlerinin yapılabilirlik analizleri veya alaternatiflerin değerlendirilmesi aşamasında bu üç maliyet dikkate alınmaktadır. Yol geometrisi maliyet üzerinde önemli etkiye sahip olup, yol geometrisindeki iyileştirmelerde yapım maliyeti aratarken işletme maliyeti azalmakta, aynı şekilde yapım maliyeti azalırken işletme maliyeti artabilmektedir. Bu nedenle yol geometrisindeki değişimlerin yol maliyeti üzerine etkisinin araştırılması büyük öenm arz etmektedir. Karayolu işletme maliyetleri; taşıt işletme, emisyon, zaman kaybı ve yol güvenliği maliyeti olmak üzere 4 ana başlıkta toplanmaktadır. Bunlar arasında taşıt işletme maliyeti, en büyük maliyet oranına sahip olup, yakıt tüketimi, bakım-onarım gibi doğrudan kullanıcıya yansıyan maliyetleri azaltmada yolun geometrik özellikleri de büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, yatay kurp yarıçapı, sayısı, yol eğimi, kaplama tabakası yüzey pürüzlüğü gibi özelliklerin karayolu işletme maliyeti üzerindeki etkisi incelnemiştir. Bu kapsamda, karayolu işletme maliyetleri tanımlanmakta ve hesaplanmasına yönelik detaylı literatür araştırması verilmekte, yol geometrik ve işletme özelliklerinin maliyet üzerindeki etkisi, Çanakkale-Eceabat-Abide güzergahı yol projeleri üzerinden belirlenmektedir. Çalışmada yol işletme maliyetlerinin hesaplanmasında, Karayolları Genel Müdürlüğü ve dünyada yaygın olarak kullanılmakta olan Dünya Bankası tarafından geliştirilmiş HDM-4 (Highway Developement and Management) yazılımı kullanılmıştır. Sonuç olarak; taşıt işletme, çevresel etkiler ve yol geometrik özelliklerine ilişkin kullanılan parametrelerin yol işletme maliyetlerine olan etkisi Çanakkale-Eceabat-Abide güzergahı özelinde ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: HDM-4 yazılımı, karayolu işletme maliyetleri, yol geometrik standartları.

ABSTRACT

EVALUATION OF HIGHWAY GEOMETRICAL STANDARD ON OPERATIONAL COST OF HIGHWAY

Soner CANVER

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Halit ÖZEN

The three main components of transportation are human, vehicle, and infrastructure. During the operation of the transportation system, the problems of these components both in themselves and in their relations with each other are defined as “cost”. In the planning stage of the transportation system, the costs to be encountered during operation must be identified and analyzed. In this context, it is very important to determine the operating costs separately and to evaluate their effects on the highway transportation that is heavily used in our country. Operating costs in the highway transportation are divided into four main categories; vehicle operation cost, emission cost, time loss cost, and road safety cost. Among them, the vehicle operation cost has the greatest cost value. Characteristic features of the highway are of great importance to reduce these costs that directly affect the user, such as fuel consumption, maintenance and repair.

In this study, highway operating costs and methods for calculating costs are examined in detail. The effect of the change in software parameters on the project cost is analyzed by using the HDM-4 software developed by the World Bank to calculate highway operating costs. In this study, the effect of the change in software parameters is determined for a specific highway. Consequently, effects of the parameters that are used for vehicle operation, environmental effects and the geometric properties of the highway are exposed.

Keywords: HDM-4 software, highway geometrical standards, highway operation costs.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yük ve yolcu taşımacılığında ülkemizde çok önemli bir yere sahip olan Karayolunun işletme maliyetlerinin irdelenmesinin önemi her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada bu maliyetler detaylı bir şekilde irdelenip örnek bir uygulama ile sonuçlar ortaya konmuştur.

1.1 Literatür Özeti

Ulaştırmanın üç temel bileşenini taşıt, altyapı ve insan oluşturmaktadır. Bu bileşenlerin kendisi ve birbirleri ile olan ilişkilerinde birçok problem ortaya çıkmakta ve bunlar maliyet olarak tanımlanmaktadır. Yani, "trafik sıkışıklığı büyük bir problemdir" ifadesi, ulaştırma otoriteleri ve ekonomistler tarafından "trafik sıkışıklığı önemli bir maliyettir" şeklinde ifade edilmektedir [1].

Karayolu işletme maliyetleri değişken ve sabit maliyetler olarak sınıflandırabilir. Değişken maliyetler, tüketimdeki artıştan kaynaklanan artan maliyetler olarak kabul edilebilirler. Bu yüzden, örneğin değişken maliyetler araç kullanıcılarının yıllık araç kullanım mesafelerini düşürmeleri gibi tüketimdeki azalmayla azalabilecek maliyetleri yansıtırlar. Sabit maliyetler, ekipman, bina ya da arazi maliyetleri gibi kaçınılmaz maliyetler olup tüketim miktarından etkilenmezler [1].

Ulaştırma sisteminin planlanması aşamasında, işletim sırasında karşılaşılacak maliyetlerin tanımlanması ve analiz edilmesi gerekmektedir. Karayolu ulaşımında işletme maliyetleri; taşıt işletme maliyeti, emisyon maliyeti, zaman kaybı maliyeti ve yol güvenliği maliyeti şeklindedir. Bu işletme maliyetlerinin ayrı ayrı belirlenmesi ve

bunların etkilerinin değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Dünya Bankası tarafından yol projelerinin yapım ve işletim maliyetlerinin değerlendirilmesi amacıyla HDM-4 yazılımı geliştirilmiştir ve bu yazılım birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yazılımın Dünya Bankası tarafından tanıtılması sonucunda, projelerin ömür döngü maliyet analizi ile değerlendirilmesi uluslararası düzeyde önemli hale gelmiştir. Ömür döngü maliyet analizi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde yaygın olarak kabul görmektedir [2].

Ömür döngü maliyet analizi genel tanımıyla, bir projenin ekonomik verimliliğini değerlendirmek amacıyla kullanılan bir değerlendirme yöntemidir. Bu yöntemde önemli olan bu maliyetlerin en aza indirilebilmesine yönelik değerlendirmeler yapılmasıdır [3]. HDM-4 yazılımı; gelişmiş ve gelişmekte olan 100'den fazla ülkede kullanılmaktadır. Güney Afrika'da 2005 yılında tüm ulaştırma projeleri için ömür döngü maliyet analizlerini içermesi gerektiği konusunda bir politika kararı alınmıştır. Ayrıca, HDM-4 yazılımının ömür döngü maliyet analizi için kullanılması gerektiğine de karar verilmiştir [4].

1.2 Tezin Amacı

Ülkemizde gerek yük gerekse yolcu taşımacılığında karayolunun payı %90'nın üzerindedir. Dolayısıyla, karayolu maliyetlerinin analiz edilmesi ve azaltılmasına yönelik çalışmalar büyük önem arz etmektedir. Çalışmanın amacı, yol geometrik ve işletme özelliklerinin maliyet üzerindeki etkisinin belirlenmesidir. Bu amaçla; karayolu işletme maliyetleri detaylı olarak incelenmiş, yol geometrik ve işletme özellikleri ile maliyetlerin değişimi arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacı ile Çanakkale-Eceabat-Abide güzergahı için örnek bir uygulama yapılmıştır. Yol geometrik ve işletme özellikleri ile ilgili parametrelerin değişiminin işletme maliyetine olan etkisi seçilen güzergah için HDM-4 yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir.

1.3 Hipotez

Ulaştırma sistemlerinin planlanması aşamasında, işletme maliyetlerinin tanımlanması ve analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, ülkemizde yoğun olarak

kullanılan karayolu ulaşımı için de işletme maliyetlerinin ayrı ayrı belirlenmesi ve bunların etkilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Karayolu ulaşımında işletme maliyetleri; taşıt işletme maliyeti, emisyon maliyeti, zaman kaybı maliyeti ve yol güvenliği maliyeti olmak üzere 4 ana başlıkta toplanmaktadır. Yol geometrik standartlarının değişiminin etkisinin karayolu işletme maliyetlerinden en fazla zaman kaybı maliyetine ve sırasıyla taşıt işletme , emisyon ve yol güvenliği maliyetlerine etki ettiği hipotezi ortaya konulmaktadır.

BÖLÜM 2

KARAYOLU İŞLETME MALİYETLERİ

Ulaştırma sisteminin planlanması aşamasında, işletim sırasında karşılaşılacak maliyetlerin tanımlanması ve analiz edilmesi gerekmektedir. Karayolu ulaşımında işletme maliyetleri; taşıt işletme maliyeti, emisyon maliyeti, zaman kaybı maliyeti ve yol güvenliği maliyeti şeklindedir. Bu işletme maliyetlerinin ayrı ayrı belirlenmesi ve bunların etkilerinin değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

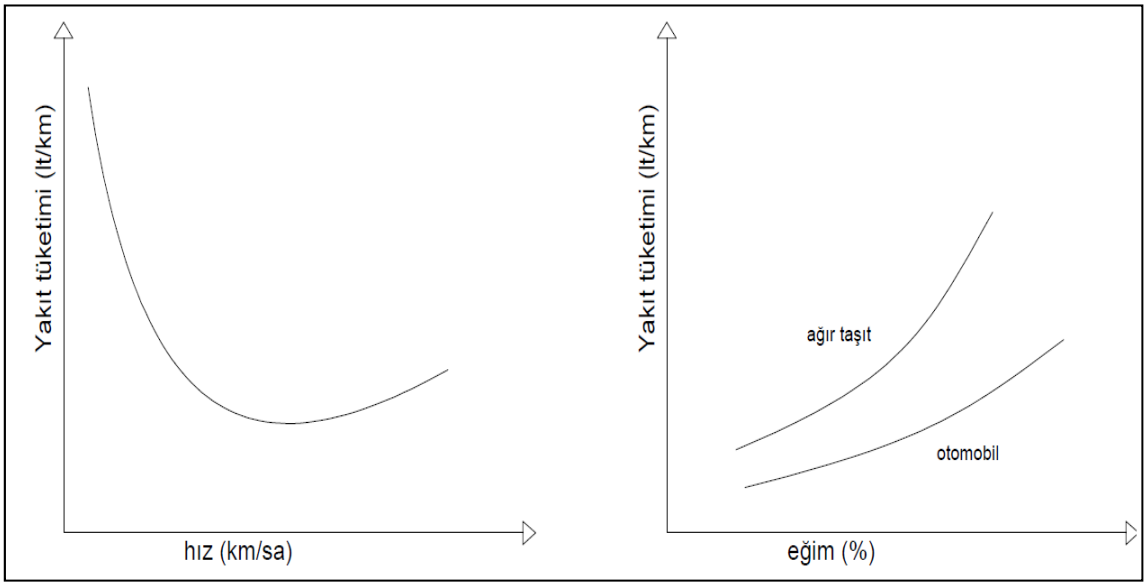
2.1 Taşıt İşletme Maliyetleri

Geçki araştırmasında, kavşak tasarımında, fizibilite çalışmalarında, yol veya kavşaklarda önceliğin belirlenmesinde, taşıma türlerinin verimliliklerini belirleme ve birbirleri ile karşılaştırmalarında taşıtların işletme maliyetlerinin bilinmesine gereksinim duyulmaktadır. Bir taşıtın işletme maliyeti; satın alma, yıllık vergi, sigorta ödemesi, varsa garaj kirası, model eskimesi gibi seyir ile ilgili olmayan sabit harcamalar ile; yakıt, yağ, lastik, bakım-onarım ve kullanma eskimesi gibi taşıtın hareketi ile ortaya çıkan harcamalardan oluşur.

Yol özelliklerinin sabit harcamalar üzerinde etkisi yoktur. Ancak, taşıtın hareketi sonucu ortaya çıkan harcamalar ile yolun fiziki ve geometrik özellikleri arasında çok yakın bir ilişki vardır. Bir yolun ekonomik şekilde planlandığını öne sürebilmek için yolu kullanan taşıtların seyir ile ilgili işletme maliyetlerinin de mümkün olduğunca düşük olması gerekir [5].

2.1.1 Yakıt Maliyeti

Bir taşıtın hareketi ile ilgili işletme maliyetinde etkili olan yol karakteristiklerinin başlıcaları; boyuna eğim, kaplama cinsi ve durumu, yatay kurbalar ve yoldaki trafik durumudur. Bir yolun boyuna eğimi arttıkça yakıt tüketimi de artmaktadır. Bu durum kamyon ve otobüs gibi ağır taşıtlarda çok daha belirgindir. Özellikle ağır taşıtlarda, inişlerde yakıt tüketimi çıkışa göre daha az olmakta ancak büyük bir fark bulunmamaktadır. Çünkü çıkış yönünde çekimden dolayı; iniş yönünde ise güvenlik sebebiyle frenaj yapan ağır taşıtların seyir hızları düşük, dolayısıyla yakıt tüketimleri yüksektir.



Şekil 2. 1 Yakıt tüketimi – Hız ve Eğim Grafiği [5]

Şekil 2. 1'de yakıt tüketimi ile hız ve eğim arasındaki ilişkiler gösterilmektedir. Buna göre şekle bakıldığında şu iki çıkarım yapılabilir:

- Yakıt tüketimi hızın küçük değerlerinde hızın büyük değerlerine göre daha belirgin şekilde artmakta ve tüketimin minimum olduğu bir optimum hız değeri bulunmaktadır. Bu durum her bir taşıt türü için de söz konusudur. Otomobil gibi küçük taşıtlar için yakıt tüketiminin en az olduğu hız aralığı 60-80 km/sa olmaktadır.
- Yol eğimi arttıkça yakıt tüketimi de önemli derecede artmaktadır. Tüketimin ağır taşıtlarda otomobillere göre daha belirgin olduğu görülmektedir.

Ülkemiz karayollarında kaplama cinslerine göre değişen taşıt işletme maliyetleri Çizelge 2.1'de yer almaktadır. Bu değerlere yolcu zaman maliyetleri dahil edilmemiştir. Sürücü zaman maliyetleri ise otomobil, otobüs, kamyon ve treyler için dahil edilmiştir.

Çizelge 2. 1 Kaplama cinsine göre taşıt işletme maliyetleri [5]

KAPLAMA CİNSİ	ARAZİ CİNSİ	OTOMOBİL TL/taşıt-km	OTOBÜS TL/taşıt-km	KAMYON TL/taşıt-km	TREYLER TL/taşıt-km
Beton Asfalt (Pürüzlülük=2 m/km)	Düz	0,1869	0,8141	0,7879	0,9598
	Dalgalı	0,1874	0,8544	0,8439	1,1967
	Dağlık	0,1905	1,0407	1,0393	1,6784
Eski Beton Asfalt (Pürüzlülük=2,5 m/km)	Düz	0,1871	0,8159	0,7903	0,9643
	Dalgalı	0,1876	0,856	0,8457	1,2012
	Dağlık	0,1907	1,0427	1,0416	1,6849

Yapılan çalışmalarda, rijit üst yapının esnek üst yapıya oranla yakıt tüketimi açısından daha ekonomik olduğu gözlemlenmiştir. Ağır taşıtlar esnek kaplamalarda rijit kaplamalara göre daha fazla deformasyona neden olmaktadır. Kaplamadaki bu deformasyon, taşıt enerjisinin bir kısmını emmektedir. Dolayısıyla, esnek kaplamalarda sürüş için daha fazla enerjiye ve bu nedenle daha fazla yakıt tüketimine ihtiyaç olduğu hipotezi ortaya çıkmaktadır. Bu ilk olarak Dr. John P. Zaniewski tarafından ortaya konulmuştur. Dr. John P. Zaniewski, 1982 yılında Dünya Bankası ve Brezilya hükümeti için yaptığı çalışmada yakıt maliyetleri de dahil karayolu yapımı ve işletimine ilişkin maliyetleri incelenmiştir. Bu çalışmada, beton kaplamaların asfalt kaplamalara göre yaklaşık %20 yakıt tasarrufu sağladığını belirlemiştir [6].

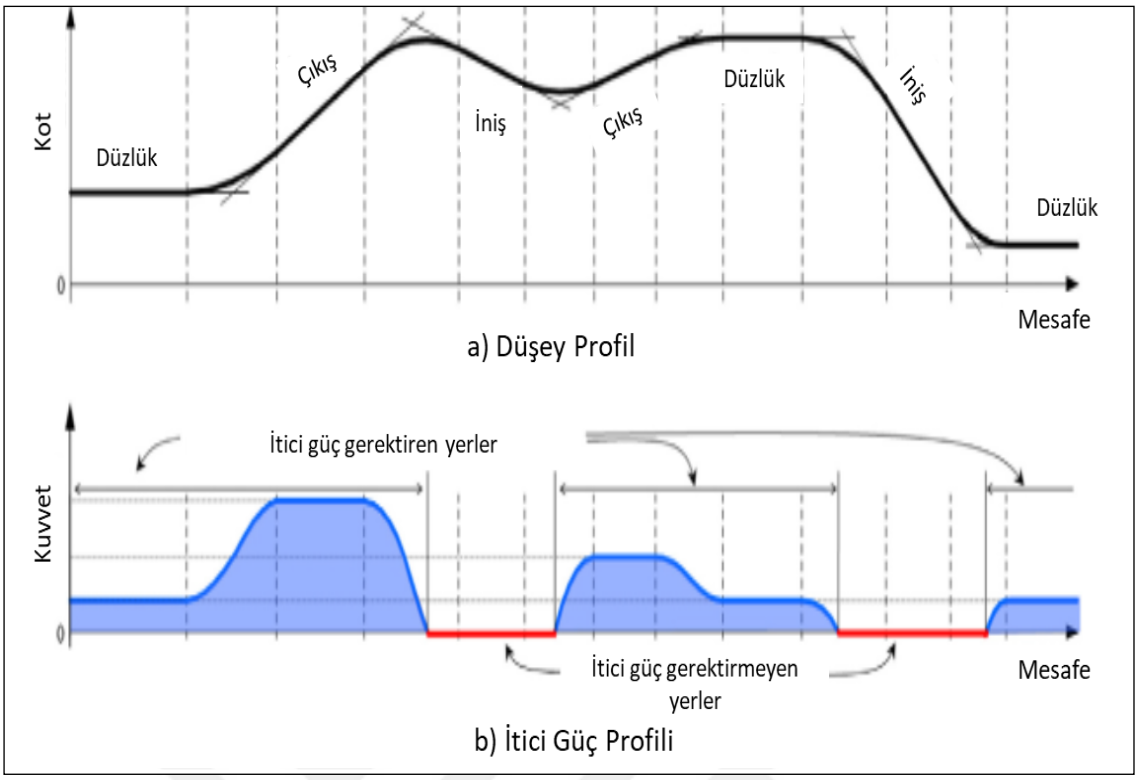
Fosil yakıt tüketimini azaltmanın sosyal ve ekolojik açıdan önemli olması nedeniyle, hafif ve ağır taşıtların yakıt tüketiminde yol kaplamalarının etkilerinin incelenmesine yönelik bir takım araştırmalar yapılmıştır. Bu konuda, Kanada'da Ulusal Araştırma Konseyi tarafından yapılan çalışma önemli yer tutmaktadır. Bu çalışma, çeşitli istatistiksel yöntemler kullanarak ve farklı mevsimlerde çeşitli yol ve araçlar üzerinde

yapılan ilave testlerle kapsamları genişletilen dört ayrı aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanın her bir aşamasında, ağır yük taşıtlarının yakıt tüketiminin esnek asfalt kaplamalar ile kıyaslandığında beton kaplamalarda daha az olduğu gözlemlenmiştir. Çeşitli düzgünlük dereceleri olan kaplamaları ve her mevsimde yapılan gözlemleri kapsayan en genel ve son aşamada en düşük farklılıklar ortaya çıkmıştır. Yine de, asfalt yollara göre beton yollarda, yılın dört mevsiminde hem boş hem de yüklü tır-römork için %0,8 ile %3,9 arasında yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Dolayısıyla hesaplanan ortalama %2,35'lik yakıt tasarrufu değeri, işlek bir otoyolun hizmet süresindeki toplam yakıt tüketimi ve kirlenmeye neden olan gazların salınım miktarlarında çok büyük farklılıklara tekabül etmektedir.

İngiltere Karayolları İdaresi tarafından Ulaştırma Araştırma Laboratuvarları'nda yapılan çalışmalarda kaplama rijitliğinin yakıt tüketimine olan etkisi incelenmiştir. Beton kaplamada çökme ve oturmaların az olmasının yuvarlanma direncinde %5,7'lik bir azalma sağladığı görülmüştür. Bu sayede, %1,14'lük bir yakıt tasarrufu elde edilmiştir. Ancak, bu farklılık istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır.

Kaplama çeşitleri dışında, düzgünlük ve yüzey dokusu da yakıt tüketiminde etkisi olan önemli faktörlerdendir. Düzlenmiş beton yüzeyinin kalitesi yakıt tasarrufunda önemli bir rol oynamaktadır. Kaliteli ve düzgün olarak yerleştirilmiş beton bir yol, özelliklerini onlarca yıl devam ettirebilmektedir. Dalgalı beton kaplamalar ya da eşit olmayan yamalar istenilen sürüş kalitesine ulaşmak ve yakıt tüketimini en aza indirmek için zor ve pahalı bir onarım gerektirmektedir [6].

Otoyol geometrisinin yakıt tüketimi üzerindeki etkisini değerlendirmek işletme maliyetlerini tespit etmek ve çevre dostu bir yol tasarlayabilmek açısından önemlidir. Hafif taşıtlarda yakıt tasarrufu sağlayabilmek için eğim önemli bir etkiye sahiptir. Yol tabakasının pürüzlülüğü de en az yol eğimi kadar işletme maliyeti üzerinde etkilidir.



Şekil 2. 2 Düşey profil ve itici güç grafiği [7]

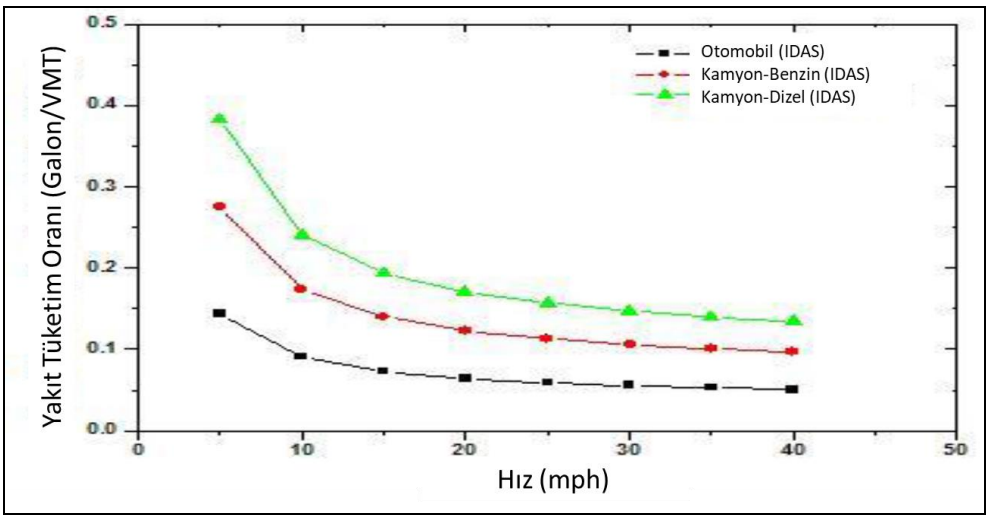
Şekil 2. 2'de ekonomik hızı elde edebilmek için yol profili boyunca ihtiyaç duyulan itici güç gösterilmektedir. Görüldüğü üzere itici güç yol geometrisine bağlı olarak değişmektedir. Eğimin düz olduğu durumlarda diğer durumlara nispeten daha düşük seviyede enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü taşıt, sadece yuvarlanma ve hava direncine maruz kalmaktadır. Yukarı doğru eğimi olan yolda ise çok daha fazla güce ihtiyaç duyulmaktadır. Negatif eğimli bir yolda ise güce ihtiyaç duyulmamaktadır.

IDAS (The Intelligent Transportation Systems Deployment Analysis System) verilerine göre yakıt tüketim oranları Çizelge 2. 2'de ve Şekil 2. 3'de gösterilmiştir.

Yakıt maliyeti toplam taşıt işletme maliyetinin yaklaşık %75'ini oluşturmaktadır. Yakıt tüketimini etkileyen belli başlı dirençler; yuvarlanma direnci, hava direnci, eğim direnci, kurba direnci ve ivme direncidir.

Çizelge 2. 2 IDAS Yakıt Tüketim Oranları [8]

İşletme Hızı (km/saat)	Otomobil (Lt/km)	Kamyon (Lt/km)
5	0,330	1,418
10	0,212	0,891
15	0,172	0,716
20	0,152	0,626
25	0,141	0,575
30	0,133	0,539
35	0,127	0,513
40	0,124	0,496
45	0,118	0,479
50	0,116	0,468
55	0,116	0,460
60	0,113	0,451
65	0,110	0,446



Şekil 2. 3 Yakıt tüketimi – Hız grafiği [8]

2.1.1.1 Yuvarlanma Direnci

Yuvarlanma direnci, taşıt lastiklerinin yol yüzeyine temas ettiği noktalarda yaptığı şekil değiştirmeler ve kaplama pürüzlülüğüne bağlı olarak çukur, kasis ve farklı boyuttaki malzeme yüzeylerine batıp çıkması; lastiklerin etrafındaki hava sirkülasyonu ve taşıtın aktarma organları arasındaki sürtünmeden meydana gelir. Direncin miktarı kaplama türüne, lastiklerin iç basınç değerine ve taşıtın hızına bağlı olarak değişmektedir. Yuvarlanma direnci (2.1) numaralı bağıntıdan hesaplanmaktadır [5]:

$$D_y = \mu_r Q \tag{2.1}$$

Burada;

D_y : Yuvarlanma direnci (kg),

Q : Taşıtın ağırlığı (kg),

μ_r : Yuvarlanma direnci katsayısı (kg/ton)'dır.

2.1.1.2 Hava Direnci

Hareket halindeki bir taşıta taşıtın dik en kesitine doğrudan etki eden hava basıncı, taşıtın yüzeyinde oluşan hava direnci ve taşıtın altında tekerleklerin etrafında oluşan hava anaforundan kaynaklanan dirençtir. Hava direnci, (2.2) bağıntısında gösterildiği şekilde ifade edilmektedir.

$$D_h = cpFV^2/13 \tag{2.2}$$

Burada;

D_h : Hava direnci (kg),

C : Taşıtın biçimine, ayrıca yüzeyinin düzgünlük derecesine göre değişen bir boyutsuz katsayı,

ρ : Deniz seviyesinde havanın özgül kütlesi,

F : Taşıtın hareket doğrultusuna dik düzlem üzerindeki izdüşüm alanı,

V : Taşıtın hızı (km/sa)'dır.

Aracın kaportası çevresinde akan havanın mümkün olduğunca kesintisiz ve pürüzsüz bir yüzey etrafında akması sağlanarak direnç katsayısı daha da düşürülebilmektedir. Bu amaca yönelik araçlarda, kapı camlarının ve farların kaporta ile bir yüzeyde dizayn edilmesi, ön ve arka camların daha yatık dizayn edilmesi, yan aynaların formunun aerodinamik özellik taşıması, lastik oyuklarının genişletilmiş çamurluklarla örtülmesi, ön ve arka tekerlekler arasına etekler yerleştirilmesi, ön panel altına hava kesiciler (airdam) yerleştirilmesi, jant kapaklarının mümkün olduğunca aerodinamik yapıda imal edilmeleri, aracın altındaki düzgünsüzlüklerin alt kaplama takviyesi ile kamufle edilmesi gibi önlemlere rastlanmaktadır. Bu önlemler sayesinde direnç katsayısı günümüzde; binek araçlarda 0,25'e, otobüslerde 0,5'e, motosikletlerde 0,4'e, kamyonlarda ise 0,65'e kadar düşürülebilmiştir [5].

2.1.1.3 Eğim Direnci

Taşıtın eğimli bir yolda gidişi sırasında eğimden dolayı maruz kaldığı, hareketi kolaylaştıran ya da zorlaştıran dirençtir. Eğim direnci (2.3) eşitliğiyle ifade edilmektedir.

$$D_e = Q\,tg\alpha \qquad (2.3)$$

Burada;

D_e : Eğimden kaynaklanan direnç (kg),

Q : Taşıtın ağırlığı (kg),

α : Yolun yatayla yaptığı açıdır.

2.1.1.4 Kurba Direnci

Yatay kurbalarda hareket halindeki bir taşıtın ön tekerleklerinin kurp boyunca yol yüzeyine temas ettiği noktada oluşan dirençtir. Bu direnç kurp yarıçapı ve hız azaldıkça artmaktadır. Dolayısıyla bu direnç, taşıt maliyetleri arasında incelenecek olan lastik bakım maliyetini etkilemektedir.

2.1.1.5 Eylemsizlik (İvme) Direnci

Hareket halinde bulunan bir taşıtın hızının arttırılması sırasında karşılaşılan dirençtir. Bu direncin miktarı taşıtın ağırlığı ile hızlanma ivmesine bağlı olup (2.4) numaralı bağıntı ile hesaplanabilir.

$D_\alpha = Q\,\gamma / G \qquad (G \approx 10)$ (2.4)

D_α : Eylemsizlik direnci,

Q : Taşıtın ağırlığı (kg),

γ : Hızlanma ivmesi (m/sn^2) dir.

Yavaşlama halinde ivme değeri negatif olacağından eylemsizlik direnci de negatif olmaktadır [5].

2.1.2 Yağ Maliyeti

Motor yağı, şanzıman yağı, fren hidrolik yağı gibi bileşimler araç motorunun ve aktarma organlarının problemsiz çalışmasını sağlamaktadır. Bu yağların tüketim oranı; kullanım miktarına, trafik karakteristik özelliklerine (akışkan, sıkışık vs.) ve yol karakteristik özelliklerine (boyuna eğim, kurp sayısı vs.) bağlı olarak değişmektedir. Petrol Sanayi derneğinin raporuna göre 2012 yılında toplam motor yağları tüketimi 2011 yılının aynı dönemine göre %6,5 oranında artarak 181.000 ton olarak gerçekleşmiştir. Bu dönemde motor yağlarının toplam yağlama ürünleri içerisindeki payı yaklaşık %44 olarak gerçekleşmiştir [9].

2.1.3 Lastik Maliyeti

Lastik maliyetinde en belirleyici unsurlar; lastiğin teknolojisi, taşıtın hızı, yol kaplamasının cinsi ve bakım standartları, yükleme, ani ve aşırı düzensiz frenleme, küçük yatay kurp yarıçapları şeklinde sıralanmaktadır. Kaplama cinsine göre Çizelge 2. 3'de görüldüğü üzere yuvarlanma direnci bakımından rijit üstyapının daha uygun bir kaplama olduğu gözlemlenmiştir [5].

Çizelge 2. 3 Kaplamalara göre yuvarlanma katsayısı [5]

KAPLAMA CİNSİ	μ KATSAYISI (kg/kg)
Beton yollar ve ince dokulu asfalt kaplamalar	0,010-0,020
Asfalt makadam kaplamalar	0,020-0,025
Kırmataş ve çakıl kaplamalar	0,030-0,040
Parke kaplamalar	0,040-0,050
Kuru ve sıkı toprak yollar	0,030-0,060
Gevşek toprak, kumlu, çamurlu yüzeyler	0,015-0,060

Lastik aşınmasıyla ilişkilendirilen bu maliyet, gelişen teknolojik gelişmeler ve yeni lastik tasarımlarıyla azaltılabilmektedir. Dairesel kuşak yapılı tasarım lastik ömrünü arttırmış ancak, aynı oranda fiyatlarda da artış gözlemlenmiştir. Forest Service tarafından geliştirilen kayma-enerji modeli ile lastik aşınması tahmin edilebilmektedir.

1973 yılında Forest Service, yol işletme maliyeti modelini oluşturabilmek için lastik aşınma tahminlerini geliştirecek bir projeye destek vermiştir. İlgili parametrelerle alakalı çalışmalardan yol ile lastik ara yüzeyinde, aracın çekme kuvveti ile orantılı olduğu belirlenen kayma tespit edilmiştir. Kaplama-lastik arayüzünde harcanan kayma enerjisinin, aşınan lastik dış kaplamasının hacmiyle ilişkilendiren (2.5) numaralı bağıntı lastik aşınmasını en iyi tespit etmiştir.

$$V_{WR} = E_{SLIP} / S_{WE} \quad (2.5)$$

Burada;

V_{WR} = Dış kaplamanın aşınan hacmi (inç^3),

E_{SLIP} = Kayma enerjisi (lb-mil),

S_{WE} = Kayma enerji–aşınma katsayısı ((lb-mil)/ inç^3) şeklinde ifade edilmektedir.

Kayma enerjisi (E_{SLIP}), aracın kaymaya maruz kaldığı mesafe ve aracın hareketine etki eden yatay kuvvetlerden oluşmaktadır (2.6):

$$E_{SLIP} = D_S F_H \quad (2.6)$$

Burada;

D_S = Kaymaya maruz kalınan mesafe (mil),

F_H = Toplam yatay kuvveti (lb) ifade etmektedir.

Kaymaya maruz kalınan mesafenin tespit edilebilmesi için, S ile ifade edilen ve lastiklere uygulanan çekme kuvvetinin bir fonksiyonu olan kayma oranının bulunması gerekmektedir (2.7):

$$S = M/K \quad (2.7)$$

Burada;

S = Kayma oranı = Kaymaya maruz kalan mesafe / Kat edilen mesafe,

M= Çekici kuvvet oranı veya M_u,

$M= F_H/ F_V$, F_V = düşey yük (lb),

$K = M_u$ – kayma katsayısı ((lb/lb)/(ft/ft)) olarak ifade edilmektedir.

Yukarıdaki eşitlikler sadeleştirildiğinde (2.8) numaralı bağıntı elde edilmektedir:

$$V_{WR} = (D_T F_H^2) / (F_V K S_{WE}) \quad (2.8)$$

Burada;

D_T, toplam kat edilen mesafeyi (mil) ifade etmektedir.

Bu modeldeki iki değişken belirli yol kaplama yüzeyi ve lastik tiplerine göre deneysel olarak ölçülmelidir. "M_u" katsayısı teste tabii tutulan lastik üzerindeki yatay ve düşey kuvvetlerin ölçümlerinden ve lastik ile aracın kat ettikleri mesafelerden türetilmektedir. "S_{WE}" katsayısı ise, harcanan kayma enerjisine karşı lastiğin dış kaplamasında oluşan aşınma hacminin ölçülmesiyle bulunmaktadır. Bu yüzden bu modelin esaslı bir şekilde kullanılabilmesi için lastiklerden, yol yüzeylerinden ve taşıtlardan doğru verilerin elde edilmesi gerekmektedir.

Taşıt türlerine göre kayma-enerji lastik aşınma modeli katsayıları Çizelge 2. 4 ve Çizelge 2. 5'de verilmiştir [10].

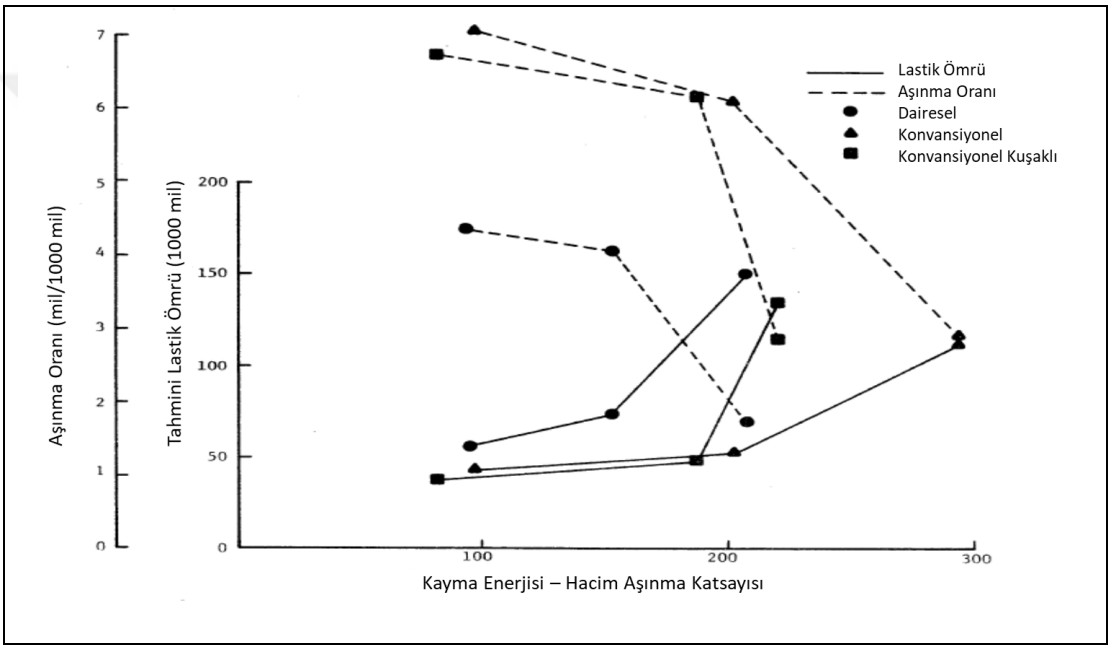
Çizelge 2. 4 Kayma-enerji lastik aşınma modeli katsayıları [10]

Test Taşıtı	Yüzey Tipi Agrega Türü	Lastik Tipi	Kayma Katsayısı (M_u)	Kayma enerji Aşınma Hacmi Katsayısı (S_{WE})
Light Truck GVW 8,000 1b (Ref. 22)	Bitümlü Beton Kırılmış bazalt 1'' Nevada	7.50-16 10 ply, Bias Goodyear Super High Mil.	11	37
1970 Jeep Wagoneer (Ref. 22)	Bitümlü Beton Kırılmış bazalt 1'' Nevada	G78-14; B Polyester/Fiberglas Konvansiyonel Kuşaklı	22	46
1977 Jeep Wagoneer Modified 4 Wheel Drive (Ref. 25)	Açık Gradasyonlu Asfalt Beton Kaplama California	IORI5LT Recap Tomruk kamyonu Lastikler Dairesel	13	31
	Yoğun Gradasyonlu Asfalt Beton Rodmiks California		11	101

Çizelge 2. 5 Kayma-enerji lastik aşınma modeli katsayıları [10]

Test Taşıtı	Yüzey Tipi Agrega Türü	Lastik Tipi	Kayma Katsayısı (M_u)	Kayma enerji Aşınma Hacmi Katsayısı (S_{WE})
1976 Jeep Wagoneer Modified 4 Wheel Drive (Ref. 24)	Bitümlü Beton Aşınma %20-25 Kırılmış bazalt Nevada	1	32	83
		2	26	104
		3	15	95
		4	18	99
		5	22	80
		6	17	83
	Bitümlü Beton Aşınma %35-37 Çakıl taşı Connecticut	1	41	196
		2	38	218
		3	20	298
		4	17	291
		5	25	222
		6	24	217
	Bitümlü Beton Aşınma %26-29 Kalker Taşı Texas	1	34	174
		2	43	131
		3	16	199
		4	20	206
		5	20	215
		6	24	162
5 Ton Dump Truck 6 x 6 M-51 (Ref. 22)	Bitümlü Beton Kırılmış Bazalt 1'' Nevada	10.00-20 12 ply,Bias Nylon-Goodyear Super High Mil.	10	40

Referans 24 belirli bir tip yüzey tabakası üzerinden farklı tipteki yolcu aracı lastikleri arasında karşılaştırma yapmamıza olanak sağlamaktadır. Dairesel lastikler için M_u katsayısı lastiğin çekiş kuvvetine göre daha belirleyici bir unsurdur. Dolayısıyla dairesel lastikler, diğer lastik türlerine göre eşdeğer yatay kuvveti arttırmak için daha az kaymak zorundadır. Polyester/Fiberglas konvansiyonel kuşaklı lastiklerin kayma katsayıları Polyester/Fiberglas çapraz kuşaklı lastiklere göre daha büyüktür. Dairesel lastiklerdeki kayma enerjisi hacim katsayıları, aynı yüzeydeki diğer lastiklere göre daha azdır. Bu da dairesel lastiklerin diğer çapraz kuşaklı lastiklerin aksine daha az kayma enerjisine maruz kalıp daha az aşınmaya uğradığını göstermektedir.



Şekil 2. 4 Lastik türlerine göre aşınma miktarı [10]

Şekil 2. 4'de gösterildiği üzere, değişik türdeki lastikler için S_{WE} katsayısı azaldığında lastiğin dış kaplamasının ömrünün azaldığı ve lastik aşınma oranının arttığı gözlemlenmektedir. Fakat diğer lastik türleriyle karşılaştırıldığında dairesel lastiklerde S_{WE} katsayısı daha az olmasına rağmen dış kaplama ömrü diğer türlere göre daha uzun ve aşınma oranı ise diğer türlere göre daha düşüktür. Bu da yüksek ihtimalle daha büyük M_u kayma katsayısına sahip olmasıyla ilgilidir. Daha az kayma gerçekleştirdiğinden dolayı birim mesafedeki kayma enerjisi daha azdır [10].

2.1.3.1 Winfrey Lastik Maliyetlerinin İncelenmesi

Winfrey'in lastik maliyetinin düzenlenmesindeki ilk adım, dairesel tasarım ve gelişmiş materyallerin kullanımından dolayı azalan lastik aşınmasının etkisinin saptanmasıdır. Winfrey, bütçe sağlamaya dayanak oluşturan kullanışlı lastiğin mil başına düşen maliyetini kullanmıştır. Standart lastik aşınma oranını tahmin edebilmek için otomobil lastikleri km başına $0,05411 kullanılabilmektedir. Değerlendirmeler sonucunda, Winfrey 42 km/saat hızla giden aracın lastik aşınma oranını şu şekilde saptamıştır: ($0,69 /1000 km)/($0,05411/km) =12,74 km/ 1000 km).

Tahmin edilen bu lastik aşınma oranı güncel verilerle karşılaştırıldığında, Brenner ve arkadaşları tarafından bulunan aşınma oranı otomobillerin dairesel lastikleri için bu değer 7,00 km/1000 km şeklinde bulunmuştur. Winfrey'e göre düzeltme faktörü bu iki değerin birbirine bölünmesiyle bulunmaktadır. Düzeltme faktörü; (12,74 km/1000 km)/(7,00 km/1000 km) = 1,82'dir. Bu oran beklenen lastik ömrünü uzatmak için kullanılan değerdir.

Teknolojinin gelişmesiyle lastik ömürlerinin artmış bununla birlikte maliyetlerinde de bir artış gözlemlenmiştir. Günümüzde yaygın olarak dairesel lastik kullanan yolcu araçlarından kapsamlı bir şekilde toplanan verilere göre lastik başına düşen maliyet %25 sapmayla ortalama $75 olarak gözlemlenmiştir. Yine Brenner tarafından, hiç aşınma göstermeden 448 km yol kat eden dairesel lastiklerin km başına $0,168 maliyeti olduğu tahmin edilmiştir. Bu maliyet Winfrey'in tahmin ettiği $0,05411/km değerinin yaklaşık 3,10 katı değerindedir. Bu miktar da yolcu araçlarının lastik maliyetindeki artışı yansıtmaktadır. Winfrey'in yaklaşımları her 1000 km karşılık gelen maliyeti dengeleyebilmek için kullanılacak genel faktörün 1,70 olması gerektiğini göstermektedir.

Yolcu araçlarına uygulanan aynı prosedürler kamyonetlere uygulandığında, Winfrey tarafından dairesel lastikler için 7,00km /1000 km olarak tahmin edilen lastik aşınma oranı ise; (0,82 $/1000 km)/($0,061/km) = 13,51 km/1000 km olarak hesaplanmıştır.

Dairesel lastik kullanım etkisinden dolayı azalan lastik aşınma oranı ise (13,51 km/1000 km)/(7,00 km/1000 km) =1,93 olmaktadır.

Kamyonetler için ortalama lastik maliyeti 75 dolardır. Lastik aşınımı olmadan kat edilen 448 km karşı 0,168 $'lık km başına maliyeti bulunmaktadır. Bulunan bu güncel değerlerle Winfrey'in değerleri karşılaştırıldığında fiyat artışındaki dengeleyici faktör ($0,168/km)/($0,061/km) = 2,74'tür.

Ticari araçlar ve tırlar için ise Winfrey kullanışlı lastik dış kaplama maliyetini km başına 0,097$ olarak belirlemiştir. Bu yüzdeb bu tip araçların lastiklerinde bir kat sırt geçirilmektedir. Normale oranla ortalama 2,5 kat kaplanmaktadır. Bu tip araçlarda lastikler aşınmadan kullanışlı bir şekilde 2.260 km yol kat edilebilmektedir. Bu tahmin, 905 km yol kat edebilen yeni lastiklerin %75'i ve tekrardan kaplanmış olan lastiklerin %70'inden alınan örneklere dayanmaktadır. Km başına lastik maliyeti; kullanılabilir dış kaplama ve ilave kaplamalara, 120 $ olan yeni lastiğin satış fiyatına ve her biri 40 $ olan ilave kaplamalara olmak üzere lastik başına toplam 220$ olarak hesaplanmaktadır. Lastik masrafı ile ilgili güncel bilgiler ticari nakliye filo işletmecileri tarafından elde edilmektedir. 11R24.514 ply türü lastiklerin ortalama fiyatı 278 $ ve kaplaması da 75 $ olarak tespit edilmiştir. Kullanılabilen dış kaplama göz önüne alınırsa Winfrey'in tahminlerine göre toplam kat edilen yol 855 km olarak kabul edilmektedir. 2,5 kat kaplamalar da hesaba katılırsa tahmini kat edilen yol 2136 km olmaktadır. Hizmet ömrü boyunca 2.136 km kat eden lastiğin km toplam maliyeti 289,00 $ olurken km başına düşen güncel lastik maliyeti 0,2179 $ olarak hesaplanmaktadır [10].

2.1.3.2 Lastik Maliyetinde Yolun Etkisi

Kayma-enerji modeli lastik aşınması üzerinde; hızın, hız değişim devirlerinin, eğimin ve yatay kurbun etkisinin analiz edilmesinde kullanılabilmektedir. Kavramsal olarak bu model lastik aşınması üzerindeki yüzey tipi ve koşullarının etkisini değerlendirmek için de kullanılabilmektedir. Fakat farklı tabaka tiplerini ve koşullarını analiz etmek için katsayı seçimini destekleyecek nitelikte veri bulunmamaktadır.

Lastik kaplamasına olan etkilere bağlı olarak yüzey koşullarının değişimine göre düzeltmeler Brezilya'da yapılan çalışmalara göre yapılmaktadır. Brezilya'da yapılan çalışmalarda, lastik tüketimi üzerindeki etkiyi referans olarak alınan 3,5 SI değerindeki yüzey koşulunun orantılı bir şekilde değişen değerine göre maliyetler incelenmiştir.

Pürüzlülük dengeleme faktörleri yolcu araçları ve kamyonlar için Çizelge 2. 6'da gösterilmiştir [10].

Çizelge 2. 6 Lastik maliyeti dengeleme faktörleri yüzey koşullarına bağlı değişimi [10]

SERVİS KABİLİYETİ İNDEKSİ	YOLCU ARAÇLARI VE KAMYONET	TIR
1,0	2,40	1,67
1,5	1,97	1,44
2,0	1,64	1,27
2,5	1,37	1,16
3,0	1,16	1,07
3,5	1,00	1,00
4,0	0,86	0,95
4,5	0,76	0,92

2.1.4 Bakım ve Onarım Maliyeti

Bakım ve onarım maliyeti, taşıt işletme maliyetleri arasında önemli bir kısmı oluşturmaktadır. Ayrıca, hassas bir şekilde hesaplanması zor olan bir maliyettir. Bireysel araçlar için meydana gelen masraflar araç sahibine ve araç ruhsat koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Genel taşıt sınıfları için güncel bakım ve onarım masraflarını tahmin edebilmek için bazı bilgi ve yöntemler kullanılmıştır. Yapılan tahminler toplam araç parçalarına ve işçilik maliyetlerine dayandırılarak üretilmiştir. Belirli alanlardaki masraflar Winfrey'in oluşturduğu Çizelge 2.7 'de özetlenmiştir.

Veri destekli önerilen bu kategoriler bakım ve onarım giderini ve aracın arızalanma yüzdesini belirlemek için kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmalar 3-S2 sınıfındaki kamyonlar için dayanak oluşturmuştur. Bu yüzdeler pikaplar hariç tüm kamyonlar için kullanılmıştır. Ana kategorilerin maliyet yüzdesi mil başına ortalama bakım maliyeti ile birlikte Çizelge 2. 8'de gösterilmiştir. Tablodaki bakım maliyetlerinin dağılımları, üç

kategoride mil başına düşen maliyeti elde etmek için ortalama bakım ve onarım maliyeti ile çarpılmıştır. Bu kategoriler:

- Genel gövde, şase ve elektrik,
- Fren,
- Sürüş, motor ve güç takımı şeklindedir.

Çizelge 2. 7 Bakım ve Onarım Maliyeti Bileşenlerinin Sınıfılandırılması [10]

<table>
<tr>
<td rowspan="2"><u>Gövde:</u>
Tamponlar
Kapılar
Çamurluklar
Cam
Isıtıcı
Cihazlar
İç Yerler
Anahtar ve Kilit
Boya
Yıkama ve Cila
Cam Silecekleri</td>
<td><u>Tekerlek:</u>
Balans
Zincirler
Lastikler</td>
<td rowspan="3"><u>Motor:</u>
Hava temizleyici
Antifriz
Hata Göstergesi
Karbüratör
Distribütör
Benzin Pompası
Fan ve Kemer
Yağ Filtresi
Radyatör
Bujiler
Buhar Temizleme
Su Pompası
Emisyon Kontrolü
Su Hortumu
Isıtıcı Hortum
Termostat</td>
</tr>
<tr>
<td rowspan="2"><u>Şasi:</u>
Yağ Nipelleri
Tekerlek Kapakları
Susturucu
Egzoz Borusu
Amortisörler
Direksiyon
Süspansiyon Sistemi
Jantlar
Tekerlekler
Akslar
İskelet
Benzin Deposu</td>
</tr>
<tr>
<td><u>Fren:</u>
Ayarlamalar
Silindirler
Kampanalar
Akışkan
Kontrol
Balatalar</td>
</tr>
<tr>
<td><u>Güç Aktarma Organı:</u>
Debriyaj
Diferansiyel
Tahrik Mili
Şanzıman
Şanzıman Yağı
Mafsallı Birleşimler</td>
<td><u>Elektrik:</u>
Akü
Jeneratör
Farlar
Regülatör
Marş
Sinyaller
Kablo
Bobin
Radyo</td>
<td></td>
</tr>
</table>

Genel maliyetler seyahatin her bir mili için oluşturulmuştur. Fren maliyetleri sadece hız azalması ve negatif eğimli yolda hız kesme gibi durumlar için uygulanmıştır. Sürüş

takımları maliyetleri ise frenleme yapılmadığı zamanki durumlar yani pozitif beygir gücü durumları için kullanılmıştır. Winfrey'in iyi şartlardaki düz yollar için sabit hızda belirlediği maliyetler, kapsamlı bir şekilde oluşturulmuş güncel maliyet oranlarının (frenleme maliyeti hariç) kapsamlı bakım onarım maliyetinin çarpımıyla güncellenmiştir. Sürüş takımları maliyetleri her 5 mph'lik hız artışları için, Çizelge 2. 8'de gösterilen motor ve güç takımı maliyetlerinin yüzdesine ve güncel bakım ve onarım maliyetlerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Her bir taşıt sınıfında sürüş takımı maliyetlerini beygir gücünün bir fonksiyonu olarak hesaplayabilmek için doğrusal bağlanım analizleri yapılmıştır. Ancak aracı hızlandırmak, eğimli yollarda hareket ettirebilmek ve kurpları aşabilmek için gereken beygir gücü düz yollar için hesaplanan beygir gücü değerlerinden fazla olmaktadır. Hızlanmalarda, eğimlerde ve yatay kurplardaki bakım ve onarım maliyeti fazlalığını elde edebilmek için beygir gücü fazlalığı bağlanım denkleminin eğimiyle çarpılarak elde edilmektedir [10].

Çizelge 2. 8 Bakım ve onarım maliyetlerinin yüzdelik analizi [10]

MALİYET TÜRÜ	ALT SINIF ARAÇ (%)	ALT-ORTA SINIF ARAÇ (%)	STANDART SINIF ARAÇ (%)	KAMYONET (%)	KAMYONLAR (%)
GÜÇ AKTARMA ORGANI	2	1	1	2	13
MOTOR	41	45	45	44	51
GÖVDE	3	2	2	7	6
ŞASİ	23	22	19	19	2
ELEKTRİK	18	17	18	15	19
FREN	13	13	12	13	9
TOPLAM YÜZDE (%)	100	100	100	100	100
ORTALAMA MALİYET ($/mil)	34,30	41,60	48,04	52,81	145,0

Dizel yakıtlı 3 kamyon tipi için verilen bakım ve onarım maliyetleri Winfrey'in 3-S2 dizel kamyon maliyetlerinden geliştirilmiştir. Fren maliyetlerini belirlerken ne kadar sık veya seyahat süresinin ne kadarlık bir yüzdesinde kullanıldığına dair veriler toplanmıştır. Teksas'da yapılan bir çalışma kırsal yollarda seyahat süresinin %1'inde fren yapıldığını göstermektedir. Los Angeles'daki ana yollar için yapılan bir çalışma ise mil başına 1-2 durak bulunduğunu ve işletme hızının 25 mph olduğunu göstermektedir. Mil başına 1,5 durak olduğu göz önünde bulundurularak çeşitli duyarlılık analizleri yapılmış ve en makul bakım ve onarım maliyeti belirlenmeye çalışılmıştır. Her bir durak için oluşturulan fren maliyeti katsayıları negatif eğimli yollarda aracın sabit hızda gitmesini sağlayan fren etkisi ile çarpılarak fren maliyeti elde edilmektedir. Brezilya'da yüzey koşulları değişiminden kaynaklanan güncel masrafları belirleyebilmek için çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmalarda yüzey pürüzlülüğü değişimine bağlı olarak değişen parça ve işçilik masrafları sınıflandırılmıştır. Her taşıt sınıfı için uygulanan dengeleme faktörleri Çizelge 2. 9'da gösterilmiştir [10].

Çizelge 2. 9 Yol yüzey koşulları için bakım ve onarım masrafı dengeleme faktörleri

SERVİS KABİLİYETİ İNDEKSİ	YOLCU TAŞITLARI VE KAMYONETLER	TEK PARÇA KAMYONLAR	2S2 VE 3S2 KAMYONLAR
1,0	2,30	1,73	2,35
1,5	1,98	1,48	1,82
2,0	1,71	1,30	1,50
2,5	1,37	1,17	1,27
3,0	1,15	1,07	1,11
3,5	1,00	1,00	1,00
4,0	0,90	0,94	0,92
4,5	0,83	0,90	0,86

2.2 Emisyon Maliyeti

Emisyon salınımı konusunda 1980 yılında yayınlanan geçmiş kaynaklarda otomobiller ve kamyonlar arasında önemli farklılıklar görülmektedir. Otomobillerdeki çevreyi kirleten maddeyi belirlemek için anlık emisyon modelleri bulunmaktadır. Hafif taşıtlar için en iyi emisyon modellemesi Kunselman ve arkadaşları tarafından incelenmiştir. Bu model 18 farklı hafif araç grubunun zamana bağlı anlık emisyonları elde edebilmek için tasarlanmıştır. 18 araç grubu, zamanın en çok kullanılan araç filosu olup 1975 yılı modelli hafif taşıtlardan oluşmaktadır. Çalışmadan elde edilen emisyon eşitliği (2.9) numaralı bağıntı ile verilmiştir:

$$\text{Emisyon} = (1\text{-WF})(B_1+B_2V+B3A+B_4AV+B_5V2+B_6A^2+B_7VA^2+B_8AV^2+B_9A^2V^2) + (WF)(S_1+S_2V+S_3V^2) \quad (2.9)$$

Burada;

Emisyon: Emisyon miktarı (gram/saniye),

$B_1,B_2,\ldots B_9$: Hız değişimine bağlı Emisyon katsayıları,

S_1,S_2,S_3: Sabit hızlar için emisyon katsayıları,

V: Taşıt hızı (mph),

A: Taşıt hızlanması (mph/sec),

WF: İşletme moduna bağlı ağırlıklandırma faktörü olarak ifade edilmektedir.

Ağır benzinle çalışan taşıtlardaki emisyon miktarını hesaplamak için yapılan çalışmada 4 ağır taşıt sınıfında taşıtlar seçilmiştir. Bu sınıf, güç kaynağı 350 kübik sekiz silindirli motor olan iki dingilli tekli birim kamyonlardan oluşmaktadır.

Ağır taşıtlarda emisyon modellemesiyle ilgili tatmin edici çalışma yürütülememesine karşın iki önemli veri kaynağı tespit edilmiştir. Güneybatı Araştırma Enstitüsü emisyonla ilgili önemli miktarda veri elde etmiştir. Bu çalışmaların çoğu emisyon modellemesi üretmeyip daha çok emisyon sertifika prosedürlerinin gelişimi ve test edilme ile ilgili veriler elde edilmiştir.

Çizelge 2. 10'da bu emisyon miktarlarının hesaplanması için kullanılan katsayılar görülmektedir[10].

Ağır taşıtlarda emisyon modellemesiyle ilgili tatmin edici çalışma yürütülememesine karşın iki önemli veri kaynağı tespit edilmiştir. Güneybatı Araştırma Enstitüsü emisyonla ilgili önemli miktarda veri elde etmiştir. Bu çalışmaların çoğu emisyon modellemesi üretmeyip daha çok emisyon sertifika prosedürlerinin gelişimi ve test edilme ile ilgili veriler elde edilmiştir.

Çizelge 2. 10 Emisyon model katsayıları [10]

KATSAYILAR	KİRLİLİK TİPİ		
	HC	CO	NOx
B1	0,80684014E-02	0,21578921E-00	0,1081600E-01
B2	-0,40020002E-03	-0,12577798E-01	-0,1225000E-02
B3	0,90040010E-03	0,51477298E-01	-0,73540001E-03
B4	0,65000000E-04	-0,23425999E-02	0,53939992E-03
B5	0,66000002E-05	0,16780000E-03	0,44400003E-04
B6	-0,63569990E-03	-0,15755999B-02	-0,32972000E-02
B7	0,89800000E-04	0,28229994E-03	0,52660005E-03
B8	-0,30000001E-06	0,125299998-03	0,31199997E-05
B9	-0,60000002E-06	0,48500006E-04	-0,84000003E-05
S1	0,53815991E-02	0,11655778E-00	0,26507999E-02
S2	-0,14550000E-03	-0,46298988E-02	-0,35370002E-03
S3	0,19999998E-05	0,69899994E-04	0,23400004E-04

San Antonio yol güzergahı tüm yol koşullarını içeren bir yol olmamasına rağmen 7,2 millik kısmı kent yolu, çevre yolu ve ana yol gibi tüm çeşitleri içermektedir. Bu yüzden gerçekçi bir emisyon bilgisi için iyi bir örnek teşkil etmektedir. Test edilen taşıtların çoğunun modelleri 70'li yılların başlarına ait olup brüt ağırlıkları 16000-20000 pound arası değişmektedir. Çizelge 2. 11'de bu araç tiplerinin emisyon oranları gösterilmektedir [10].

Çizelge 2. 11 Ağır taşıtlar için ortalama emisyon oranları [10]

ARAÇ MARKASI	MODEL YILI	BRÜT AĞIRLIK (lbs)	MOTOR TİPİ/ SİLİNDİR HACMİ (in^3)	ÇALIŞMA SAYISI	ORTALAMA EMİSYON (gram/lb)		
					HC	CO	N0x
Chevrolet	1970	18.000	V-8/350	11	8,06	116	8,64
GMC	1970	19.500	6 cy1/351	9	17,90	285	3,74
Ford	1972	19.200	V-8/361	8	12,88	140	12,1
IHC	1970	17.000	V-8/304	8	12,90	155	11,2
IHC	1972	25.000	V-8/345	9	15,17	192	6,29

Benzin motorlu çalışan ağır taşıtlardaki emisyonu karakterize eden bir diğer veri çalışmaları EPA tarafından yapılmıştır. Bu çalışma 1983 model yılı için hidro karbon ve karbon monoksit standartlarının üretiminin geliştirilmesi için yapılmıştır. Tüm bilgiler 1969 ve 1979 model yıllarının kamyonet motor dinamometre testlerinden sağlanmıştır. Çeşitli motor tiplerine göre bu modellerin emisyon oranları Çizelge 2. 12'deki gibidir.

Her bir tip emisyon için B ve S katsayısının değişimi tabloda gösterilmiştir. Bu eşitlik farklı emisyonların değerlendirilmesinde istenilen kolaylığı sağlamaktadır. Üç yolcu araç sınıfı ve bir pick up sınıfı araçların emisyonlarının geliştirilmiş modal analiz model ile gösterimi için Grup 18 seçilmiştir. Emisyon salınımı, araçların yakıt tüketimiyle doğrudan ilişkili olmakla beraber insan ve çevre için bir tehdit oluşturmaktadır. Seyahat sürelerinin uzun olması yakıt tüketimini arttıracağı için insan ve çevre etkileride aynı oranda artacaktır. Dolayısıyla trafik sıkışıklığının önlenmesi ve daha etkin bir yol tasarımı ile bu etkileri minimize etmek çok önemlidir [10]. Aşağıda emisyon salınımını

modellemek için bazı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımların avantajları olduğu kadar bazı konularda da dezavantajları vardır [11]. Bu yaklaşımlar;

- Ortalama Hız
- Tekli Emisyon Faktörleri
- Yakıt Tüketimi
- Motor Emisyon Modelleri şeklindedir.

Çizelge 2. 12 Motor tiplerine göre emisyon oranları [10]

1969 MODEL MOTORLAR							
MOTOR TİPİ/ SİLİNDİR HACMİ (in^3)	TEST SAYISI	ORTALAMA EMİSYON (gram/saatlik fren beygir gücü)			ÖLÇÜLMÜŞ EMİSYON (gram/lb)		
		HC	CO	N0x	HC	CO	N0x
V-8/330	5	28,13	157,15	7,89	38,68	216,08	10,86
V-8/304	8	11,22	127,76	6,70	16,53	187,70	9,80
V-8/351	7	9,27	111,51	8,80	14,92	171,02	13,50
V-8/350	3	9, 40	170,7	4,82	14,08	255,87	7,21
1970 MODEL MOTORLAR							
V-8/345	10	2,44	34,44	6,46	3,74	53,01	9,94
V-8/350	14	2,48	64,76	6,62	3,47	90,46	9,22
V-8/360	3	2,67	96,10	4,36	3,88	139,25	6,34
V-8/350	3	2,66	114,02	6,58	6,14	158,17	8,99

2.2.1 Ortalama Hız

Bu yaklaşım taşıt tipine ve emisyon bileşimi için ortalama hız ve emisyon düzeyi (gram/taşıt-km) arasındaki ilişkiyi gözlemleyip değerlendirmektedir. Toplam emisyon düzeyi hız ve toplam seyahat miktarı (km) ile çarpılarak elde edilmektedir. Bu yaklaşımın avantajı emisyon miktarını hesaplamak için tek bağımsız değişken olarak

hızın kullanılmasıdır. Dahası ortalama hız sürüş modelini belirtmektedir ama kısmen de olsa hızlanma ve yavaşlama etkileri hesaba katılmaktadır [11].

2.2.2 Tekli Emisyon Faktörleri

Bu yaklaşım taşıt ve kirlilik tiplerinin tüm kombinasyonları için birkaç faktör belirlemektedir. Bu durumda sürüş aktivitesinin etkisini göz ardı eden bir yaklaşımdır. Farklı taşıt tiplerinin seyahat miktarları emisyon hesaplamak için kullanılan tek faktördür.

HDM-4 Emisyon modelleme formu motordan gelen emisyon yakıt tüketim oranına bağlı olarak tahmin edilmektedir ve daha sonra katalitik konvertöre (taşıt emisyon kontrol cihazı) göre hareket etmektedir. Egzoz borusundan çevreye yayılan emisyon miktarının elde edilmesine ilişkin eşitlik (2.10) verilmiştir [11].

TPE = EOECPF (2.10)

TPE: Egzoz borusundan çevreye yayılan emisyon miktarı

EOE : Motorun yanma işlemi sırasında açığa çıkan emisyon. Daha sonra katalitik konvertör tarafından daha zararsız hale getirilir.

CPF: Emisyon düşmesindeki katalitik dönüştürücünün etkinliğini ifade eden bir fraksiyon.

2.2.3 Yakıt Tüketimi

Bu yaklaşım yakıt tüketimine bağlı olarak emisyon miktarının hesaplanmasıyla ilgilidir. Kullanılan HDM-4 programı, emisyon hesabını bu yaklaşıma dayandırarak yapmaktadır. Bu yöntemin en önemli avantajı yakıt tüketiminin yol koşulları, geometrik tasarım ve motor fonksiyonlarının değişimine bağlı olarak değişmesi ve dolaylı yoldan emisyon miktarını etkilemesidir [11].

2.3 Yol Güvenliği Maliyeti

Yol güvenliği, bir proje için kullanılan yol kaplama koşulu ve bu kaplama üzerinde meydana gelen kaza sayıları arasında ilişkilendirme yapılabilmesi için tanımlanması

gerekmektedir. Yol kaplama koşulunu mevcut hizmet düzeyi (PSI) olarak tanımlanabilmektedir.

1975 'ten 1978 yılına kadar Teksas Eyaleti Otoyollar ve Toplu Taşıma Departmanı çeşitli kırsal bölgelerdeki çeşitli kaplamalarda Mays Ride metreleriyle ölçümler yapmıştır. Mays metreleri standart Teksas metotları kullanarak yüzey dinamik profilometreye göre kalibre edilmiştir. Bu sayede pürüzlülük ölçümlerini PSI değeri cinsinden ifade edilebilmiştir. Diğer yıllara oranla 1976 yılında pürüzlülük ölçümleri daha fazla yapılmış ve analiz etme koşulları oluşturulmuştur.

1. yaklaşım kazaları; ortalama günlük trafik, kesit uzunluğu ve PSI ile ilişkilendirmektedir. Nitekim kaza sayısının belirlenmesindeki en uygun yaklaşımda budur. 2. yaklaşım ise kaza sayılarının mil sayısıyla orantılı olduğunu belirtmektedir. 3. yaklaşım ise kaza sayılarının kesit uzunluğu ve ortalama günlük trafik ile orantısal olduğunu ifade etmektedir [10].

Trafik kazalarında ağırlıklı olarak düşük ve orta gelirli ülkelerde olmak üzere yılda 1,24 milyon insan ölmekte ve milyonlarcası yaralanmakta ya da sakat kalmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre trafik kazaları günümüz itibariyle dünyada 8. ölüm nedeni olup, eğer önlem alınmaz ve mevcut eğilim devam ederse 2030 yılında 5. ölüm nedeni olacağı tahmin edilmektedir.

Çizelge 2. 13'e göre yapılan ölçümlerde toplam uzunluğu 9.266 mil olan 1.898 tabaka kesitte 10.063 kazanın olduğu belirlenmiştir. Class 1 uluslararası otoyolları, Class 2 A.B.D yollarını, Class 3 ise kırsal alanlardaki çiftlik yollarını belirtmektedir[10].

Kesit üzerindeki kaza sayısı (ACCNO) bir yıllık periyotta meydana gelen kaza sayısını ifade etmektedir.

- Kesit uzunluğu (LEN)
- Kesitteki ortalama günlük trafik
- Kesitin yol hizmet düzeyi (PSI)
- Kesitin otoyol sınıflandırılması

Çalışmanın amacı PSI ile her milyon taşıt mili arasında bir ilişki elde etmektir.

Kaza sayısı = F(Kesit uzunluğu, Ortalama günlük trafik, PSI)

Mil başına düşen kazalar = F(Ortalama günlük trafik, PSI)

Milyon taşıt mil başına düşen kazalar = F(PSI)

Çizelge 2. 13 Yol hizmet düzeyi – Kaza sayıları[10]

		YOL SINIFI			
		1	2	3	TOPLAM
KESİM SAYISI		215	855	828	1.898
KM CİNSİNDEN UZUNLUK	TOPLAM	1.587	7.631	5.700	14.918
	ORTALAMA	7,38	8,92	6,88	
	SD	3,98	4,84	3,60	
KAZA SAYISI	TOPLAM	1.653	6.486	1.924	10.063
	ORTALAMA	7,69	7,59	2,32	
	SD	10,26	12,20	4,62	
ORTALAMA GÜNLÜK TRAFİK (ADT)	ORTALAMA	17.093	3.046	1.417	
	SD	17,335	6,224	2,703	
SERVİS KABİLİYETİ İNDEKSİ (PSI)	ORTALAMA	3,156	3,192	2,505	
	SD	0,915	0,719	0,788	

Ülkemizde 2012 yılı itibariyle 153.549 ölümlü ve yaralanmalı trafik kazasında, 268.102 kişi yaralanmış 3750 kişi hayatını kaybetmiştir. Emniyet Genel Müdürlüğü 2012 yılı verilerine göre ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarının yaklaşık %33,6'sının sebebi hızdır. Karayolu güvenliği uzmanlarının birçoğu karayolu ölümlerinde en önemli etmenin hız yapma olarak yorumlanan aşırı hız (hız sınırının üzerinde araç kullanma) veya uygun olmayan hız (yasal hız sınırına uygun ancak şartlara göre çok hızlı araç kullanma) olduğu konusunda görüşbirliği içindedir. Hız sürücü tarafından seçilir. Belli

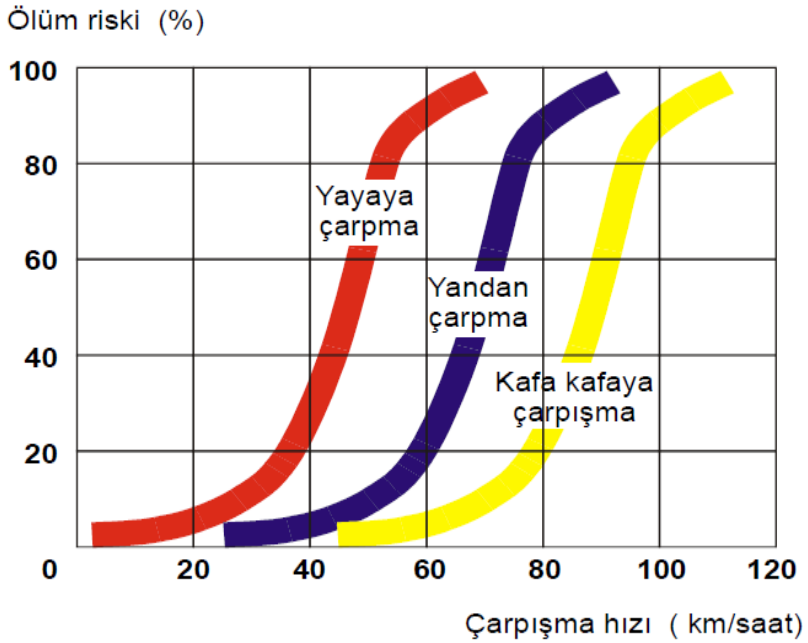
bir yerde tek bir hız değeri yoktur. Sürücüler genelde kendilerini güvenli hissettikleri hızda araç kullanırlar. Sürücülerin hızlarını belirlemesine etki eden unsurlar [12]:

- Günün saati
- Seyahat amacı
- Ortamın aydınlığı
- Hava durumu
- Araç Tipi
- Hız Sınırı
- Bir kazaya veya sonuçlarına şahit olmak
- Seyahatin 8 veya 16 km önceki seyahat hızı
- Bitişik arazi kullanımı
- En son trafik cezası
- Üstyapı ıslaklık durumu
- Şerit genişliği
- Diğer taşıtların hızları
- Park eden taşıtlar
- Banket genişliği
- Üstyapıdaki kar, buz, çamur, kum durumu
- Motosiklet kullananların varlığı
- Sürücünün kanındaki alkol miktarı
- Sürücünün iş programı
- Seyahatin uzunluğu
- Yolcu sayısı
- Yolcu profili
- Sürücünün yolu tanıması
- Taşıtın fiziksel özellikleri
- Seyahatin aciliyeti
- Sürüş yeteneği
- Sürücünün kişiliği
- Sürücünün duygusal durumu
- Kısıtlı yanal açıklık
- Üstyapı tipi ve durumu
- Yüzeyin pürüzlülüğü
- Trafik hacmi
- Yayalar
- Mevcut ve/veya geçmiş trafik kontrolleri (polis, radar vb.)

Hızı kontrol altına alma çabalarının altında hız azalmasının trafik kazalarını azaltacağı varsayımı bulunmaktadır. Hız ve trafik kazaları arasında üç farklı ilişki vardır. Birincisi; hızın yol üzerindeki sürücülerin, yayaların veya diğer objelerin tepki vermek için ihtiyaç duyduğu süreyi etkilemesidir. Aşırı hızda ne durmak ne de problemden sakınmak

mümkün olabilmektedir. İkincisi; yol üzerindeki taşıtlar arasında veya yol üzerindeki taşıtlar ile yol kenarındaki objeler (örneğin park etmiş taşıtlar) arasındaki hız farklılıklarının çarpışma olasılığını doğrudan etkilemesidir. Üçüncüsü; çarpışma olduğunda yüksek hızın ciddi yaralanmalara, maddi hasarlara neden olmasıdır. Karayolu trafiğindeki kayıplarda hız, hem kaza olma ihtimalini hem de bunlardan kaynaklanan kayıpların vahametini etkileyen kilit risk etmenlerinden biri olarak tanımlanmaktadır. Yüksek hız hem kaza riskini hem de kaza olması halinde önemli düzeyde kayıplara yol açma ihtimalini artırmaktadır. Bunun nedeni hız arttıkça hem sürücünün tepki verme süresi içinde kat edilen mesafenin hem de durmak için gerekli mesafenin artmasıdır. Bilindiği gibi durma mesafesi hızın karesi ile doğru orantılıdır. Sürücü en hızlı şekilde reaksiyon göstererek fren yapsa dahi durma mesafesi hızla ilişkili olarak artmakta, kaza kaçınılmaz hale gelmekte ve kazanın şiddeti de ayrıca artmaktadır. Diğer bir deyişle yüksek hızlar yol kullanıcılarına kazadan kurtulmalarını sağlayacak manevralar için daha az şans tanımaktadır. Araştırmalar ve uzman değerlendirmeleri dikkate alınarak elde edilen verilere göre çeşitli tipteki trafik kazalarında, çarpışma hızına bağlı olarak değişen ölüm riski oranları

Şekil 2. 5'de gösterilmektedir. Buna göre aşağıdaki koşullarda ölüm riskinin %10'dan %70'e yükseldiği görülmektedir [12].



Şekil 2. 5 Çarpışma hızına göre trafik kazalarındaki ölüm riski [12]

Bir çarpma esnasında hız ne kadar yüksekse, darbe sırasında emilmesi gereken mekanik (kinetik) enerji miktarı da o kadar yüksektir. Yol güvenliğini etkileyen hız değişimleri doğrudan çarpışma anında açığa çıkan kinetik enerji değişimi ile de ilgilidir. Hareket halindeki taşıtın kinetik enerjisi, kütlesi ve hızının karesiyle doğru orantılıdır. Yüksek hızlarda darbe anındaki hız artmakta dolayısıyla taşıtın ve yolcuların maruz kaldığı kuvvetlerde artış göstermektedir. Dolayısıyla yüksek hızın önemli düzeyde kayıplara yol açma ihtimali de daha yüksektir.

Hız sınırı 25 km/sa ile 120 km/sa arasında değişen yol kesimlerinde hız ve kaza riski arasında istatistiksel olarak çok güçlü bir ilişki vardır. Trafikteki ortalama hız azalırsa, kaza ve ciddi yaralanmalar hemen hemen azalır, ortalama hız artarsa kaza sayısı ve ciddi yaralanmalar genellikle artar. Ortalama hız değişimleri ve kaza riski arasındaki ilişkiyi belirleyen formül (2.11) numaralı eşitlikte verilmektedir.

$$CMF= (V_a/V_b)^x \quad (2.11)$$

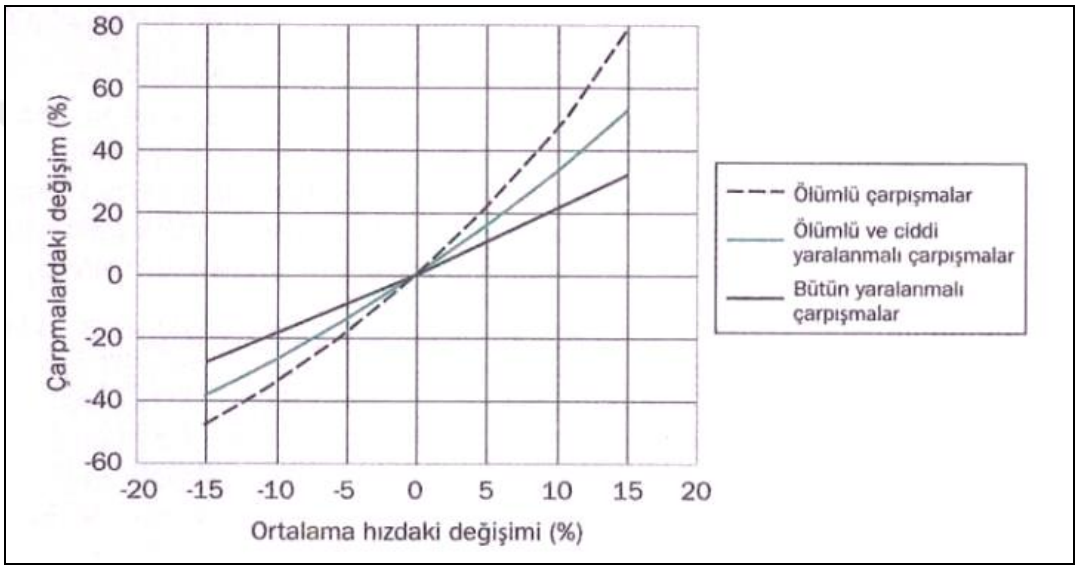
CMF: Kaza değişim faktörü

V_a: Hız değişimi olduktan sonraki ortalama hız

V_b: Hız değişimi olmadan önceki ortalama hız

x = 3,6 (ölümlü kazalar); 2,0 (yaralanmalı kazalar); 1,0 (maddi hasarlı kazalar); 4,5 (ölümler); 2,7 (yaralanmalar)

Ortalama hızdaki değişikliklerin trafikte meydana gelen kazaların oranı ve ciddiyeti üzerindeki etkilerinin hesaplanmasında kuvvet modeli dikkate alınarak hazırlanan Şekil 2. 6 aşağıda yer almaktadır. Şekil 2. 6 incelendiğinde ortalama hızda yüzde 5'lik bir artışın yaralanmaya yol açan kazalarda yüzde 10, ölümlere yol açan kazalarda ise yüzde 20'lik bir artışa neden olduğunu görülmektedir [12].



Şekil 2. 6 Kuvvet modeline göre hızdaki yüzdelik değişim ve kazalardaki yüzdelik değişim arasındaki ilişki [12]

2.4 Zaman Kaybı Maliyeti

Zaman kaybı maliyeti ulaştırmanın işletme maliyetleri içerisindeki en büyük maliyetlerden biri olup zaman kaybı maliyetinden tasarruf etmek altyapı yatırımlarının hayata geçirilmesindeki en önemli gerekçelerden biridir. Çeşitli çalışmalar bu maliyet değerinin farklı kullanıcı tiplerine ve seyahat koşullarına göre değişimini incelemiştir. Seyahat konforu ve seyahat güvenilirliği zaman kaybı maliyetini belirleyen niceliklerdir. İnsanların çoğu günün 1-1,5 saatini yolculuğa ayırmaktadır. Yaklaşık 30 dakikalık bir yolculuk süre olarak eğlenceli gibi görünse de seyahat süresinin fazla olması yaşam kalitesini düşürmektedir [13].

2.4.1 Zaman Değeri Perspektifleri

Zaman kaybı değerinin hesaplamak için birkaç perspektif bulunmaktadır. Çizelge 2. 14'te görüldüğü üzere, Saat süresi (Clock Time) nesnel olarak ölçülürken algılanan süre yolculuk yapanın deneyimine göre değişiklik göstermektedir. Ücretli seyahat süresi maliyetleri (Paid), saat süresine (Clock Time) dayalı olarak hesaplanması gerekirken kişisel seyahat süresi ise algılanan süreye (Perceived Time) göre hesaplanmalıdır.

Çizelge 2. 14 Zaman kaybı hesabı için kullanılan perspektifler [13]

AD	TANIM	ÇIKARIMLAR
Seyahat Süresi (Travel time)	Seyahat için ayrılan süre	En belirgin olmayan tanım
Saat Süresi(Clock Time)	Nesnel olarak ölçülen seyahat süresi	Zamanın miktarını belirler
Algılanan Süre(Perceived Time)	Kullanıcı tarafından deneyimlenen süre	Seyahat konforunu belirler
Ücretli Süre (Paid)	Mesai içerisinde harcanan zaman (kargo teslimatları)	Diğer saatlere nispeten daha yüksek maliyete eğilimlidir
Kişisel Seyahat Süresi	İşe geliş-gidiş saatleri	Ekonomik çalışmalara göre zaman değerinin en geniş kategorisi
Genelleştirilmiş Maliyetler	Seyahat süresi ve finansal maliyetlerin birleşimi	Seyahat süresinin trafik modellermelerinde kullanılması
Etkin Hız (Effective Speed)	Ulaşım ücretlerini ödemek için ve taşıt beklemek için harcanan sürelerde dahil	Daha pahalı ulaşım modları için daha yüksek maliyet gerektirir

Seyahat süresi maliyetleri bazı koşullara göre değişen birim maliyetleri ile seyahat süresi boyunca harcanan zamanın çarpılmasıyla elde edilir. Seyahat süresi birim maliyetleri seyahat tipi, seyahat koşulları ve seyahat eden kişinin tercihlerine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin rahat bir koltukta konforlu bir şekilde yapılan yolculuk için belirlenen birim maliyeti , trafik sıkışıklığının yaşandığı bir güzergahta aynı seyahat süresine sahip kalabalık bir toplu taşıma içinde yapılan seyahatin birim

maliyetine oranla zaman kaybı maliyetine etkisi daha az olmaktadır. Ayrıca yürümek, bisiklete binmek, beklemek, yolcu ya da sürücü olarak seyahat etmek; seyahat koşullarına, ihtiyaçlarına ve kullanıcı tercihlerine bağlı olarak birim maliyete etki etmektedir.

Çeşitli çalışmalar, seyahat zamanı birim maliyetlerini ve seyahat süresi tasarruflarının değerlerini; iş maliyetleri analizi, yolcu ölçümleri ve yolcuların zaman ve para arasındaki seçim yapmasına sebep olan davranışsal özelliklerine bağlı olarak belirlemiştir.
Avustralya Emisyon Ofisinin (Avustralian Greenhouse Office) derlediği çalışmaya dayanarak Çizelge 2. 15'te gösterilen farklı taşıt türleri için tahmini etkin hız (Effective Speed) , kazanılan parayla ulaşım ücretlerini ve taşıt giderlerini ödemek için geçen süreyi, yolculuk süresini , araca yürümek, araç bakımı ve temizliği gibi ek sürelerin toplamına göre hesaplanmaktadır [13].

Çizelge 2. 15 Etkin hız tahmininde kullanılan parametreler [13]

	Lüks Otomobil	**Spor Otomobil**	**Ortalama Otomobil**	**Ekonomik Otomobil**	**Toplu Taşıma**	**Bisiklet**
Yıllık Taşıt Giderleri ($)	$14.161	$17.367	$9.753	$5.857	$966	$500
Yıllık Çalışma Saatleri (20$/Saat)	644	790	444	266	44	23
Ortalama Seyahat Hızı (Km/Saat)	45	45	45	45	20	20
Seyahat Süresi (Saat)	333	333	333	333	600	750
Ek Zaman (taşıt bakımı, vb.)(Saat)	51	51	50	51	60	55
Toplam Süre (Saat)	1.028	1.174	827	650	704	828
Etkin Hız (Km/Saat)	14,6	12,8	18,1	23,1	21,3	18,1

2.4.2 Hizmet Düzeyi Oranları

Hizmet düzeyi oranı (Level-Of-Service Ratings) A'dan F'ye sınıflandırılan, seyahat koşullarını değerlendiren ve problem teşkil eden alanları tespit etmek amacıyla yaygın bir şekilde kullanılan ölçme yöntemidir. Trafik mühendisleri, hizmet düzeyi oranlarını hacim-kapasite oranlarını ve trafik gecikmelerini tespit etmek amacıyla kullanırlar.

Çizelge 2. 16'da toplu taşıma, yaya ve bisikletle seyahatin hizmet düzeyi üzerinde etki eden faktörler gösterilmektedir. Genellikle yol hizmet servis düzeyleri yol yapımına veya genişletilmesine gerekçe gösterebilmek için kullanılır. Örneğin trafik mühendisleri ulaştırma sistemleri yatırımlarını, öncelik olarak yol ve kavşak hizmet düzeylerine dayanarak değerlendirir. Karar vericilerin çoğu otomobil ulaşımını öncelik olarak belirleyip diğer ulaşım modlarında karşılaşılan problemler ile ilgili hassas kararlar almamaktadır. Planlama aşamasında; yürüyüş, bisikletle seyahat ve toplu taşıma hizmet düzey oranları , karar vericilerin daha geniş çaptaki etkileri ve seçenekleri değerlendirmelerine olanak sağlamaktadır [14].

Çizelge 2. 16 Hizmet düzeyi faktörleri [14]

Toplu Taşıma Araçları	Toplu Taşıma Bekleme Alanları	Yürüyüş ve Bisikletle Seyahat
Ulaşılabilirlik (günlük servis saatleri). Sıklık Derecesi (saat başı ya da günlük) Hız Güvenilirlik (Çizelgeyle uyumlu) Konfor Ücret Uygunluğu Güvenlik Uygun Maliyetli Temizlik	Ulaşılabilirlik Güvenlik Hava Koşullarına Uyumlu Işıklandırma Kalitesi Konfor Temizlik Hizmet (atıştırmalar ve lavabo)	Yürüyüş ve bisiklet yollarının kalitesi Taşıt Yolundan Ayrılması Bitişik Yolun Trafik Durumu Topoğrafya Güvenlik Kıyafet Değişim Olanakları Diğer Modlara Erişebilirlik

2.4.3 Seyahat Süresi Değerleri

Seyahat süresi değerleri, ulaştırma planlaması ve proje değerlendirmesi açısından önemli bir faktördür. Bu değerler seyahat sistemi değişikliğine sebep olan seyahat davranışları üzerindeki etkileri tahmin edebilmek için kullanılır. Seyahat süresi tasarrufları , yeni otoyol yapımı ya da yol genişletmesi gibi ulaşım gelişim projelerinin uygulanmasıyla elde edilen en büyük kazançtır. Sonuç olarak seyahat süresi değerlendirmesi sonuçlara etki eden önemli bir faktördür. Seyahat süresinin tek bir yöntemle tek bir değişkenle ölçülmesi bazı durumlarda projenin uygun maliyetli olduğu sonucunu ortaya çıkarsa da farklı yöntemlerle ve farklı bakış açılarıyla yeniden ölçülerek yapılan çalışmada bu proje uygun maliyetli olmayabilir. Ulaşım planlama ve değerlendirme modellemelerle geliştirilen seyahat süresi değerleri, daha hassas analizler yapabilmeyi ve daha uygun maliyetli çözümler üretmeyi sağlayabilir.

Seyahat süresi süresi birim maliyetleri ($/Saat) genellikle ortalama ücretlere dayanarak hesaplanır. Kişisel seyahat süresi değerleri, çalışma ücretinin (Prevailing wage) %25 ila %50'si arasında değişmektedir. Bu farklılık aşağıdaki tartışma konusu olan sebeplere dayanarak oluşmaktadır [14].

- Ticari (Paid) seyahat maliyetleri, sürücü maaşlarını,çalışma olanaklarını, taşıt ve etkin bir şekilde çalışan kargonun zaman değerlerini kapsamalıdır.
- Seyahat süresi maliyetleri, güvenli olmayan, konforsuz ve stres barındıran koşullarda yükselme eğilimindedir.
- Seyahat süresi maliyetleri , artan kazançla birlikte artar ancak çocuklar, emekli olanlar ve işsiz olanlar için daha düşüktür. Bir başka deyişle tam zamanlı çalışanlar zamana daha çok rağbet ederler ve seyahat süresi tasarrufu için daha fazla ödemeye eğilimlidirler.
- Ilımlı miktardaki günlük seyahat süresi, birim maliyete çok az etkisi olur ya da hiç etkisi olmaz. İnsanlar genelde seyahatlerinin bir bölümünde eğlenebilir ve faydalı işlerle uğraşabilir. Ancak 20 dakikayı aşan zamanlarda ve günlük toplam 90 dakikayı aşan seyahat sürelerinin maliyetlerinde artış görülmektedir.

- Seyahat süresi maliyetleri, değişken ve varış saatlerinin belirsiz olduğu durumlarda ve özellikle beklenmedik gecikmelerde artış gösterme eğilimlidir.
- Memnun edici koşullarda yürüyüş yapmak, bisikletle yolculuk yapmak ve toplu taşıma aracı beklemek seyahat süresi maliyetini etkilemez ya da negatif yönde etkileyebilir. Ancak güvenli ve temiz olmayan bölgelerde beklemek taşıt içerisinde beklemeye oranla 2 ila 5 kat arasında yüksek maliyetli olma eğilimi gösterir.

Bu yaklaşımlar, seyahat süresi birim maliyetlerinin konfor, uygunluk, üretkenlik ve güvenlik gibi niteleyici faktörlere karşı oldukça duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Optimal koşullar altında; yürüyüş, bisikletle seyahat etmek ve transit seyahat maliyetleri genellikle çalışma ücretinin yaklaşık %25-35 ‘ lik oranına sahiptir. Sürücüler için ortalama çalışma ücretinin %35-50 ‘lik orandan az olan seyahat süresi maliyetleri stres yaratan koşulların az olması ve sürüş keyfinin yüksek olmasıyla ilişkilidir. Fakat gürültü, kirlilik ve kalabalık gibi olumsuz koşullarda yapılan yolculuklar için seyahat süresi maliyetleri bu oranları aşmaktadır.

Benzer bir şekilde yapılan çalışmalar, yürümek için ve taşıt beklemek için harcanan sürenin maliyeti taşıt içindeyken sahip olunan seyahat süresi maliyetinin 2 ila 5 katı, bir başka deyişle ortalama çalışma ücretinin %70-175 oranları arasında değişmektedir. Aktarma yapmak, taşıt içinde 5-15 dakika beklemeden kaynaklı seyahat süresi maliyetine eş bir maliyete ve buna ek olarak bekleme maliyetine sebep olabileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca bazı çalışmalar, gerçek zamanlı bir transit yönetiminin kurulmasıyla, bekleme maliyetinin %20 oranında düşürülebileceği yönünde tahminler içermektedir.

Çizelge 2. 17 seyahat eden kişinin uygunluğu ve konfor faktörlerine bağlı olarak değişen seyahat süresi değerlerini özetlemektedir. Çizelgede seyahat süreleri değerlerinin hangi kalitedeki koşullara bağlı olarak değiştiğini gösterebilmek için hizmet düzeyi oranları kullanılmıştır [15].

Çizelge 2. 17 Çalışma ücretlerine (Prevailing wage) bağlı seyahat süresi değerleri [15]

Kategori	LOS A-C	LOS D	LOS E	LOS F	Bekleme Koşulları		
					İyi	Ortalama	Zayıf
Ticari Taşıt Sürücüsü	120%	137%	154%	170%		170%	
Ticari Taşıt Yolcusu	120%	132%	144%	155%		155%	
Otobüs Sürücüsü	156%	156%	156%	156%		156%	
Şahsi Taşıt Sürücüsü	50%	67%	84%	100%		100%	
Yetişkin Yolcu(otomobil)	35%	47%	58%	70%		100%	
Yetişkin transit yolcu (Oturan)	35%	47%	58%	70%	35%	50%	125%
Yetişkin transit yolcu (Ayakta)	50%	67%	83%	100%	50%	70%	175%
Çocuk (<16 yaş-Oturan)	25%	33%	42%	50%	25%	50%	125%
Çocuk (<16 yaş-Ayakta)	35%	46%	60%	66%	50%	70%	175%
Yayalar ve bisiklet kullananlar	50%	67%	84%	100%	50%	100%	200%
Aktarma yapanlar (Dakika)					5	10	15

BÖLÜM 3

KARAYOLU İŞLETME MALİYETLERİNİN BELİRLENMESİ

Karayolu işletme maliyetlerinin belirlenmesi için Dünya Bankası tarafından geliştirilen HDM-4 (Highway Developement and Management) yazılımı kullanılmıştır. Bu bölümde bu yazılımın kullanım amaçları ve nasıl kullanıldığı anlatılmıştır.

3.1 HDM-4 Yazılımının Amaçları

Ekonomik değerlendirme, karayolunun iyileştirilmesi ve projelerin gelecekteki faydalarını tespit etmek amacıyla kullanılan bir yaklaşımdır. Fayda-maliyet analizinin amaçları; sektörel politik çalışmaların yapılması, yol şebekesinin gelişimi ve bakımı için stratejik planlama yapılması, kaynak ihtiyacı için karar verilmesi ve yol bozulmalarıyla ilgili fiziksel ve ekonomik ilişkilerin çok kapsamlı araştırmalarla belirlenmesi gibi uygulamalarda çözüm üretmektir. Ulaştırmaya faydaları düşünüldüğünde;

- Taşıt işletme maliyetini düşürmek
- Yolcuların ve kargoların zamandan kazanç sağlanması
- Kazaları azaltmak gibi önemli faydaları amaçlamaktadır.

Kaplama Yönetimi Yaklaşımlarını üç kategoride değerlendirilmektedir.

Krize yönelik yaklaşım: Bakıma ihtiyaç duymaksızın ya da çok az bakıma ihtiyaç duyulacak karayolu imkanları sunmaktadır.

Finansal yaklaşım: Fiziksel standartlar ayrılan bütçeye göre, sağlanan teknik gereksinimlere ve kabul edilebilir hizmet düzeyine göre değişmektedir.

Teknik – ekonomik yaklaşım: Topluma yansıyan işletme maliyetlerini minimize edecek fonksiyonel ve teknik standartlar belirlenmesi. Yazılım Kullanarak Ekonomik Analiz yapmaktadır. Geniş anlamda toplum giderleri karayolu gelişmeleriyle ilişkilidir. Bu analizde incelenecek olan maliyetler ikiye ayrılmaktadır:

- İşletim maliyeti; yatırım maliyeti olarak ele alınmaktadır.
- Yol kullanıcı maliyeti; taşıt işletme maliyeti, seyahat süresi maliyeti ve kaza maliyeti olarak ele alınmaktadır.

İyi bir ulaştırma sisteminin amacı kullanıcıya güvenli, etkili ve hızlı bir ulaşım sağlamaktır. Ulaştırma sisteminin faydaları iki şekilde değerlendirilmektedir:

Yol kullanıcı faydaları; yol kullanıcı maliyetinden, seyahat süresinden, bakım maliyetinden ve kazanın neden olacağı maliyetlerden elde edilen faydalardır.

Toplumsal faydaları; idari, sağlık, ticaret, endüstriyel gelişimlere bağlı elde edilen faydalardır.

3.2 HDM-4 Kalibrasyonu

ISOHDM (International Study Of Highway Development and Management Tools) projesi kapsamında ekonomik, teknolojik ve iklimsel olarak kayda değer biçimde farklılık gösteren gelişmiş ve gelişmekte olan 100'den fazla ülkede model oluşturabilmek için geniş çerçevede incelemeler yapıldı. Yol sisteminde yapılacak değişimlere bağlı olarak elde edilen model simülasyon sonuçlarının güvenilirliği iki esas noktaya dayanmaktadır. Birincisi modelin gerçek koşulları tam yansıtacak yeterli verinin elde edilip edilmemesi, ikincisi ise model tahminlerinin gerçek davranışlara ve entegre olduğu diğer faktörlere ne kadar yansıdığıyla ilgilidir. Bu yüzden analiz yapılmadan önce sistem analiz yapılacak bölge koşullarına göre kalibre edilmelidir [16]. HDM-4 geniş çevrelerde kullanılmak için tasarlandığından dolayı, HDM-4 kalibrasyonu sistem işletimini duruma göre ayarlama olanağı sağlayarak bölgenin geleneksel normlarını yansıtmaktadır. HDM-4 model kalibrasyonu; fiziksel miktarlar, maliyetler ve analiz için tahminde bulunduğu faydalar konusunda karar veren iki temel bileşene odaklanmaktadır:

- Yol kullanıcı etkileri
- Yol bozulması ve bakım etkileri

Bölgesel kalibrasyonun uygunluk derecesi çok fazla uygulama tipine ve kullanıcıya yansıyan var olan kaynaklara bağlıdır. Örneğin, planlama uygulamalarında yol kullanıcı maliyetleri ve yol yapım maliyetleri bölgesel maliyetlere yakın olmalıdır. Çünkü farklı güzergah uzunluklarına ya da farklı trafik kapasitesine sahip diğer projeler toplam yol ulaşım ağı kapsamında değerlendirilip maliyetler karşılaştırılmaktadır. Diğer bir taraftan yol bakım ve işletim planlamasında yol koşulları, yolun pürüzsüzlüğü gibi kavramlar yol kullanıcı maliyetinin hassasiyeti açısından önemlidir [16].

3.3 Veri Gereksinimi

Yazılımda analiz yapılabilmesi için çok geniş miktarda veriye ihtiyaç vardır. Bunlar;

Birincil Veri; bölgenin yol hacmi, tali yol sayısı ve kaplama koşulları ile ilgili verileri içermektedir.

İkincil Veri; her bir taşıt türü için genel bir sınıflandırma içermektedir.

Yapılan temel karakteristik sınıflandırmalar şunlardır [16]:

- Fiziksel: Yolcu otomobil alan değeri, tekerlek sayısı, dingil sayısı
- Lastikler: Lastik tipi, Lastik değişim sayısı, değiştirme maliyeti
- Kullanım: Yıllık km., çalışma saatleri, ortalama ömür, özel kullanım, yolcular, iş ile ilgili seyahatler
- Yükleme: Tek dingil eşdeğer yükleme faktörü, işletme yüküdür.

3.4 Yol Kullanıcı Maliyetleri

Yol kullanıcı maliyeti; taşıt işletme maliyeti, zaman kaybı maliyeti , kaza maliyeti ve taşıt emisyon maliyetlerinden oluşmaktadır. HDM-4'te bulunan kaplama bozulma modellerindeki uygun kalibrasyon faktörlerinin kullanımı kaplama bozulma hakkında daha güvenilir ve akılcı tahminlerde bulunulmasına olanak sağlamaktadır.

Yol kullanıcı etkileri kalibrasyonu için farklı türde taşıtların seyahat sürelerinin elde edilmesi gerekmektedir. Hindistan'ın Kerala eyaleti için yapılan bir çalışmada Çizelge 3. 1'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3. 1 Otobüs için seyahat süresi değeri (iş saati ve dışındaki zamanlar için) [16]

Parametre	Formül	Birim	Miktar
Haneye düşen Gayri Safi Katma Değer (%70) (D)	D = A 0,70	Rs milyon	1.308,983
Çalışan Ortalama Geliri (E)	E = (D/B) / C	Rs/Yıl	143.950
Çalışan Ortalama Geliri ** (saat) (F)	F = E/2400	Rs/Saat	59,98
Seyahat süresi değeri (G) (Çalışma saatleri içindeki değer)	G = F 1,33	Rs/Saat	79,77
Seyahat süresi değeri (G) (Çalışma saatleri dışındaki değer)	G = F 0,30	Rs/Saat	23,93
A = Gayri Safi Katma Değer (G.S.K.D) = 1.869,976 Rs milyon			
B = Bölge nüfusu = 32 milyon			
C = Çalışan yüzdesi* = %25,38			
*İşçilerin tam zamanlı, teknik personelin yarı zamanlı çalıştığı göz önünde bulundurulması durumunda. ** Yılda 2400 saat çalışma performansı göz önünde bulundurulması durumunda.			

Bulunan 79,77 Rs/Saat'lik ve 23,93 Rs/Saat'lik değerler Hindistan'ın Kerala eyaletinde iş zamanı ve iş zamanı harici zaman dilimlerinde gerçekleşen otobüsle yapılan seyahat süresi değerleridir. Diğer taşıt tipleri için ele alınan değerler ise Çizelge 3. 2'de görülmektedir.

Çizelge 3. 2 Diğer taşıt tipleri için seyahat süresi değerleri[16]

		Çalışma Saatleri İçerisinde (Rs/saat)	Çalışma Saatleri Dışında (Rs/saat)
Otobüs	Otobüs 1,00	79,77	23,93
Midibüs	Otobüs 1,20	95,73	28,72
İki Tekerlekli	Otobüs 1,40	111,68	33,50
Otomobil	Otobüs 1,75	167,55	50,27
Üç Tekerlekli	OTOMOBİL 0,70	117,29	35,19

3.5 HDM-4 Yazılımının Kullanılması

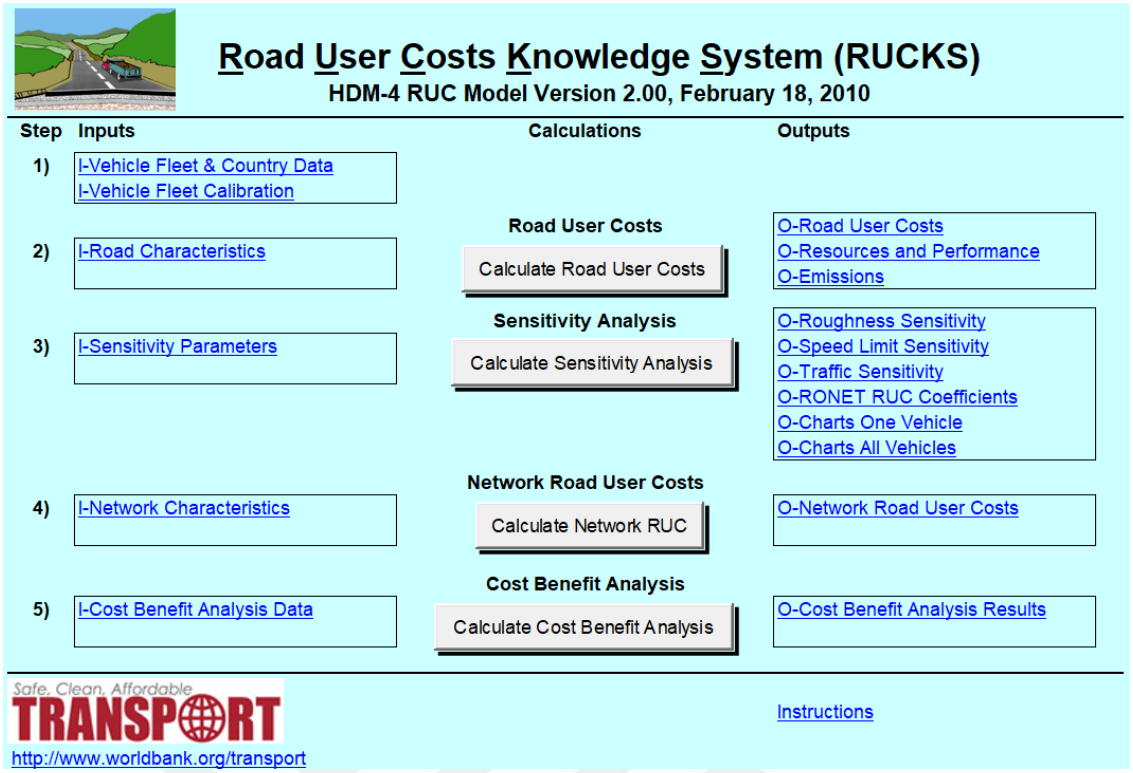
Çalışmada sunulan model birim yol kullanıcı maliyetlerini, hız, seyahat süreleri, araç işletme maliyetleri ve emisyon verileri kullanılarak, HDM-4 yazılımıyla hesaplanabilmesi için tasarlanmıştır. Yol emniyeti maliyetleri ise Yol Değerlendirme Programına (IRAP) göre hesaplanmaktadır. Modelin 4 tane değerlendirme seçeneği bulunmaktadır [17]:

Yol Kullanıcı Maliyetleri Hesabı: Bu kısımda 1 km'lik tek yol kesitinde birim yol kullanıcı maliyetleri ve emisyonları hesaplanmaktadır.

Duyarlılık Analizi Hesabı: Pürüzlülük, hız limiti ve trafik parametreleri değişimlerine dayanarak maliyet hesabı yapılması istenilen yolun duyarlılık analizleri yapılmaktadır.

Şebeke Yol Kullanıcı Maliyetleri: Farklı uzunluktaki, farklı koşullardaki ve trafik karakteristiği farklı olan yollarda birim yol kullanıcı maliyetlerini, toplam şebekenin kullanıcı maliyetlerini, CO2 emisyonunu ve sonuçlarını hesaplamak için kullanılmaktadır.

Maliyet Fayda Analizi: Projenin yapılmasını ya da yapılmamasını düşünerek fayda-maliyet analizinin yapıldığı seçenektir.



Şekil 3. 1 HDM-4 Program Arayüzü [17]

Şekil 3. 1'de arayüzü gösterilen HDM-4 yazılımı ile yol kullanıcı maliyetleri analizi 5 adımda tamamlanmaktadır. Bu adımlar aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

1. "Vehicle Fleet & Country Data" hücresine araç filo birim maliyetleri ve araç karakteristik özellikleri girilir. Değerlendirme yapılması istenilmeyen araç tipinin "New Vehicle" hücresine sıfır yazılır.
2. "Vehicle Fleet Calibration" hücresinde tüm araç filolarının parametreleri ayarlanır.

   Eğer Yol Kullanıcı Maliyet Hesabı yapılmak isteniyorsa;
3. "Road Characteristics" hücresi içerisimde yolun karakteristik özellikleri belirlenir.
4. "Calculate Road User Costs" butonuna tıklanıldığında Yol Kullanıcı Maliyetleri ve emisyonları hesaplatılır.
5. "Road User Costs" sekmesi kullanılarak birim yol kullanıcı maliyetleri ve hızlar görüntülenebilir. "Resources and Performance" sekmesinde ise kaynak tüketimi ve araç performansını gözlemlenmektedir. Son olarak "Emissions" sekmesi de hesaplanan emisyon değerlerini göstermektedir [17].

BÖLÜM 4

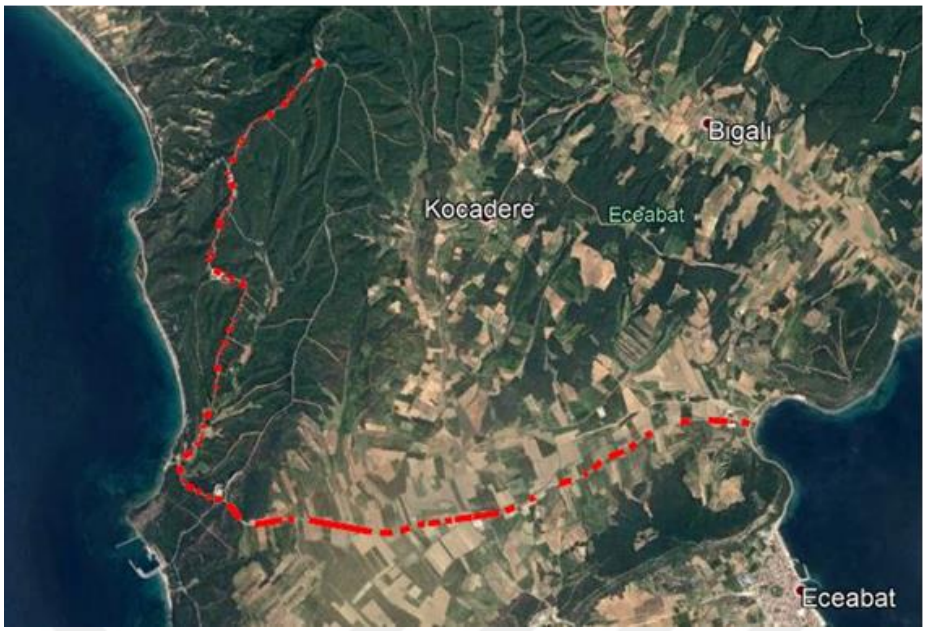
GELİBOLU-ANIT GÜZERGAHININ İŞLETME MALİYETLERİNİN İNCELENMESİ

Bu bölümde örnek bir uygulama projesi esas alınarak yol işletme maliyetleri hesaplanmıştır. Bu maliyetlerin hesaplanabilmesi için gerekli tüm girdiler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

4.1 Uygulama Girdileri

"Gelibolu-Eceabat-Abide ve Anıt Devlet Yolu-3. Kısım" projesi için Çanakkale il sınırlarında yer alan bölge ile ilgili bilgiler uygulama girdileri olarak kullanılmıştır. Uygulama girdileri, seyahat süresi, emisyon değerleri, yol güvenliği, yol geometrisi gibi verileri içermektedir. "Gelibolu - Eceabat – Abide ve Anıt Devlet Yolu" projesinin konumu Şekil 4. 1'de gösterilmiştir. Bu devlet yolunun uzunluğu 13,59 km olup tek şeritli iki yönlü bölünmemiş yol olarak projelendirilmiştir. Proje ile ilgili geometrik standartlar Çizelge 4. 1'de verilmiştir.

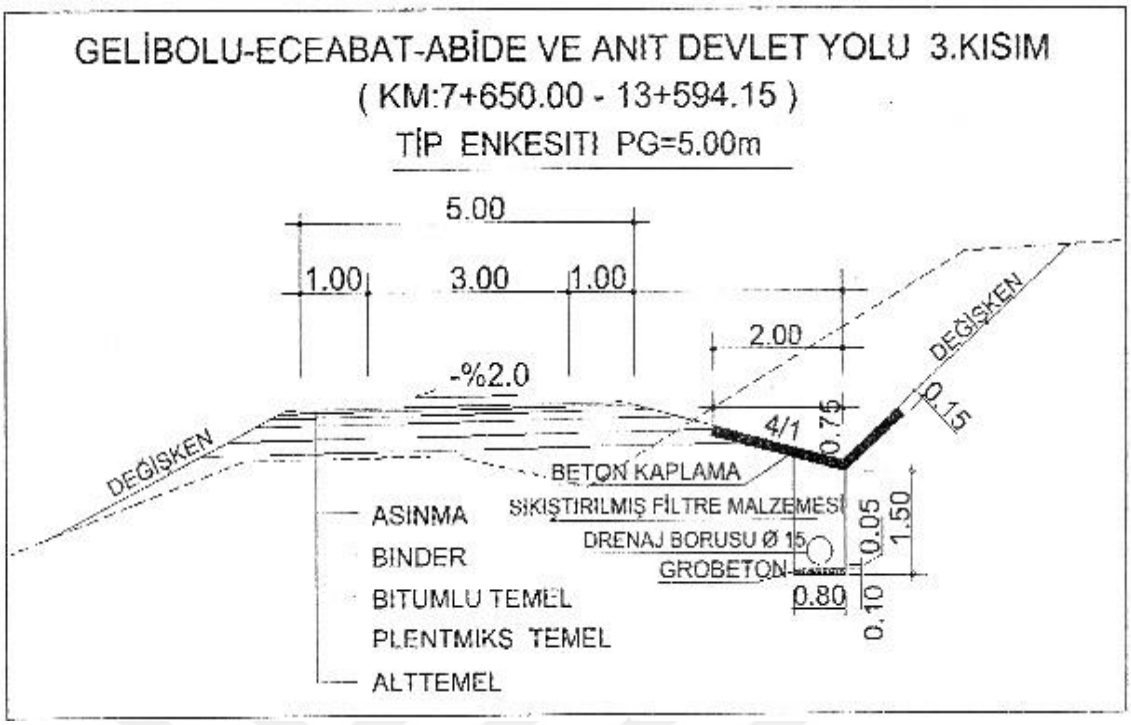
Program girdilerinin tanımlanabilmesi için projeyle ilgili bazı bilgilerin elde edilmesi gerekmektedir. Projemizin üstyapı raporlarından faydalanarak ihtiyaç duyulan yol karakteristik değerleri elde edilmiştir. Güzergaha ait tip enkesit Şekil 4. 2'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 1 Gelibolu-Eceabat-Abide ve Anıt Devlet Yolu konumu

Çizelge 4. 1 Proje özellikleri

III. KISIM	
KM – 0+000.00 – 13+594,15	
YOLUN SINIFI	2x1 Bölünmemiş Yol
PLATFORM GENİŞLİĞİ	5,00 – 8,00 m
ŞERİT SAYISI	2x1
ŞERİT GENİŞLİĞİ	3,00 m
ORTA REFÜJ GENİŞLİĞİ	Yok
TRETUVAR	Yok
TIRMANMA ŞERİDİ	Yok
BANKET GENİŞLİĞİ	1,00 m
GEÇİŞ EĞRİSİ (KLOTOİD)	Var
PROJE HIZI	Ort. 50 km/saat
MAKSİMUM BOYUNA EĞİM	%8,00
KAMULAŞTIRMA GENİŞLİĞİ	Projenin Gerektirdiği Kadar
ÜST YAPI CİNSİ	BSK



Şekil 4. 2 Projeye ait tip enkesit

İşletme maliyetlerini belirleyebilmek için ülke koşullarına göre değişkenlik gösteren ve bu maliyetlere etki eden başlıca parametreler incelenmiştir. Çalışma yapılan projeye ilişkin girdiler aşağıda başlıklar halinde detaylı olarak açıklanmıştır.

4.1.1 Hizmet Ömrü ve Eşdeğer Taşıt Standartları

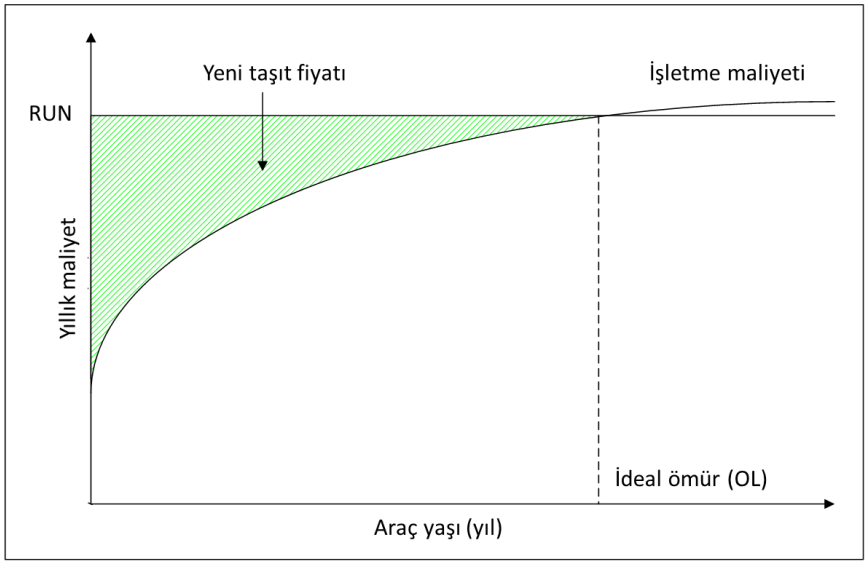
Hizmet ömrü ile ilgili temel yaklaşım işletme koşullarıyla ilişkilendirilmektedir. Yüksek işletme koşullarında seyahat eden taşıtların hizmet ömürleri düşük işletme koşullarında seyahat eden taşıtlara göre daha fazladır. Taşıt tipleri ve hizmet ömrü değerlerine ilişkin girdiler Çizelge 4. 2'de gösterilmiştir.

Şekil 4. 3'de gösterildiği gibi ideal ömür noktası (OL) taşıtın yeni değerinin elde edildiği noktadır. Bu noktadan sonra taşıtın değeri ilk değerine göre düşme eğilimi göstermektedir [18].

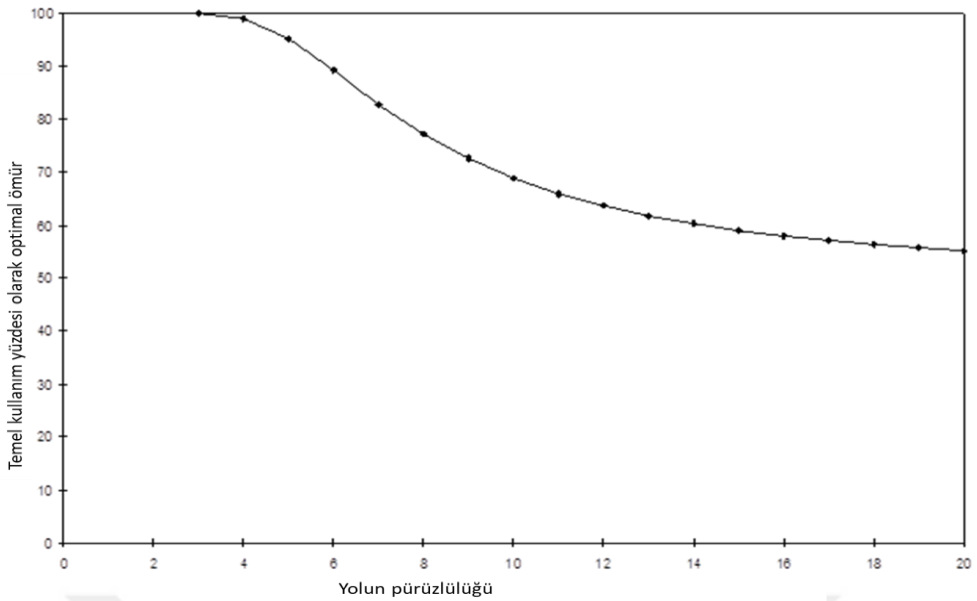
Ayrıca bakım maliyetleri yolun pürüzlülüğüyle orantılı olduğundan pürüzlü yollardaki taşıtların hizmet ömürleri düzgün yollardaki taşıtların hizmet ömrüne göre daha kısadır. Hizmet ömrü – yol pürüzlülüğü ilişkisi Şekil 4. 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. 2 Taşıt tipleri ve hizmet ömrü değerleri [18]

TAŞIT TİPLERİ (Karayolları Trafik Kanunu)	TAŞIT TİPLERİ (HDM-4)	HİZMET ÖMRÜ (0: SABİT, 1: OPTİMAL)
MOTOSİKLET	MOTOSİKLET	1
OTOMOBİL	KÜÇÜK OTOMOBİL	0
	OTOMOBİL	0
	KURYE ARACI	1
ARAZİ TAŞITI	ARAZİ TAŞITI	1
KAMYONET	KAMYONET	1
KAMYON	KAMYON(3 DİNGİLLİ)	1
	KAMYON(4 DİNGİLLİ)	1
	TIR	1
MİNİBÜS	MİNİBÜS	1
OTOBÜS	MİDİBÜS	1
	OTOBÜS	1



Şekil 4. 3 Taşıt hizmet ömür – giderler grafiği [18]



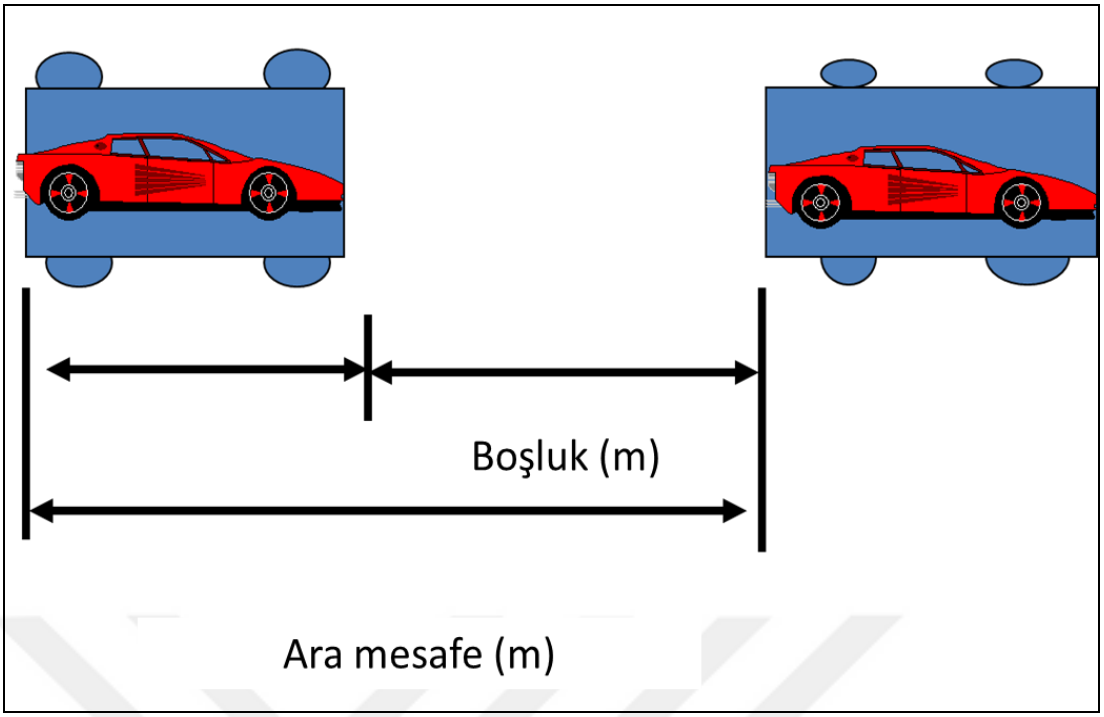
Şekil 4. 4 Hizmet ömrü – yol pürüzlülüğü ilişkisi [18]

Eşdeğer taşıt mesafesi ise trafik sıkışıklığını modellemek, karışık trafik filosunu eş değer taşıt standartlarını elde edebilmek için kullanılan kapladığı boşluk ile ilgili bir parametredir. Taşıt tiplerine göre eşdeğer taşıt mesafeleri Çizelge 4. 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 3 Taşıt tiplerine göre eşdeğer taşıt mesafeleri [18]

TAŞIT	EŞDEĞER MESAFE (Metre)	TAŞIT	EŞDEĞER MESAFE (Metre)
MOTOSİKLET	0,50	KAMYON(3 DİNGİLLİ)	1,40
KÜÇÜK OTOMOBİL	1,00	KAMYON(4 DİNGİLLİ)	1,60
OTOMOBİL	1,00	TIR	1.80
KURYE ARACI	1,00	MİNİBÜS	1,40
KAMYONET	1,30	MİDİBUS	1,50
ARAZİ TAŞITI	1,00	OTOBÜS	1,60

Şekil 4. 5'te eşdeğer taşıt mesafesi (PCSE) gösterilmiştir.



Şekil 4. 5 Eşdeğer taşıt mesafesi (PCSE) [18]

4.1.2 Direnim Kuvvetleri

Yol işletme maliyetlerinin en maliyetli bileşeni olan taşıt işletme maliyetlerinin etkili bir şekilde hesaplanabilmesi için taşıt filosundaki her bir taşıt türüne etki eden direnim kuvvetlerinin hesaplanması gerekmektedir. Aerodinamik kuvvet ve yuvarlanma direnci hesaplama yöntemi aşağıda gösterilmektedir.

4.1.2.1 Aerodinamik Kuvvet

Direnim kuvvetlerinden olan aerodinamik kuvvetleri hesaplayabilmek için taşıt yüzey alanlarını ve aerodinamik sürükleme katsayılarının tanımlanması gerekmektedir. Çizelge 4. 4'de aerodinamik kuvvetin hesabı için gerekli parametreler ve hesap yöntemi gösterilmiştir.

Çizelge 4. 5'de HDM-4 yazılımı için gerekli parametre ve katsayıların varsayılan değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 4. 4 Aerodinamik kuvvet eşitlikleri [19]

KATSAYILAR	AÇIKLAMA	BİRİM
AERODİNAMİK KUVVETLER (Fa)	Fa=0,5ρCDAFν^2	N
CD	Direnç Katsayısı	BOYUTSUZ
AF	Taşıtın Ön Alanı	m^2
ρ	Hava Kütle Yoğunluğu (Varsayılan=1,2)	kg / m^3
ν	Taşıtın Hızı	m / s

Çizelge 4. 5 Aerodinamik kuvvet katsayıları [19]

TAŞIT	KUVVET		
	ÖNGÖRÜLEN ÖN ALAN (m2)	AERODİNAMİK DİRENÇ KATS. (#)	AERODİNAMİK DİRENÇ KATS. ÇARPANI (#)
MOTOSİKLET	0,80	0,70	1,10
KÜÇÜK OTOMOBİL	1,80	0,40	1,10
OTOMOBİL	1,90	0,42	1,10
KURYE ARACI	2,00	0,50	1,11
ARAZİ TAŞITI	2,80	0,50	1,11
KAMYONET	4,00	0,55	1,13
KAMYON(3 DİNGİLLİ)	5,00	0,60	1,13
KAMYON(4 DİNGİLLİ)	8,50	0,70	1,14
TIR	9,00	0,80	1,22
MİNİBÜS	4,00	0,50	1,13
MİDİBÜS	5,00	0,55	1,14
OTOBÜS	6,50	0,65	1,14

4.1.2.2 Yuvarlanma Direnci

Direnim kuvvetlerden biri olan yuvarlanma direnci ile ilgili eşitlik Çizelge 4. 6'da yer almaktadır.

Çizelge 4. 6 Yuvarlanma direnci eşitlikleri [19]

YUVARLANMA DİRENCİ (Fr)	$F_r = CR2(b11N_w + CR1(b12M + b13V^2))$	N
CR1	Yuvarlanma Direnci Lastik Faktörü	faktör
YUVARLANMA DİRENCİ KATSAYILARI (b11, b12, b13)	b11 = 37WD b12 = 0,064/WD $b13 = 0,012N_w/WD^2$	parametreler
WD	Tekerlek Çapı	m
YUVARLANMA DİRENCİ YÜZEY FAKTÖRÜ	$Kcr^2[a0 + a1Tdsp + a2\ IRI + a3DEF]$	faktör
Kcr2	Kalibrasyon Faktörü	faktör
a0, a1, a2, a3	Model Katsayıları	boyutsuz
KUM YAMA YÖNTEMİ İLE DOKU DERİNLİĞİ (Tdsp)	Tdsp = 1,02 * MPD + 0,28	mm
MPD	Ortalama Profil Derinliği	mm
IRI	Uluslararası Pürüzlülük İndeksi	m/km
DEF	Benkelman Kirişi Sapması	mm

Yakıt ve lastik tüketimi için önemli faktör olan bu direncin katsayıları Çizelge 4. 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 7 Yuvarlanma direnci katsayıları [19]

TAŞIT TÜRÜ	CR_B_A0	CR_B_A1	CR_B_A2
MOTOSİKLET	37,00	0,064	0,012
KÜÇÜK OTOMOBİL	37,00	0,064	0,012
OTOMOBİL	37,00	0,064	0,012
KURYE ARACI	37,00	0,064	0,012
ARAZİ TAŞITI	37,00	0,064	0,012
KAMYONET	37,00	0,064	0,012

Çizelge 4. 7 Yuvarlanma direnci katsayıları [19] (devamı)

KAMYON(3 DİNGİLLİ)	37,00	0,064	0,012
KAMYON(4 DİNGİLLİ)	37,00	0,064	0,012
TIR	37,00	0,064	0,012
MİNİBÜS	37,00	0,064	0,012
MİDİBÜS	37,00	0,064	0,012
OTOBÜS	37,00	0,064	0,012

4.1.3 Taşıt Filosu Maliyet Girdileri

Taşıt filosu için yukarıda belirtilen parametreler belirlendikten sonra taşıt filosunun verileri ülke koşullarında değerlendirilmektedir.

Çizelge 4. 8 Taşıt filosu maliyetleri

BİRİM MALİYETLER (TL)							
TAŞIT	YENİ TAŞIT	YENİ LASTİK	YAKIT	YAĞLAMA YAĞ	BAKIM İŞ GÜCÜ	PERSONEL MAAŞ	YILLIK GENEL
	(TL/taşıt)	(TL/lastik)	(TL/l)	(TL/l)	(TL/sa)	(TL/sa)	(TL/yıl)
MOTOSİKLET	4.000	40,00	4,80	8,00	2,00	0,00	80
KÜÇÜK OTOMOBİL	12.000	50,00	4,80	8,00	4,00	0,00	200
OTOMOBİL	26.000	100,00	4,80	8,00	4,00	0,00	200
KURYE ARACI	34.000	160,00	4,80	8,00	4,00	4,00	1.000
ARAZİ TAŞITI	40.000	160,00	4,80	8,00	4,00	4,00	1.000
KAMYONET	40.000	260,00	4,10	8,00	4,00	6,00	1.000
KAMYON(3DİNGİLLİ)	80.000	540,00	4,10	8,00	8,00	6,00	4.000
KAMYON(4DİNGİLLİ)	160.000	700,00	4,10	8,00	8,00	6,00	4.000
TIR	220.000	700,00	4,10	8,00	8,00	8,00	12.000
MİNİBÜS	36.000	120,00	4,10	8,00	8,00	6,00	1.000
MİDİBÜS	140.000	460,00	4,10	8,00	8,00	6,00	4.000
OTOBÜS	180.000	600,00	4,10	8,00	4,00	3,00	6.000

Türkiye koşullarında değerlendirirken kur farkı dolayısıyla default değerler 2 ile çarpılmıştır. Taşıt filosu maliyetleri Çizelge 4. 8'de verilmiştir.

4.1.4 Seyahat Süresi Girdileri

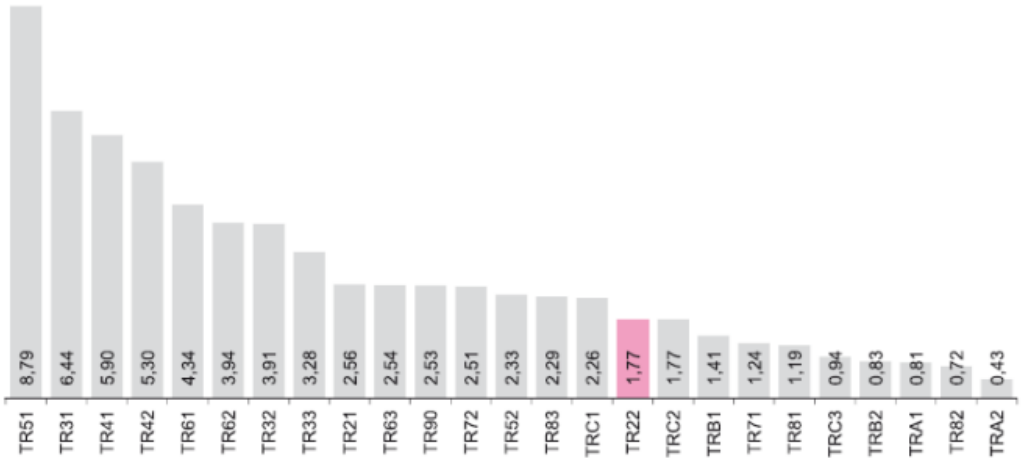
Yol kullanıcı maliyetlerinin tam olarak hesaplanabilmesi için seyahat süresinin maliyetlerinin belirlenebilmesi gerekmektedir. Bir önceki bölümde bahsedilen çalışmada Hindistan'ın Kerala eyaletindeki otobüsle yolcu seyahat sürelerinin çalışma saatleri ve çalışma saatleri dışındaki sürelerin değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada da söz konusu uygulama örneği esas alınarak programın default değerleri Çanakkale bölgesinin verilerinden faydalanarak seyahat süresi değerleri hesaplanmıştır.

TÜİK'den elde edilen bilgilere göre; Türkiye genelinde 15 ve üzeri yaşındakiler arasında 2015 yılı Haziran döneminde işsiz sayısı 2 milyon 880 bin kişi ve işsizlik oranı ise %9,6 seviyesinde gerçekleşmiştir. Aynı dönemde işgücü sayısı 30 milyon 141 bin kişi, işgücüne katılma oranı ise %52,1 olarak belirlenmiştir. Buna göre, Türkiye'deki çalışan sayısı;

Çalışan Sayısı = Nüfus.İş gücüne katılım oranı.(1 - İşsizlik oranı) (4.1)

Çalışan sayısı = 78.741.053 (%52,1) (1 - %9,6) = 37.085.776 kişi (4.2)

olarak hesaplanmıştır.



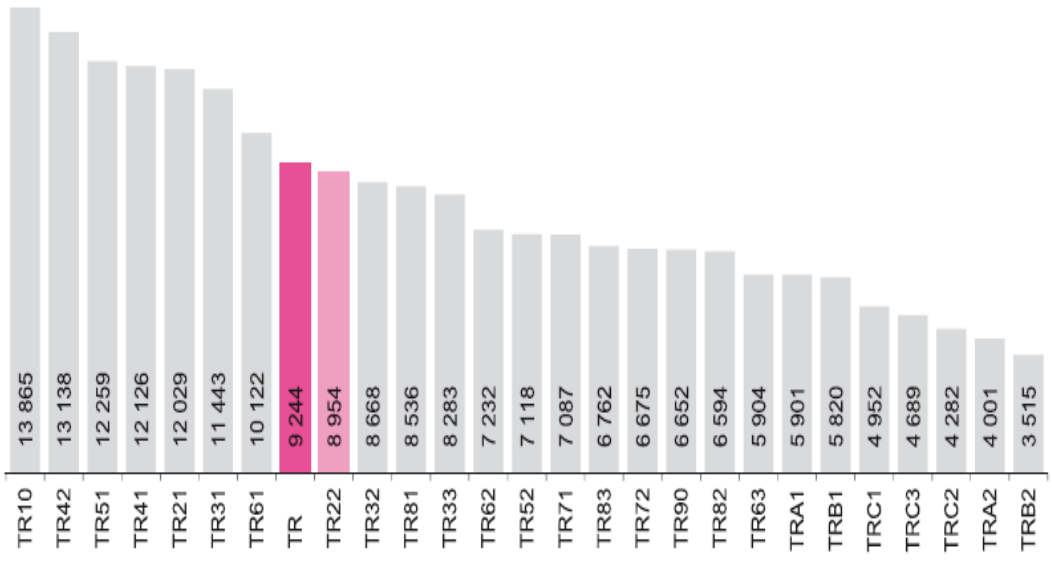
Şekil 4. 6 Çalışan sayılarının Türkiye toplamı içindeki bölgesel yüzdesi (2011) [20]

Şekil 4. 6'da yer alan İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflamasına göre TR22 bölgesi, Çanakkale ve Balıkesir şehirlerini kapsayan bölgeyi göstermekte olup bu bölgedeki toplam çalışan sayısının Türkiye toplamı içindeki payı %1,77'dir. Bu durumda Çanakkale ve Balıkesir bölgesindeki toplam çalışan nüfusu 37.085.776 x 0.0177 = 656.418 kişi olarak bulunmuştur.

2011 nüfus verilerine göre bu bölgenin toplam nüfusu 502.328 + 1.162.761 = 1.665.089 kişidir. Buna göre ortalama çalışan yüzdesi; 656.418 / 1.665.089 = %39,4 olarak bulunmuştur.

Şekil 4. 7'e göre bölgenin toplam gayri safi katma değeri 8.954 x 1.665.089 = 14.909.206.000 ABD dolarıdır. 2011 yılı döviz kuruna baktığımızda ortalama 1 USD = 1,678 TL olmaktadır. Dolayısıyla G.S.K.D = 14.909.206.000 x 1,678 = 25.017.647.668 TL olmaktadır [20].

Çalışma alanına ilişkin otobüsle seyahat süresi değerinin belirlenmesi ile ilgili hesaplamalar Çizelge 4. 9'da gösterilmiştir. Çizelge 4. 10'da ise tüm taşıt türlerine göre seyahat süresi değerleri belirlenmiştir. Program girdisi olarak girilecek taşıt türlerine göre seyahat süresi değerleri Çizelge 4. 11'de verilmiştir.



Şekil 4. 7 Bölgesel gayri safi katma değerleri(2011) [20]

Çizelge 4. 9 Otobüsle seyahat süresi değerinin belirlenmesi

Parametre	Formül	Birim	Miktar
Haneye düşen G.S.K.D (%70) (D)	D = A0,70	TL	17.512.352.000
Çalışan Ortalama Geliri (E)	E = (D/B)/C	TL/Yıl	26.693
Çalışan Ortalama Geliri (saat) (F)	F = E/3120	TL/Saat	7,41
Seyahat süresi değeri (G) (Çalışma saatleri içindeki değer)	G = F1,33	TL/Saat	9,85
Seyahat süresi değeri (G) (Çalışma saatleri dışındaki değer)	G = F0,30	TL/Saat	2,22
A = Gayri Safi Katma Değer (G.S.K.D); B = Bölge nüfusu; C = Çalışan yüzdesi			

Çizelge 4. 10 Diğer taşıt türlerinin seyahat süresi değerinin belirlenmesi

		Çalışma Saatleri İçinde (TL/saat)	Çalışma Saatleri Dışında (TL/saat)
Otobüs	Otobüs 1,00	9,85	2,22
Mini Otobüs	Otobüs 1,20	11,82	2,66
İki Tekerlekli	Otobüs 1,40	13,79	3,11
OTOMOBİL	Otobüs 1,75	17,24	3,88
Üç Tekerlekli	OTOMOBİL 0,70	12,07	4,07

Çizelge 4. 11 Program girdisi olarak taşıt türlerine göre seyahat süresi değerleri

ARAÇ TİPİ	ÇALIŞMA SAATLERİ İÇİNDE (TL/saat)	ÇALIŞMA SAATLERİ DIŞINDA (TL/saat)
MOTOSİKLET	13,79	4,66
KÜÇÜK OTOMOBİL	17,24	3,88
OTOMOBİL	17,24	4,07
KURYE ARACI	17,24	4,07
ARAZİ TAŞITI	17,24	4,07
KAMYONET	9,85	2,22
KAMYON (3 Dingil)	9,85	2,22

Çizelge 4. 11 Program girdisi olarak taşıt türlerine göre seyahat süresi değerleri (devamı)

KAMYON (4 Dingil)	9,85	2,22
TIR	9,85	2,22
MİNİBÜS	11,82	2,66
MİDİBÜS	9,85	2,22
OTOBÜS	9,85	2,22

4.1.5 Emisyon Girdileri

Önceki bölümde zaman maliyeti hesabı için gerekli girdiler elde edilmiştir. Bu bölümde ise emisyon maliyetine ilişkin hesaplamalar yapılmıştır. Literatürde anlatılan modeller standart motorlu taşıt tiplerine göre salınım yapılan bileşimleri göstermektedir. HDM-4 yazılımda 16 tane taşıt tipi bulunmakta ve şu bileşenler modellenmektedir:

1.Karbonmonoksit

2.Sülfürdioksit

3.Nitröz oksit

4.Hidrokarbonlar

5.Partiküller

6.Kurşun

7.Karbondioksit

4.1.5.1 Karbonmonoksit

Karbonmonoksit salınımı, motorun emisyon salınımı ve HDM-4 tarafından belirlenen yakıt tüketimiyle doğrudan ilişkilidir (4.3):

$$EOE_{CO} = a_{CO}FC \quad (4.3)$$

Burada; EOE_{CO}, motorun her bir km'de saldığı emisyon miktarıdır. Birimi gram/km'dir. a_{CO} ise tüketilen her gram yakıtın motor tarafından salınımı yapılan karbonmonoksit

gramını ifade eden model değişkenidir. FC (gram/km), km başına düşen yakıt tüketimini göstermektedir.

Yakıt tüketimine bağlı olarak diğer salınımı yapılan maddelerde benzer formüllerle hesaplanmaktadır [11].

4.1.5.2 Sülfür dioksit

Salınım yapılan SO_2 miktarı, yakıtta bulunan kükürt miktarıyla doğrudan ilgilidir.

$$EOE_{SO2} = 2a_{SO2}FC \quad (4.4)$$

Burada; EOE_{SO2} (gram/km) motorun salınım yaptığı SO_2 miktarıdır. a_{SO2} ise tüketilen her gram yakıtın motor tarafından salınımı yapılan kükürtdioksidin gramını ifade eden model değişkenidir. FC (gram/km), km başına düşen yakıt tüketimini göstermektedir [11].

4.1.5.3 Nitrojen oksit

Bu bileşen yakıt tüketimiyle direkt olarak en az bağlantılı olan bileşendir. Bu yüzden kompleks bir formülü bulunmaktadır.

$$EOE_{Nox} = \max [\, a_{Nox} (FC - (1000FR_{Nox} / V)), 0 \,] \quad (4.5)$$

Burada; EOE_{Nox} (gram/km) motorun salınım yaptığı NOx miktarıdır. a_{Nox} ise tüketilen her gram yakıtın motor tarafından salınımı yapılan nitrözoksidin gramını ifade eden model değişkenidir. FR_{Nox} bir yakıt eşik parametresini ve FC (gram/km) km başına düşen yakıt tüketimini göstermektedir [11].

4.1.5.4 Hidrokarbonlar

Hidrokarbonlar iki aşamadan elde edilmektedir. Birinci aşama yakıt tüketiminden elde edilen hidrokarbon (a_{HC}), ikincisi ise tamamlanmamış motor yanmasından dakikada elde edilen hidrokarbon (r_{HC}) miktarıdır. Genel formül şu şekildedir (4.6):

$$EOE_{HC} = a_{HC}\, FC + (1000r_{HC} / V) \quad (4.6)$$

Burada; EOE_{HC} (gram/km) motorun salınım yaptığı HC miktarıdır. a_{HC} tüketilen her gram yakıtın motor tarafından salınımı yapılan hidrokarbonun gramını ifade eden model değişkenidir. r_{HC} ise tamamlanmamış motor yanmasını ifade eden sabittir. FC (gram/km) km başına düşen yakıt tüketimini göstermektedir [11].

4.1.5.5 Partiküller

Hidrokarbonlar gibi aynı kaynaklarla oluşmaktadır. Genel formül şu şekildedir (4.7):

$$EOE_{PM} = a_{PM} FC + (1000 r_{PM} / V) \quad (4.7)$$

Burada; EOE_{PM} (gram/km) motorun salınım yaptığı PM miktarıdır. a_{PM} tüketilen her gram yakıtın motor tarafından salınımı yapılan partikülün gramını ifade eden model değişkenidir. r_{PM} ise tamamlanmamış motor yanmasını ifade eden sabittir. FC (gram/km) km başına düşen yakıt tüketimini göstermektedir [11].

4.1.5.6 Kurşun

Salınım yapılan kurşun miktarı, doğrudan yakıtta bulunan kurşun miktarıyla ilgilidir. Genel formül şu şekildedir (4.8):

$$EOE_{Pb} = Prob_Pb a_{Pb} FC \quad (4.8)$$

Burada; EOE_{Pb} (gram/km) motorun salınım yaptığı Pb miktarıdır. a_{PM} tüketilen her gram yakıtın motor tarafından salınımı yapılan partikülün gramını ifade eden model değişkenidir. Prob_Pb ise salınım yapılan kurşun oranıdır. FC (gram/km) km başına düşen yakıt tüketimini göstermektedir [11].

4.1.5.7 Karbondioksit

Yakıt tüketimine bağlı olarak değişen zararlı bileşen miktarların insan sağlığı için zararları belli bir maliyet ile ifade edilmektedir. Avrupa komisyonunun Externe programı adı altında yaptığı çalışmalar sonucu küresel ısınmanın birim maliyetleri tahminleri Çizelge 4. 12'de belirtilmiştir [21].

Çizelge 4. 12 Zararlı gaz emisyon birim maliyetleri

Emisyon	**Birim**	**Düşük**	**Orta**	**Yüksek**
Karbondioksit	ton karbon	€74	€152	€230
Karbondioksit	ton CO_2	€20	€42	€63
Metan	ton CH_4	€370	€540	€710
Azot Oksit	ton N_2O	€6.800	€21.400	€36.000

Taşıt kullanıcı maliyeti hesabında ülke koşullarına göre kalibre edilirse CO_2 emisyonunun birim fiyatının 20$x1.678 (2011 kuru) = 33,56 TL / ton olarak hesaplanmaktadır. Diğer bileşenlerin yol kullanıcı maliyetine etkisi çok düşük seviyede oldukları için emisyon etkileri ihmal edilmiştir.

4.1.6 Yol Güvenliği Girdileri

Yol güvenliği maliyeti girdisi olarak 2011 yılı TÜİK verileri kullanılmıştır. Buna göre ülkemizde 1.228.928 trafik kazası gerçekleşmiştir. Bu kazalarda 238.074 kişi yaralanırken 3.835 kişi ise hayatını kaybetmiştir. Buna göre, yaralanma ve ölüm oranları 1/62 olarak elde edilmiştir [7].

Bölgenin kişi başına gayri safi katma değeri 8.954$x1,678 = 15.025 TL olarak hesaplanmıştır. Bir insanın ortalama yaşam süresi 75 yıl alınarak ölüm maliyeti 75x15.025 TL = 1.126.875 TL hesaplanmıştır.Yaralanma maliyeti, ölüm maliyetiyle HDM-4 yazılımının varsayılan değeri 0,25 ile çarparak 281.718 TL olarak hesaplanmıştır.

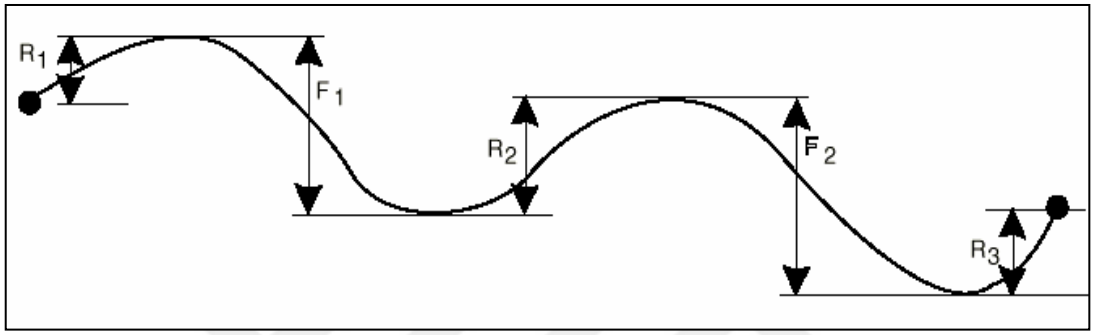
Çizelge 4. 13 HDM-4 yol güvenliği maliyeti girdileri

YOL GÜVENLİĞİ MALİYETLERİ	
KİŞİ BAŞINA GSYİH (TL/kişi)	15.025
YAŞAM SÜRESİ (Yıl)	75
YARALANMA MALİYETİNİN ÖLÜM MALİYETİNE ORANI	0,25
ÖLÜM MALİYETİ (TL/Ölüm)	1.126.875
CİDDİ YARALANMA MALİYETİ (TL/Yaralanma)	281.718

4.1.7 Yol Geometrisi Girdileri

Yol karakteristikleri (Road Characteristic) kısmındaki yol geometrisi ile ilgili bilgileri girebilmek için ilgili projenin yatay ve düşey planlarından faydalanılmıştır.

Kot Farkı(Rise & Fall): Bu değer projedeki toplam düşey kot artışlarının ve azalmalarının toplamını ifade etmektedir. Şekil 4. 8'de düşey kot artış ve azalmaları şematik olarak gösterilmiştir. Buna göre "Rise & Fall (m/km)" değeri; Rise&Fall = (R1+R2+R3+F1+F2)/Uzunluk (m/km) bağıntısıyla elde edilmektedir.



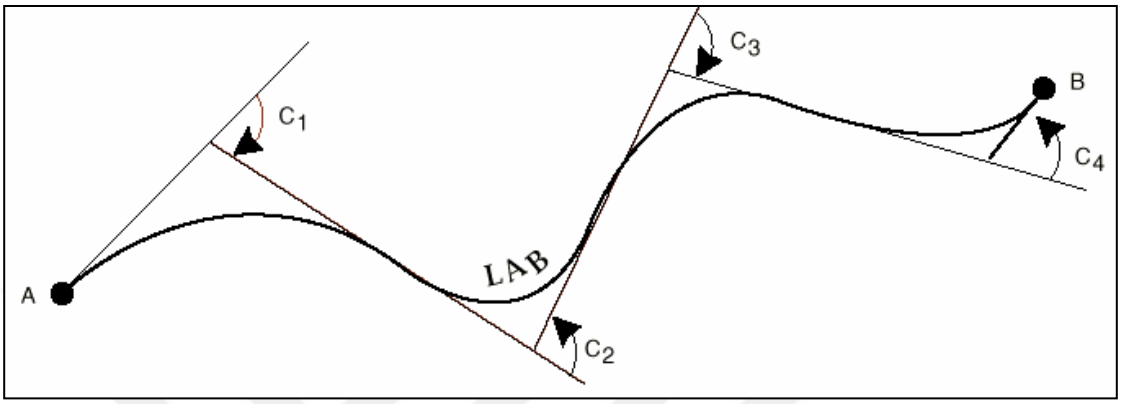
Şekil 4. 8 Kot Farkı (Rise&Fall) şematik gösterimi

Çalışma kapsamında kullanılan proje için kot artış ve azalma bilgileri Çizelge 4. 14'de verilmiştir. Bu proje için "Kot Farkı" değeri 22,21 (m/km) olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4. 14 Kot Farkı(Rise & Fall) gösterimi

KM	KOT (Metre)	KOT FARKI (Metre)
0+000.00	3,49	
0+040.00	4,6	1,11
0+125.00	2,6	2
0+213.00	5,05	2,45
0+410.00	5,96	0,91
0+648.00	14,71	8,75
0+930.00	7,72	6,99
TOPLAM	7	22,21

Yatay Eğriliği (derece/km): Yatay kurpların eğrilik açıları toplamının toplam yol uzunluğuna bölünmesiyle elde edilen bu değer de yol geometrisi girdisi olarak kullanılmaktadır. Birimi derece/km'dir. Şekil 4. 9'da yatay kurpların geometrisi şematik olarak gösterilmiştir. Buna göre "Horizontal Curvature (derece/km)" değeri; Horizontal Curvature = (C1+C2+C3+C4)/Uzunluk (derece/km) bağıntısıyla elde edilmektedir.



Şekil 4. 9 Yatay Eğrilik (Horizontal Curvature) şematik gösterimi

Çizelge 4. 15 Proje yatay kurp değerleri

KURP BİLEŞENLERİ	S-1 (SOL)	S-2 (SAĞ)	S-3 (SOL)
HIZ (Km/Saat)	70	64	70
DEVELOPMAN UZUNLUĞU (Metre)	32,9063	16,1565	14,1896
KURP YARIÇAPI (Metre)	213,00	148,00	1.000
KURP BOYU (Metre)	110,10	37,56	222,89
BİSEKTRİS UZUNLUĞU (Metre)	7,32	1,20	6,24
TEĞET BOYU (Metre)	56,31	18,88	111,91

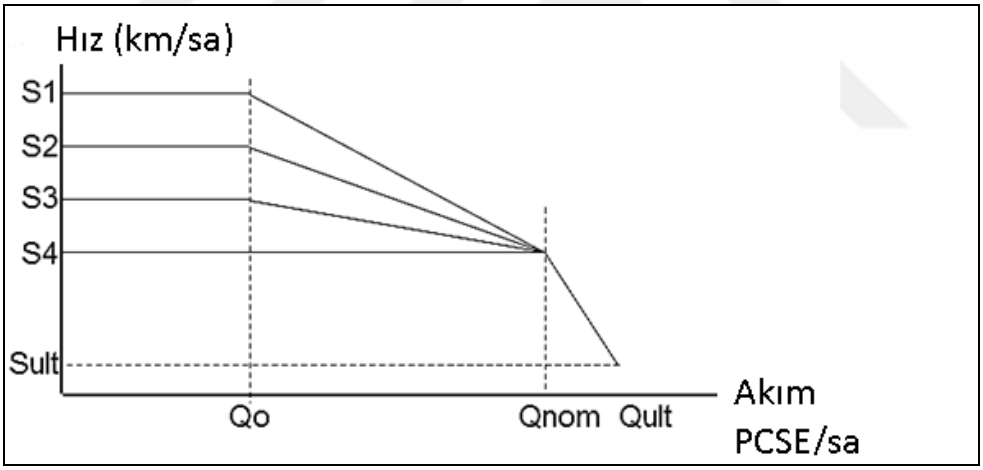
Çalışma kapsamında kullanılan proje için yatay kurp bilgileri

Çizelge 4. 15'da verilmiştir. İlgili proje için, "Yatay Eğrilik" değeri ise 63,23 (derece/km) olarak hesaplanmıştır.

4.1.8 Yol Trafik Girdileri

Son olarak, ilgili projeye ait yol trafik bilgileri girilmiştir. Belirlenen Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) değerleri; 1 treyler, 81 kamyon, 130 otobüs, 1 orta yüklü ticari taşıt ve 445 otomobil şeklindedir. Gelecek yıllar için öngörülen trafik artış oranları, treyler ve kamyon için % 4, otobüs, orta yüklü ticari taşıt ve otomobil için % 5 olarak kabul edilmiştir. Taşıt eşdeğerlik faktörü olarak treyler için 4,10, kamyon için 2,90, otobüs için 3,20, orta yüklü ticari taşıt için 0,60 ve otomobil için 0,0006 olarak kabul edilmiştir.

Trafikte aracın kapladığı eşdeğer boşluk (PCSE) değerinden önceki bölümlerde değinilmiştir. Şekil 4. 10'de trafik sıkışıklığına bağlı olarak hızın azaldığı üç bölge belirlenmiştir.



Şekil 4. 10 Hız akış modeli [18]

Şekil 4. 10'de görülen ifadeler aşağıda açıklanmıştır:

Qo =Trafiğin göz ardı edildiği durum söz konusudur.

Qnom = Nominal kapasiteyi ifade etmektedir. Bu değerden sonra artan kapasiteyle taşıt hızlarında azalma meydana gelmektedir.

Qult = Sabit hız akışı için maksimum kapasiteyi ifade etmektedir. Bu değerden sonra taşıtlar hareketsiz kalmaktadır.

S1, S2, S3 = Farklı taşıt tiplerinin hızlarını ifade etmektedir.

Çalışmada değerlendirilen yolun platform genişliğini 5 m olduğundan Çizelge 4. 16'nin 2. satırındaki parametrelere göre hesap yapılması gerekmektedir.

Çizelge 4. 16 Yol tipine göre trafik akış modeli [18]

YOL TİPİ	GENİŞLİK (m)	Qo/ Qult	Qnom/ Qult	Qult (PCSE/sa/şr)	Sult (km/sa)
Tek Şeritli	<4,0	0,0	0,70	600	10
Orta Sınıf	4,0-5,5	0,0	0,70	900	20
İki Şeritli	5,5-9,0	0,1	0,90	1.400	25
Geniş İki Şeritli	9,0-12,0	0,2	0,90	1.600	30
Dört Şeritli	>12,0	0,4	0,95	2.000	40

Çizelge 4. 17 Trafik akımı girdileri [18]

HER DÖNEMDE YILLIK TRAFİK YÜZDESİ	DÖNEM 1(%)	2,17	100	AKIM TİPİ	NİHAİ KAPASİTE (PCSE/sa/şrt)	900
	DÖNEM 2(%)	7,59			SERBEST AKIM KAPASİTESİ (PCSE/sa/şrt)	140
	DÖNEM 3(%)	11,64			NOMİNAL KAPASİTE (PCSE/sa/şrt)	1.260
	DÖNEM 4(%)	40,24			SIKIŞIKLIK KAPASİTESİ (km/sa)	20
	DÖNEM 5(%)	38,36			ŞERİT SAYISI	1
HER DÖNEMDE YILLIK SAAT SAYISI	DÖNEM 1	87,6	8760	İSTENEN HIZ DÜZELTME FAKTÖRÜ		1
	DÖNEM 2	350,4		HIZLANMA GÜRÜLTÜ PARAMET-RELERİ	zadral (m/s2)	0,10
	DÖNEM 3	613,2			zamaxr (m/s2)	0,65
	DÖNEM 4	2.978,4		İŞLETME HIZI DÜZELTME FAKTÖRÜ		1,0
	DÖNEM 5	4.730,4		HIZLANMA ETKİLERİ (1-EVET, 0-HAYIR)		0

Çizelge 4. 17'de gösterilen tüm bu parametreler belirlendikten sonra program çalıştırılıp yol kullanıcı işletme maliyetleri hesaplanmıştır.

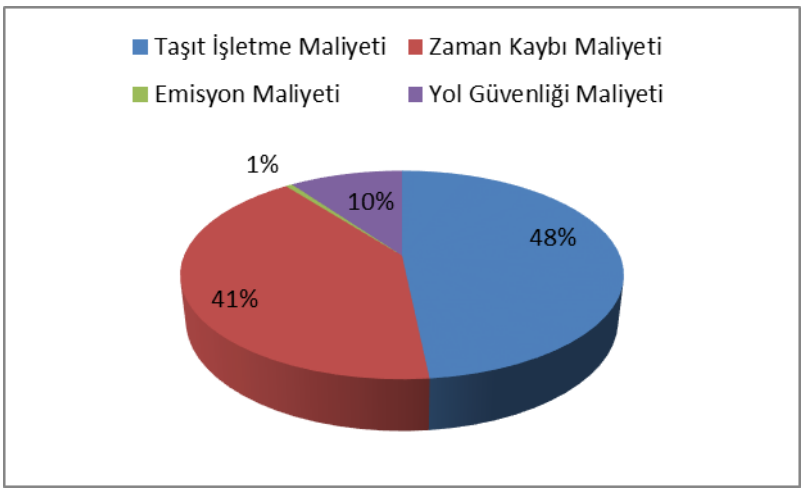
4.2 Uygulama Çıktıları

Program girdilerini belirledikten sonra programın arayüzünde de gösterilen "Calculate Road User" butonuna basılarak maliyetler elde edilmiştir. Bu maliyetler; yol kullanıcı maliyetleri, kaynaklar ve taşıt performansları ve emisyon miktarları olmak üzere üç başlıkta analiz edilmiştir.

4.2.1 Yol Kullanıcı Maliyetleri

Yol kullanıcı maliyetleri; taşıt işletme maliyetleri, zaman kaybı maliyeti emisyon maliyeti ve yol güvenliği maliyetlerinin toplamı şeklinde gösterilmiştir. Taşıt filosundaki herhangi bir aracın 1 km'lik seyahati boyunca kullanıcıya yanısyan taşıt işletme giderleri 0,910 TL/taşıt-km, zaman kaybı maliyeti 0,774 TL/taşıt-km, emisyon maliyeti 0,011 TL/taşıt-km ve yol güvenliği maliyeti 0,186 TL/taşıt-km olarak hesaplanıp toplam taşıt filosunun yol kullanıcı maliyeti 1,881 olarak bulunmuştur. Çizelge 4. 18'da her bir taşıt türünün ve ortalama taşıt filosuna yansıyan yol kullanıcı maliyetleri gösterilmiştir.

Şekil 4. 11'ye göre toplam yol kullanıcı maliyetlerinin %48,4'ünü taşıt işletme maliyetlerinin %41,2'sinin zaman kaybı maliyetinin %9,9'nun yol güvenliği maliyetinin ve %0,6'nın emisyon maliyetinin oluşturduğu tespit edilmiştir.

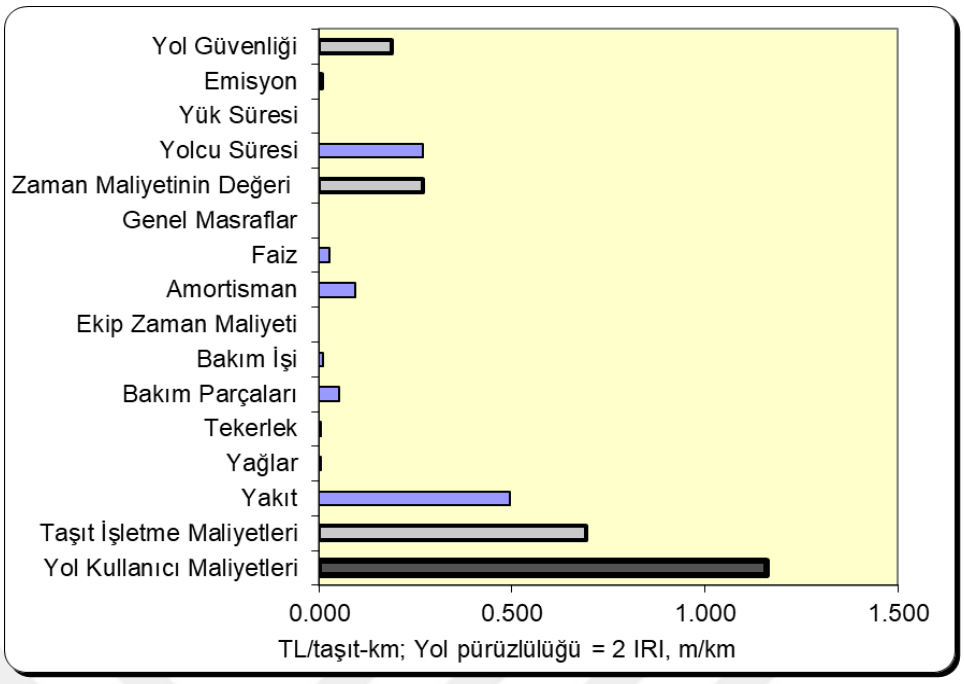


Şekil 4. 11 Toplam yol kullanıcı maliyetleri yüzdeleri

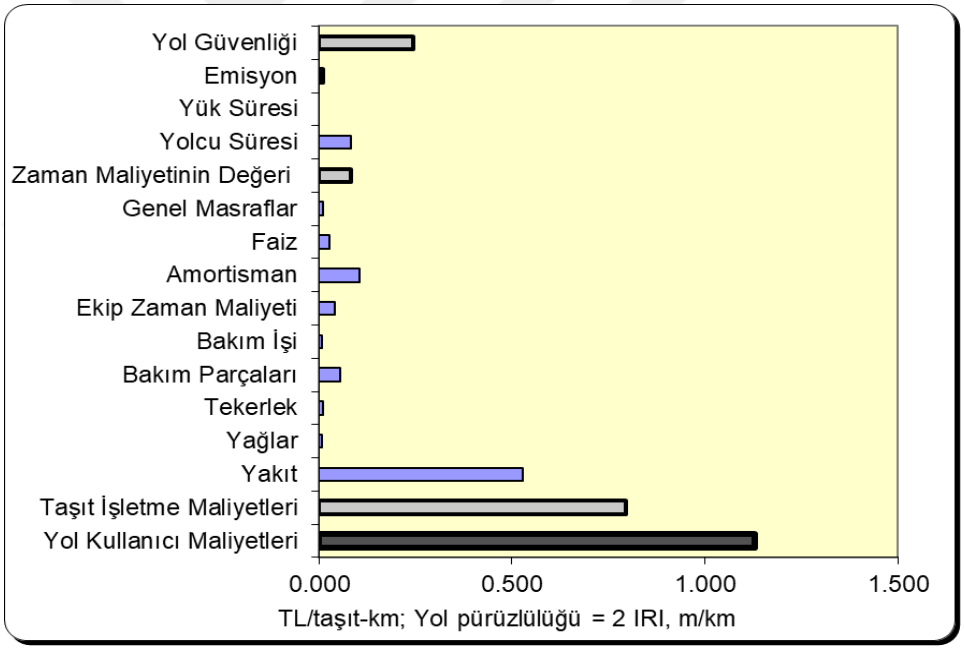
Şekil 4. 12, Şekil 4. 13, Şekil 4. 14, Şekil 4. 15 ve Şekil 4. 16'da yolun kullanıma geçmesi halinde öngörülen taşıt türlerine ait işletme maliyetleri ayrı ayrı gösterilmiştir.

Çizelge 4. 18 Yol kullanıcı maliyetleri (HDM-4)

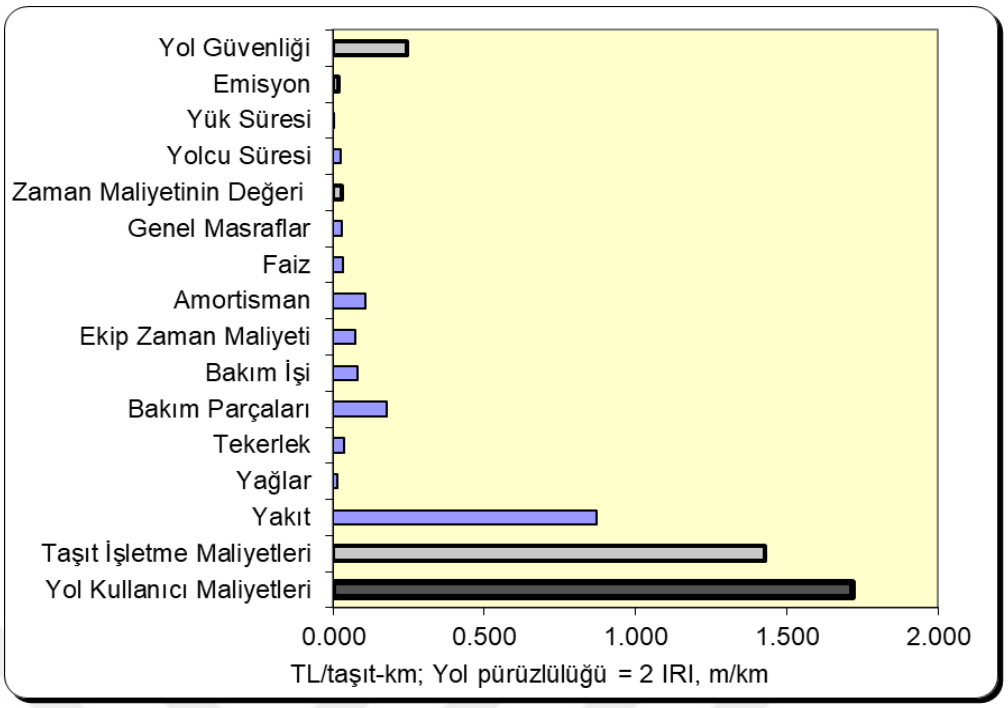
Maliyetler	Otomobil	Orta Yüklü Ticari Taşıt	Kamyon	Tır	Otobüs	Ortalama Taşıt Filosu
Yol Kullanıcı Maliyetleri (TL/taşıt-km)	1,159	1,130	1,718	2,893	4,451	1,881
Taşıt İşletme Maliyeti (TL/taşıt-km)	0,691	0,794	1,427	2,639	1,323	0,910
Yakıt (TL/taşıt-km)	0,495	0,529	0,871	1,710	0,757	0,595
Yağlar (TL/taşıt-km)	0,006	0,008	0,016	0,032	0,017	0,009
Tekerlek (TL/taşıt-km)	0,006	0,011	0,037	0,082	0,030	0,015
Bakım Parçaları (TL/taşıt-km)	0,052	0,055	0,177	0,415	0,141	0,086
Bakım İşi (TL/taşıt-km)	0,010	0,008	0,081	0,110	0,066	0,030
Ekip Zaman Maliyeti (TL/taşıt-km)	0,000	0,040	0,073	0,071	0,075	0,024
Amortisman (TL/taşıt-km)	0,095	0,105	0,108	0,139	0,156	0,108
Faiz (TL/taşıt-km)	0,027	0,027	0,035	0,057	0,055	0,034
Genel Masraflar (TL/taşıt-km)	0,000	0,011	0,029	0,024	0,026	0,009
Zaman Maliyetinin Değeri (TL/taşıt-km)	0,270	0,082	0,028	0,027	2,976	0,774
Yolcu Süresi (TL/taşıt-km)	0,270	0,082	0,027	0,026	2,976	0,774
Yük Süresi (TL/taşıt-km)	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
Emisyon Maliyeti (TL/taşıt-km)	0,008	0,010	0,019	0,037	0,016	0,011
Yol Güvenliği Maliyeti (TL/taşıt-km)	0,190	0,244	0,244	0,190	0,136	0,186
Yol Kullanıcı Maliyetleri (%)	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Taşıt İşletme Maliyeti (%)	59,6%	70,3%	83,0%	91,2%	29,7%	48,4%
Zaman Maliyetinin Değeri (%)	23,3%	7,2%	1,7%	0,9%	66,9%	41,2%
Emisyon Maliyeti (%)	0,7%	0,9%	1,1%	1,3%	0,4%	0,6%
Yol Güvenliği Maliyeti (%)	16,4%	21,6%	14,2%	6,6%	3,0%	9,9%
Taşıt Hızı (km/sa)	103,2	99,4	81,6	84,6	80,1	99,8
Günlük Trafik (taşıt/gün)	445	1	81	1	130	658



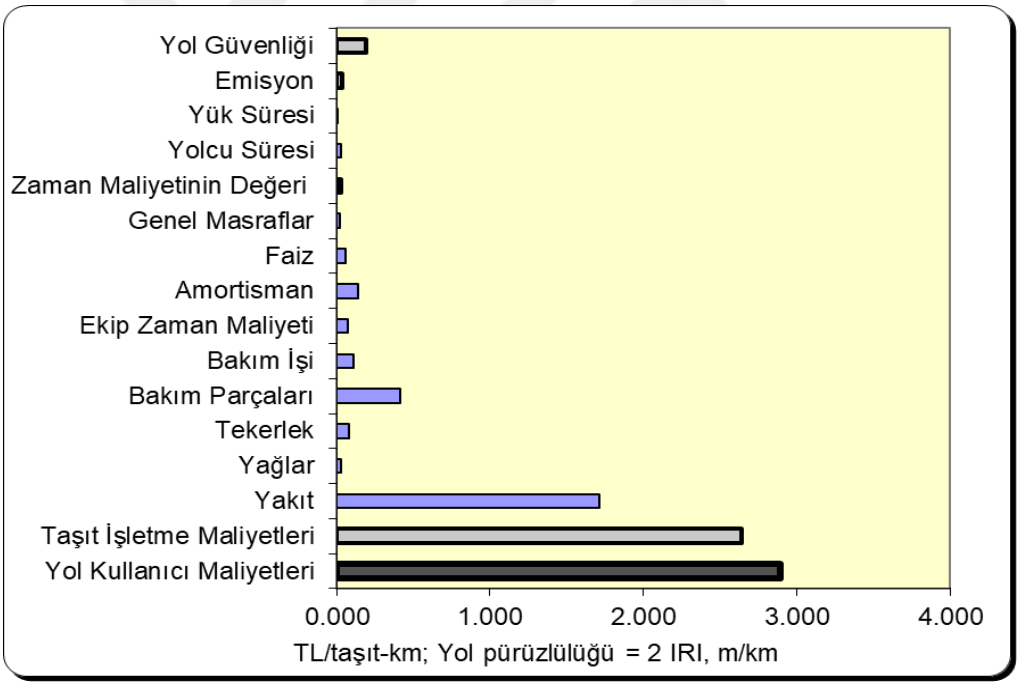
Şekil 4. 12 Otomobil için yol kullanıcı maliyetleri



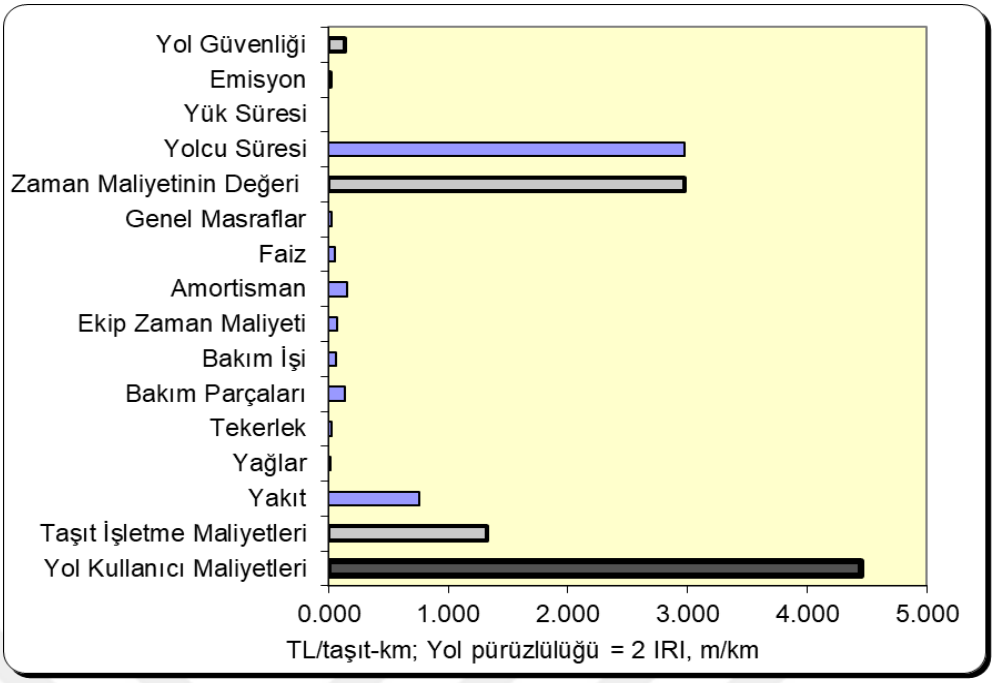
Şekil 4. 13 Orta yüklü ticari taşıt için yol kullanıcı maliyetleri



Şekil 4. 14 Kamyon için yol kullanıcı maliyetleri

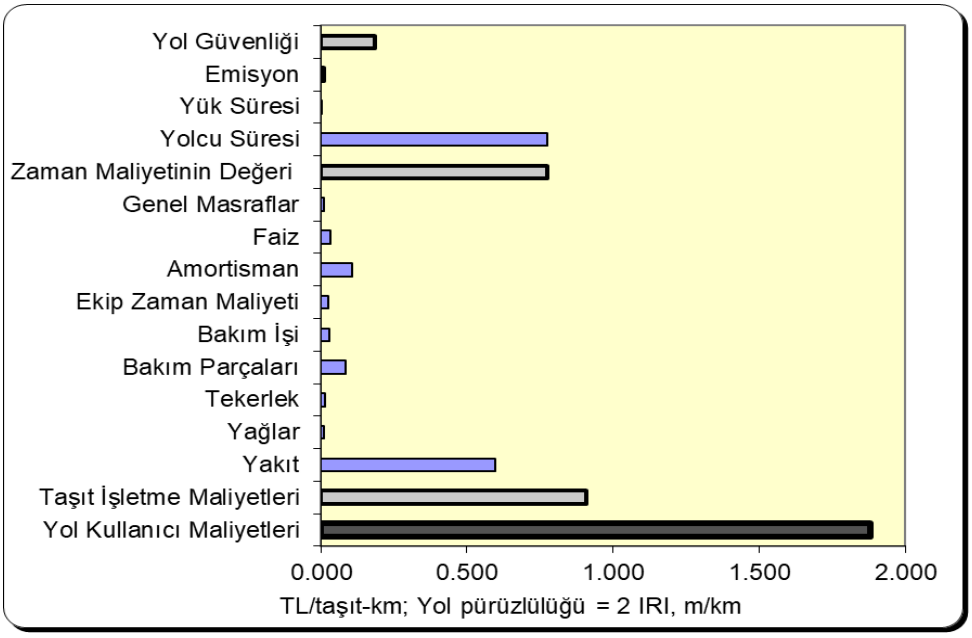


Şekil 4. 15 Tır için yol kullanıcı maliyetleri



Şekil 4. 16 Otobüs için yol kullanıcı maliyetleri

Şekil 4. 16'da zaman kaybı maliyetinin taşıt işletme maliyetinden fazla olduğu görülmektedir. Bu durum yolcu sayısının fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Trafiğin yoğun olduğu durumlarda her bir yolcu için kaybedilen zaman maliyetlerinin toplamı taşıt işletme maliyetlerinden fazla olduğu tespit edilmiştir. Taşıt filosu için ortalama yol kullanıcı maliyetleri ise Şekil 4. 17'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 17 Taşıt filosu için ortalama yol kullanıcı maliyetleri

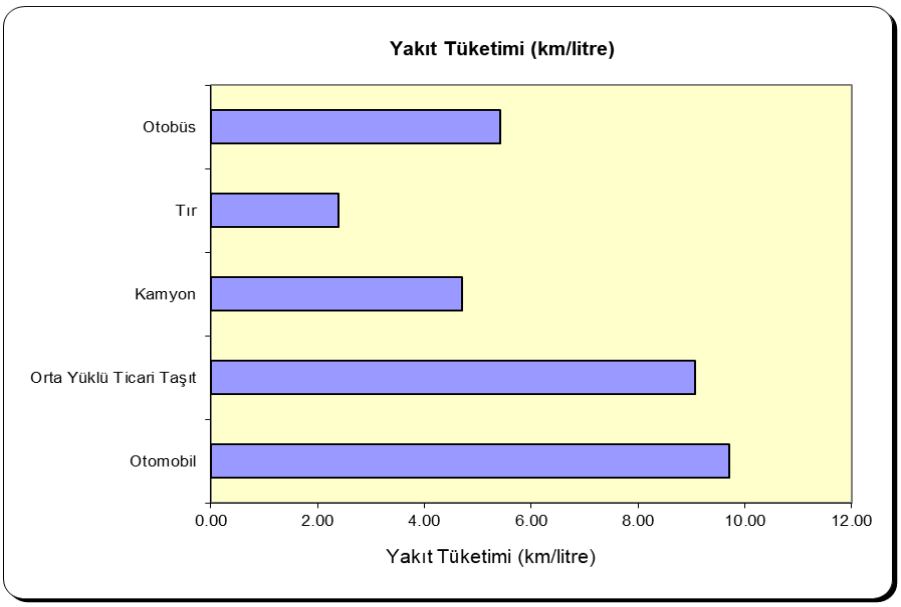
4.2.2 Kaynaklar ve Taşıt Performansları

Çizelge 4. 19'de yol kullanıcı maliyetlerinin büyük kısmını oluşturan taşıt işletme maliyetleri görülmektedir. Burada her 1.000 taşıtın 1 km'lik seyahati boyunca tükettiği kaynaklar gösterilmiştir. Yakıt tüketimi bu maliyetler içerisindeki en önemli maliyettir.

Çizelge 4. 19 Taşıt işletme maliyetleri (HDM-4)

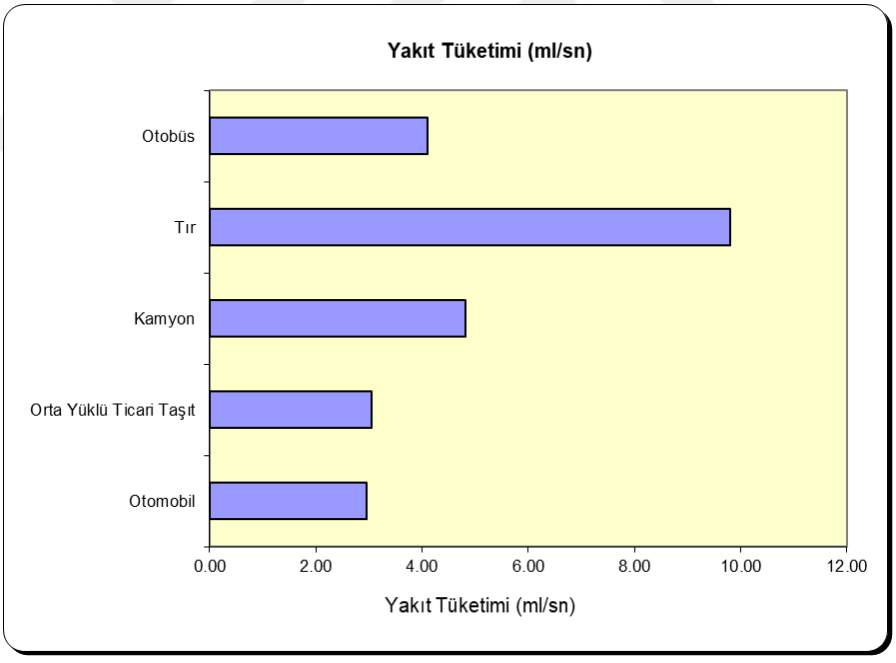
Maliyetler	Otomobil	Orta Yüklü Ticari Taşıt	Kamyon	Tır	Otobüs
Taşıt İşletme Maliyeti					
Yakıt (litre)	103,12	110,20	212,40	416,96	184,54
Yağlar (litre)	0,69	0,98	2,01	3,98	2,14
Tekerlek (yeni bir lastik fiyatının %'si)	1,44%	1,75%	1,15%	1,17%	1,10%
Bakım Parçaları (yeni araç maliyetinin %'si)	0,20%	0,14%	0,22%	0,26%	0,10%
Bakım İşi (saat)	2,58	2,10	10,13	13,72	8,27
Ekip Zaman Maliyeti (saat)		10,06	12,25	11,82	12,49
Amortisman (yeni araç maliyetinin %'si)	0,37%	0,27%	0,14%	0,09%	0,11%
Faiz (yeni araç maliyetinin %'si)	0,11%	0,07%	0,04%	0,04%	0,04%
Zaman Maliyetinin Değeri					
Yolcu Süresi (saat/yolcu)	9,7	10,1	12,2	11,8	12,5
Yük Süresi (saat/taşıt)	9,7	10,1	12,2	11,8	12,5
Yakıt Tüketimi (km/litre)	9,70	9,07	4,71	2,40	5,42
Yağ Tüketimi (km/litre)	1452	1022	498	252	468
Tekerlek Ömrü (km)	69224	57025	87054	85657	90813

Şekil 4. 18'de taşıtların 1 litre yakıt tüketimiyle kaç km seyahat edebildikleri türler bazında gösterilmiştir.



Şekil 4. 18 Taşıt bazında yakıt tüketimi (litre/km)

Şekil 4. 19'da her bir taşıt türünün saniyede kaç ml yakıt tükettiği gösterilmiştir. Ağır taşıtların taşıt işletme maliyetlerinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 19 Taşıt bazında yakıt tüketimi (militre/sn)

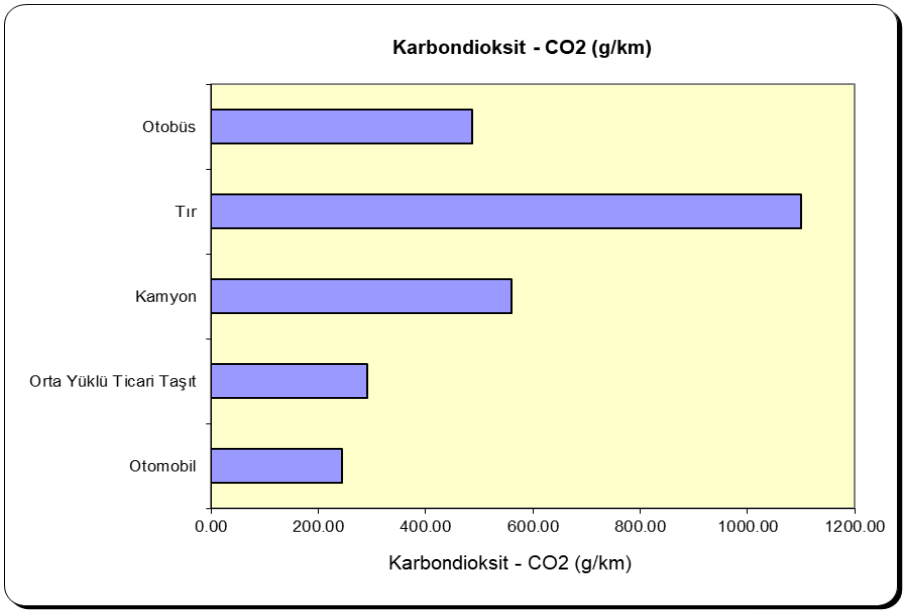
4.2.3 Emisyon Miktarları

Çizelge 4. 20'de salınım yapılan bileşenlerin miktarları gösterilmiştir. En fazla miktarda salınımı CO_2 bileşeninin yaptığı ve diğer bileşenlerin ise göz ardı edilecek kadar az miktarda salınım yaptıkları tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 20 Emisyon maliyetleri (HDM-4)

	Otomobil	Orta Yüklü Ticari Taşıt	Kamyon	Tır	Otobüs	
Taşıt Hızı (km/sa)	103,2	99,4	81,6	84,6	80,1	
Taşıt Hızı (m/sn)	28,7	27,6	22,7	23,5	22,2	
Taşıt Ömrü (yıl)	10	10	11	11	10	
Yakıt Tüketimi (km/litre)	9,70	9,07	4,71	2,40	5,42	
Yakıt Tüketimi (mil/galon)	22,81	21,34	11,07	5,64	12,75	Emisyon
Yakıt Tüketimi (litre/100km)	10,31	11,02	21,24	41,70	18,45	Maliyetleri
Yakıt Tüketimi (ml/sn)	2,96	3,04	4,82	9,80	4,10	(TL/ton)
Karbondioksit - CO2 (g/km)	243,646	290,929	560,087	1099,489	487,183	33,6
Karbonmonoksit - CO (g/km)	1,211	1,122	2,233	4,383	1,879	0,0
Hidrokarbon - HC (g/km)	0,182	1,137	2,338	4,590	1,904	0,0
Nitrözoksit - NOx (g/km)	1,551	4,030	8,175	16,048	6,749	0,0
Partiküller - Par (g/km)	0,011	0,224	0,447	0,877	0,376	0,0
Sülfürdioksit- SO2 (g/km)	0,077	0,948	1,827	3,586	1,587	0,0
Kurşun - Pb (g/km)	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Emisyon Maliyeti (TL/ton-km)	0,008	0,010	0,019	0,037	0,016	

Şekil 4. 19'de her bir taşıt türünün ne kadar CO_2 salınımı yaptığı gösterilmiştir.



Şekil 4. 19 Taşıt bazında CO_2 salınımı (gram/km)

4.2.4 Duyarlılık Analizleri

Bu bölümde kaplama pürüzlülüğü, trafik hacmi ve yol geometrik özellikleri parametrelerine bağlı olarak karayolu işletme maliyetlerinin değişimleri incelenmiştir. Bu parametrelerin taşıt hızları üzerindeki etkileri çok önemlidir. Taşıt hızları; emisyon düzeyi, trafik hacmi, yakıt tüketimi gibi faktörleri etkilemektedir. Dolayısıyla karayolu işletme maliyetlerinin hesaplanmasında belirleyici rol oynamaktadırlar.

Hız, seyahat edenlerin alternatif güzergah veya taşıma türünü seçerken dikkate aldıkları en önemli faktördür. Yeni bir karayolu, yol kullanıcıları tarafından zaman, uygunluk ve tasarruf edilen para açısından değerlendirilmektedir. Bir sürücü, yolcu veya yaya olarak tercih edilen hızlar birbirinden oldukça farklıdır. Taşıt hızları, sürücülerin yeteneğinin ve araçların özelliklerinin yanında karayolunun fiziksel özelliklerine, yol kenarından yapılan müdahale oranlarına, hava durumuna, diğer taşıtların varlığına ve hız limitlerine bağlıdır. Hız ayrıca emisyon düzeyini, trafik gürültü seviyesini, yakıt tüketimini, yol çevresinde yaşayan ve çalışan insanların yaşam kalitelerini etkilemektedir. Ancak trafik hızı denilince genelde iki husus dikkate alınmaktadır; hareketlilik ve trafik güvenliği. Yüksek hız, seyahat süresinin azalmasını sağlamaktadır. Bu da ekonomik yönden ve hareketlilik açısından pozitif etki

yapmaktadır. Seyahat süresinin belirgin bir şekilde azalması ulusal ve bölgesel ekonominin gelişmesine katkıda bulunmaktadır.

4.2.4.1 Pürüzlülük Analizleri

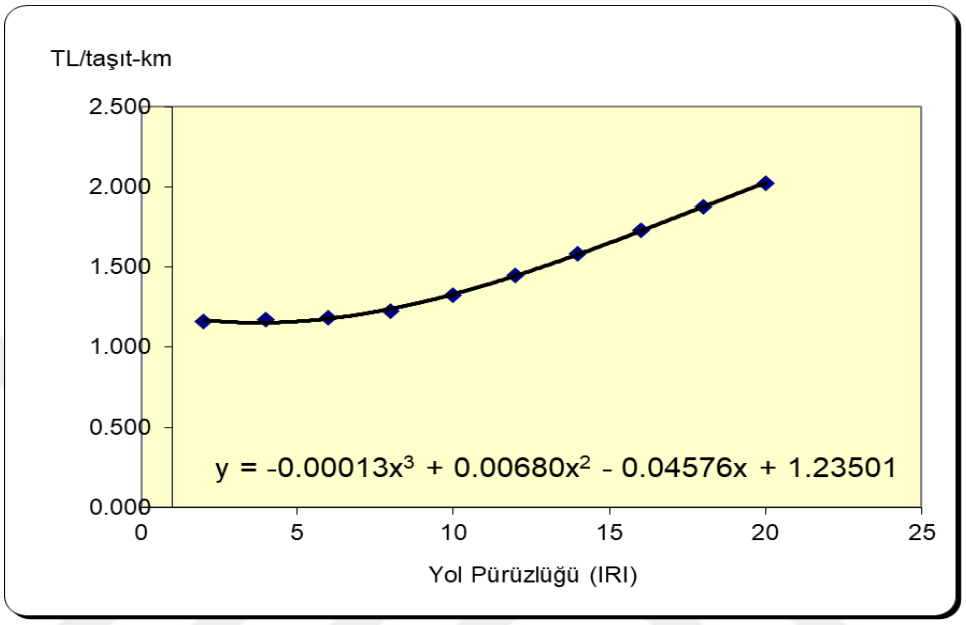
Yol pürüzlülüğü yolun kaplama yüzeyinin karakteristik özelliklerini, kullanılan kaplamanın sürüş kalitesine etkilerini ve buna bağlı olarak yolun servis indeksini belirleyen bir parametredir. Yol pürüzlülüğü taşıt hızına etki eden önemli bir faktördür. Ayrıca fiziksel olarak taşıta doğrudan etkisi olduğu için bakım ve onarım maliyetini önemli ölçüde etki etmektedir. Çizelge 4. 21'de yol pürüzlülüğüne bağlı olarak yol kullanıcı maliyetleri görülmektedir.

Çizelge 4. 21 Farklı yol pürüzlülüğüne göre birim maliyetler (HDM-4) (TL/taşıt-km)

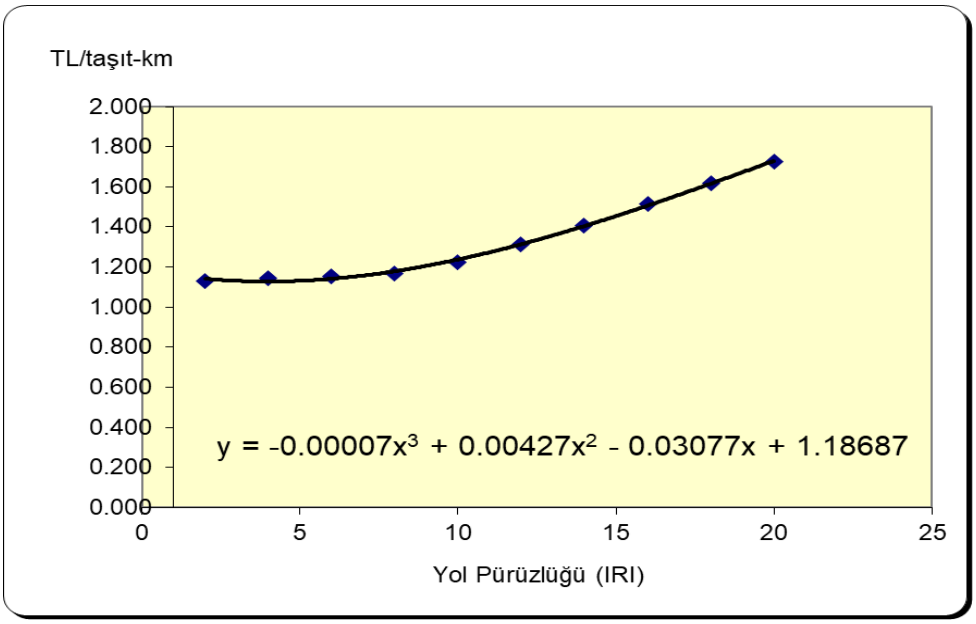
Yol Pürüzlülüğü	Otomobil	Orta Yüklü Ticari Taşıt	Kamyon	Tır	Otobüs	Ortalama Taşıt Filosu
IRI, m/km	TL/Taşıt-Km					
2,0	1,159	1,130	1,718	2,893	4,451	1,881
4,0	1,171	1,145	1,766	2,996	4,543	1,913
6,0	1,182	1,152	1,819	3,104	4,776	1,974
8,0	1,227	1,168	1,851	3,096	5,209	2,093
10,0	1,323	1,226	1,909	3,198	5,843	2,291
12,0	1,447	1,311	1,991	3,385	6,609	2,537
14,0	1,584	1,409	2,092	3,616	7,445	2,807
16,0	1,728	1,513	2,206	3,870	8,315	3,091
18,0	1,875	1,620	2,326	4,138	9,204	3,381
20,0	2,023	1,725	2,447	4,408	10,096	3,673

Uygulama örneğinde pürüzlülük değeri 2,0 (m/km) kabul edilmiştir. Buna göre kullanıcı maliyeti 1,881 (TL/taşıt-km) olarak hesaplanmıştır. Plansız ve standartlara uygun olmayan yollarda kullanıma geçtiği yıldan itibaren çevresel etkilerden ve kapasitenin artmasıyla pürüzlülük değerinde artış görülmektedir.

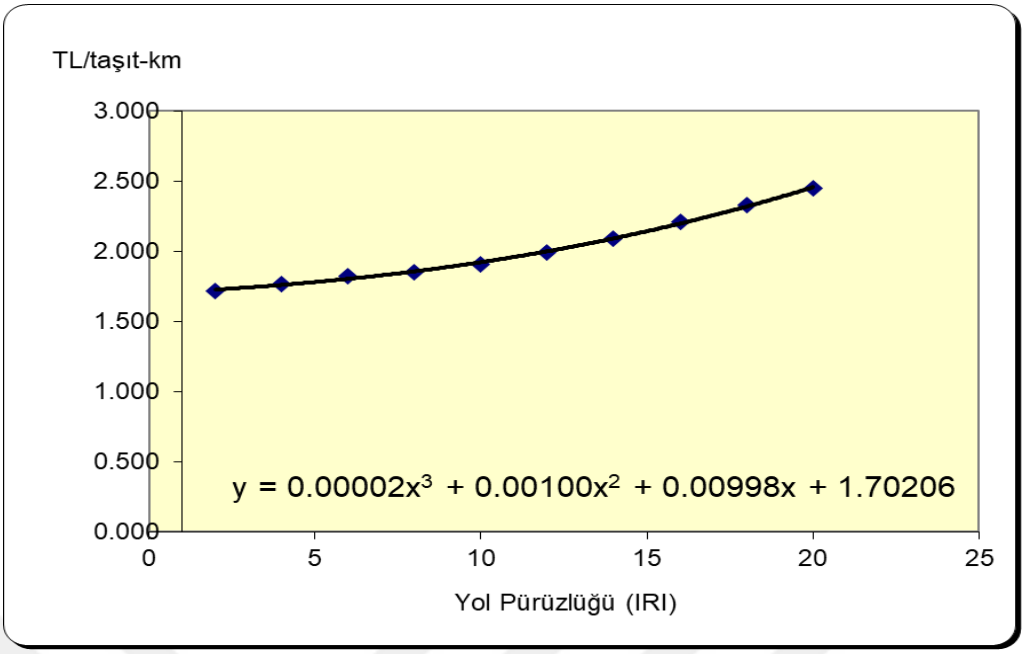
Bir yolun pürüzlülük değeri arttıkça yol kullanıcı maliyeti artmaktadır. Şekil 4. 20, Şekil 4. 21, Şekil 4. 22, Şekil 4. 23 ve Şekil 4. 24'te kaplama pürüzlülüğüne bağlı olarak 1 km seyahatte taşıtlara yansıyan yol kullanıcı maliyetleri her bir taşıt türü için ayrı ayrı gösterilmiştir. Fonksiyonlarda yer alan x parametresi yol pürüzlülüğünü ve y parametresi ise yol kullanıcı maliyetini ifade etmektedir.



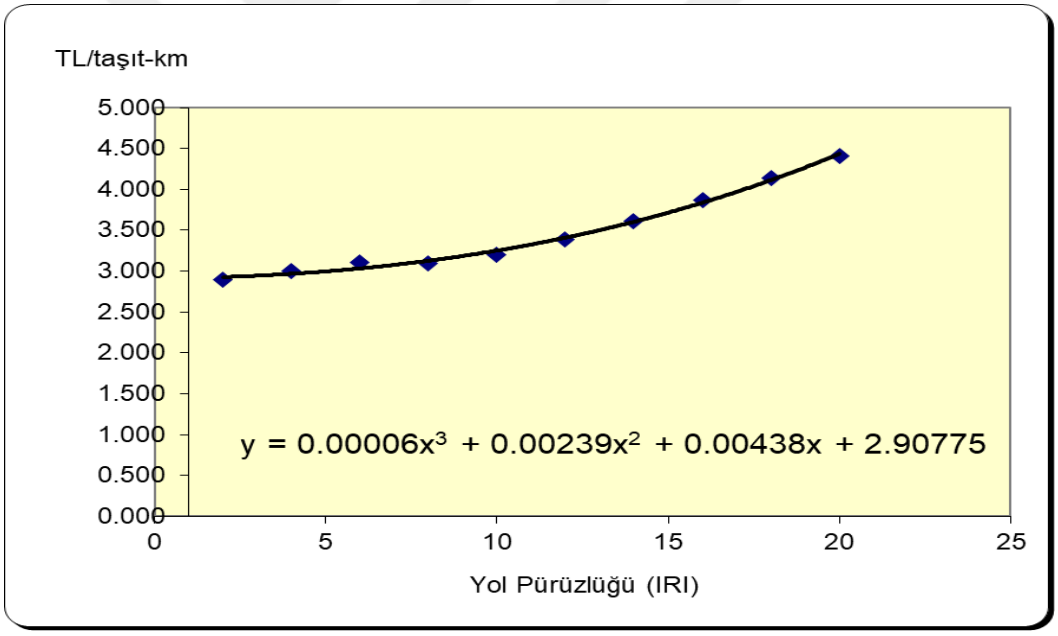
Şekil 4. 20 Otomobil için pürüzlülük – yol kullanıcı maliyeti ilişkisi



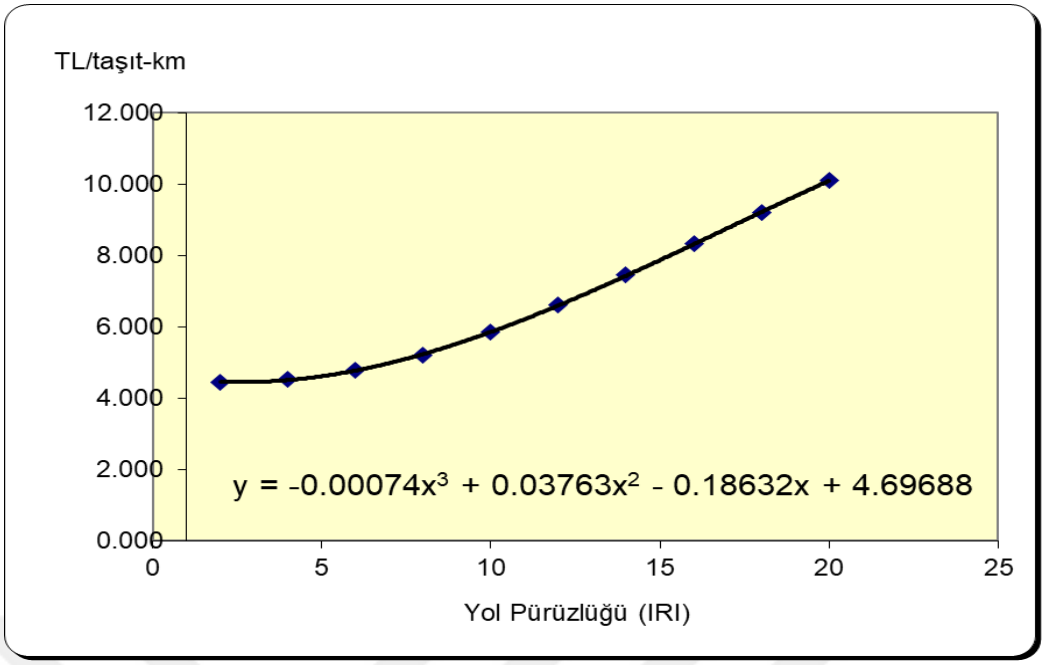
Şekil 4. 21 Orta yüklü ticari taşıt için pürüzlülük – yol kullanıcı maliyeti ilişkisi



Şekil 4. 22 Kamyon için pürüzlülük – yol kullanıcı maliyeti ilişkisi

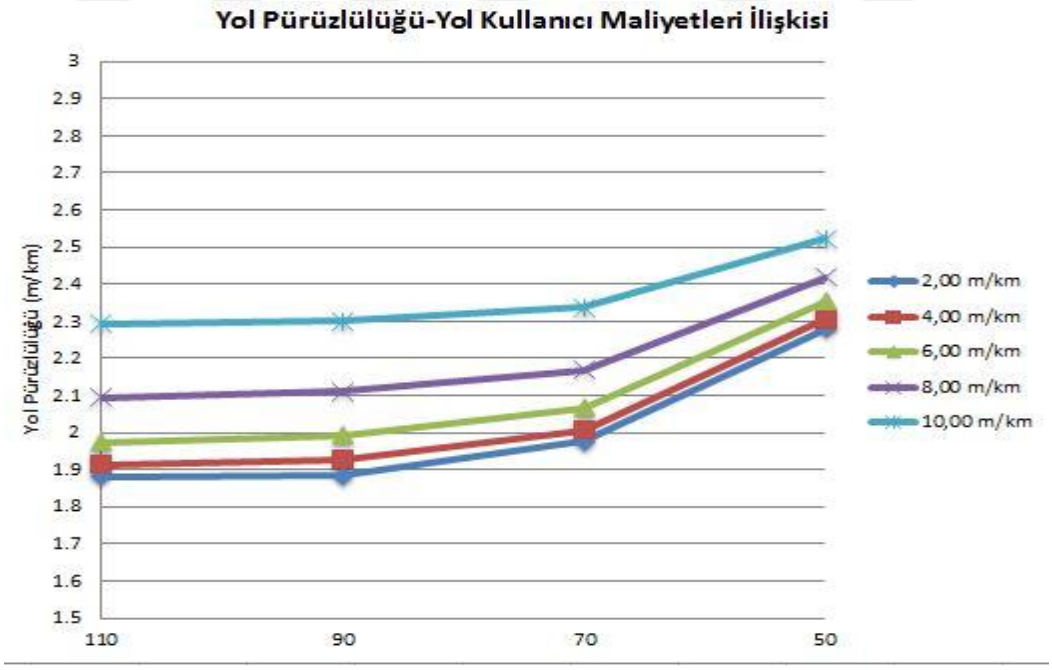


Şekil 4. 23 Tır için pürüzlülük – yol kullanıcı maliyeti ilişkisi



Şekil 4. 24 Otobüs için pürüzlülük – yol kullanıcı maliyeti ilişkisi

Şekil 4. 25'da yol pürüzlülüğünün taşıt işletme maliyetine olan etkisi hedeflenen proje hızlarına göre incelenmiş olup yol pürüzlülüğünün artmasıyla ortalama taşıt filosunun yol kullanıcı maliyetlerinde artış meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 4. 25 Farklı hız ve pürüzlülük değerlerine göre yol kullanıcı maliyetleri

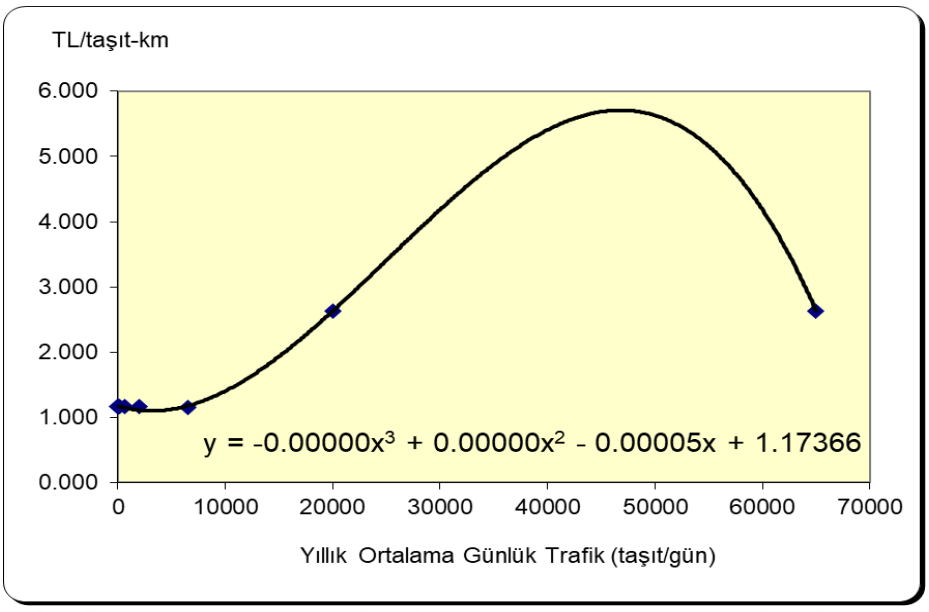
4.2.4.2 Trafik Analizi

Trafik hacmi, taşıt işletme hızlarına etki eden en büyük faktördür. Düşük hacim değerlerinde, taşıtların hızları da düşmektedir. Yoğun trafik hacminde taşıtların sürekli dur kalk yapması ya da düşük hızlarda seyir halinde olması taşıt işletme maliyetini arttırmaktadır. Ayrıca trafik esnasında beklenen süre kaybedilen zaman olarak kullanıcıya zaman kaybı maliyeti olarak yansımaktadır. Çizelge 4. 22'te taşıt türlerinin YOGT değeri artışıyla birlikte değişen kullanıcı maliyetleri görülmektedir.

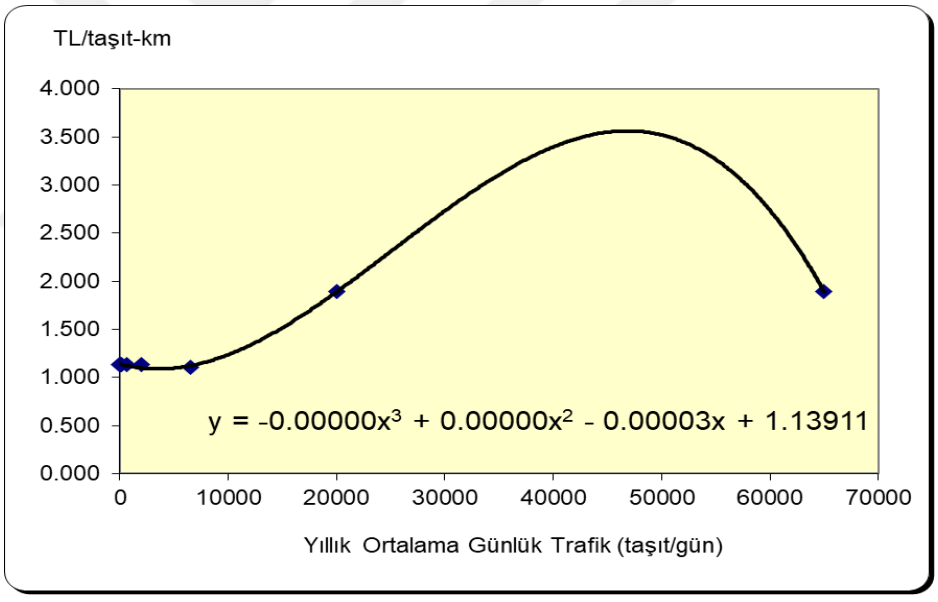
Çizelge 4. 22 Farklı Y.O.G.T değerlerinde birim maliyetler (HDM-4) (TL/taşıt-km)

Günlük Trafik	Otomobil	Orta Yüklü Ticari Taşıt	Kamyon	Tır	Otobüs	Ortalama Taşıt Filosu
Y.O.G.T	TL/Taşıt-Km					
5	1,159	1,130	1,718	2,893	4,451	1,881
20	1,159	1,130	1,718	2,893	4,451	1,881
65	1,159	1,130	1,718	2,893	4,451	1,881
200	1,159	1,130	1,718	2,893	4,451	1,881
650	1,159	1,130	1,718	2,893	4,451	1,881
2.000	1,159	1,129	1,717	2,891	4,453	1,881
6.500	1,152	1,106	1,693	2,834	4,539	1,890
20.000	2,633	1,892	2,198	3,817	13,833	4,793
65.000	2,633	1,892	2,198	3,817	13,833	4,793

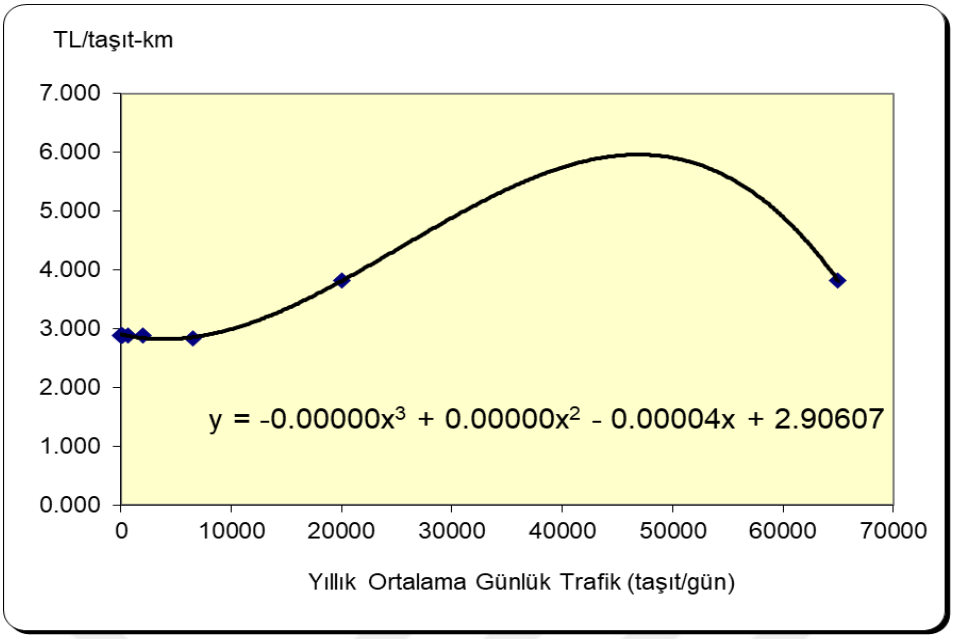
Şekil 4. 26, Şekil 4. 27, Şekil 4. 28 ve Şekil 4. 29'da yol kullanıcı maliyetlerinin trafik hacmine bağlı olarak değişimleri her bir taşıt türü için ayrı ayrı gösterilmiştir.



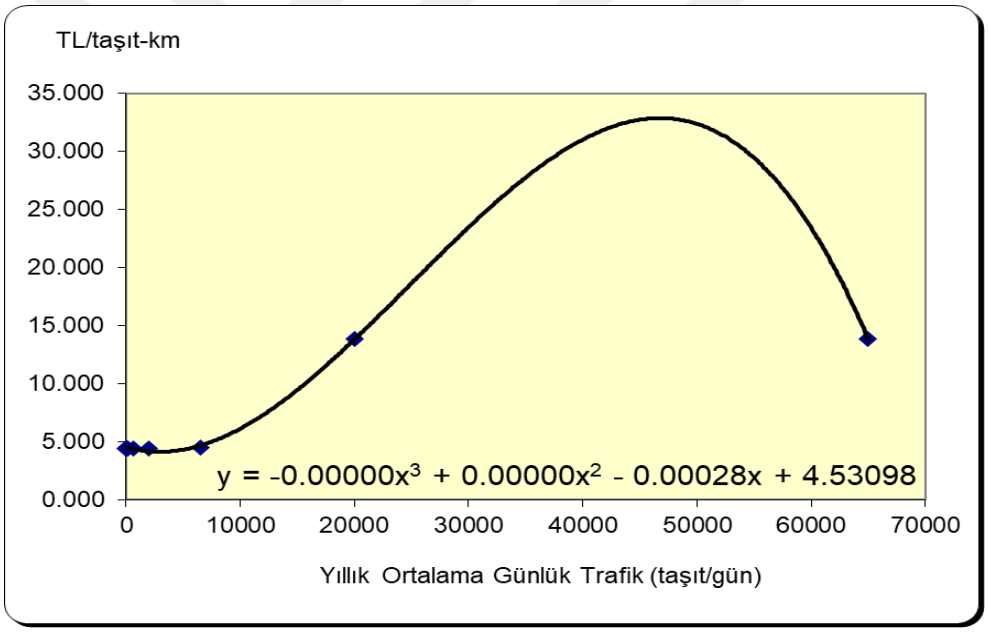
Şekil 4. 26 Otomobil için trafik hacmine bağlı yol kullanıcı maliyetleri



Şekil 4. 27 Orta yüklü ticari taşıt için trafik hacmine bağlı yol kullanıcı maliyetleri



Şekil 4. 28 Tır için trafik hacmine bağlı yol kullanıcı maliyetleri



Şekil 4. 29 Otobüs için trafik hacmine bağlı yol kullanıcı maliyetleri

4.2.4.3 Yatay ve Düşey Geometri Analizi

Genel olarak taşıt sürücüleri yatay kurplarda yavaşlama eğiliminde olmaktadır. Kurp boyunca meydana gelen hız değişimleri sürücünün davranışına, taşıta ve yol standartlarına bağlıdır. Ayrıca yatay kurpların yuvarlanma direnci üzerinde etkisi olduğundan dolayı taşıt işletme maliyetini belirlemede bu standartların belirlenmesi

önemlidir. Düşey kurp tasarımında ise yüksek eğimler taşıtın daha yüksek performansta çalışmasını ve hız değişimlerine sebep olduğundan yakıt tüketimini arttırmaktadır.

Yol projesi çalışmalarında yapım maliyetleri yol tasarımını etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Çoğu zaman yapım maliyetininin düşük tutulması amacıyla geometrik standartların düşürülmesi kaçınılmaz olmaktadır. Tünel ya da viyadük gibi yapım maliyetlerini arttıran imalatlar yapmak yerine düşük standartlarda, boyuna eğimi yüksek ve düşük yarıçapa sahip yatay kurplu yollar yapmak toprak işi maliyeti açısından daha ekonomik olmaktadır. Ancak uzun vadede bu imalatların ekonomik olup olmayacağını tespit etmek için yol kullanıcı maliyetlerinin iyi analiz edilmesi gerekmektedir.

Çalışma konusu "Gelibolu-Eceabat-Abide ve Anıt Devlet Yolu-3. Kısım" yolu 13,59 kilometre uzunluğundadır. Mevcut projedeki yol standartları değerlerini kullanıldığında taşıt-km başına düşen yol kullanıcı maliyeti önceki bölümlerde 1,881 TL olarak hesaplanmıştır.

Yol kullanıcı maliyetlerinin yol geometrisi değişimlerine göre analizinin yapılabilmesi amacıyla yatay kurp ve düşey kurp girdilerinde ilgili değerler minimize edilmiştir. Ayrıca, yol geometrisi girdileri bölümünde bahsedilen "Rise&Fall" kısmında yeni durum için 1 km'lik yol boyunca düşey ve yatay kurbun olmadığı varsayılmıştır. Böylelikle "Rise&Fall" kısmına yolun 0+000,00 km'sindeki 3,49 kotu ile 0+930,00'daki 7,72 kotlarının farkı olan 4,23 değeri girilmiştir. Geometrik parametrelerin değiştirilmesiyle yolun toplam uzunluğu %20 kısalmıştır. Elde edilen yeni yolun toplam uzunluğu 10.4 km olarak hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalarda yol kullanıcı maliyeti taşıt-km başına 1,820 TL olarak hesaplanmıştır. Yol kullanıma açıldıktan 1 yıl sonraki maliyetini hesaplamak için; "1 yıllık maliyet = yol kullanıcı maliyeti (taşıt-km) x Y.O.G.T x 365 x yol uzunluğu" bağıntısı kullanılmıştır.

Yeni durumda, 1 yıllık maliyet 4.546.000 TL olarak hesaplanmıştır. Yolun geometrik analizi yapılmadan önceki maliyetini ise aynı bağıntı kullanılarak 5.873.000 TL olarak

hesaplanmıştır. Geometrik standartların iyileştirilmesiyle işletme maliyetinde yaklaşık 1,5 milyon TL azalma gözlemlenmiştir.

Çizelge 4. 23'de uygulama örneğindeki geometrik standartlar göz önünde bulundurularak pürüzlülük, hız limiti ve ortalama günlük trafik değişkenlerine göre taşıt filosu için hesaplanan yol kullanıcı maliyetleri gösterilmiştir. Çizelge 4. 24'te ise geometrik standarları yüksek koşullarda tekrardan hesaplanarak elde edilen taşıt filosu için yol kullanıcı maliyetleri gösterilmiştir.

Çizelge 4. 23 Düşük standartlı yol için ortalama yol kullanıcı maliyetinin değişimi

1.DURUM(düşük geometrik standartlar)				
Pürüzlülük (m/km)	**HIZ LİMİTİ (km/saat**	**YILLIK ORTALAMA GÜNLÜK TRAFİK**		
		2.000 taşıt	**6.500 taşıt**	**20.000 taşıt**
2	**110**	1,881	1,890	4,793
	90	1,884	1,910	4,793
	70	1,976	2,003	4,793
	50	2,279	2,320	4,793
4	**110**	1,913	1,923	4,816
	90	1,927	1,943	4,816
	70	2,006	2,033	4,816
	50	2,305	2,346	4,816
6	**110**	1,974	1,991	4,857
	90	1,992	2,012	4,857
	70	2,067	2,096	4,857
	50	2,353	2,395	4,857
8	**110**	2,094	2,126	4,899
	90	2,110	2,141	4,899
	70	2,169	2,202	4,899
	50	2,419	2,463	4,899
10	**110**	2,292	2,338	4,939
	90	2,301	2,346	4,939
	70	2,337	2,381	4,939
	50	2,522	2,569	4,939

Çizelge 4. 24 Yüksek standartlı yol için ortalama yol kullanıcı maliyetinin değişimi

2.DURUM(yüksek geometrik standartlar)				
Pürüzlülük (m/km)	**HIZ LİMİTİ (km/saat**	**YILLIK ORTALAMA GÜNLÜK TRAFİK**		
		2.000 taşıt	**6.500 taşıt**	**20.000 taşıt**
2	**110**	1,820	1,823	4,772
	90	1,835	1,845	4,772
	70	1,926	1,949	4,772
	50	2,245	2,285	4,772
4	**110**	1,852	1,856	4,797
	90	1,867	1,878	4,797
	70	1,956	1,979	4,797
	50	2,272	2,312	4,797
6	**110**	1,913	1,925	4,839
	90	1,935	1,950	4,839
	70	2,019	2,044	4,839
	50	2,322	2,362	4,839
8	**110**	2,043	2,072	4,883
	90	2,061	2,089	4,883
	70	2,126	2,156	4,883
	50	2,390	2,431	4,883
10	**110**	2,255	2,303	4,924
	90	2,264	2,312	4,924
	70	2,302	2,347	4,924
	50	2,496	2,541	4,924

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemiz karayolu ağırlıklı, dengesiz bir ulaştırma sistemine sahiptir. İleride bu dengesizliği düzeltmek amacıyla planlar ve stratejiler belirlenmelidir. Bugün için ise, yapılacak en önemli çalışma, mevcut sistemin bilincinde olmak ve bu sistem içinde maliyetleri en aza indirebilme gayretini göstermektir. Bu da ancak sistemi kullanırken karşılanacak maliyetleri bilmekten geçmektedir. Bu da, bunun gerekliliğine inanmak, hukuki ve mühendislik bağlamında sıkı tedbirler almak insan faktörünü de bu amaçtan haberdar etmekten geçmektedir. Dolayısıyla, ülkemiz açısından karayolu maliyetlerinin analiz edilmesi ve azaltılmasına yönelik çalışmalar önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında; karayolu işletme maliyetleri incelenerek, bunları etkileyen faktörler örnek proje üzerinde değerlendirilmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Şekil 4. ‘de görüldüğü üzere ağır taşıtların yakıt tüketimi, dolayısıyla taşıt işletme maliyetlerinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.
- Çizelge 4. 20’de görüldüğü üzere en fazla miktarda salınımı CO_2 bileşeninin yaptığı ve diğer bileşenlerin ise işletme maliyetlerine etkisinin göz ardı edelecek kadar az olduğu tespit edilmiştir.
- Şekil 4. 25’de görüldüğü üzere yol pürüzlülüğü taşıt hızına olumsuz olarak etki eden bir faktördür. Dolayısıyla, yol pürüzlülüğü arttıkça işletme maliyetleri artmaktadır.

Karayolu işletme maliyetleri açısından bakıldığında, mevcut ulaştırma altyapısının bakımı ve onarımının düzenli ve zamanında yapılması ülkemiz açısından önem arz

etmektedir. Bu nedenle, ülkemizde ulaştırma altyapı yönetim sistemi kurulması çalışmaları başlatılarak, bakım ve onarım için gerekli olan gerçekçi bütçenin belirlenmesi gerekmektedir. Mevcut ulaştırma altyapısının yeterli seviyede korunması sonucu taşıt işletme maliyetlerinin en aza indirgenebilmesi beklenmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmada kaplama pürüzlülüğü, işletme hızı ve geometrik standartlara bağlı olarak karayolu işletme maliyetlerinin değişimleri incelenmiştir. Bu etkiler, düşük trafik hacmine sahip yol örneğinde değerlendirilirken, özellikle trafik hacminin yüksek olduğu yollarda geometrik standartların ve kaplama koşullarının iyileştirilmesiyle yol kullanıcı maliyetlerinde ciddi tasarrufların elde edilmesi kaçınılmazdır. Yol geometrik standartlarının iyileştirilmesiyle taşıt filosunun yol kullanıcı maliyeti 1,882 TL/taşıt-km'den 1,822 TL/taşıt-km 'ye azalmıştır. Hızın artmasıyla taşıt işletme maliyetinde artış, zaman kaybı maliyetinde ise azalma gözlemlenmiştir. Taşıt işletme maliyeti 0,93 TL/taşıt-km, zaman kaybı maliyeti 0,69 TL/taşıt-km , emisyon maliyeti 0,01 TL/taşıt-km ve yol güvenliği maliyeti 0,18 TL/taşıt-km hesaplanmıştır. Yol geometrik standartlarının iyileştirilmeden önceki durumla karşılaştırıldığında, yol geometrik standartlarının değişiminin zaman kaybı maliyetine etkisinin en fazla olduğu tespit edilmiş olup hipotezimizin doğruluğu gerçekleşmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Bakırcı, E., (2005). "Taşıt İşletme Maliyetleri Bileşenlerinin İrdelenmesi Tasarruf Bakışının Yerleştirilmesi", 6. Ulaştırma Kongresi, 23-24-24 Mayıs 2005, İstanbul.

[2] Ozbay, K., Jawad, D., Parker, N., & Hussain, S., (2004). "Life-Cycle Cost Analysis: State of The Practice Versus State of The Art", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Transportation Research Board of the National Academies, 62-70.

[3] Yüksekli, A.U., (2006). Trafik ve Değişkenlerinin Üstyapı Maliyetlerine Etkisinin Ömür Döngü Maliyet Analizi Yöntemi ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[4] Burger, A. F., & Gryp, A. V. D., (2008). "Implementing HDM-4 Version 2 for Project Level Life Cycle Cost Analysis", In Proceedings of 7th International Conference on Managing Pavement Assets,24-28 June 2008, Alberta.

[5] Yayla, N., (2013). Karayolu Mühendisliği, Birinci Baskı, Birsen Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul.

[6] EUPAVE, TÇMB, (2009). Beton Yollar : Akıllı ve Sürdürülebilir Bir Seçim, Yayın No:1, Ankara.

[7] Kang, M. W., Shariat, S., & Jha, M. K., (2013). "New Highway Geometric Design Methods for Minimizing Vehicular Fuel Consumption and Improving Safety", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 31: 99-111.

[8] The Florida Department of Transportation By the Florida International University Lehman Center for Transportation Research, (2008), Evaluation Tools to Support ITS Planning Process: Development of a Sketch Planning Tool in FSUTMS/Cube Environment, FIU Project: 212200580, Florida.

[9] PETDER, (2013). Sektör Raporu 2012, Yayın No:1, İstanbul.

[10] Zaniewski, J. P., Butler, B. G., Cunningham, G., & Machemehl, R., (1982). Vehicle Operating Costs, Fuel Consumption, and Pavement Type Condition Factors, Second Edition, Federal Highway Administration, United States.

[11] Narwal, A., (2016). "Review On Vehicular Emission Models (Hdm4)", International Journal of All Research Education and Scientific Methods, Volume 4, Issue 6, June- 2016, Rohtak.

[12] KGM Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı Ulaşım Etütleri Şubesi Müdürlüğü, (2014). Karayollarında Hız, Yayın No:1, Ankara.

[13] Victoria Transport Policy Institute, Transportation Cost and Benefit Analysis II – Travel Time Costs, www.vtpi.org/tca/tca0502.pdf, 10 Eylül 2018.

[14] Tranter, P., (2004). "Effective Speeds: Car Costs are Slowing Us Down. Canberra, Australian Greenhouse Office", Department of the Environment and Heritage, 18.

[15] Litman, T. (2017). Build For Comfort, Not Just Speed, www.vtpi.org/quality.pdf, 12 Aralık 2018.

[16] Das A., Bino, I.K., & Pradeep J., (2013). "Road User Effects Model Calibration in HDM4 – A Case Study", Proceedings of International Conference on Energy and Environment, 12-14 December 2013, Kottayam.

[17] World Bank, (2010). HDM-4 Road Use Costs Model Version 2.00 Documentation, Washington DC.

[18] World Bank, (2008). HDM-4(Highway Developement and Management) Introduction, Presentation, Washington DC.

[19] Chatti, K., & Zaabar I., (2012). Estimating the Effects of Pavement Condition on Vehicle Operating Costs (Vol. 720), First Edition, Transportation Research Board, Washington DC.

[20] TÜİK, (2014). Seçilmiş Göstergelerle Çanakkale 2013, Yayın No: 4192, Ankara.

[21] Transportation Cost and Benefit Analysis II – Air Pollution Costs Victoria Transport Policy Institute , www.vtpi.org/tca/tca0510.pdf, 11 Aralık 2018

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Soner CANVER

Doğum Tarihi ve Yeri : 27.08.1985 / Fatih

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : sonercanver@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	Ulaştırma Programı	Yıldız Teknik Üniversitesi	2018
Lisans	Harita Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lise	Sayısal	Eyüp Anadolu Lisesi	2003

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2016- Halen	Altyapı Müh. Dan. Tah. Ltd. Şti.	Harita Mühendisi
2015- 2016	Kitay Altyapı İnş. Tic. Ltd. Şti.	Şantiye Şefi
2014- 2015	Ayyıldız İnşaat	Şantiye Şefi

2011- 2014	Fermak İnşaat	Harita Etüt Şefi
2009- 2011	Kitay Altyapı İnş. Tic. Ltd. Şti.	Harita Mühendisi

YAYINLARI

Uluslararası Bildiri

Canver S., Özen H., Saraçoğlu A., Maltaş A., "Ömür Döngü Analizi ile Farklı Parametrelerin Karayolu Maliyetleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi", II. International Scientific and Vocational Studies Congress, NEVŞEHİR, TÜRKIYE, 5-8 Temmuz 2018, pp.1263-1272.