T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTONOM SÜRÜŞ SİSTEMLERİ İÇİN YOL DEĞERLENDİRME ALGORİTMASI GELİŞTİRİLMESİ

VOLKAN BEKİR YANGIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. MUAMMER ÖZKAN

İSTANBUL, 2018

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTONOM SÜRÜŞ SİSTEMLERİ İÇİN YOL DEĞERLENDİRME ALGORİTMASI GELİŞTİRİLMESİ

Volkan Bekir YANGIN tarafından hazırlanan tez çalışması 12.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Muammer ÖZKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Muammer ÖZKAN

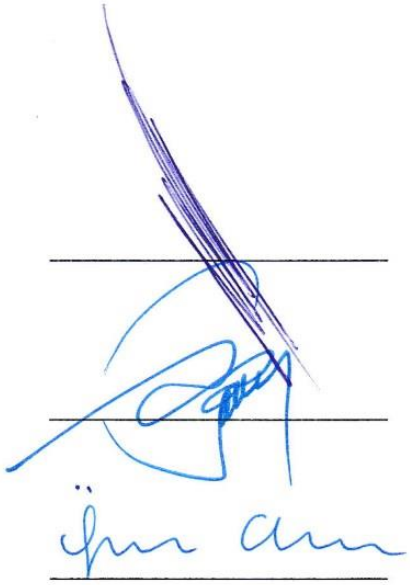
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Orkun ÖZENER

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Özgen AKALIN

İstanbul Teknik Üniversitesi



ÖNSÖZ

Yapılan tez çalışması "Otonom Sürüş Sistemleri İçin Yol Değerlendirme Algoritması Geliştirilmesi" isimli olup, çalışmada İstanbul içinde işletilen bir otobüsün hat verileri kullanılarak minimum yakıt tüketimi sağlayacak hız profillerinin oluşturulması amaçlanmıştır.

Çalışma boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, her aşamada akademik birikimiyle bana yol gösteren tez danışmanım Prof. Dr. Muammer ÖZKAN'a, çalışmama değerli katkılarını sunan Dr. Öğr. Üyesi Orkun ÖZENER'e; tez süresince desteklerini her zaman yanımda hissettiğim annem H. Neriman YANGIN'a, babam Hakan YANGIN'a ve Haliç Üniversitesi'nin değerli akademisyenleri Dr. Öğr. Üyesi Figen ÖZEN'e, Öğr. Gör. Çağrı ÖZGÜN KİBİROĞLU'na, Öğr. Gör. Zeynep TURGUT'a, Arş. Gör. Şengül BAYRAK'a ve Bilgisayar Mühendisi Zeynep İNEL ÖZKİPER'e şükranlarımı sunarım.

Haziran, 2018

Volkan Bekir YANGIN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ....vi

KISALTMA LİSTESİ.... viii

ŞEKİL LİSTESİ....ix

ÇİZELGE LİSTESİ....xii

ÖZET.... xiii

ABSTRACT xv

BÖLÜM 1

GİRİŞ....1

1.1 Literatür Özeti....1
1.2 Tezin Amacı....17
1.3 Hipotez 18
1.4 Taşıtlarda Yakıt Tüketimine Etki Eden Faktörler ve Yakıt Ekonomisinin Önemi....18
1.4.1 Yakıt Ekonomisi Sağlamanın Önemi....18
1.4.2 Taşıtlarda Yakıt Tüketimine Eki Eden Faktörler....20
1.4.2.1 Yakıt, Donanım ve Taşıt Yapısına Bağlı Faktörler 20
1.4.2.2 Kullanıcıya Bağlı Faktörler....22
1.4.2.3 Çevresel Şartlar ve Etki Edilemeyen Dış Faktörler 22
1.5 Cruise – Control Sistemleri 23
1.6 Dünyada ve Türkiye'de Petrole Duyulan Gereksinim 24

BÖLÜM 2

MATERYAL VE YÖNTEM....27

2.1 Yol Verilerinin Eldesi 27
2.2 Eğim Profilinin Eldesi....29
2.3 Eğim Profilinin Filtrelenmesi 29
2.3.1 GPS Verilerinin Filtrelenmesi Hakkında Yapılan Diğer Çalışmalar. 31

2.4 Otobüs 34
2.4.1 Otobüse Ait Teknik Özellikler....35
2.5 Rotanın Segmentlere Ayrılması ve Segment Tiplerinin Belirlenmesi....35
2.5.1 Eğimli Yollar 36
2.5.2 Düz Yollar 37
2.6 Hız Değiştirme Stratejileri....39
2.6.1 Eğimli Yollar İçin Hız Değiştirme Stratejileri....39
2.6.2 Düz Yollar İçin Hız Değiştirme Stratejileri....40
2.7 Hareket Dirençleri....41
2.7.1 Aerodinamik Direnç (W_L)....42
2.7.2 Eğim Direnci (W_S)....43
2.7.3 İvme Direnci (W_B)....43
2.7.4 Yuvarlanma Direnci (W_R)....44
2.7.5 Çeki Direnci ($W_Ç$)....45
2.7.6 Hareket Dirençlerinin Yakıt Tüketimine Etkisi....45
2.7.6.1 Yuvarlanma Direncinin Yakıt Tüketimine Etkisi....45
2.7.6.2 Eğim Direncinin Yakıt Tüketimine Etkisi 47
2.7.6.3 Aerodinamik Direncin Yakıt Tüketimine Etkisi 47
2.7.6.4 İvme Direncinin Yakıt Tüketimine Etkisi....49
2.8 Güç Hesabı 49
2.9 Yakıt Tüketim Miktarının Belirlenmesi 50
2.9.1 Motor Haritası ile Yakıt Tüketiminin Belirlenmesi....50
2.9.2 Yakıt Tüketiminin Ölçümü....51
2.9.2.1 Karbon Balansı Yöntemi....51
2.9.2.2 Volumetrik Yöntem 51
2.9.2.3 Gravimetrik Yöntem....52
2.9.2.4 Yakıt Tüketiminin Nümerik Olarak Hesaplanması 53

BÖLÜM 3

ALGORİTMA (ECO - TURK)....54

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER....59

4.1 ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi Kullanılarak Yapılan Deneme Sonuçları....59

4.2 ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi Kullanılarak Yapılan Deneme Sonuçları.... 94

KAYNAKLAR 104

ÖZGEÇMİŞ....109

SİMGE LİSTESİ

V_T	Taşıt hızı
α	Yol parçasının eğimi
g	Yerçekimi ivmesi
$m_{taşıt}$	Taşıt kütlesi
$\sum W$	Toplam dirençler
Δs	Yol parçasının uzunluğu
E_{tahrik}	Taşıtın tahrik edilebilmesi için gerekli enerji miktarı
F_{tahrik}	Taşıtın tahrik edilebilmesi için gerekli kuvvet miktarı
W_L	Aerodinamik direnç
ρ	Havanın yoğunluğu
C_D	Aerodinamik direnç katsayısı
A	Taşıt projeksiyon alanı
$V_{bağıl}$	Taşıt ile rüzgar arasındaki bağıl hız
V_R	Rüzgar hızı
W_S	Eğim direnci
G	Taşıt ağırlığı
W_B	İvme direnci
φ	İvme direnç katsayısı
I_{tr}	Toplam çevrim oranı
t	Süre
W_R	Yuvarlanma direnci
f	Yuvarlanma direnç katsayısı
f_0	Yuvarlanma direnç katsayısı yol kaplaması faktörü
ρ_r	Etkin teker yarıçapı
M_D	Döndürme momenti
N	Teker tepki kuvveti
L	Lastik izi
e	Teker tepki kuvvetinin teker düşey ekseninden kayma miktarı
p	Yüzey basıncı
b	Şekil değiştirme bölgesi yüksekliği
N_e	Efektif motor gücü
η_m	Transmisyon verimi
b_e	Özgül yakıt tüketimi
$\dot{m}_{yakıt}$	Yakıtın akışı sırasındaki kütlesel debi

$\rho_{yakıt}$	Yakıt yoğunluğu
V_{tank}	Tanktaki yakıtın hacmi
$T_{eğim}$	Eğimin türevi

KISALTMA LİSTESİ

ACC	Adaptif Cruise-Control
BMEP	Fren ortalama efektif basıncı
BSFC	Fren özgül yakıt tüketimi
CO	Karbonmonoksit
CC	Cruise-control
ECC	Eco cruise-control
ECO - TURK	Algoritma
GPS	Küresel konumlama sistemi
GIS	Coğrafi bilgi sistemi
ÖYDAL	Öngörücü Yol Değerlendirme Algoritması

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1 "Eco - sürüş sistemi"nin yapıtaşları [1] 2
Şekil 1. 2 "Prediktif eco - cruise control" sisteminin çalışma yapısı [2] 3
Şekil 1. 3 "Eco-sürüş sistemi"nin kullandığı veriler ve "Konvansiyonel cruise control"e göre getirileri [3]..... 5
Şekil 1. 4 "Eco – cruise control"ün çalışma yapısı [4] 6
Şekil 1. 5 "Adaptif cruise control"ün çalışma yapısı [5] 7
Şekil 1. 6 Birinci deneme yolunda 65 km/h referans hız için yapılan deneme sonuçları [9]..... 11
Şekil 1. 7 Birinci deneme yolunda 55 km/h referans hız için yapılan deneme sonuçları [9]..... 12
Şekil 1. 8 İkinci deneme yolunda 55 km/h referans hız için yapılan deneme sonuçları [9]..... 13
Şekil 1. 9 İkinci deneme yolunda 65 km/h referans hız için yapılan deneme sonuçları [9]..... 14
Şekil 1. 10 Üçüncü deneme yolunda 75 km/h referans hız için yapılan deneme sonuçları [9]..... 15
Şekil 1. 11 Üçüncü deneme yolunda 65 km/h referans hız için yapılan deneme sonuçları [9]..... 16
Şekil 1. 12 Üçüncü deneme yolunda 55 km/h referans hız için yapılan deneme sonuçları [9]..... 17
Şekil 1. 13 Yakıt ekonomisinin getirileri [10] 19
Şekil 1. 14 Buji ateşlemeli ve sıkıştırma ateşmeli motorlar için yakıt ekonomisi ve karbondioksit emisyonu azalışı arasındaki ilişki [11] 19
Şekil 1. 15 1958 yılına ait bir cruise control modülü [28] 23
Şekil 1. 16 Yıllara göre enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı [33] 25
Şekil 1. 17 Fosil yakıt kullanımın sektörlere göre ve yıllar bazında durumu [33] 25
Şekil 1. 18 Türkiye'de enerji tüketiminin kaynaklar bazında dağılımı [34] 26
Şekil 1. 19 Türkiye'de enerji tüketiminin sektörler bazında dağılımı [35] 26
Şekil 2. 1 Google Earth ile elde edilen yükseklik profili [36] 27
Şekil 2. 2 Örnek bir çevrimiçi GPS yazılımına ait görsel [37] 28
Şekil 2. 3 Örnek bir GPS takipçi cihazı 28
Şekil 2. 4 Yatay ve düşey yer değiştirme [38] 29
Şekil 2. 5 Örnek bir yükseklik profili 30
Şekil 2. 6 Örnek yükseklik profiline ait ham ve filtrelenmiş eğim profilleri 31
Şekil 2. 7 Metrobüs'e ait bir görsel 34

Şekil 2. 8 İstanbul Metrobüsü'nün işletildiği hat [43] 34
Şekil 2. 9 Otobüse ait çizim [44] 35
Şekil 2. 10 Eğimli yollar 37
Şekil 2. 11 Giriş yolları 38
Şekil 2. 12 Ayrılma yolları 38
Şekil 2. 13 Standart düz yollar 39
Şekil 2. 14 Taşıta etkiyen dirençler [46] 42
Şekil 2. 15 Aerodinamik direnci oluşturan bileşenler [47], [48] 42
Şekil 2. 16 Eğim direncinin oluşumu [49] 43
Şekil 2. 17 Yuvarlanma direncinin oluşumu [49], [51] 44
Şekil 2. 18 Römork [53] 45
Şekil 2. 19 Yarı römork [54] 45
Şekil 2. 20 Şehiriçi, şehirdışı yollarda ve otoyollarda dirençlerin etkileri [56] 46
Şekil 2. 21 Aerodinamik direnç katsayısının yakıt tüketimine etkisi [60] 48
Şekil 2. 22 Farklı taşıt tiplerinin ön izdüşüm alanları [62] 48
Şekil 2. 23 Taşıt hızı ve kullanılan vites kademesine göre yakıt tüketiminin değişimi [63] 49
Şekil 2. 24 Örnek bir motor haritası [64] 50
Şekil 2. 25 Karbon balansı yöntemiyle yakıt tüketimin ölçümü [67] 51
Şekil 2. 26 Örnek bir yakıt tüketimi ölçüm cihazı 52
Şekil 2. 27 Örnek bir volumetrik ölçüm cihazı çizimi [71] 52
Şekil 2. 28 Örnek bir gravimetrik ölçüm cihazı çizimi [73] 53
Şekil 3. 1 Algoritmaya ait temel akış şeması 55
Şekil 4. 1 Zincirlikuyu - Mecidiyeköy durakları arası yükseklik profili 59
Şekil 4. 2 Zincirlikuyu - Mecidiyeköy durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 60
Şekil 4. 3 Mecidiyeköy - Çağlayan durakları arası yükseklik profili 62
Şekil 4. 4 Mecidiyeköy - Çağlayan durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 63
Şekil 4. 5 Çağlayan – Okmeydanı Hastane durakları arası yükseklik profili 64
Şekil 4. 6 Çağlayan – Okmeydanı Hastane durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 65
Şekil 4. 7 Okmeydanı Hastane - Perpa durakları arası yükseklik profili 66
Şekil 4. 8 Okmeydanı Hastane - Perpa durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 67
Şekil 4. 9 Perpa - Okmeydanı durakları arası yükseklik profili 68
Şekil 4. 10 Perpa - Okmeydanı durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 69
Şekil 4. 11 Okmeydanı – Halıcıoğlu durakları arası yükseklik profili 70
Şekil 4. 12 Okmeydanı - Halıcıoğu durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 71
Şekil 4. 13 Ayvansaray – Edirnekapı durakları arası yükseklik profili 72
Şekil 4. 14 Ayvansaray - Edirnekapı durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 73
Şekil 4. 15 Edirnekapı – Bayrampaşa durakları arası yükseklik profili 74
Şekil 4. 16 Edirnekapı - Bayrampaşa durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 75
Şekil 4. 17 Bayrampaşa – Topkapı durakları arası yükseklik profili 76

Şekil 4. 18 Bayrampaşa - Topkapı durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 77
Şekil 4. 19 Topkapı – Cevizlibağ durakları arası yükseklik profili 78
Şekil 4. 20 Topkapı - Cevizlibağ durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 79
Şekil 4. 21 Cevizlibağ - Merter durakları arası yükseklik profili 80
Şekil 4. 22 Cevizlibağ - Merter durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 81
Şekil 4. 23 Ataköy – Yenibosna durakları arası yükseklik profili 82
Şekil 4. 24 Ataköy - Yenibosna durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 83
Şekil 4. 25 Yenibosna - Sefaköy durakları arası yükseklik profili 84
Şekil 4. 26 Yenibosna - Sefaköy durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 85
Şekil 4. 27 Beşyol – Florya durakları arası yükseklik profili 86
Şekil 4. 28 Beşyol - Florya durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 87
Şekil 4. 29 Florya – Cennet Mahallesi durakları arası yükseklik profili 88
Şekil 4. 30 Florya Cennet - Mahallesi durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 89
Şekil 4. 31 Cennet Mahallesi – Küçükçekmece durakları arası yükseklik profili 90
Şekil 4. 32 Cennet Mahallesi - Küçükçekmece durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 91
Şekil 4. 33 Şükrübey – Avcılar durakları arası yükseklik profili 92
Şekil 4. 34 Şükrübey – Avcılar durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) 93
Şekil 4. 35 Zincirlikuyu - Mecidiyeköy durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Aynı Süre Rejimi için) 95
Şekil 4. 36 Mecidiyeköy - Çağlayan durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Aynı Süre Rejimi için) 96
Şekil 4. 37 Çağlayan - Okmeydanı Hastane durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Aynı Süre Rejimi için) 97
Şekil 4. 38 Okmeydanı Hastane - Perpa durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Aynı Süre Rejimi için) 98
Şekil 4. 39 Edirnekapı - Bayrampaşa durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Aynı Süre Rejimi için) 99
Şekil 4. 40 Bayrampaşa - Topkapı durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Aynı Süre Rejimi için) 100
Şekil 4. 41 Topkapı - Cevizlibağ durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Aynı Süre Rejimi için) 101
Şekil 4. 42 Cevizlibağ - Merter durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Aynı Süre Rejimi için) 102

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1. 1 Taşıtlarda yakıt tüketimine etki eden faktörler.....20
Çizelge 2. 1 Otobüse ait teknik özellikler [44] 35
Çizelge 2. 2 Otobüse ait transmisyon özellikleri [44].....35
Çizelge 2. 3 Yol segmentleri.....36
Çizelge 2. 4 Yuvarlanma direncindeki değişimin toplam enerji tüketimine etkisi [75].....46

ÖZET

OTONOM SÜRÜŞ SİSTEMLERİ İÇİN YOL DEĞERLENDİRME ALGORİTMASI GELİŞTİRİLMESİ

Volkan Bekir YANGIN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Muammer ÖZKAN

Teknoloji 20. yüzyıl ile beraber hızla ilerleme eğilimine girmiştir. Teknolojideki ilerleme ile beraber endüstriyel faaliyetler artmaya başlamıştır. Bu durum enerjiye duyulan gereksinimde de artış meydana getirmektedir. Günümüzde fosil yakıtlar enerji ihtiyacının büyük bölümünü karşılamaktadır. Mevcut petrol rezervlerinin azalmaya başlaması ile bu ihtiyacın ekonomik olarak karşılanması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. İçten yanmalı motorla tahrik edilen karayolu taşıtlarının büyük kısmı petrol kaynaklı yakıtlarla çalışmaktadır. Bu nedenle taşıtlarda etkili bir yakıt tasarrufu sağlamak vazgeçilemez durumdadır. Günümüzde taşıtların daha ekonomik bir şekilde çalışabilmesi için çeşitli iyileştirme yöntemleri geliştirilmektedir. Bu yöntemlerden biri cruise-control sistemleridir. Cruise-control sistemleri taşıt hızını hareket boyunca sabit bir değerde korumaktadır. Sabit hızla seyir sağlamanın amacı ivme direncini önlemektir. Bu şekilde yakıt tüketiminde azalma ve iyi bir sürüş konforu meydana getirebilmek amaçlanmaktadır. Ancak hız değerindeki bu korunum, taşıtın üzerinde seyrettiği yolun topografyasına bağlı olarak her zaman yakıt tüketimini düşürücü yönde etki etmemektedir. Bu olumsuzluk nedeniyle taşıtın hızını yolun coğrafi yapısına bağlı olarak, belli konumlarda değiştirme ilkesiyle çalışan sistemler önerilmektedir. Tez çalışmasında geliştirilen ECO-TURK de bu ilkeye göre tasarlanan bir algoritmadır. ECO-TURK seçilen bir rotanın GPS aracılığıyla elde edilmiş yükseklik verilerini değerlendirmektedir. Bu değerlendirme sonucunda rota düz yollar ve eğimli yollar olmak üzere algoritma tarafından 2'ye ayrılmaktadır. Sonrasında ise bu yollar özel sınıflandırmaya tabii tutulmaktadır. ECO-TURK sınıflandırmalara bağlı olarak, üzerinde önceden tanımlanmış

hız değiştirme stratejileri kullanmaktadır. Hız değiştirme stratejileri ile rotanın çeşitli konumlarında değeri değişecek bir hız profili oluşturulmaktadır. Bu profilin kullanımıyla rota boyunca hesaplanacak kümülatif yakıt tüketimi değerinin, tüm rotanın sabit hızla seyri durumuna göre azalması amaçlanmaktadır. Yapılan işlemlerin ardından, ECO-TURK tarafından oluşturulan hız profiliyle seyrin, sabit hızla seyre göre sefer süresinde ne oranda değiştiği hesaplanmaktadır. ECO-TURK, sabit hızla seyir durumuna göre yapılan hesaplamalardan sonra rotanın kendisi tarafından oluşturulan hız profili ile aynı sürede alınacağı bir seyir durumunda yakıt tüketiminin nasıl değiştiğini de değerlendirmektedir. İstanbul Metrobüs hattı boyunca yer alan toplam 17 rotada her iki seyir durumuna karşı yapılan denemelerin tamamında yakıt tüketimi ECO-TURK tarafından %15 seviyelerine ulaşacak şekilde düşürülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yol değerlendirme, yakıt ekonomisi, adaptif cruise-control, hız değiştirme stratejileri, hareket dirençleri

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF ROAD ASSESMENT ALGORITHM FOR AUTONOMOUS VEHICLES

Volkan Bekir YANGIN

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Muammer ÖZKAN

Technology has tended to advance rapidly since beginning of the 20. century. With the progress of the technology, industrial activities has begun to increase. This also causes to increase in the energy requirement. Today, fossil fuels fulfill most of the energy requirement. The necessity of supply this requirement economically has arisen with the existing oil reserves started to decrease. Most of the road vehicles driven by internal combustion engines work with petroleum-derived fuels. For this reason, it is necessary to provide effective fuel economy in vehicles. Today, various improvement methods are being developed to enable vehicles to operate more economically. One of the these methods is cruise-control system. Cruise-control keeps the vehicle speed at a constant value throughout the journey. Purpose of the constant speed driving is prevent acceleration resistance. With this prevention, effective fuel economy and driving comfort can be enable. In spite of the these positive effects of cruise-control, constant speed driving may not reduce fuel consumption depending on the topography of the route. Because of this negativity, systems that operate with the principle of changing the speed of the vehicle in certain positions depending on the geographical structure of the road are suggested. ECO-TURK, the developed algorithm in this master thesis, also designed based on this principle. ECO-TURK evaluates altitude values of the selected route obtained from GPS. As a result of this process, route is divided by algorithm as flat and inclined roads. These roads are then subject to special classifications. ECO-TURK uses predefined speed change strategies depending on the classifications. With speed change strategies, velocity profile which has variable values in various locations of the route is

created. Purpose of the using velocity profile created by ECO-TURK is reducing the cumulative fuel consumption according to the constant speed driving on route. At the end of the all of the process, time difference between driving with velocity profile created by ECO-TURK and driving constant speed is calculated. After all of the calculations according to driving constant speed, ECO-TURK also assesses how the fuel consumption changes in the course of the same trip time as the speed profile created by algorithm. Fuel economy is provided up to 15% by ECO-TURK's velocity profile all of the 17 route on Istanbul Metrobus line.

Keywords: Road assessment, fuel economy, adaptive cruise-control, speed-change strategies, vehicle resistances

BÖLÜM 1

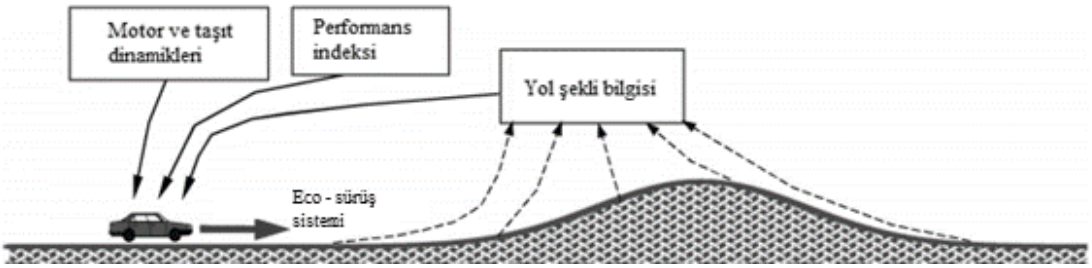
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Yol topografyasına bağlı olarak taşıtın hız değişimini sağlayan ve bu şekilde geleneksel curise-control sistemlerine göre yakıt tüketimini düşürmeyi amaçlayan sistemler, dünyanın birçok bölgesindeki araştırmacı tarafından üzerinde durulan çalışmalardır. Literatürde yer alan çalışmalarda "eco sürüş sistemi", "adaptif cruise-control "prediktif cruise-control", "eco cruise-control", "eco sürüş sistemi" ve "look ahead cruise-control" gibi isimlendirmeler görülmektedir. Geleneksel cruise control sistemleri ise "cruise control", "konvansiyonel cruise-control" ifadeleriyle yer almaktadır. Yapılan tüm çalışmalarda geleneksel cruise control sistemlerine göre yakıt tüketimini düşürülmüştür.

M.A.S Kamal, Masakazu Mukai, Junichi Murata ve Takestoshi Kawabe, Ecological Vehicle Control on Roads With Up - Down Slopes isimli çalışmalarında eğimli yollarda seyreden bir taşıt için "Eco - sürüş sistemi" algoritması geliştirmiştir. İlgili çalışmaya göre yol eğimi, ivmelenme ve taşıt hızı yakıt tüketimini etkilemektedir. Bu nedenle optimum kontrol, yol ve sürüş karakteristiği ve yakıt tüketim özellikleri kullanılarak sağlanabilir. Çalışmada hızlı optimizasyon algoritmasına sahip bir non-lineer model dijital olarak elde edilmiş yol verilerine dayanarak oluşturulmuştur. Çalışmada önerilen sistem çeşitli şekillerdeki iniş ve çıkış eğimli yollarda simüle edilmiştir. Sonuçlara göre "Eco - sürüş sistemi" yakıt tüketimini önemli ölçüde düşürmüştür. Çalışmanın amacı "Eco - sürüş sistemi"nin konseptini ve dijital verilerin en uygun şekilde kullanımını sunmak, kontrol algoritmalarını şekillendirmek ve simülasyon sonuçlarına göre bir değerlendirme yapmaktır [1].

Şekil 1. 1'de çalışmada kullanılan veriler görsel olarak sunulmuştur. İlgili şekle göre, "Eco - sürüş sistemi" motor ve taşıt dinamikleri, performans bilgisi ve yol topografyasından faydalanmaktadır. Bunların kullanılmasıyla yakıt tüketimini minimuma indirecek kontrol girdisi sağlanır. Kontrol girdisi oluşumunda yol ve otomobile ait gelecek durumdaki koşullar da dikkate alınır [1].



Şekil 1. 1 "Eco - sürüş sistemi"nin yapıtaşları [1]

Önerilen "Eco - sürüş sistemi"nde taşıtın hızı çıkış eğimli yollara girmeden önce belirli bir miktarda artırılır. İniş eğimli yollarda ise taşıt hızının belli bir değere kadar hiçbir frenleme yapmadan kendiliğinden artmasına izin verilir. İniş eğimli yollarda frenleme yapılmaması taşıta ayrıca bir yakıt tasarrufu sağlamaktadır [1].

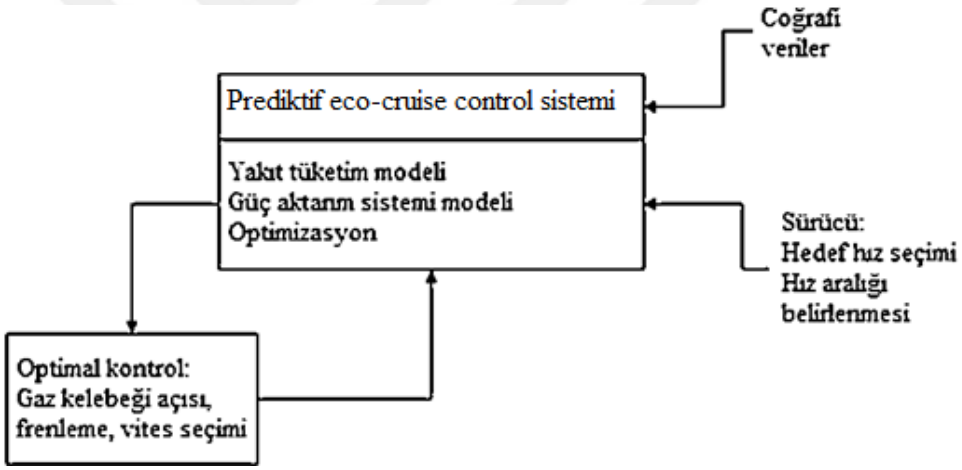
"Eco - sürüş sistemi"nde eğim algılama hatalarından dolayı yakıt tüketiminin artması gibi problemler meydana gelebilir. Hiçbir hata olmaması durumunda diğer sistemlere göre yakıt tüketimi daha da azalacaktır [1].

Çalışmada seçilmiş rota, FSD (Eğim verileri göz ardı edilerek sabit hızın korunumu), ASCD (Yol eğimi kullanılmadan oransal - integral yöntemi ile çalışma) ve MPC (Eco - sürüş sistemi) şeklindeki 3 farklı modda denenmiştir. Elde edilen sonuçların tamamında "Eco - sürüş sistemi" ile çalışmada yakıt tüketimi düşmüştür [1].

Sangjun Park, Hesham Rakha, Kyoungho Ahn ve Kevin Moran, Predictive Eco - Cruise Control: Algorithm and Potential Benefits adlı çalışmalarında yola ait coğrafi verilerin kullanılmasıyla yakıt tüketimini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada önerilen sistem 3 bileşen içermektedir. Bu bileşenler yakıt tüketim modeli, güç aktarma modeli ve optimizasyon algoritmasıdır. Sistem, taşıtın hızını belli aralıklarda değiştirmek üzere tasarlanmıştır. Taşıt hızının değişimi yol eğimine bağlı olarak yapılmakta ve optimum bir kontrol sağlanmaktadır. Çeşitli rotalarda denenen sistem, geleneksel curise control sistemleri ile karşılaştırılmıştır [2].

Yapılan çalışmanın hedefi, yola ait topografik bilgileri kullanarak yakıt tüketiminin azaltılması için araç kontrol planları üreten bir "Prediktif eco - cruise control" sistemi geliştirmektir. Oluşturulan planlar belirli bir mesafe veya süre boyunca; araç hızı, gaz kelebeği seviyesi, fren seviyesi ve vites seçimi gibi kontroller dizisi olarak ifade edilir. Sistem, araç kontrollerini önceden en iyi duruma getirmektedir [2].

Sisteme ait kontrol şeması Şekil 1. 2'de görülmektedir. İlgili şekle göre "Prediktif eco - cruise control sistemi" coğrafi bilgiler ve sürücü tarafından yapılan hız tercihleri gibi değişkenlerden etkilenmektedir. Coğrafi bilgiler navigasyon aracılığı ile elde edilebilir. Sürücü, hedef hız ve hız aralığı belirleyebilir. Sistem ise tüm bunlara dayanarak optimal kontrolü sağlayacak gaz kelebeği konumu, frenleme, vites seçimi vs. yapabilir. Güç aktarma modülü sürüş karakteristiğine bağlı olarak ivmelenme miktarını belirler. Yakıt tüketiminin belirlenmesi için ise çeşitli fonksiyonlardan yararlanılır. Tüm bunlara bağlı olarak kontrol sağlanmaktadır [2].



Şekil 1. 2 "Prediktif eco - cruise control" sisteminin çalışma yapısı [2]

Çalışmada önerilen sistem, "Konvansiyonel cruise control" ile karşılaştırılmıştır ve bu karşılaştırma yapılmadan önce çeşitli sınırlamalar eklenmiştir. Eğer araç hedef hızdan daha yüksek hızdaysa minimum gaz kelebeği açısı kullanılır. Bu açı rölanti durumunda gözlenir. Bu kural, taşıt frenleme yapmadan hedef hıza ulaşıncaya kadar geçerlidir. Alternatif olarak, bir araç hedef hızından daha yavaş ilerliyorsa sistem düşük bir ivmeyle aracı hızlandırır. Hızlanma seviyesini belirlemek için, göreceli araç hızı (o anda) ile hedef hız arasındaki fark kullanılır. Bu farka göre hızlanma oranı belirlenir [2].

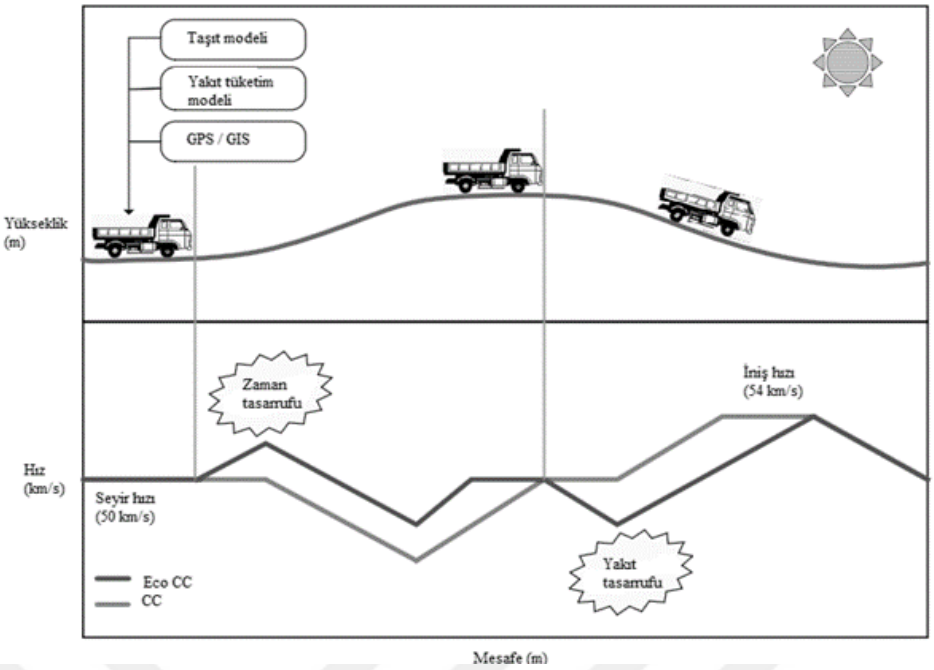
"Prediktif eco - cruise control" sisteminde taşıtın hızı en az tüketimi sağlamak amacıyla belli aralıkta tutulurken, "Konvansiyonel cruise control" sistemlerinde mevcut hızın

korunması sağlanmaktadır. “Konvansiyonel cruise control” sistemlerinde taşıtın mevcut konumundan sonraki konumların eğim değerleri bilinmemediği için hızda salınımlar meydana gelebilmektedir. Bu salınımlar hız kontrolünde hatalara yol açmaktadır. “Prediktif eco - cruise control” sistemi aktif olduğunda, taşıt rampa çıkarken en düşük hızını koruma eğilimindedir. Rampa inişlerinde ise yer çekiminin pozitif etkisinden mümkün olduğunda çok faydalanmaya çalışmaktadır [2].

“Konvansiyonel cruise control” sistemlerinde hedef hızı korumak için daha fazla yakıt harcanmaktadır. “Prediktif eco - cruise control” sistemi ise tam anlamıyla bir kontrol sağlamaktadır. Önerilen sistem çeşitli koşullar için gereken gücü hesaplayabildiği için yakıt tüketimi ihtiyacını da daha doğru bir şekilde belirlemektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, önerilen sistemin yakıt tüketimi “Konvansiyonel cruise control” sistemlerine göre oldukça düşüktür [2].

Yu-Chen Lin ve Ha Ly Thi Nguyen, Development of an Eco - Cruise Control System Based on Digital Topographical Data isimli çalışmalarında yola ait yükseklik profili ile nonlineer optimal prediktif kontrol algoritmalarını harmanlamakta ve taşıt hızını kontrol altında tutmayı amaçlamaktadır. Ayrıca yol eğimine göre en ekonomik hızın elde edilmesi üzerine çalışılmıştır. Çalışmada önerilen sistem bu avantajlarının yanında sürüş güvenliğine de pozitif etki etmektedir [3].

Şekil 1. 3’de yakıt ve zaman tasarrufunun nasıl sağlandığına yönelik bir görsel yer almaktadır. Çalışmada önerilen sistem; taşıt modeli, yakıt tüketim modeli ve coğrafi verilerden yararlanmaktadır. Kullanılan sistem ile rotanın çeşitli bölgelerinde yakıt ve zaman tasarrufu sağlanmıştır [3].



Şekil 1. 3 "Eco-sürüş sistemi"nin kullandığı veriler ve "Konvansiyonel cruise control"e göre getirileri [3]

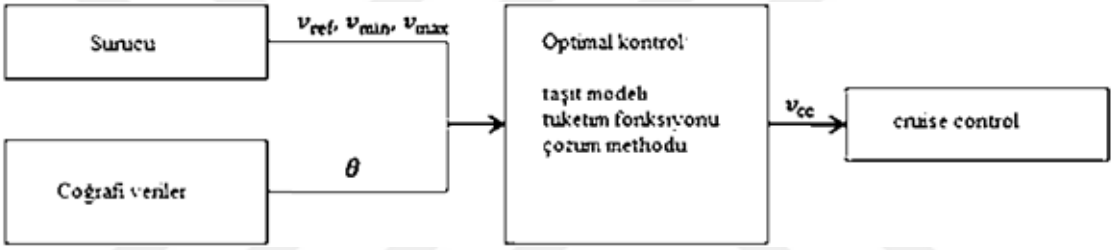
"Konvansiyonel cruise control" sistemlerinin amacı taşıtın anlık hızını korumaktır. Ancak bu durum sürüş zorluğu yaşatmakta ve yüksek eğimli çıkışlarda zorluk yaratmaktadır. Taşıt çıkış eğimli bu yollarda fazla yakıt harcamakta ve düşük viteste çalışıp yüksek devirde ilerlemektedir. Bu şekilde ilerlemenin amacı rampa tırmanırken hız kaybından kaçınmaktır. Buna ek olarak, yokuş aşağı giderken gereksiz ivmelenmeyi önlemek için araç istenmeyen frenlemelere maruz kalabilir. Aşırı frenleme ve aşırı hızlanma yüksek yakıt sarfiyatına neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı dijital topografik bilgilere ve GPS'e dayalı bir "Eco - sürüş sistemi" önerilmiştir. Bu sistem ile aracın konumu ve taşıtın gelecekte karşılacağı yolun yükseklik verileri belirlenebilir. Bu bilgiler, planlanan rotadaki en iyi yakıt ekonomisini sağlayacak hız profilini oluşturmak için kullanılabilir. Rotayı bilen bir cruise control sisteminde rampaya girmeden önce taşıt hızı belli miktarda artırılacaktır. Aynı şekilde iniş durumunda yakıt harcamı engellenerek tüketimden tasarruf edilebilir [3].

Çalışmada 3 farklı yol modunda (çıkıştan inişe, inişten çıkışa, tüm rota) şeklinde "Konvansiyonel cruise control" sistemleri ile karşılaştırma yapılmıştır. Tüm karşılaştırmalarda önerilen sistem ile çalışma durumunda yakıt tasarrufu sağlanmıştır [3].

Bart Saerens, Hesham Rakha, Moritz Diehl ve Eric Van den Bulck, A Methodology For Assessing Eco-Cruise Control For Passenger Vehicles isimli çalışmalarında "Eco - cruise

control” olarak isimlendirdikleri sistemler üzerine geliştirmeler yapmışlardır. Çalışmaya göre taşıt hızının engebeli yollarda ayarlanması yakıt tüketimini düşürebilir. Bu yaklaşım ağır hizmet tipi kamyonlarda da kullanılabilir ve hız profili, hız kontrolörü tarafından sürekli değiştirilir. Bu yaklaşım “Eco cruise control” olarak isimlendirilebilir. Çalışmada “Eco - cruise control” için temel hesaplama yöntemleri ve optimal hız profili eldesi hakkında bilgiler verilmiştir [4].

Şekil 1. 4’te çalışmada önerilen “Eco - cruise control”ün çalışma sistemi görsel olarak açıklanmıştır. Sistem, sürücü tercihleri ve coğrafi veriler kullanılarak kontrol sağlamaktadır. Sistemde sürücü tarafından bir referans hız belirlenmekte ve hız aralığı $V(minimum) \leq V \leq V(maksimum)$ şeklinde değiştirilmektedir. “Eco - cruise control” sistemleri coğrafi verilere ihtiyaç duymaktadır. İhiyaç duyulan yol eğimi bilgisi GPS ile tespit edilebilir. Kontrol ünitesi, taşıt için optimal hız profilini belirler [4].



Şekil 1. 4 “Eco – cruise control”ün çalışma yapısı [4]

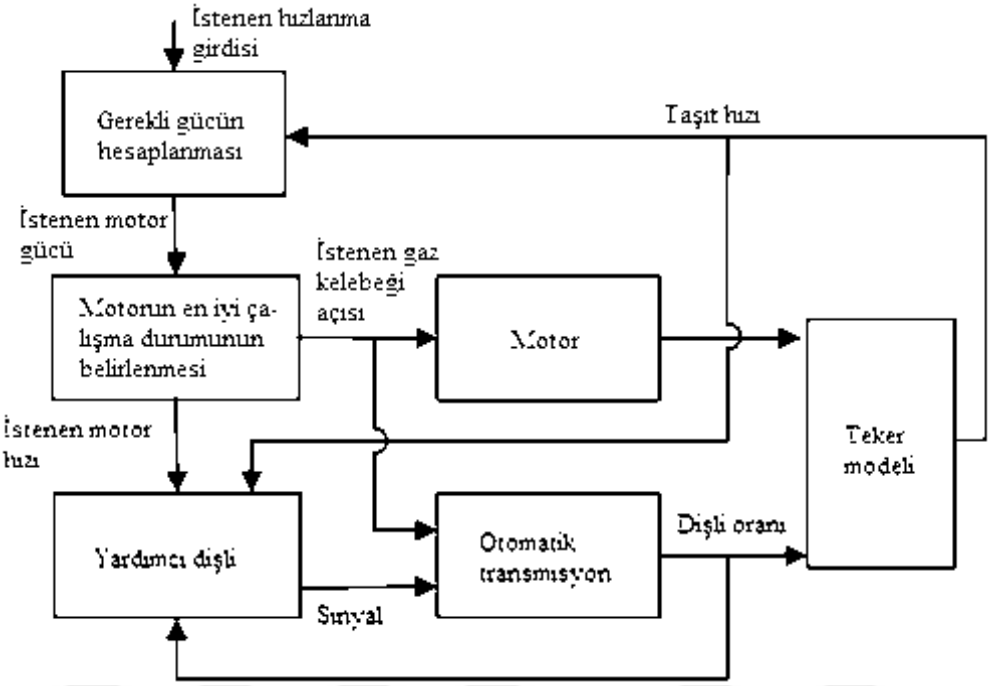
Çalışmadan elde edilen sonuca göre Amerika Birleşik Devletleri’nde belirlenen bir rotada “Eco - cruise control” sisteminin “Konvansiyonel sürüş sistemi”ne göre %5 civarlarında yakıt tasarrufu sağlamaktadır [4].

Li Shengbo, Bin Yang, Li Keqiang, Hiroshi Ukawa, Dongsheng Bai ve Masatoshi Handa, A Control Strategy of Adaptive Cruise Control System Considering Fuel Consumption isimli çalışmalarında “Adaptif cruise control” sistemlerinde yakıt tüketiminin azaltılmasını sağlayan ve gaz kelebeği ile dişli kutusunun birleştirilmiş eylemlerini kullanan bir tasarım hakkında bilgi vermektedir. Çalışmada taşıtın güç aktarma organlarından yararlanılarak “ters - boylamsal model” tabanlı bir alt katman sistemi geliştirilmiştir. Elde edilen tasarım bilgisayar üzerinde denenmiştir [5].

Çalışmaya göre “Adaptif cruise control” sistemleri araçlar arası mesafe, bağıl hız, taşıt hızı, motor ve fren verileri üzerine tasarlanmıştır. Günümüzde 2 katmanlı adaptif seyir kontrolörleri kullanılmaktadır. Üst katman istenilen hızlanma çıktısını verir, alt katman ise ivmelenme takibini sağlar. Çalışmada iki adet sistem üzerine bilgi verilmiştir.

Bunlardan biri “ters - boylamsal model” katmanlı, diğeri de gaz kelebeği - vites ilişkilidir [5].

Şekil 1. 5’te sistemin çalışma yapısı görsel olarak yer almaktadır. Taşıt için istenen hızlanmaya göre sistem kendini hazırlamakta ve kontrol sağlanmaktadır [5].



Şekil 1. 5 “Adaptif cruise control”ün çalışma yapısı [5]

Gaz kelebeği - vites algoritmasının kullanımındaki amaç motoru optimum yakıt tüketim eğrisi civarında çalıştırabilmektedir. Otomatik vitesli araçlarda vites değişiminde meydana gelen ivmelenmeye bağlı olarak, alt katman sistemlerinde gaz kelebeği kontrolünün hassas yapılmasının sağlanmasıyla motor yükü düşük olabilir. Bu şekilde yakıt tüketimini daha da düşürme potansiyeli mevcut hale gelmektedir. Gaz kelebeği-vites algoritmasında optimum yakıt tüketim eğrisine daha da yaklaşılarak daha da fazla yakıt tüketimi sağlanabilir. Trafik durumu ve güç aktarma sistemlerinin özellikleri tüketim karakteristiklerini etkilemektedir [5].

Anders Froberg, Lars Nielsen, Lars-Gunnar Hedstrom ve Magnus Pettersson, Controlling Gear Engagement and Disengagement On Heavy Trucks For Minimization Of Fuel Consumption adlı çalışmalarında yakıt tüketimini azaltmak için dişlilerin kontrol edilebileceğini açıklamışlardır [6].

Çalışmaya göre kinetik enerji depolanmasıyla rampa inişlerinde kamyonlar için yakıt tüketimini azaltmak mümkündür. Çünkü taşıtın hızı iniş rampalarında genellikle

kendiliğinden artmaktadır. Bu pozitif etki, tahrik hattındaki sürtünmeyi azaltmak için vitesin devreden çıkarılmasıyla daha da efektif kullanılabilir. Böylece taşıt hızında daha fazla artış sağlanabilir. Vitesin ne zaman devreden çıkarılacağını seçmek için iki farklı kontrol stratejisi sunulmuştur. Bunlar anlık olarak eğimin kullanılması ve yol topolojisinin ileriye dönük bilgilerini kullanan bir kontrol şeması şeklinde 2 başlık halinde açıklanabilir. Rampa inişlerinde hızın artmasıyla depolanan kinetik enerji rampa çıkışlarında da kullanılabilir. Bu şekilde yakıt tüketiminde azalış gözlenebilir. Ağır kamyonlarda kullanılan tipik seyir kontrolörleri hızın belirlenen sınırlar arasında değişmesine izin vermektetir. Böylelikle hız, boşluklarda yüksek ve tepelerde düşük olmaktadır [6].

Rampa inerken eğer eğim yeteri kadar yüksekse yakıt enjeksiyonu kesilir ve tüketim meydana gelmez. Bununla birlikte, küçük eğimler için motor sürtünmesi öyle yüksek olabilir ki yakıt kesme moduna girerken hız azalır. Bu durumlarda, motor sürtünmesini aşmak için bir miktar yakıt enjekte edilmelidir. Sonrasında ise sadece boşta çalışmada kullanılacak yakıtın enjeksiyonu yapılarak vites kutusu bağlantısının kesilmesi ve hızın artması veya muhafaza edilmesi yakıt tüketimi açısından iyi bir hamledir. Ayrıca eğer yol verileri önceden biliniyorsa daha iyi bir hassaslaştırma yapılabilir. Burada uygulanacak dinamik programlama, yakıt kesme ve vites kutusu bağlantısını kesme arasındaki ilişkiyi çözümlemek için kullanılabilir [6].

Yakıt tasarrufunu daha da iyi sağlamak için çeşitli iyileştirme olanakları vardır. Örneğin GPS, anlık yol eğimini hesaplamak için kullanılabilir. Anlık eğimi kullanma stratejisi, düşük eğimli bir rampa inilirken ve vites boşta değilken, taşıtın hızının korunması için motorun biraz tork vermesi gerekliliği mantığı ile değerlendirilmelidir. Böyle bir eğimde dişlilerin serbest bırakılması mümkündür ve bu şekilde sürtünme azaltılabilir. Sürtünmedeki azalma sebebiyle taşıt hızı korunabilir veya artabilir. İniş eğimli yollarda depolanan kinetik enerjideki artış, bu yolun katedilmesinden sonra biraz daha az yakıt harcamaya yol açar ve böylece toplam yakıt tüketimi azaltılabilir. Dişli ayrıldığında yardımcı sistemlere güç kaynağı sağlamak için motor boş modda çalıştırılmalıdır. Bu durum yakıt tüketimini bir miktar artırmaktadır. Çok yüksek iniş eğimlerinde taşıtın hızını korunması için motorun tork vermemesi gereken durumlarda yakıt kesmek her zaman avantajlıdır. Yol profili hakkında önceden bilgi sahibi olmak dişli kutusu bağlantısının ne zaman kesileceği konusunda fikir verir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, bazı sürüş senaryolarında yakıt tüketiminin, yokuş aşağı giderken dişlinin devre dışı bırakılması ve böylece aracın kinetik enerjisinin artırılması yoluyla yaklaşık %3 oranında azaltılabileceğini göstermektedir. Rampa inişinden sonra da bunun etkisiyle tüketim azalır [6].

Ricardo Alves, Carlos Ferreira ve Telmo Fernandes Improved Cruise Control For Fuel Economy and Driver's Safety Feeling isimli çalışmalarında yakıt tüketimini azaltmak ve sürüş emniyetini artırmak amacıyla genel bir seyir kontrol sistemine bazı geliştirme fonksiyonları sunmaktadırlar. Yakıt tüketiminin azaltılması için hız değiştirme stratejisi önerilmiştir [7].

"Konvansiyonel cruise control" sistemlerinde taşıt hızının korunması amaçlanmaktadır. Sistem aktive olduğunda sürücünün müdahalesi olanaksız hale gelerek taşıt hızı sabit tutulmaktadır. Fren veya debriyaj pedalı aktif olduğunda ise sistem deaktive olmaktadır. "Adaptive cruise control" sistemlerinde ise taşıtın hızı değiştirilebilmektedir [7].

Genel bir yaklaşım, rampa çıkışlarında taşıt hızının düşürülmesi ve inişlerde taşıt hızının yükseltilmesi şeklindedir. Fakat referans seyir hızı ve motor haritası bunları tam tersine çevirebilir. Verimli yakıt tüketimi içeren sürüşün sağlanması amacıyla herhangi bir motor gücü için en ekonomik çalışma sağlayacak taşıt hız belirlenebilir. Burada en düşük taşıt hızı ayarlanır. Bir diğer yönteme göre ise taşıt hızı sürekli değiştirilebilir. Bu iki yöntemde, en ekonomik çalışma sağlayacak hızın ayarlanması, hızın sürekli değiştirilmesine dayanan yönteme göre daha fazla yakıt tasarrufu sağlamıştır. Ayrıca her iki yöntem de "Konvansiyonel cruise control" sistemlerine göre daha az yakıt harcamaktadır. Çalışmada ekonomik tüketime uygun sürüş sisteminde yakıt tüketimi en az miktarda çıkmıştır ve taşıtın 90 km/h civarında seyretmesinin ekonomi için uygun olduğu görülmüştür. Ayrıca bu sistem diğer cruise control sistemlerine de entegre edilmesi kolay bir sistemdir. Değişken (adaptif) hız sisteminde ise taşıt hızı önceden belirlenmiş aralıklarda değiştirilmiştir. Buna rağmen sürüş süresi karşılaştırıldığında iki sistemin üstünlükleri birbirinin tam zıttıdır [7].

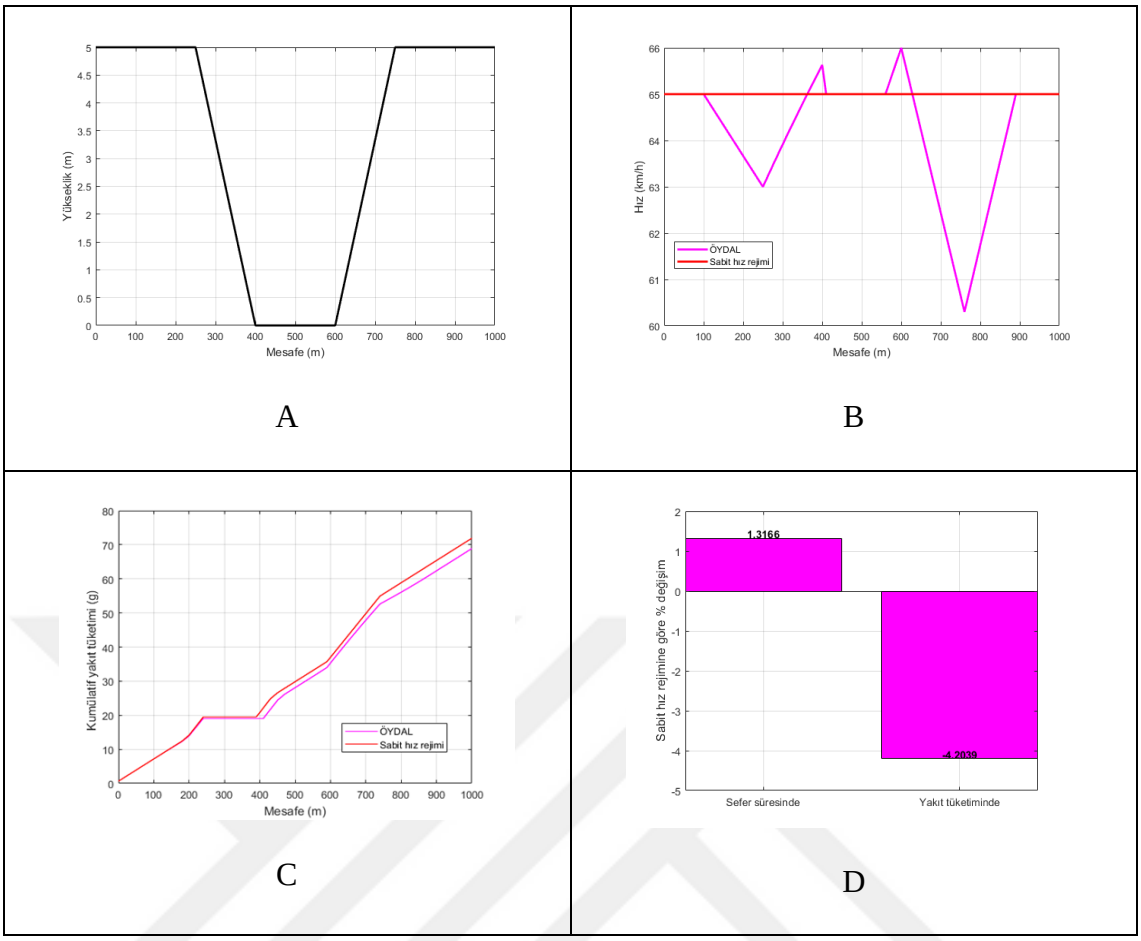
Assad Alam, Jonas Martensson ve Karl H. Johansson ise Look - Ahead Cruise Control for Heavy Duty Vehicle Platooning isimli çalışmalarında takım halinde çalışan tırlar için yakıt tüketimi azaltacak bir çalışma yapmışlardır. Çalışmaya göre taşıtların takım halinde çalıştırılması endüstride önemli bir hale gelmiştir. Yol coğrafi şartları göz önüne alındığında yakıt düşürme olanaklarına ilişkin sonuçlar belirsizlik içermektedir.

Çalışmanın amacı rampa iniş ve çıkışlarında takımı korumanın mı yoksa bölmenin mi daha tasarruflu olup olmayacağının belirlenmesidir. Bunun için "Adaptif cruise - control" ve "Look ahead cruise - control" sistemleri değerlendirilmiş ve alternatif stratejiler önerilmiştir. Sonuçlar tepelerde takım düzeninin korunmasıyla yakıt tasarrufunun sağlanabileceğini göstermektedir. Bunun için tüm araçların aynı anda hız değiştirmesinde ziyade belli noktalarda hız değiştirmesi yöntemi uygulanmıştır. Bunun amacı taşıtlar arası boşluğun korunmasıdır. Çalışmaya göre rampa inişlerinde %14'lük bir yakıt tasarrufu sağlanabilir ve rampa çıkışlarında ise %7'lik bir iyileştirme yapılabilir. Bu iyileştirmeler çalışmada önerilen strateji ile mümkün kılınmıştır. Önerilen strateji ile mevcut "Cruise - control" ve "Adaptif cruise - control"ün karşılaştırılması sonucunda elde edilmiştir. Bulgular, kontrol stratejisinde topografya bilgisini dikkate almanın hem yakıt açısından verimli, hem de pratikte arzu edildiğini göstermektedir [8].

Volkan Bekir YANGIN ve Muammer ÖZKAN, Öngörücü Yol Değerlendirme Algoritmasıyla Yakıt Tüketiminin Azaltılması isimli, kısaca ÖYDAL olarak anılan çalışmalarında, seçilen bir rotanın topografik özelliklerine bağlı olarak, önceden tanımlanmış hız değiştirme stratejileri ile örnek bir taşıt (otomobil) için hız profili oluşturmuşlardır. Bu hız profilinin kullanılmasıyla harcanan toplam yakıtın, rotanın sabit hızla seyri durumunda harcanacak toplam yakıttan daha az olmasını amaçlamışlardır. Çalışmada, örnek rotalarda yer alan iniş ve çıkış rampaları ve düz yollar belirlenmiştir. İniş rampalarında taşıtın yakıt harcamadan, çıkış rampalarında ise taşıtın hızını düşürerek ilerlemesi sağlanmıştır. Rotanın başlangıç veya bitişinde ve rampalar arasında bulunan düz yollarda ise, düz yolların tipine bağlı olarak tanımlanan stratejiler uygulanmış ve bu düz yollarda sefer süresinin düzenlenmesi veya yakıt tüketiminin düşürülmesi istenmiştir.

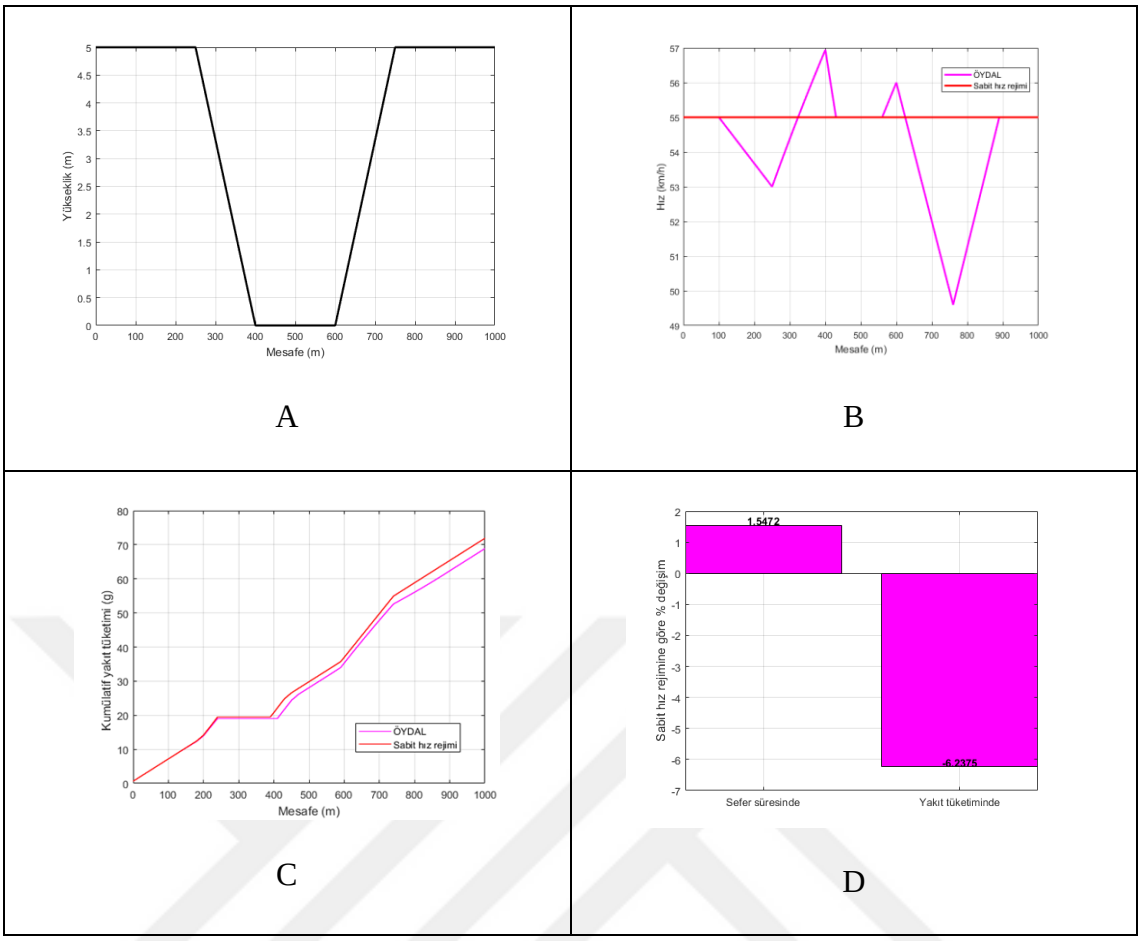
Bilgisayar üzerinde oluşturulmuş 2 rotada 2 farklı referans hız ile, verileri GPS ile alınmış rota üzerinde de 3 farklı referans hız ile denemeler yapılmış ve çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Algoritma tarafından oluşturulan hız profilleriyle karşılaştırma amaçlı kullanılan referans hızlar "Sabit hız rejimi" olarak isimlendirilmiştir. [9].

Birinci, ikinci ve üçüncü deneme yollarında; ilk iki deneme yolu için 55 km/h ve 65 km/h, üçüncü deneme yolunda ise 55 km/h, 65 km/h ve 75 km/h referans hız için yapılan denemelere ait sonuçlar Şekil 1. 6, Şekil 1. 7, Şekil 1. 8, Şekil 1. 9, Şekil 1. 10, Şekil 1. 11 ve Şekil 1. 12'de görülmektedir [9].



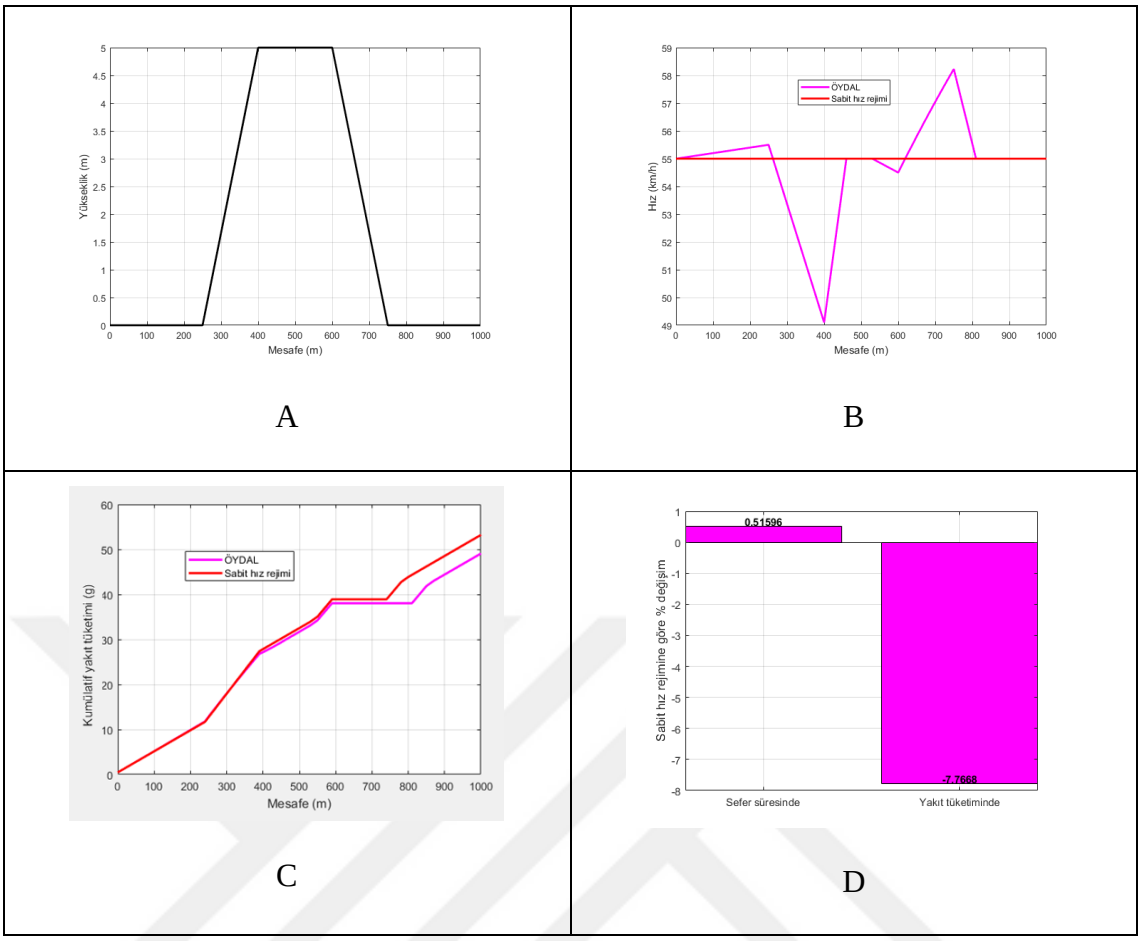
Şekil 1. 6 Birinci deneme yolunda 65 km/h referans hız için yapılan deneme sonuçları [9][1]

[1] Şekil 1. 6'da "A" kısmı, birinci deneme yoluna ait yükseklik profilini; "B" kısmı, birinci deneme yolunda 65 km/h referans hız için ÖYDAL ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, birinci deneme yolunda 65 km/h referans hız için ÖYDAL ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini; "D" kısmı, birinci deneme yolunda 65 km/h referans hız için ÖYDAL'ın Sabit Hız Rejimi'ne göre sefer süresi ve yakıt tüketimindeki değişimini belirtmektedir.



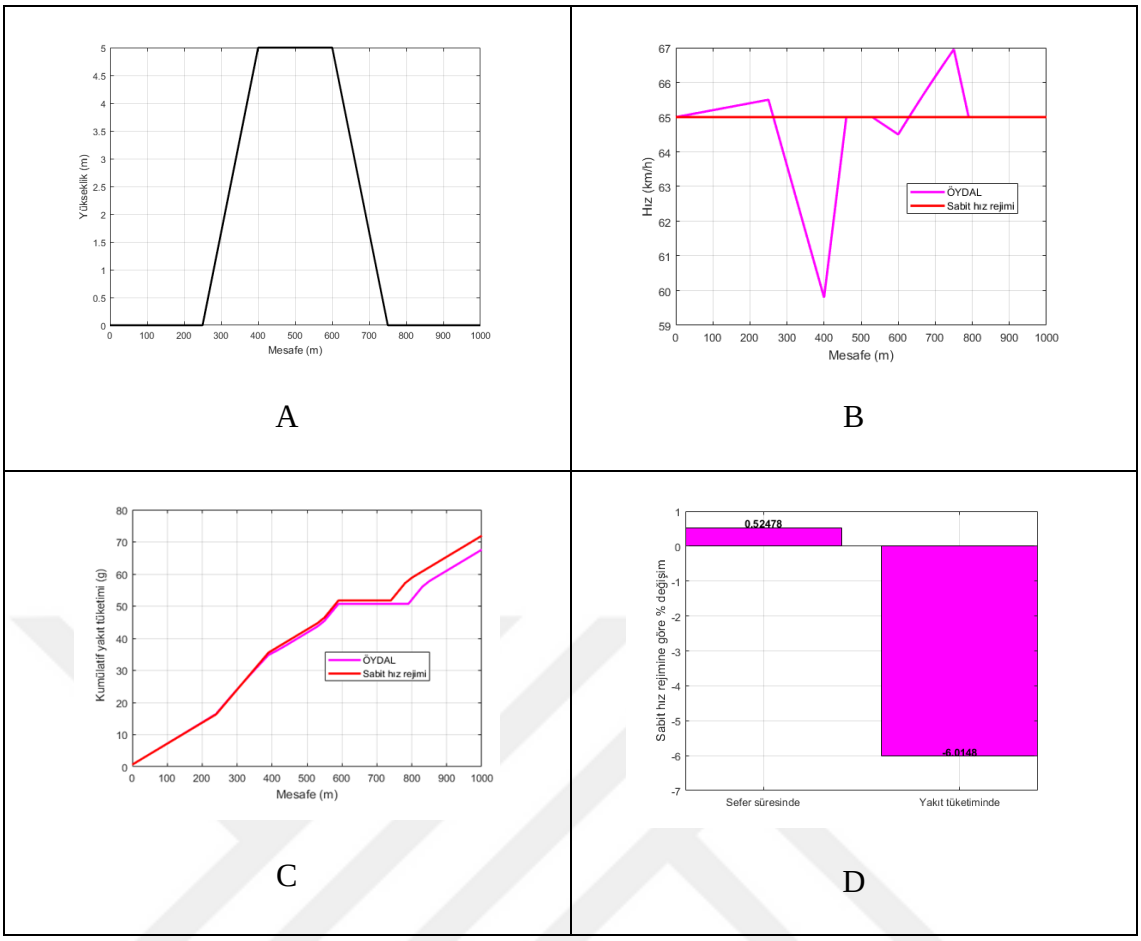
Şekil 1. 7 Birinci deneme yolunda 55 km/h referans hız için yapılan deneme sonuçları [9][1]

[1] Şekil 1. 7'de "A" kısmı, birinci deneme yoluna ait yükseklik profilini; "B" kısmı, birinci deneme yolunda 55 km/h referans hız için ÖYDAL ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, birinci deneme yolunda 55 km/h referans hız için ÖYDAL ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini; "D" kısmı, birinci deneme yolunda 55 km/h referans hız için ÖYDAL'ın Sabit Hız Rejimi'ne göre sefer süresi ve yakıt tüketimindeki değişimini belirtmektedir.



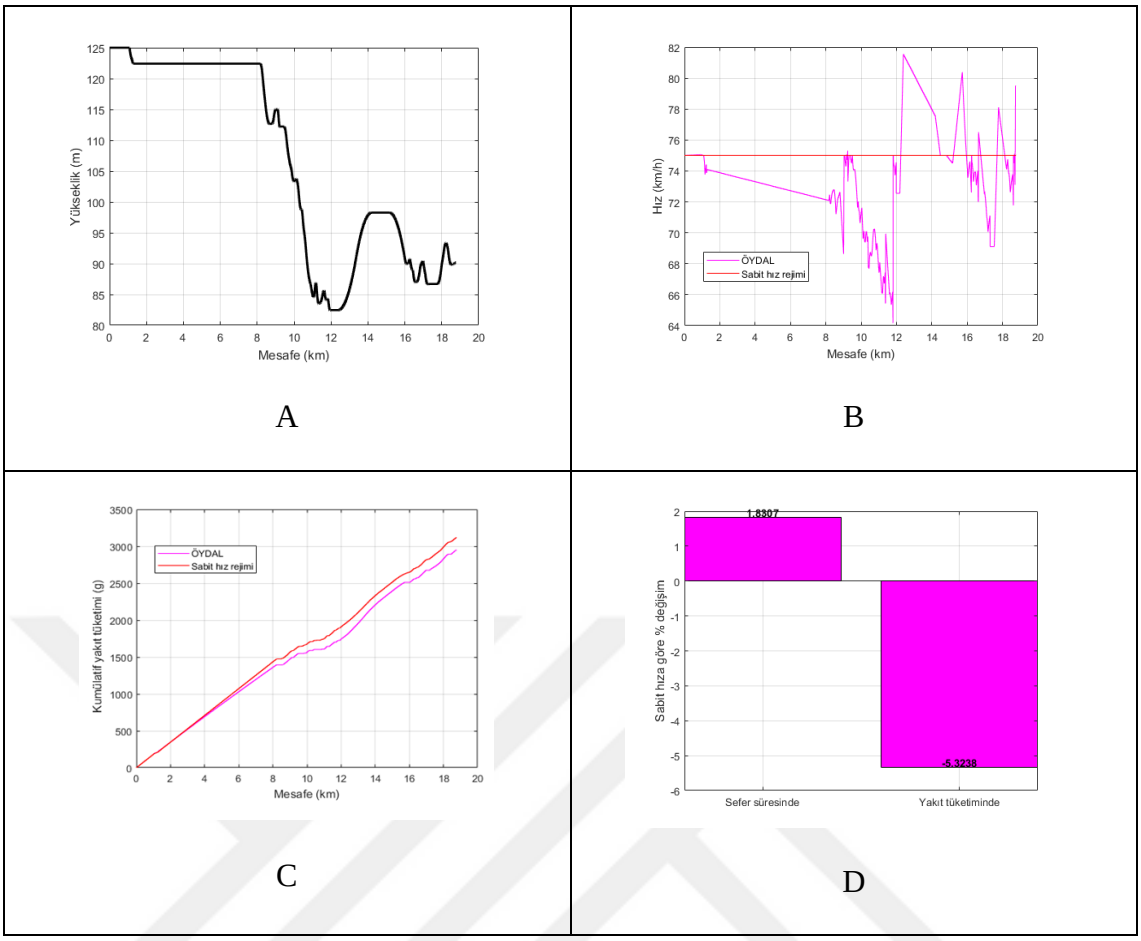
Şekil 1. 8 İkinci deneme yolunda 55 km/h referans hız için yapılan deneme sonuçları [9][1]

[1] Şekil 1. 8'de "A" kısmı, ikinci deneme yoluna ait yükseklik profilini; "B" kısmı, ikinci deneme yolunda 55 km/h referans hız için ÖYDAL ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, ikinci deneme yolunda 55 km/h referans hız için ÖYDAL ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini; "D" kısmı, ikinci deneme yolunda 55 km/h referans hız için ÖYDAL'ın Sabit Hız Rejimi'ne göre sefer süresi ve yakıt tüketimindeki değişimini belirtmektedir.



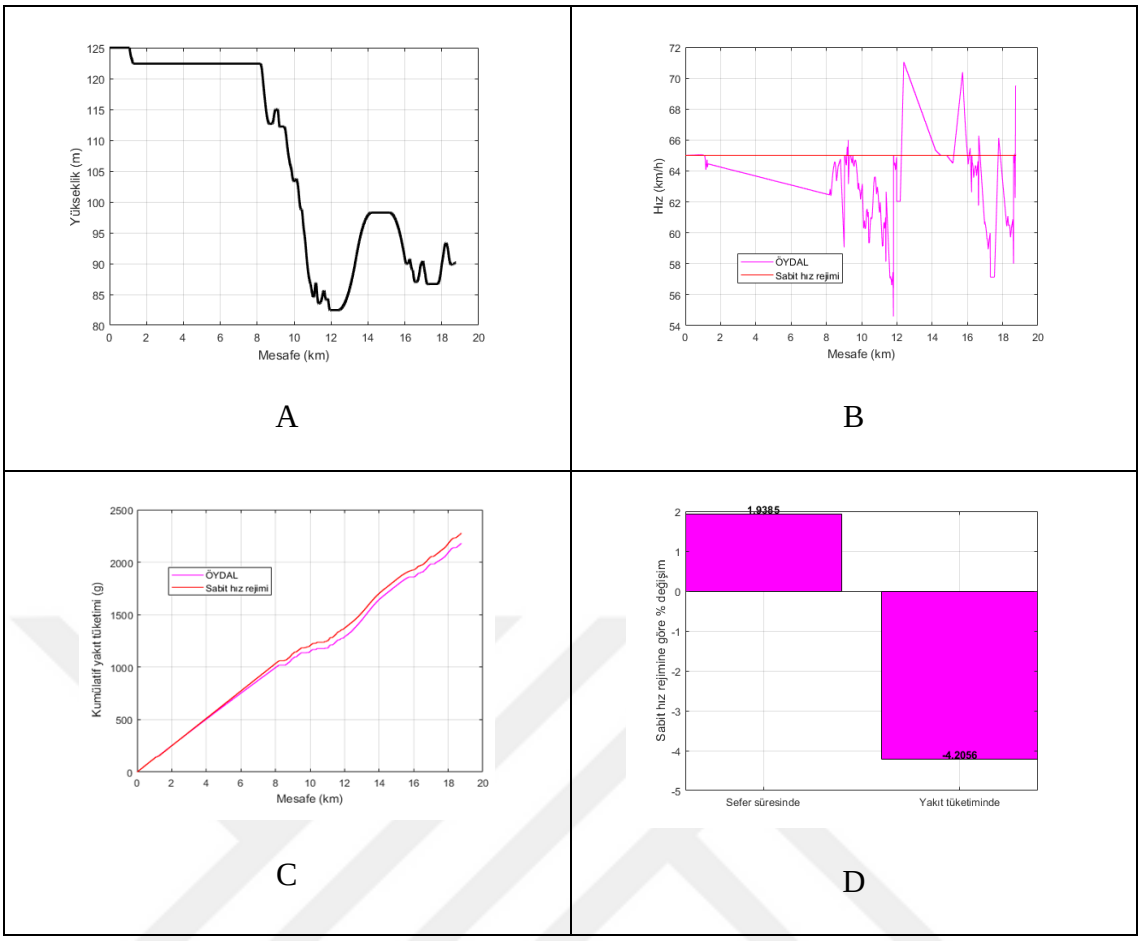
Şekil 1. 9 İkinci deneme yolunda 65 km/h referans hız için yapılan deneme sonuçları [9][1]

[1] Şekil 1. 9'da "A" kısmı, ikinci deneme yoluna ait yükseklik profilini; "B" kısmı, ikinci deneme yolunda 65 km/h referans hız için ÖYDAL ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, ikinci deneme yolunda 65 km/h referans hız için ÖYDAL ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini; "D" kısmı, ikinci deneme yolunda 65 km/h referans hız için ÖYDAL'ın Sabit Hız Rejimi'ne göre sefer süresi ve yakıt tüketimindeki değişimini belirtmektedir.



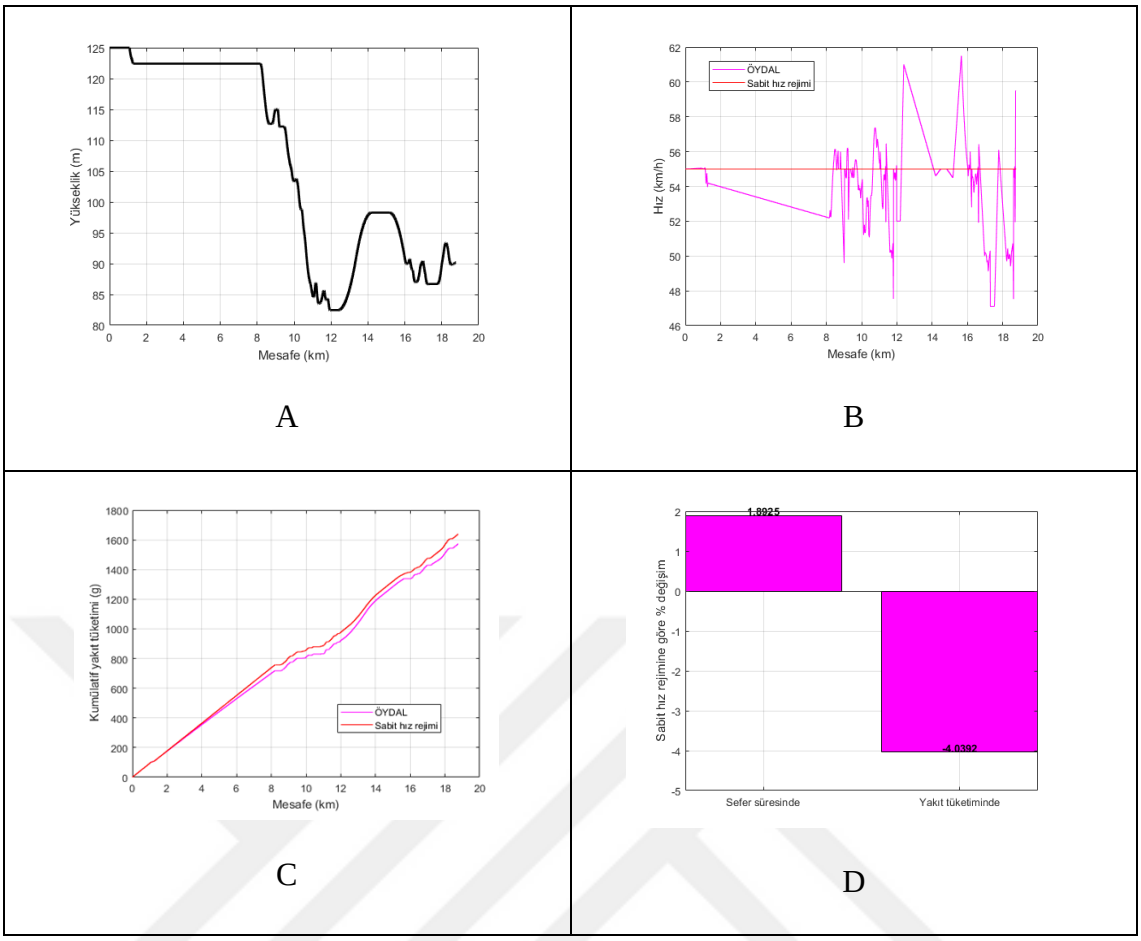
Şekil 1. 10 Üçüncü deneme yolunda 75 km/h referans hız için yapılan deneme sonuçları [9][1]

[1] Şekil 1. 10'da "A" kısmı, üçüncü deneme yoluna ait yükseklik profilini; "B" kısmı, üçüncü deneme yolunda 75 km/h referans hız için ÖYDAL ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, üçüncü deneme yolunda 75 km/h referans hız için ÖYDAL ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini; "D" kısmı, üçüncü deneme yolunda 75 km/h referans hız için ÖYDAL'ın Sabit Hız Rejimi'ne göre sefer süresi ve yakıt tüketimindeki değişimini belirtmektedir.



Şekil 1. 11 Üçüncü deneme yolunda 65 km/h referans hız için yapılan deneme sonuçları [9][1]

[1] Şekil 1. 11'de "A" kısmı, üçüncü deneme yoluna ait yükseklik profilini; "B" kısmı, üçüncü deneme yolunda 65 km/h referans hız için ÖYDAL ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, üçüncü deneme yolunda 65 km/h referans hız için ÖYDAL ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini; "D" kısmı, üçüncü deneme yolunda 65 km/h referans hız için ÖYDAL'ın Sabit Hız Rejimi'ne göre sefer süresi ve yakıt tüketimindeki değişimini belirtmektedir.



Şekil 1. 12 Üçüncü deneme yolunda 55 km/h referans hız için yapılan deneme sonuçları [9][1]

Yapılan tüm denemelerde ÖYDAL, "Sabit Hız Rejimi"ne göre daha ekonomik bir yakıt tüketim performansı sergilemiştir [9].

Hakkında kısaca bilgi verilen bu çalışmalar göz önüne alındığında bu tez çalışmasında da üzerinde durulacak sistemin, daima sabit hızla çalışan sistemlere göre oldukça ekonomik olduğu görülmektedir

1.2 Tezin Amacı

Yeryüzündeki fosil kaynaklı yakıtların hızla azalması nedeniyle taşıtlarda etkili bir yakıt ekonomisi sağlamak amacıyla çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmalar fiziksel ve

[1] Şekil 1. 12'de "A" kısmı, üçüncü deneme yoluna ait yükseklik profilini; "B" kısmı, üçüncü deneme yolunda 55 km/h referans hız için ÖYDAL ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, üçüncü deneme yolunda 55 km/h referans hız için ÖYDAL ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini; "D" kısmı, üçüncü deneme yolunda 55 km/h referans hız için ÖYDAL'ın Sabit Hız Rejimi'ne göre sefer süresi ve yakıt tüketimindeki değişimini belirtmektedir.

yazılımsal olarak geliştirilmektedir. İyi bir yakıt ekonomisi sağlama yöntemlerinden biri de taşıtın seyrettiği rota üzerindeki hız profillerinin uygun şekilde değiştirilmesidir. Bu doğrultuda geliştirilecek bir algoritma ile çeşitli hız profilleri oluşturulabilir ve bu hız profilleri ile taşıtın sabit hızda seyri durumuna göre etkili bir yakıt tasarrufu sağlanabilir. Yakıt tüketiminde sağlanacak her türlü iyileşme, enerjiye olan gereksinime pozitif etkide bulunmaktadır.

Hız profilleri trapez şekilli olarak oluşturulabilir. Bunun dışında topografya ve yüke bağlı olarak da hız profilleri elde etmek mümkündür. Günümüzde iki yöntem de kullanılmaktadır. Topografyaya bağlı olarak oluşturulan hız profilleri, yakıt ekonomisi konusunda daha başarılı sonuç vermektedir. Ancak bu profillerinin oluşturulması için kullanılan algoritmalara ait detaylar açık değildir. Bu çalışmada aracın seyredeceği güzrgah ve yük özelliklerine bağlı olarak, öngörülü bir şekilde, değişik hız profilleri oluşturacak bir algoritma tasarlanmıştır

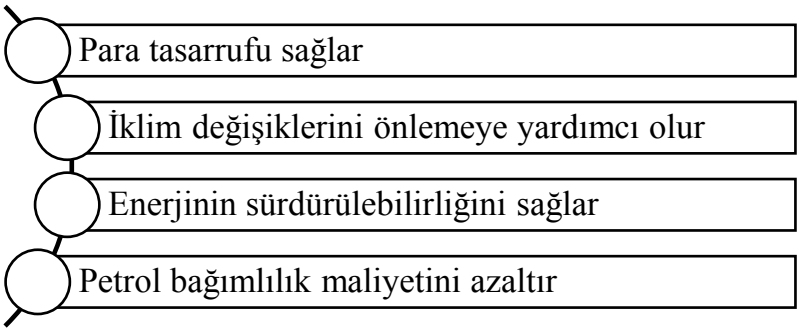
1.3 Hipotez

Çalışmada seçilmiş rota için, algoritma üzerinde önceden tanımlanmış stratejiler yardımıyla hız profilleri oluşturulacaktır. Oluşturulan bu hız profilleriyle sağlanacak seyir tüm rotanın sabit hızla seyri durumuna göre yakıt tasarrufu sağlamaya çalışacaktır. Bu işlemlerin ardından algoritma tarafından oluşturulan hız profiliyle rotayı aynı sürede katedecek bir hız profili elde edilecektir. Algoritma, kullandığı stratejiler ile burada da yakıt tasarrufu sağlayacaktır. Elde edilecek tüm sonuçlarda, birbirleriyle karşılaştırma yapılacak hız profilleri arasında hesaplanacak sefer süresi farkının belli limitler dahilinde olacağı öngörülmektedir.

1.4 Taşıtlarda Yakıt Tüketimine Etki Eden Faktörler ve Yakıt Ekonomisinin Önemi

1.4.1 Yakıt Ekonomisi Sağlamanın Önemi

Şekil 1. 13'te yakıt ekonomisi sağlamanın yarattığı pozitif etkiler listelenmiştir. Taşıtlarda yakıt ekonomisini sağlamak maliyetin azaltılmasına, iklim değişikliğinin bir miktar önlenmesine, petrol bağımlılık fiyatlarının düşmesine ve enerji sürdürülebilirliğine olumlu etkide bulunur [10].

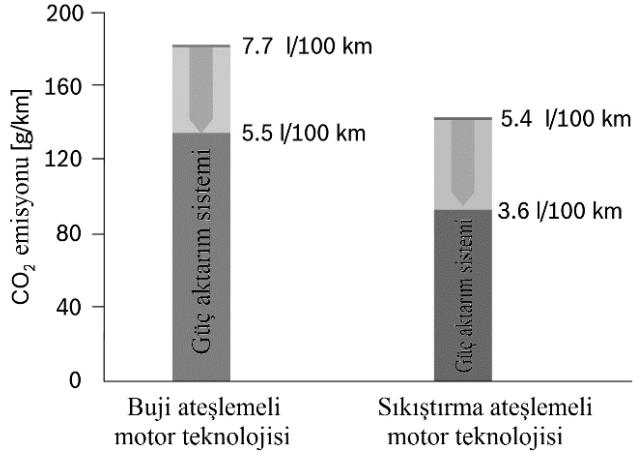


Şekil 1. 13 Yakıt ekonomisinin getirileri [10]

Dünyada ham petrol fiyatlarının değişmesiyle taşıtlarda kullanılan yakıtların da birim fiyatları değişmektedir. Bu açıdan etkili bir yakıt ekonomisi sağlamak beraberinde para tasarrufu da getirir [10].

Yakıt ekononomisinin etkili bir şekilde sağlanmasıyla, çevreye yayılan zararlı gazların miktarında azalma meydana gelecektir. Bu şekilde iklim değişikliklerinin önlenmesine katkıda bulunulacaktır [10].

Şekil 1. 14'te buji ateşlemeli motor ve sıkıştırma ateşlemeli motor teknolojisinde yapılan yakıt verimliliği iyileştirmeleri sonucu sağlanan yakıt tasarrufu ve karbondioksit emisyonlarındaki azalma görülmektedir. Verimliliğin %30'lara varan iyileşmesi sonucu, karbondioksit emisyonları ciddi oranda düşürülmüştür [11].



Şekil 1. 14 Buji ateşlemeli ve sıkıştırma ateşmeli motorlar için yakıt ekonomisi ve karbondioksit emisyonu azalışı arasındaki ilişki [11]

Dünyadaki petrolün belli kuruluşlar tarafından karşılanması ve dünya üzerindeki gelişmeler nedeniyle, petrol sağlayan kuruluşlara olan bağımlılık artma eğiliminde olabilir. Bu açıdan yakıt ekonomisi sağlamak, ilgili kuruluşlara olan bağımlılığı azaltır ve para tasarrufu sağlanır [10].

Yenilenebilir kaynakların kullanımı ve daha verimli teknolojiler üzerinde çalışılması ile enerji sürdürülebilirliği sağlanabilir. Bu şekilde gelecek kuşakların da kaynaklardan yararlanması mümkün olabilir [10]. Yakıt ekonomisi sağlamak mevcut petrol rezervlerinin de daha az tüketilmesi anlamına geleceği için dikkate alınması gereken bir konudur.

1.4.2 Taşıtlarda Yakıt Tüketimine Eki Eden Faktörler

Taşıtlarda yakıt tüketimine etki eden faktörler Çizelge 1. 1'de özet olarak listelenmiştir.

Çizelge 1. 1 Taşıtlarda yakıt tüketimine etki eden faktörler

<table>
<tr><th>YAKIT, DONANIM ve TAŞIT YAPISINA BAĞLI FAKTÖRLER</th><th>KULLANICIYA BAĞLI FAKTÖRLER</th><th>ÇEVRESEL ŞARTLAR ve ETKİ EDİLEMEYEN DIŞ FAKTÖRLER</th></tr>
<tr><td>Motor</td><td>Satın alınacak taşıt tercihi</td><td>Yol durumu</td></tr>
<tr><td>Güç aktarma organları</td><td>Yolculuk tercihi</td><td>Hava durumu</td></tr>
<tr><td>Taşıt ağırlığı</td><td>Sürüş öncesi, sonrası ve sürüş sırasındaki faktörler</td><td>Ani değişen çevresel şartlar</td></tr>
<tr><td>Taşıt tipi ve yapısı</td><td rowspan="3">Kullanıcı tarafından yapılan diğer değişiklikler</td><td rowspan="3">Trafik durumu</td></tr>
<tr><td>Diğer donanımlar ve aksesuarlar</td></tr>
<tr><td>Yakıt</td></tr>
</table>

1.4.2.1 Yakıt, Donanım ve Taşıt Yapısına Bağlı Faktörler

Taşıtlarda yakıt tüketimini etkileyen en temel unsurlardan biri motordur. Motor; karışım teşkili, sıkıştırma oranı, hava fazlalık katsayısı, strok sayısı, tip, aşırı doldurma gibi bileşenlerle yakıt tüketimine doğrudan etki etmektedir. Yakıt, donanım ve taşıt yapısına bağlı faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Karışım teşkilinin iyi yapıldığı motorlarda yanma daha verimli gerçekleşeceğinden yakıt tüketiminde düşme gözlenecektir [12]. Sıkıştırma oranının artması ise her

zaman aynı sonucu vermemektedir. Zira sıkıştırma oranının çok artırılması ile motor tipine bağlı olarak vuruntu gibi olumsuz ihtimaller ortaya çıkacağından dolayı yakıt tüketiminde artış gözlenir [13], [14].

- Hava fazlalık katsayısının 1 civarında olduğu durumlarda ekonomik bir tüketim sağlanabilir. Bunun dışındaki aralıklarda yakıt zerreciklerinin yanmadan dışarı atılması gibi mahsurlar gözlenebilir [15].
- 2 stroklu motorlarda yakıt-hava karışımın bir kısmı yanmadan dışarı atıldığı için, bu motorlar yakıt ekonomisi konusunda 4 stroklular kadar başarılı değildir [16].
- Dizel motorlar, benzin motorlarına göre yakıt tüketimi konusunda daha verimlidirler [17].
- Aşırı doldurma sistemleri ile de özgül yakıt tüketiminde düşme meydana gelir. Ayrıca bu şekilde motor boyutları da küçüleceği için yakıt ekonomisinde ekstra bir iyileşme söz konusudur [17].
- İyi bir yakıt ekonomisinin sağlanması için vites kutusu, motorun optimum yakıt tüketimi eğrisi civarında çalışmasını sağlayacak şekilde işletilmelidir. Maksimum vites oranlarında maksimum hıza daha düşük motor devirlerinde ulaşıldığı için yakıt tüketiminde düşme gözlenebilir [18].
- Bunların dışında kavrama, diferansiyel gibi aktarma organlarındaki kayıplar da yakıt tüketimini etkilemektedir. Bu elemanlardaki mekanik kayıpların artması ile yakıt ekonomisinde kötüleşme gözlenecektir [18].
- Taşıt ağırlığının artması ile taşıta etkiyen dirençler arttığı için yakıt tüketiminde fazlalaşma meydana gelir [19]. Önden çekişli araçlar ağrılık açısından arkadan itişlilere göre daha az mekanik elemanla çalıştığı için daha hafiftirler. Bu durum yakıt tüketiminde iyileşmeyi sağlar. 4x4 araçlar da ağırlıklarınındaki artış nedeniyle yakıt tüketimini artırırlar, [20], [21].
- Taşıtın yapısı da yakıt tüketimini doğrudan etkilemektedir. Örneğin, taşıtın şekli aerodinamik direnci etkileyeceği için yakıt tüketimi ile aralarında doğrudan bir bağ vardır [22].
- Frenler, klima, elektronik sistemler, hidrolik ve soğutucu elemanlar ayrıca güç harcadığı için yakıt tüketimine etkisi vardır [23]. Bunun dışında taşıtta kullanılan

yakıtın özellikleri (yakıt tipi, oktan veya setan sayısı vb.) de yakıt tüketimini artıran veya azaltan etkiler yaratabilir [21].

1.4.2.2 Kullanıcıya Bağlı Faktörler

Kullanıcının sürüş karakteristiği veya taşıta yaptığı eklemeler yakıt tüketimini etkilemektedir. Kullanıcıya bağlı faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Satın alınacak aracın, kişisel ihtiyaçlara en uygun şekilde cevap verecek şekilde olması yakıt tüketimini etkileyecek basit ama etkili bir yöntemdir. Yine bu taşıtın ne zaman kullanılıp ne zaman kullanılmayacağına iyi bir şekilde karar vermek de yakıt ekonomisine olumlu katkı sağlayabilir. Bu açıdan toplu taşıma araçlarının kullanılması, bireysel ekonomi açısından faydalı bir adımdır [24].
- Taşıtın motorunun, güç aktarma organlarının, aksesuarlarının bakımlarının yapılması yakıt ekonomisinin sağlanması açısından uygun bir yöntemdir. Örneğin, düşük lastik basınçları veya işlevini düzgün yerine getiremeyen aksesuarlar yakıt tüketimi artırmaktadır [21].
- Sürüş karakteristiği yakıt tüketimini doğrudan etkilemektedir. Hızlı kalkışlar ve ani frenlemeler yakıt tüketimini ciddi biçimde artırmaktadır. Taşıtın ani bir şekilde ivmelendirilmesi sonucu taşıt anlık olarak zengin karışımlarda çalıştığı için yakıt tüketiminde kötüleşme görülebilir. Bu açıdan sabit hızlarda seyretmek ve taşıt hızını ayarlayıcı sistemler kullanmak oldukça yararlı bir adımdır [25], [26]. Ayrıca taşıt mümkün olduğunca boşta bekletilmemelidir [21].
- Taşıt sahibi, taşıta sonradan eklediği süs, spoyler gibi elemanlar nedeniyle yakıt tüketimine olumsuz etki verebilir. Bu yüzden taşıtın karşılaşacağı dirençleri artıracak etkilerden kaçınmak gereklidir [21].

1.4.2.3 Çevresel Şartlar ve Etki Edilemeyen Dış Faktörler

Sürücü kaynaklı olmayan çeşitli değişiklikler de yakıt tüketimine doğrudan etki edebilmektedir. Çevresel şartlar ve etki edilemeyen dış faktörlere bağlı yakıt tüketim davranışı değişimi aşağıdaki şekillerde olabilir:

- Taşıtın üzerinde seyrettiği yolun fiziksel durumu yakıt tüketimini doğrudan etkilemektedir. Örneğin buzlu veya kaygan bir yol lastiklerin yola tutunmasını

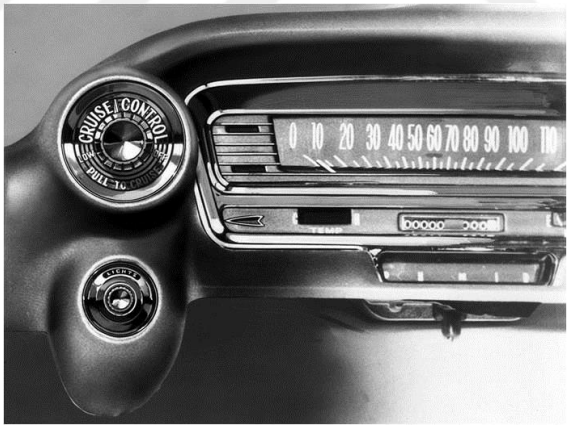
engelleyebilir bu da taşıtın harekete başlamasına engel olabilir. Bu durum yakıt tüketiminde artışı beraberinde getirir.

- Hava durumu, hem yolu hem de motorun işletme şartlarını etkilediği için yakıt tüketimi konusunda önemli bir faktördür. Hava durumu etkilerinden motoru korumak için çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır.
- Trafikte seyreden bir taşıtın, yoğunlaşma veya seyrekleşme sonucu yakıt tüketiminde değişiklikler gözlenebilir. Trafikte yüksek hızlarda seyretmek veya sıkışık trafikten dolayı taşıtı düşük hızlarda kullanmak yakıt tüketimini doğrudan etkiler. Bunun dışında sürüş sırasında karşılaşılabilecek her türlü kaza, ani değişen hava durumu gibi olaylar da yakıt tüketimini değiştiren etkilerde bulunabilir [21].

1.5 Cruise – Control Sistemleri

Cruise control sistemlerinin tarihçesi 1950'li yıllara kadar dayanmaktadır. Chrysler firması taşıtlarında cruise-control'ü bir opsiyon olarak sunmuştur [27].

Şekil 1. 15'te 20. yüzyılın ikinci yarısına ait bir cruise control modülünün görseli yer almaktadır.



Şekil 1. 15 1958 yılına ait bir cruise control modülü [28]

1950'li yıllardan beri taşıtlarda sürüş konforu ve ivmelenmeyi önleyerek yakıt tüketiminin artışını önleyebilmek amacıyla "cruise-control" denen ve taşıt hızının sabit bir değerde tutulmasını sağlayan teknolojiler kullanılmaktadır. Taşıt hızının sabit değerde tutulması gaz kelebeği konumunun ayarlanmasıyla mümkün olmaktadır [29]. Sürücünün pedallara müdahalesi ile cruise-control sistemi devre dışı kalmaktadır. Gaz pedalı ve fren kullanımı ile sağlanan ivmelenme sonucu arzu edilen hıza ulaşılınca, cruise-control sistemi tekrar aktive edilebilir [30].

Cruise-control sistemleri ivme direnci olmayan ve konforlu bir sürüş deneyimi ve bu şekilde yakıt tasarrufu sağlamasına rağmen taşıtın rampa iniş ve çıkışlarında bazı olumsuzluklara sebep olabilir. Rampa çıkan bir taşıtın yerçekimi direncine bağlı olarak yakıt tüketimi gittikçe artacağı için, bu konumlarda hızı bir miktar azaltarak ilerlemek tasarruf açısından olumlu bir seçenektir. Ancak cruise-control sistemleri taşıtın hızını sabit bir değerde koruyacağı için bu seçenekten yararlanmak mümkün olmamaktadır. Ayrıca rampa inişlerinde yerçekimi direncinin taşıtın hareketine pozitif etkide bulunmasından dolayı taşıtın yararlı kinetik enerjisinin kullanımı da mümkün olmamaktadır. Bu nedenlerden dolayı yolun topografik yapısına bağlı olarak bir hız kontrolü sağlayan sistemleri kullanmak, cruise-control sistemlerine göre daha etkili bir yakıt tasarrufu sağlamaktadır [9].

Cruise control sistemlerinin trafikte kullanılması, taşıt sürekli hareketli halden durağan hale geçtiği için her zaman mümkün olmaz ve bu nedenle sabit hızlı seyir sonucu meydana gelen ivme dirençsiz hareketin yarattığı yakıt tasarrufu etkisi kaybolur [31].

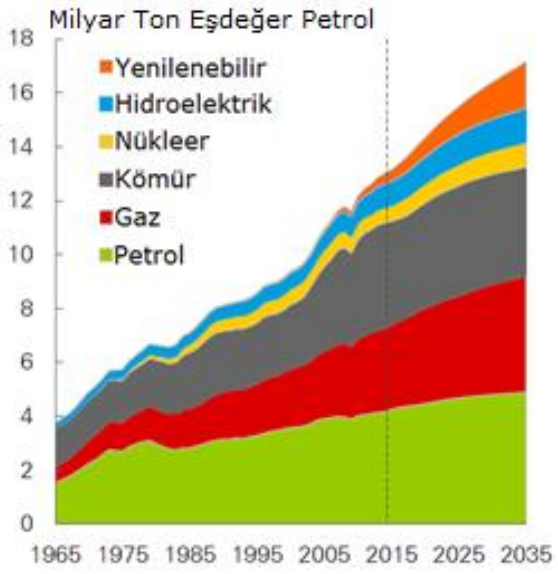
Mark Vollrath, Susanne Schleicher ve Christard Gelau, The influence of Cruise Control and Adaptive Cruise Control on Driving Behaviour isimli çalışmalarında konvansiyonel cruise control sistemleri ile trafik sırasında takip mesafesine bağlı olarak hız ayarlamasını sağlayan adaptif cruise control sistemlerinin sürücü üzerine etkilerini, yapılan farklı çalışmalarla harmanlayarak incelemişlerdir. İlgili çalışmaya göre her iki sistemin kullanılmasıyla sürücünün iş yükü azalır ancak buna bağlı olarak çevreye karşı olan duyarlıklık da zayıflar. Bu zayıflama sürüş güvenliğine olumsuz etkide bulunmaktadır [32].

1.6 Dünyada ve Türkiye'de Petrole Duyulan Gereksinim

Dünyadaki petrol rezervlerinden temin edilen petrol günümüzde azalmaya, enerjiye duyulan gereksinim ise artmaya başlamıştır. Şekil 1. 16, yıllara göre enerji kaynaklarının tüketiminin ne miktarda olduğunu göstermektedir.

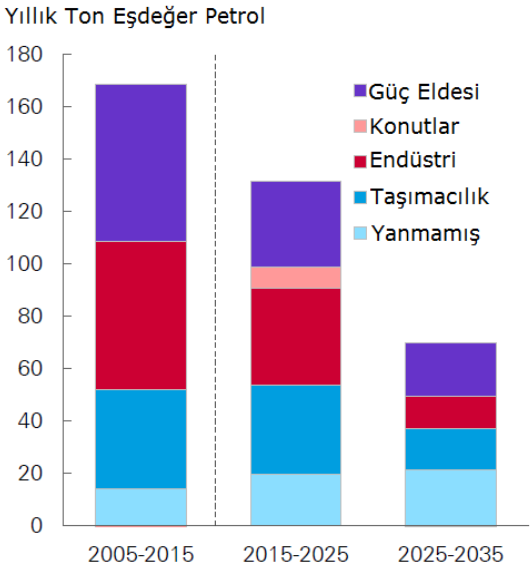
Şekil 1. 16 incelendiğinde fosil kaynaklı yakıtların 1965 yılından 2015 yılına kadar enerji tüketiminde başvurulan ilk kaynak olduğu görülmektedir. Nükleer ve hidroelektrik enerji kaynaklarından ve yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan enerji ise fosil yakıtlardan sağlanan enerjiye göre oldukça azdır. 2015 yılından sonraki 20 yıl için

öngörülerde de fosil yakıtların geniş bir kullanım alanına sahip olacağı gösterilmektedir [33].



Şekil 1. 16 Yıllara göre enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı [33]

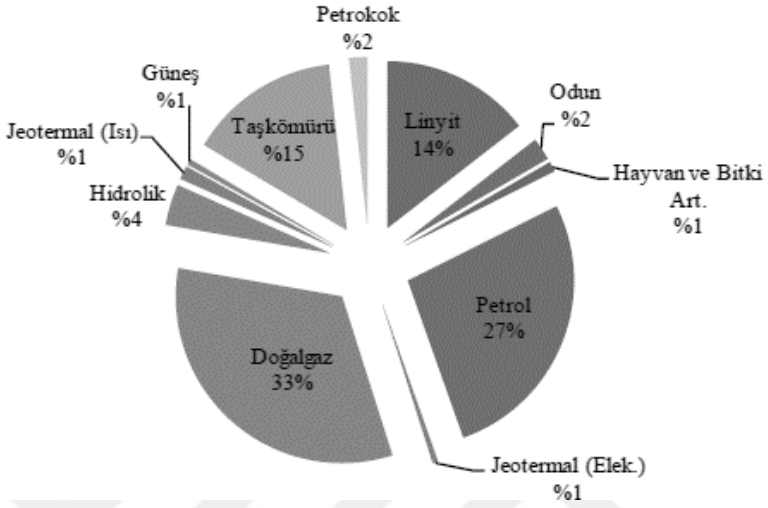
Şekil 1. 17, fosil yakıtların kullanımının sektör ve yıllara göre dağılımını ve gelecekteki yıllar için öngörüleri göstermektedir. Buna göre taşımacılık sektörü için kullanılan fosil yakıt miktarı 2005-2015 yılları arasında 40 yıllık ton eşdeğer petroldür. Bu değer 2005 ve sonraki 10 yıllık zaman dilimindeki toplam fosil yakıt kullanımının yaklaşık çeyreğidir.[33].



Şekil 1. 17 Fosil yakıt kullanımın sektörlere göre ve yıllar bazında durumu [33]

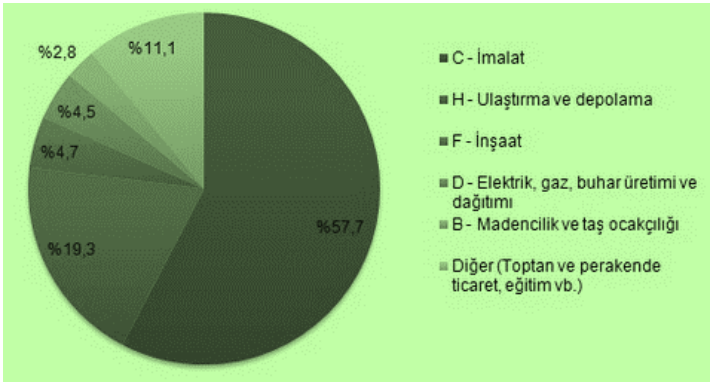
Şekil 1. 16 ve Şekil 1. 17 bir arada değerlendirildiğinde taşıtlarda kullanılan fosil kaynaklı yakıtların daha ekonomik ve verimli kullanılması gerektiği görülmektedir.

Türkiye'nin enerji tüketiminin kaynaklar bazında dağılımı Şekil 1. 18'de görülmektedir. Şekil 1. 18, petrol, doğalgaz, taş kömürü, linyit gibi fosil kaynaklı yakıtlardan elde edilen enerjinin en büyük alanı kapladığını göstermektedir [34].



Şekil 1. 18 Türkiye'de enerji tüketiminin kaynaklar bazında dağılımı [34]

Şekil 1. 19'da Türkiye için enerji harcamının sektörler için dağılımını göstermektedir. Şekle göre Türkiye yaklaşık %19'luk enerjisini ulaştırma ve depolama sektöründe harcamaktadir [35].



Şekil 1. 19 Türkiye'de enerji tüketiminin sektörler bazında dağılımı [35]

Şekil 1. 18 ve Şekil 1. 19 bir arada incelendiğinde Türkiye'deki enerji kullanımının ulaştırma sektörü özelindeki miktarının dünya ile benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Dünyadaki ve Türkiye'deki enerji tüketim miktarlarına ve bu miktarların sektörler bazında dağılımına bakıldığında taşıtların kullandıkları yakıtın daha ekonomik bir şekilde tüketilmesi gerektiği sonucuna varılabilir.

BÖLÜM 2

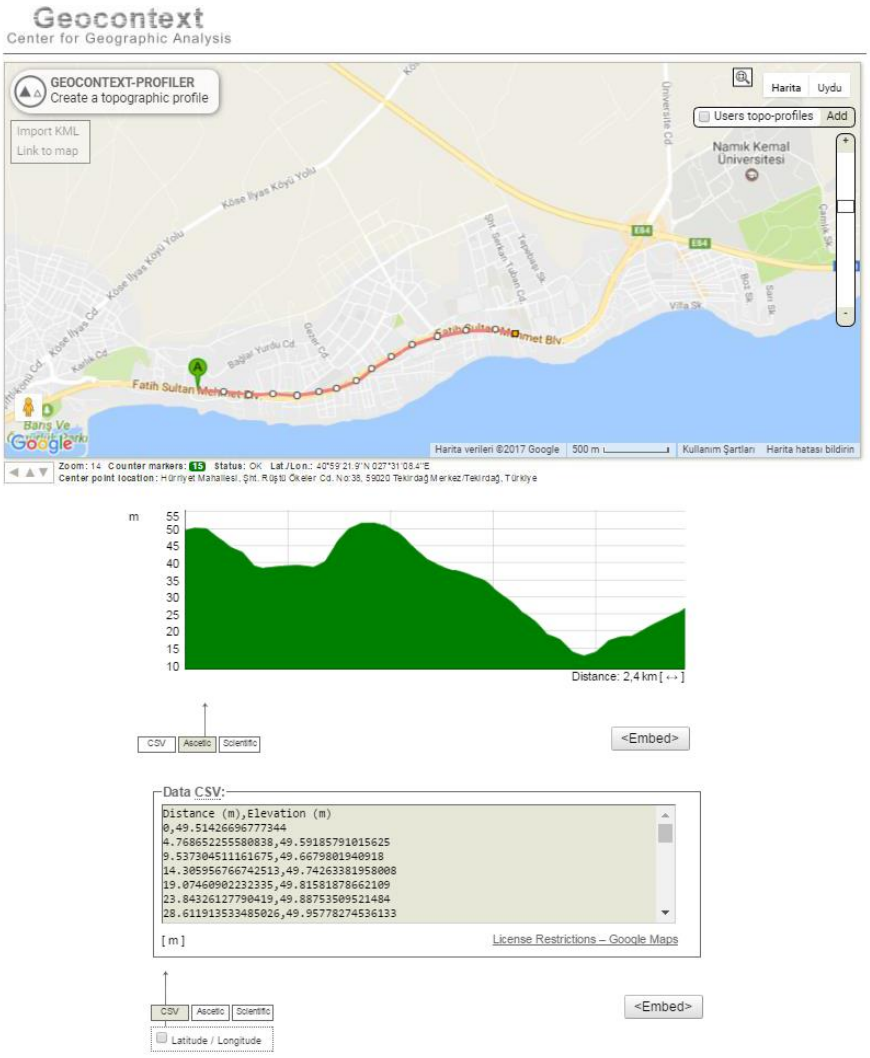
MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Yol Verilerinin Eldesi

Taşıtın üzerinde seyredeceği rotaya ait yükseklik verileri teorik çalışmalarda çevrimiçi GPS yazılımları yardımıyla elde edilebilir. Şekil 2. 1 ve Şekil 2. 2'de bu yazılımlara ait örnek görseller yer almaktadır.



Şekil 2. 1 Google Earth ile elde edilen yükseklik profili [36]



Şekil 2. 2 Örnek bir çevrimiçi GPS yazılımına ait görsel [37]

Eş zamanlı olarak, taşıtın konumunu belirleyen GPS cihazları ile de seyredilen rotaya ait yükseklik verileri elde edilebilir. Şekil 2. 3'te örnek bir GPS takipçi cihazı yer almaktadır.



Şekil 2. 3 Örnek bir GPS takipçi cihazı

Rotaya ait yükseklik verileri ve ölçüm aralıkları belirlendikten sonra eğim profili elde edilebilir. Yuvarlanma direnci ve yerçekimi direnci hesabında bu profilden elde edilen eğim değerleri kullanılacaktır.

Yükseklik verileri elde edilirken kullanılan GPS yazılımı veya cihazının, rotaya ait güncel verileri kullanacağından emin olunması gerekir. Karayolu üzerinde yapılan çalışmalar (tünel, köprü yapımı vb.) taşıtın bulunduğu konumun yükseklik değerini etkilemektedir.

2.2 Eğim Profilinin Eldesi

Eğim düşeydeki yer değiştirmenin, yataydaki yer değiştirmeye oranı olarak tanımlanır. Tüm rotaya ait yükseklik verileri ve bu verilerin ölçüm aralıkları kullanılarak eğim profili belirlenir. Şekil 2. 4'te yatay ve düşeydeki yer değiştirme yer almaktadır.



Şekil 2. 4 Yatay ve düşey yer değiştirme [38]

Eğim değeri Denklem 2.1 ve Denklem 2.2 kullanılarak belirlenebilir. Denklem 2.1'de yer alan $\tan \alpha$ değeri yol parçasının eğimini vermektedir. α ise Denklem 2.2 kullanılarak elde edilebilir.

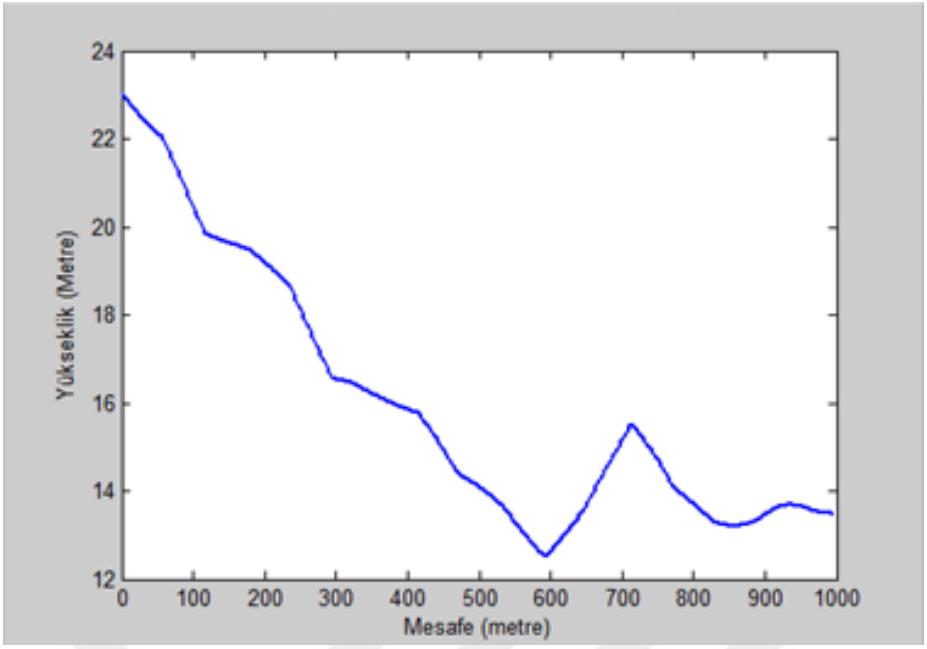
$$Eğim = \frac{Düşeydeki\ yer\ değiştirme}{Yataydaki\ yer\ değiştirme} = \tan a \tag{2.1}$$

$$\tan^{-1}(Eğim) = \alpha \tag{2.2}$$

2.3 Eğim Profilinin Filtrelenmesi

GPS ile elde edilen yükseklik verilerinin hatalı olması veya veriler arasındaki değer farkının ihmal edilebilecek düzeyde olması gibi durumlarda veriler filtrelenmeye ihtiyaç duymaktadır. Koordinat bazlı yapılan ölçümlerde, herhangi bir koordinatın yüksekliği zaman içinde yapı faaliyetleri sonucu değişebilir. Bu durumda 2 ölçüm mesafesi arasındaki yükseklik farkı tutarsız bir şekilde değişebilir. Aşırı hassas ölçümler sonucunda ise yükseklik verileri birbiri ile aynı olamayacağı için, seçilen herhangi bir rotada hiçbir şekilde eğimsiz yollarla karşılaşılamayabilir. Böyle bir durumda taşıt sadece pozitif ve negatif eğimli yollarda ilerliyormuş gibi davranacaktır. Bu nedenlerden dolayı eğim profilinde filtreleme gereksinimi doğmuştur.

Şekil 2. 5'te seçilmiş örnek bir rota için yükseklik profili yer almaktadır.



Şekil 2. 5 Örnek bir yükseklik profili

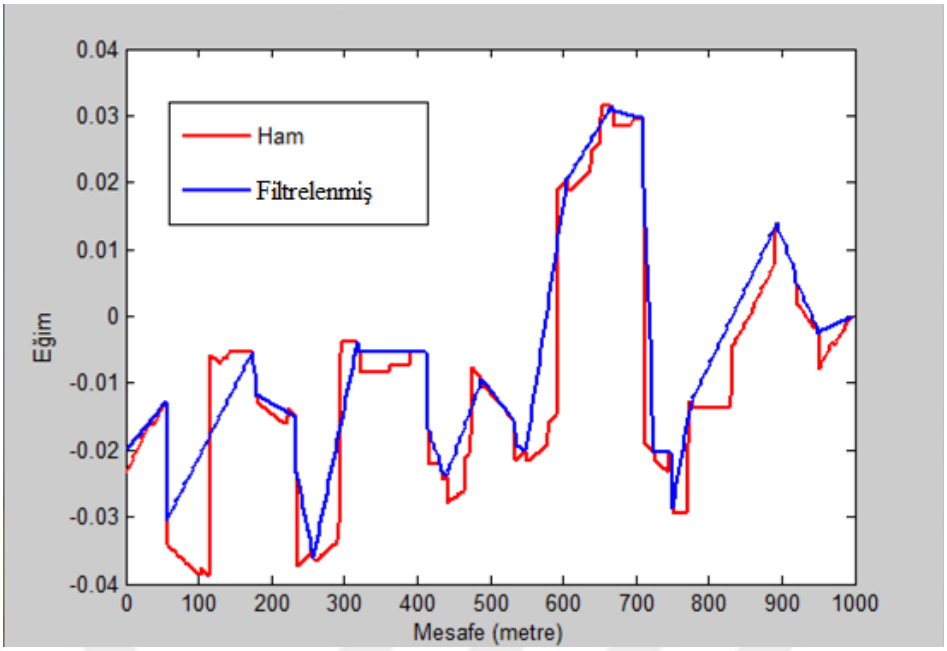
Şekil 2. 6'da, Şekil 2. 5'te yer alan yükseklik profiline ait eğim profili görülmektedir. Bu eğim profili "Ham" olarak isimlendirilebilir. Eğim profili elde edilirken Denklem 2.1 ve Denklem 2.2 kullanılmıştır.

Ham eğim profili için filtreleme işlemi yapılırken öncelikle eğim profilinin türevi alınmıştır. Türev alınma işleminin ardından rotaya bağlı olarak kritik eğim değeri tanımlanmış ve türevin 0'dan küçük olduğu noktalar belirlenmiştir. Türev alma işlemi için Denklem 2.3 kullanılmıştır.

$$T_{eğim} = \frac{dEğim}{dMesafe} \tag{2.3}$$

Bu işlemden sonra kritik eğim değerinin mesafe aralığına bölünmesi ile elde edilen sonucun, eğim profilinin türevi ile elde edilen sonuçlardan küçük olduğu noktalar da – hangi eğim değerlerinin ihmal edileceğinin belirlenmesi amacıyla- hesaplanmış ve bir matris oluşturulmuştur. Bu matris, filtrelenmiş eğim profilinin nihai halinin belirlenmesi için kullanılmıştır. İşlemler sonucunda elde edilen eğim profilinde, belli bir eğim değerinin altındaki eğimler 0 olarak kabul edilebilir.

Şekil 2. 6'da, ham eğim profiline ve bu profilin filtrelenmiş haline yer verilmiştir. Filtrelenmiş profil "Filtrelenmiş" olarak isimlendirilebilir.



Şekil 2. 6 Örnek yükseklik profiline ait ham ve filtrelenmiş eğim profilleri

2.3.1 GPS Verilerinin Filtrelenmesi Hakkında Yapılan Diğer Çalışmalar

F.R. Bijveld, Alexandr Vasenev, Timo Hartmann ve Andre Doree, Real-Time and Post Processing of GPS Data in The Field of Visualizing Asphalt Paving Operations isimli çalışmalarında aslfalt yapım işinde GPS verisi ve filtrelenmiş GPS verilerinin kullanımı hakkında bilgi vermişlerdir. Çalışmaya göre GPS ölçümleri gürültü gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bu etkilenme sonucu hatalı ölçümler elde edilmektedir. Ölçümlerdeki hata kayıp verilere sebep olmakta ve asfalt yapım işlerini zorlaştırmaktatır. Bu yüzden GPS verileri filtrelenmeli ve asfalt yapım işi detaylandırılmalıdır [39].

Çalışmada sözü edilen asfalt yapım makineleri GPS cihazlarıyla birlikte çalışmaktadırlar. Gürültü olumsuzluğundan dolayı GPS ile yapılan ölçümler kesin verilerin eldesinden ziyade öngörü halini almaktadır. GPS ölçümleri sadece bir takım değişkenlere bağlı olduğu, düzensiz zaman aralıklarında oluşturulduğu ve bir çok hatadan etkilendiği için bozuk bir şekilde elde edilmektedir [39].

Çalışmada GPS verilerinin eldesinden (ölçüm işlemi) sonra ve eş zamanlı olarak uygulanabilecek filtreleme teknikleri açıklanmıştır. Ölçüm işlemi sonrası yapılacak filtreleme için eğri uydurma yöntemleri kullanılabilir. Bu yöntemler ortalama düzleştirme, dijital düzleştirme, polinomal filtreleme ve lokal regresyon düzleştirmeleridir. İşlemler sırasında kısa süreli aralıkları olan parametrelerin kullanımı, en iyi uydurulmuş eğrinin elde edilmesi için, belli sayıda “öncesi” ve “sonrası”ndaki

noktaların dahil edilmesinin mümkün kılmaktadır. Bazı teknikler kayıp noktalara sebebiyet verebileceği için, filtreleme işleminin ardından ham ölçüm verileri ve filtrelenmiş veriler birlikte değerlendirilmelidir [39].

Eş zamanlı yapılacak filtrelemelerde ise ileri teknikler gereklidir. Ölçülen bir noktadan sonraki noktanın verileri anlık olarak mevcut olmadığı için zorluklar yaşanmaktadır. Kalman filtrelemesi eş zamanlı olarak filtrelemeye olanak sağlamaktadır. Bu filtreleme ile hareketli objeler haritalanabilir veya eş zamanlı olarak yönlendirme operasyonu uygulanacak makineler kumanda edilebilir [39].

Çalışmada ölçüm sonrası filtreleme ve eş zamanlı filtreleme için elde edilen sonuçlar ham data ile karşılaştırılmıştır. İki karşılaştırmada da ham verilere yaklaşılmıştır [39].

Congwe Hu, Wu Chen, Yongqi Chen ve Dajie Liu, Adaptive Kalman Filtering for Vehicle Navigation isimli çalışmalarında, navigasyon sistemlerinde konvansiyonel kalman filtresine alternatif olarak kullanılabilecek 2 adaptif Kalman filtreleme yöntemi sunmaktadırlar [40].

Çalışmaya göre Kalman filtreleri navigasyon sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Taşıtın manevrası ve ölçüm sırasında meydana gelebilecek gürültü nedeniyle tahminde bulunmak her zaman kolay olmayabilir. Bu nedenle önceden sabit olarak tanımlanmış gürültü derecelerini kullanmak realistik olmamaktadır. Harekete eş zamanlı olarak kulanılan adaptif algoritmalar bu açıdan faydalı bir yaklaşım olmaktadır [40].

Kalman filtreleme dinamik sistemin durumunu, dinamik ve gözlem modelleriyle tahmin etmektedir. Dinamik model durum vektörünü tanımlarken, gözlemsel model ölçüm ve durum vektörü arasında bir ilişki kurmaktadır. Her iki model de, doğruluğu açıklamak için istatistiksel verilerle donatılmıştır. Çoğu uygulamada istatistiksel gürültü dereceleri önceden verilir ve süreç boyunca değiştirilemez. Gürültü derecelerine dair veriler realistik durumla çelişirse, Kalman filtresi doğru sonuçlar verememektedir. Ani ivmelenme gibi taşıt hareketleri nedeniyle, hareket hakkında önceden bilgi sahibi olmak çoğu zaman olanaksız olmaktadır. Adaptif Kalman filtreleme yöntemleri bu açıdan konvansiyonel Kalman filtreleme yöntemine göre daha avantajlıdır [40].

Yapılan çalışmada 2 adet Adaptif Kalman filtreleme yöntemi üzeride durulmuştur Bunlardan biri sönümlemeye dayalı bir yaklaşım sunarken, diğeri varyans tahmini yapmaktadır. Sönümlemeye dayalı filtrelemede durum vektörünün tahmin edilen varyans

bileşenleri artırırılmaya çalışılır. Varyans tahminine dayalı filtrelemede ise dinamik sistem için doğrudan varyans faktörü hesaplanır. Her iki filteleme yönteminde de, ölçümlerden ne kadar farklılık oluştuğu kontrol edilmiştir. Farklılık olmaması durumunda Konvansiyonel Kalman filteleme yöntemi kullanılmıştır. Taşıtın özellikle manevra yaptığı sıradaki davranışlarından dolayı, adaptif filtreleme kullanmak iyi sonuç vermektedir. Yapılan denemelerde Adaptif Kalman filtrelemesinin, taşıt hareketleri etkisinden dolayı daha güçlü sonuçlar verdiği görülmüştür [40].

Adam Duran ve Matthew Earleywine, GPS Data Filtration Method for Drive Cycle Analysis Applications isimli çalışmalarında elde edilmiş GPS hatalarının kaynaklarını irdelemekte ve detaylı bir filtreleme yöntemi sunmaktadırlar [41].

Çalışmaya göre GPS cihazları dünya üzerindeki sürüş istatistiklerini elde etme konusunda oldukça faydalı ekipmanlardır. Elde edilen veriler sürüş alışkanlıkları konusunda da bilgi vermektedir. Bu cihazlar simülasyon yazılımları ile beraber kullanıldığında, elde edilen veriler yakıt tüketimi ve performans karakteristikleri hakkında bilgi sağladıkları için eşsiz bir hale gelmektediler. Bu olumlu durumlara rağmen, GPS verilerinin toplanması sırasında hatalarla karşılaşmak olasıdır. Hata kaynakları arasında sinyal kaybı, gürültü, fazlalık veriler yer alabilir. Bu hatalar nedeniyle doğruluk bozulmaktadır. Sürüş simülasyonları zarar görmektedir [41].

Çalışma, toplanan ham GPS verilerinin ortak hata kaynaklarından bazılarını araştırmakta ve bu sorunları düzeltmek için tasarlanmış ayrıntılı bir filtreleme süreci sunmaktadır. Hız-zaman verilerinin filtrelenmesi için sunulan yöntem 7 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar sırasıyla; yinelenen kayıtların ve negatif zaman aralıklarının kaldırılması, ham profilin çok uzağında kalan yüksek veya düşük değerlerin silinmesi, araç durduğunda elde edilen 0 hız sinyalinin elimine edilmesi, yanlış tanımlanmış 0 hız değerlerinin değiştirilmesi, veri toplanması sırasında oluşan boşlukların değiştirilmesi, hızlanma ve yavaşlama değerlerindeki hataların düzeltilmesi ve son sinyalin değerlendirilmesi şeklindedir [41].

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre önerilen filtreleme, ham verilerin filtrelenmesi için başarılı sonuçlar vermektedir, gereksinimleri karşılamaktadır. Hatalı verilerin çıkarılması ve kayıp sinyallerin eklenmesi dışında ham veriler üzerinde çok fazla değişiklik olmamaktadır. Diğer hesaplamaların doğru bir şekilde yapılmasına olanak sağlamaktadır. Kayıp sinyaller veri kalitesini oldukça etkilemektedir. Ham profilden oldukça uzakta yer

alan noktaların kaldırılması hızlanma ve yavaşlama tahminlerinin daha doğru yapılmasına olanak sağlamaktadır [41].

2.4 Otobüs

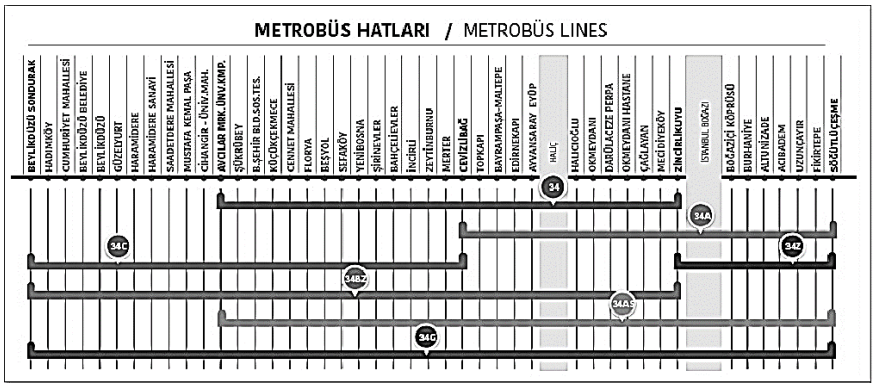
Tez çalışmasında Mercedes-Benz'a ait CapaCity OM 457 hLa model isimli, İstanbul'da metrobüs hattında kullanılan otobüs baz alınmıştır. Şekil 2. 7'de otobüse ait bir görsel yer almaktadır.



Şekil 2. 7 Metrobüs'e ait bir görsel

İstanbul'da metrobüs 19 Temmuz 2012 tarihinden beri hizmet vermekte ve günlük ortalama 870 bin yolcu taşımaktadır. CapaCity OM 457 hLa modeli otobüslerden 250 adet mevcut olup her bir otobüs 165 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir [42].

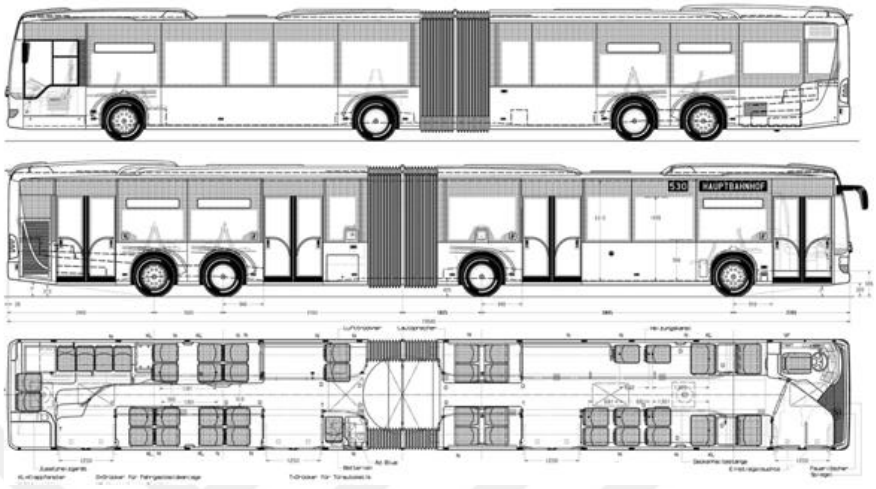
Metrobüs hattı Şekil 2. 8'de yer almaktadır.



Şekil 2. 8 İstanbul Metrobüsü'nün işletildiği hat [43]

2.4.1 Otobüse Ait Teknik Özellikler

CapaCity OM 457 hLA model isimli otobüse ait teknik özellikler Çizelge 2. 1'de, transmiyon özellikleri Çizelge 2. 2'de ve otobüse ait çizim ise Şekil 2. 9'da yer almaktadır.



Şekil 2. 9 Otobüse ait çizim [44]

Çizelge 2. 1 Otobüse ait teknik özellikler [44]

KÜTLE (kg)	32000
PROJEKSİYON ALANI (m^2)	8,04525
ETKİN TEKER YARIÇAPI (m)	0,479
YUVARLANMA DİRENÇ KATSAYISI	0,01
AERODİNAMİK DİRENÇ KATSAYISI	0,6

Çizelge 2. 2 Otobüse ait transmisyon özellikleri [44]

KADEME	ÇEVRİM ORANI	SON DİŞLİ ORANI	TOPLAM ÇEVRİM ORANI	MEKANİK VERİM
1	3,43	5,87	20,15125	0,92
2	2,01		11,80875	0,94
3	1,42		8,3425	0,97
4	1		5,875	0,98
5	0,83		4,87625	0,98
6	0,59		3,46625	0,99

2.5 Rotanın Segmentlere Ayrılması ve Segment Tiplerinin Belirlenmesi

Hız değiştirme stratejilerinin uygulanması amacıyla rota segmentlere ayrılmalıdır. Bu segmentlerin belirlenmesi için eğim profilinin işaret değiştirdiği noktalar belirlenir. Bu noktaların arası segment denir ve ilerleyen kısımlarda "yol" olarak anılacaktır. Yolların

tiplerinin belirlenmesi, hız değişim stratejilerinin uygulanması için gereklidir. Segmentler Çizelge 2. 3'te görülmektedir.

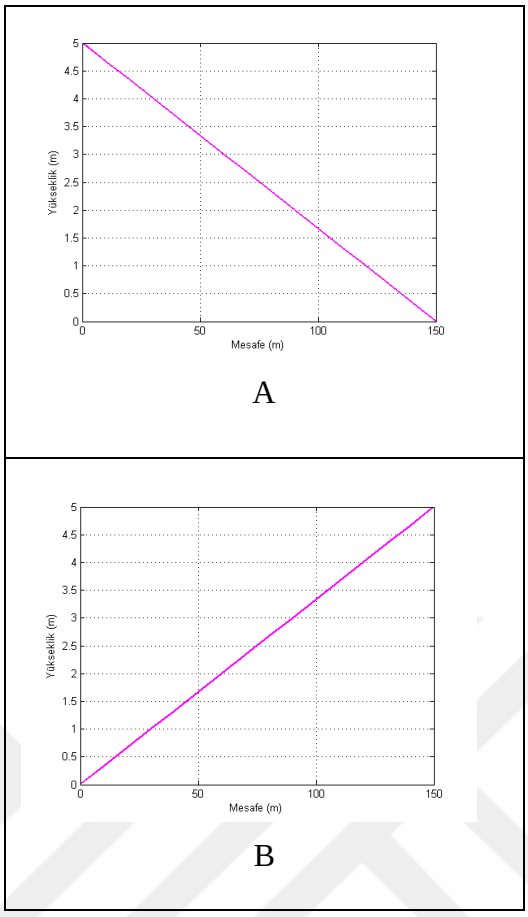
Segment belirlemesi yapılırken öncelikle eğim profili değerlendirilmiştir. Eğimin işaret değiştirdiği noktalar belirlendikten sonra, bu noktaların öncesi ve sonrasındaki yükseklik değerleri arasındaki fark hesaplanmıştır. Işaret değiştiren noktadan sonraki yükseklik değerinin, büküm noktası yükseklik değerinden fazla olması durumunda "çıkış yolu", düşük olması durumunda da "iniş yolu" şeklinde tanımlamalar yapılmıştır. Yükseklik değerleri arasındaki farkın 0 olması durumunda segment "düz yol" olarak isimlendirilmiştir. Düz yollar, kendilerinden önceki segmentin özelliğine bağlı olarak farklı şekilde sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2. 3 Yol segmentleri

<table>
<tr><td colspan="2">EĞİMLİ YOLLAR</td><td colspan="3">DÜZ YOLLAR</td></tr>
<tr><td rowspan="5">İniş Yolu</td><td rowspan="5">Çıkış Yolu</td><td>GİRİŞ YOLU</td><td>STANDART DÜZ YOL</td><td>AYRILMA YOLU</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Sonrası Çıkış</td><td>Öncesi iniş sonrası çıkış</td><td rowspan="2">Öncesi çıkış</td></tr>
<tr><td>Öncesi ve sonrası iniş</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Sonrası İniş</td><td>Öncesi çıkış sonrası iniş</td><td rowspan="2">Öncesi iniş</td></tr>
<tr><td>Öncesi ve sonrası çıkış</td></tr>
</table>

2.5.1 Eğimli Yollar

Eğim değeri 0'dan farklı yollardır. Pozitif eğimli yollar çıkış, negatif eğimli yollar ise iniş yolu olarak isimlendirilir. Şekil 2. 10'da iniş ve çıkış yollarına ait birer örnek sırasıyla gösterilmiştir.



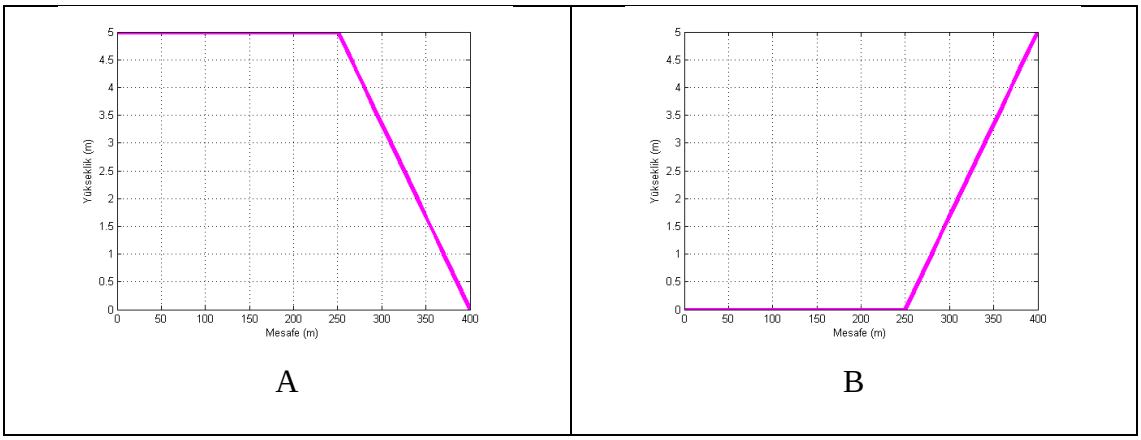
Şekil 2. 10 Eğimli yollar[1]

2.5.2 Düz Yollar

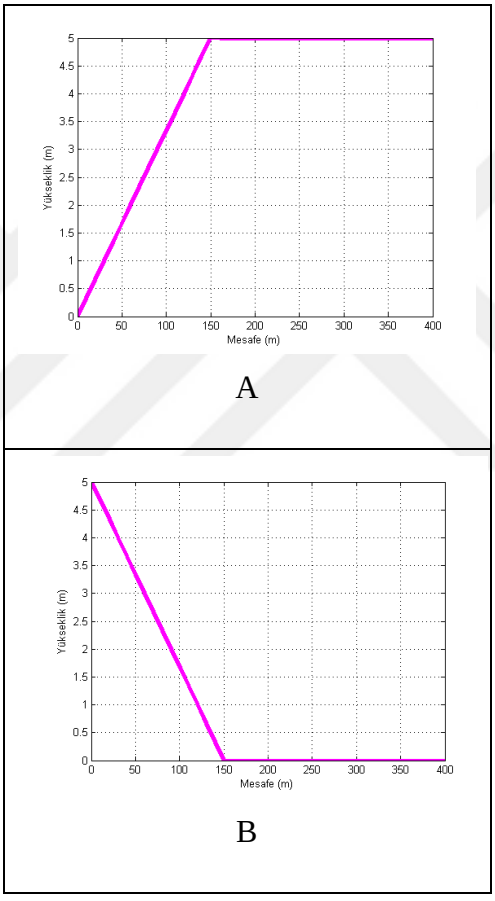
Eğim değeri 0 olan yollardır. Bu yol tipleri 3 ana başlıkta sınıflandırılır.

Taşıtın seyredeceği rotada harekete başladığı düz yollar giriş yolu, hareketini sonlandırdığı yollar ayrılma yolu ve rotanın herhangi bir konumundaki düz yollarsa standart düz yol olarak isimlendirilir. Bu düz yolların öncesinde ve sonrasındaki eğimli yolun tipine göre alt başlıklarda sınıflandırma yapılabilir. Şekil 2.11, Şekil 2.12 ve Şekil 2. 13'te düz yollara ait örnek görseller yer almaktadır.

[1] Şekil 2. 10'da "A" kısmı, örnek bir iniş yolunu; "B" kısmı, örnek bir çıkış yolunu belirtmektedir.



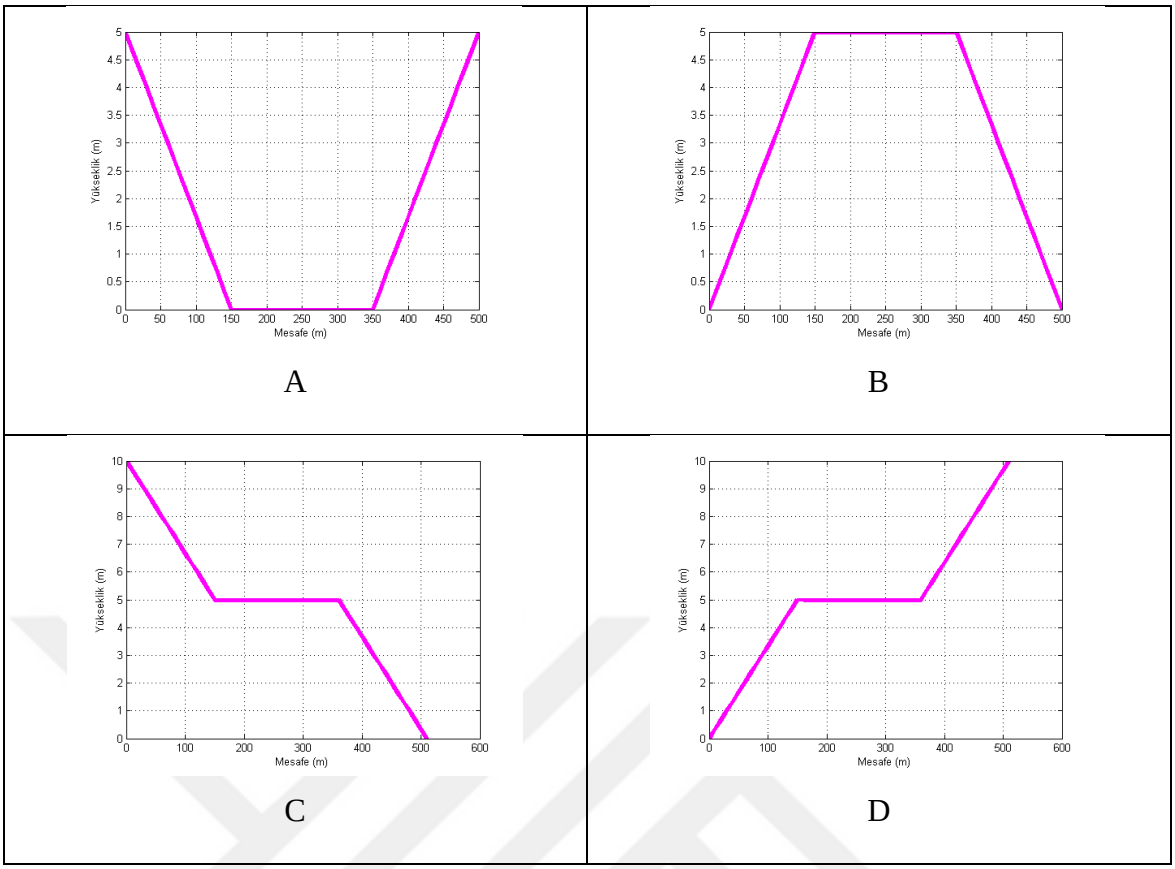
Şekil 2. 11 Giriş yolları[1]



Şekil 2. 12 Ayrılma yolları[2]

[1] Şekil 2. 11'de "A" kısmı, örnek bir sonrası iniş olan giriş yolunu; "B" kısmı, örnek bir sonrası çıkış olan giriş yolunu belirtmektedir.

[2] Şekil 2. 12'de "A" kısmı, örnek bir öncesi çıkış olan ayrılma yolunu; "B" kısmı, örnek bir öncesi iniş olan ayrılma yolunu belirtmektedir.



Şekil 2. 13 Standart düz yollar[1]

2.6 Hız Değiştirme Stratejileri

Yakıt tüketimini düşürmek için tasarlanan uygulama, rotadaki belirli bölgelerde taşıtın hızının çeşitli stratejilere göre değiştirilmesiyle mümkün olmaktadır. Bu stratejiler düz ve eğimli yollarda farklı şekillerde tasarlanmaktadır.

2.6.1 Eğimli Yollar İçin Hız Değiştirme Stratejileri

Eğimli yollar iniş ve çıkış yolları olmak üzere ikiye ayrılır. İniş yollarında eğim direnci taşıtın hızını genellikle artırıcı, çıkış yollarında ise azaltıcı etki yapar. İniş yollarında taşıtın belli bir değere kadar hızlanmasına izin verilir ve burda taşıt yakıt tüketmez. Bazı iniş eğim değerlerinde, toplam dirençler taşıtı yavaşlatacak düzeyde etki edeceği için, bu eğim değerlerinin mevcut olduğu kısımlarda taşıt bir miktar hızlandırılır. Taşıtın

[1] Şekil 2. 13'te "A" kısmı, örnek bir öncesi iniş sonrası çıkış olan düz yolu; "B" kısmı, örnek bir öncesi çıkış sonrası iniş olan düz yolu; "C" kısmı, örnek bir öncesi ve sonrası iniş olan düz yolu; "D" kısmı, örnek bir öncesi ve sonrası çıkış olan düz yolu belirtmektedir.

hızlanması yakıt tüketimine olumsuz etkide bulunmasına rağmen toplam sefer süresinin azaltılmasına olumlu etki sağlar.

İniş yollarında taşıtın yakıt tüketmeden, yani motordan tahrik kuvveti sağlanmadan, yol sonunda sahip olacağı hız Denklem 2.4 kullanılarak belirlenebilir [21].

$$\frac{1}{2} m_{taşıt}\, V_{T,ilk}^2 - \sum W\, \Delta s + E_{tahrik} = \frac{1}{2}\, m_{taşıt}\, V_{T,son}^2 \quad (2.4)$$

E_{tahrik} , Denklem 2.5 kullanılarak tanımlanabilir.

$$E_{tahrik} = F_{tahrik}\, \Delta s \quad (2.5)$$

$\sum W$'nun hesabı için Denklem 2.6'dan faydalanılabilir [45].

$$\sum W = W_R + W_L + W_S + W_B + W_Ç \quad (2.6)$$

Denklem 2.4'te yer alan $\sum W\, \Delta s$ ifadesi, bir yol parçasında - ki bu yol parçasının uzunluğu Δs kadardır – taşıta etkiyen dirençlerin yaptığı toplam işi gösterir.

Denklem 2.4'te yer alan $V_{T,ilk}$ ifadesi taşıtın iniş yolu başlangıcındaki hızıdır. Bu hız sebebiyle taşıtın sahip olduğu kinetik enerjiden taşıtın yol boyunca karşılaştığı dirençlerin yaptığı işin çıkarılmasıyla iniş yolu sonundaki hız hesaplanabilir. İniş yolu boyunca taşıtın hızını yavaşlatacak eğim değerleriyle karşılaşılması durumunda E_{tahrik} olarak isimlendirilen tahrik enerjisi de hesaplamalara katılmalıdır.

Çıkış yollarında taşıtın hızı lineer olarak azalır ve bu şekilde yakıt tüketiminin azaltılması amaçlanır. Taşıtın çok fazla yavaşlaması durumunda yakıt tüketimi oldukça azalacak ancak bu durumda da sefer süresi uzayacaktır.

2.6.2 Düz Yollar İçin Hız Değiştirme Stratejileri

Düz yollar giriş yolu, standart düz yol ve ayrılma yolu olarak 3'e ayrılır.

Giriş yollarında, yolun belirlenen bir uzunluktan fazla olması durumunda hızlanıp-yavaşlama yaparak sefer süresinden tasarruf edilir. Bu ivmelenme sebebiyle yakıt tüketiminde artış meydana gelir. Bu artış rotanın sonraki kısımlarında elimine edilmeye çalışılır. Giriş yolunun ardından bir iniş yolu olması durumunda, iniş yoluna girmeden hemen önce taşıt yavaşlar. Bu şekilde yakıt tüketiminde tasarruf sağlanır. Giriş yolunun sonrasında bir çıkış yolu olması durumunda ise çıkış yoluna girilmeden hemen önce taşıt

hızı artar. Bu durum yakıt tüketiminde artışa sebep olur. Ancak çıkış yolunda hızın azalmasıyla meydana gelecek sefer süresi artışı bir miktar azaltılmış olur.

Standart düz yollar taşıtın bir rota üzerinde en sık karşılaştığı yollardır. Bu yolların öncesi ve sonrasındaki yol tiplerine bağlı olarak çeşitli şekillerde sınıflandırılırlar.

Öncesi iniş, sonrası çıkış olan düz yollarda, taşıtın iniş yolundan gelen kinetik enerjisi kullanılır. Taşıt bu düz yol tipinde, hiçbir şekilde yakıt tüketmeden belirlenen bir hız değerine kendiliğinden kavuşur. Belirlenen hız değerine ulaşacağı konum Denklem 2.7 yardımıyla hesaplanabilir [21].

$$\frac{1}{2} m_{taşıt}\, V_{T,ilk}^2 - \sum W\, \Delta s \;=\; \frac{1}{2}\, m_{taşıt}\, V_{T,son}^2 \qquad (2.7)$$

$\sum W$'nun hesabı için Denklem 2.6'dan faydalanılabilir.

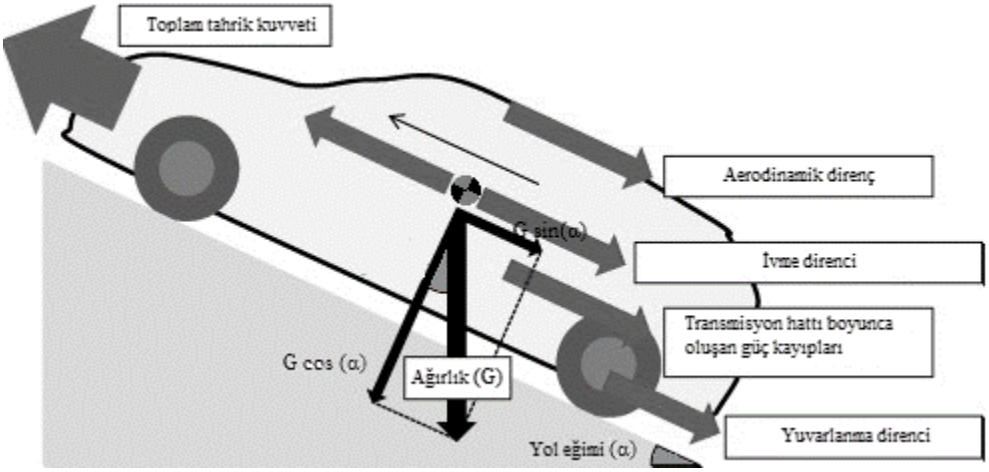
Öncesi çıkış, sonrası iniş olan düz yollarda, düz yol başlangıcındaki hız çıkış yolundaki azalma nedeniyle belirlenen bir referans hız değerinden düşük olabilir. Bu nedenle hızlanma sağlanmalıdır. Hızlanma yakıt tüketimine artırıcı, sefer süresine ise iyileştirici etkide bulunur.

Öncesi ve sonrası çıkış olan düz yollar en riskli yol tipidir. Bu tip düz yollarda önce belirlenmiş referans hıza ulaşabilmek için hızlanma yapılır. Yolun sonlarına doğru ise sefer süresini belli sınırlar dahilinde tutabilmek için hızlanma sağlanır.

Ayrılma yolları ise rotanın sonlandığı düz yollardır. Bu yolların da öncesi ve sonrasındaki yolun çıkış ve iniş olması durumunda yakıt harcamadan ilerleme veya tekrar hızlanma gibi stratejiler uygulanmaktadır. Ayrılma yolunun öncesi bir iniş yoluysa Denklem 2.4 kullanılarak, taşıtın tahrik enerjisi harcamadan, belirlenmiş bir referans hıza ineceği mesafe belirlenir. Bundan sonraki kısımda taşıt sabit referans hızında ilerler. Ayrılma yolu öncesinde çıkış yolu varsa taşıt, önceden belirlenen referans hıza kadar hızlanarak sefer süresinin artışını engeller. Bu durum yakıt tüketiminin artırıcı etki yapmaktadır.

2.7 Hareket Dirençleri

Taşıtlar hareketleri boyunca, hareketlerini engelleyen çeşitli dirençlere maruz kalırlar. Bu dirençler Şekil 2.14'te toplu halde görülmektedir.

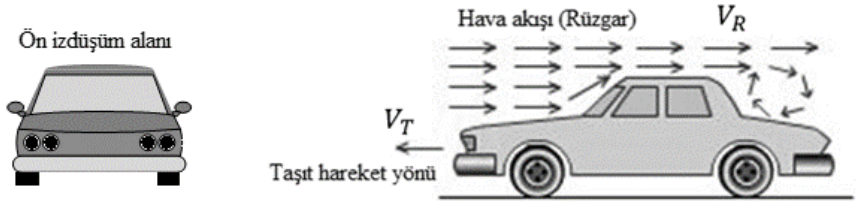


Şekil 2. 14 Taşıta etkiyen dirençler [46]

2.7.1 Aerodinamik Direnç (W_L)

Hareket doğrultusunda olan ve zıt yönde ön ve arkadaki basınç farkının hareketi engellemesi ve tüm dış yüzeylerin hava ile teması sonucu oluşan durdurucu veya yavaşlatıcı etkiye aerodinamik direnç denir.

Şekil 2. 15'te aerodinamik dirence etki eden bileşenler görülmektedir.



Şekil 2. 15 Aerodinamik direnci oluşturan bileşenler [47], [48]

Taşıta etkiyen aerodinamik direnç Denklem 2.8, taşıtla rüzgar arasındaki bağıl hız ise Denklem 2.9 kullanılarak belirlenebilir [45].

$$W_L = \frac{1}{2}\,\rho\, C_d\, A\, V_{bağıl}^2 \tag{2.8}$$

$$V_{bağıl} = (V_T \mp V_R) \tag{2.9}$$

Denklem 2.9'de ρ, havanın yoğunluğu; C_d, aerodinamik direnç katsayısı; A ise taşıtın ön izdüşüm alanıdır. Aerodinamik direnç katsayısı rüzgar tünellerinde veya yol deneyleriyle berlirlenen bir katsayıdır.

Denklem 2.9'da taşıt ile rüzgar aynı yöndeyse aradaki işaret (-), taşıt ile rüzgar farklı yönlerdeyse aradaki işaret (+) olarak alınır. İşaret değişimine bağlı olarak taşıt ile rüzgar arasındaki bağıl hız hesaplanır.

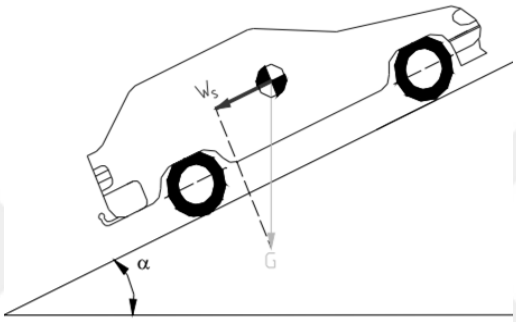
2.7.2 Eğim Direnci (W_S)

Eğim veya yerçekimi direnci, çıkış eğimli yollarda hareketi engelleyen ve taşıt ağırlığının hareket doğrultusunda olan bileşeninin ters yönünde etkiyen dirençtir. Taşıtın iniş eğiminde olması durumunda, eğim direncinin harekete etkisi, hareketi engelleyici yönde olmamaktadır. Şekil 2. 16'da eğim direncinin oluşumu görülmektedir.

Eğim direncinin hesabı için Denklem 2.10 kullanılabilir [45].

$$W_S = G \sin \alpha \tag{2.10}$$

Denklem 2.9'da α yolun eğimi; G ise taşıtın ağırlığıdır.



Şekil 2. 16 Eğim direncinin oluşumu [49]

2.7.3 İvme Direnci (W_B)

Taşıtın ivmelenmesi ve lineer ivmelenme sırasında dönen elemanların ivmeli dönmeye zorlanması nedeniyle oluşan dirence ivme direnci denir. İvme direncinin hesabı için Denklem 2.11'den, ivme direnç katsayısının hesabı içinse Denklem 2.12'den yararlanılabilir [45], [50].

$$W_B = \varphi\, m\, \frac{dV}{dt} \tag{2.11}$$

$$\varphi = 1{,}04 + 0{,}0025\, (I_{tr})^2 \tag{2.12}$$

İvme direnci, taşıt kütlesi (m) ve taşıt hızının zamana göre değişimine $(\frac{dV}{dt})$ bağlı olarak değişmektedir.

Denklem 2.12'de φ olarak simgelenen ivme direnç katsayısı, kullanılan vites kademesi ve hangi ivmelenme mertebesinde ivmelenmeye başlandığına değişiklik gösterir. I_{tr} olarak gösterilen toplam çevrim oranı, mevcut vites çevrim oranı ile son dişli oranının çarpımıyla elde edilir.

2.7.4 Yuvarlanma Direnci (W_R)

Taşıt hareketi sırasında taşıt tekerinin yuvarlanması sonucu ve üzerinde seyredilen yoldaki şekil değişimi sonucu oluşan dirence yuvarlanma direnci denir. [19]

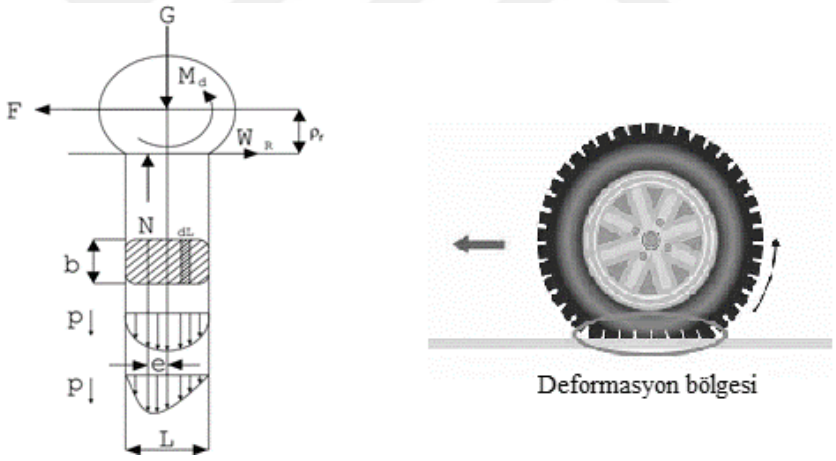
Yuvarlanma direnci Denklem 2.13, yuvarlanma direnç katsayısı ise Denklem 2.14 kullanılarak hesaplanabilir [45], [25].

$$W_R = f\ G\ \cos\alpha \tag{2.13}$$

$$f = f_0(1 + \frac{V^2}{1500}) \tag{2.14}$$

Denklem 2.13'te f, yuvarlanma direnç katsayısı; G, taşıt ağırlığı; α ise yolun eğimidir. Denklem 2.14'te yer alan f_0, yol kaplama faktörüdür. Asfalt yollarda 0,0015 olarak hesaplamalara katılabilir [25]. Yuvarlanma direnç katsayısı taşıt hızı'na (V) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Şekil 2. 17'de yuvarlanma direncinin oluşumu görselleştirilmiştir.



Şekil 2. 17 Yuvarlanma direncinin oluşumu [49], [51]

Taşıtlarda kullanılan lastiklerin, taşıtın hareketi sonucu bazı bölgelerinde basınç değişiklikleri olur. Düşey eksene göre hareket doğrultusundaki temas yüzeyinde, elastiklik ve iç direnç nedeniyle yüzey basıncı artar. Düşey eksenin hareket doğrultusuna zıt yöntedeki temas yüzeyinde ise, şekil değiştirmeye karşı gösterilen direnç nedeniyle yüzey basıncı azalır. Azalmanın nedeni deforme olan lastiğin eski konumuna hızlı bir şekilde dönememesidir. Bu nedenle tekerin tepkisi düşey eksenden bir miktar (e mesafesi) kayar. Kayma sebebiyle teker dönmesini engelleyen tahrik momentine zıt bir moment oluşur. Bu momentin değeri e mesafesi ile dingil yükünün çarpımı kadardır. İlgili

momentin teker merkezinde, tahrik yönüne zıt kuvveti yuvarlanma direnci olarak adlandırlır. [49].

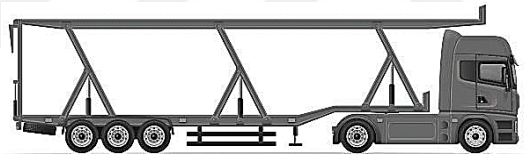
2.7.5 Çeki Direnci ($W_Ç$)

Taşıtlara bağlı olarak hareket eden römork veya yarı römorkların da toplam dirence etkisi vardır ve bu elemanların kendilerine ait ivme, yuvarlanma, eğim ve hava dirençleri mevcuttur. Bu dirençlerin toplamı çeki direnci olarak tanımlanabilir.

Römorklar insan ve yük taşıyan ve bir çekiciye bağlı olan motorsuz taşıtlar, yarı römorklar ise bir kısmı çekici üzerine oturan, kendi ağırlığı ve taşıdığı yükün bir kısmının çekici tarafından taşındığı taşıtlardır [52]. Şekil 2. 18 ve Şekil 2. 19'da römork ve yarı römork görülmektedir.



Şekil 2. 18 Römork [53]



Şekil 2. 19 Yarı römork [54]

2.7.6 Hareket Dirençlerinin Yakıt Tüketimine Etkisi

Taşıtların hareketine etki eden yuvarlanma, eğim, ivme ve aerodinamik dirençler yakıt tüketimini de etkilemektedir.

2.7.6.1 Yuvarlanma Direncinin Yakıt Tüketimine Etkisi

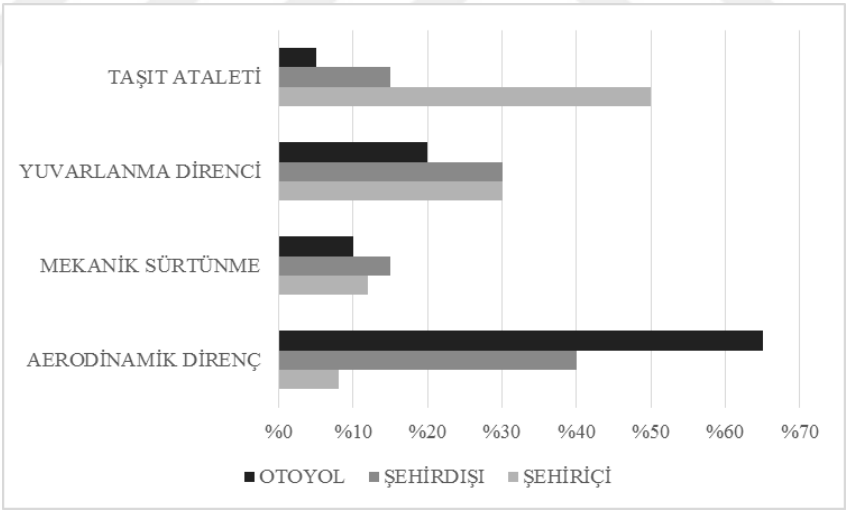
Yuvarlanma direncindeki değişimin, toplam enerji tüketimi üzerine olan etkisi Çizelge 2.4'te gözlenebilir. Yuvarlanma direnci değişimindeki artış, toplam enerji tüketimindeki değişimi de artırmaktadır [75].

Çizelge 2. 4 Yuvarlanma direncindeki değişimin toplam enerji tüketimine etkisi [75]

YUVARLANMA DİRENCİNDEKİ DEĞİŞİM	%1	%5	%10	%25	%50
TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİNDEKİ DEĞİŞİM	%0.14	%0.85	%2.33	%6.41	%16.62

Randy Jones ve Terry Newell tarafından 1980 yılında hazırlanan Effects of Tire Rolling Resistance on Automotive Emissions and Fuel Economy isimli teknik raporda, yuvarlanma direnç katsayısının yakıt tüketimine etkisi incelenmiştir. FTP ve HFET sürüş çevrimleri için yakıt tüketimleri araştırılmıştır. Yuvarlanma direnç katsayısı, yuvarlanma direnci ile doğrusal olarak değiştiği için; katsayıdaki artış yakıt tüketimini de artırmaktadır [55].

Michelin tarafından yayınlanan teknik bültende yuvarlanma direncinin, taşıt hareketi üzerine olan etkileri diğer taşıt dirençleriyle karşılaştırmalı olarak Şekil 2. 20'de verilmiştir. Şehir içi, şehir dışı ve otoyol sürüşlerinde, yuvarlanma direnci diğer dirençlere göre belirgin şekilde harekete etki etmektedir [56].



Şekil 2. 20 Şehiriçi, şehirdışı yollarda ve otoyollarda dirençlerin etkileri [56]

Yuvarlanma direnci, yaklaşık olarak taşıtın sürekli %1'lik bir eğimi tırmanmasına denk bir direnç oluşturur. Toplam yakıt tüketiminin yaklaşık ve ortalama %20'si yuvarlanma direnci kaynaklıdır [51].

Taşıt hızının düşük ve ortalama olduğu durumlarda yuvarlanma direnci yaklaşık sabittir. Yüksek hızlarda ise yuvarlanma direnci, buna bağlı olarak da yuvarlanma direnci sonucu kaybolan enerji artmaktadır [57].

Radyal ve çapraz katlı olarak üretilen lastikler, üretim karakteristiklerine bağlı olarak yakıt tüketimini doğrudan etkilemektedir. Radyal lastikler daha az yuvarlanma direncini ve buna bağlı olarak daha iyi bir yakıt tüketim performansını mümkün kılmaktadır. Bu tip lastiklerin yakıt tüketimine etki oranı %7 ila %12 arasındadır [25], [58].

2.7.6.2 Eğim Direncinin Yakıt Tüketimine Etkisi

Eğim (yokuş veya yerçekimi) direnci, taşıtın üzerinde seyrettiği yolun eğimine göre değişkenlik göstermektedir. Çıkış eğimli yollarda, eğimin artışıyla yerçekimi direnci ve dolayısıyla yakıt tüketimi artar.

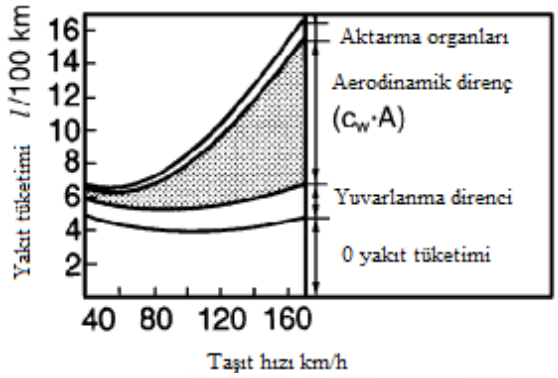
Lijuan Wang, Kenneth Kelly, Kevin Walkowicz, ve Adam Duran Quantitative Effects of Vehicle Parameters on Fuel Consumption for Heavy-Duty Vehicle isimli çalışmalarında taşıt dirençlerinin yakıt tüketimine etkisini 3 farklı sürüş çevrimi için incelemişlerdir. Eğim direnci, taşıt ağırlığı ile doğru orantılı olarak değiştiği için, tüm çevrimlerde ağırlık artışıyla yakıt tüketimi artmıştır [19].

2.7.6.3 Aerodinamik Direncin Yakıt Tüketimine Etkisi

Aniket Bhave ve Hessam Taherian, Aerodynamics of Intercity Bus and Its Impact on CO_2 Reductions isimli çalışmalarında taşıt hızındaki artışın aerodinamik direnç ve toplam yol dirençlerine ne şekilde etki ettiğini incelemişlerdir. Hızdaki artış ile beraber aerodinamik direnç artmıştır. Özellikle 45 mph sonrası ve hızlarda aerodinamik direncin artışı daha şiddetli olmuştur. Aerodinamik direnç, taşıt ve rüzgar arasındaki bağıl hızın kuvvetiyle orantılı olduğu için, hızdaki yükselme sonrası dirençteki artış daha şiddetli olmuştur. Aerodinamik dirençteki artış yakıt tüketimini olumsuz etkilemektedir [59].

Havanın yoğunluğu aerodinamik direnci ve dolayısıyla yakıt tüketimini etkiler. Sıcak iklim koşullarında havanın yoğunluğu, soğuk iklimlerdeki duruma göre daha azdır. Buna bağlı olarak sıcak iklimlerde -aerodinamik direnci etkileyen diğer faktörlerin soğuk iklimde değişmediği kabulüyle- "aerodinamik direnç soğuk iklime göre daha azdır" denilebilir.

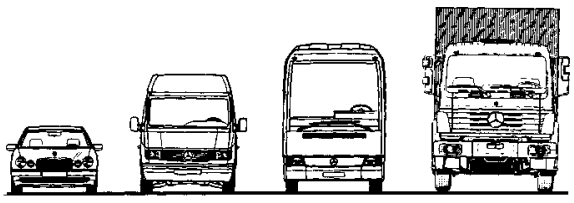
Aerodinamik direnç katsayısı, aerodinamik direncin değişimini etkilemektedir. Şekil 2. 21'de aerodinamik direnç katsayısının yakıt tüketimine etkisi görülmektedir Özellikle taşıt hızının 90 km/h'i aşması durumunda, orta boyutlu araçlar için yakıt tüketimi, ilgili katsayı nedenli olarak yüksek oranda artmaktadır [60].



Şekil 2. 21 Aerodinamik direnç katsayısının yakıt tüketimine etkisi [60]

Metu Chidiebere, Aduloju Sunday Christophe, Bolarinwa Gabriel Oladeji, Olenyi Joseph ve Dania David E., Vehicle Body Shape Analysis of Tricycles for Reduction in Fuel Consumption isimli çalışmalarında aerodinamik direnç katsayısındaki değişimin yakıt tüketimine etkisini incelemişlerdir. Daha iyi bir yakıt tüketimi sağlamak amacıyla Hindistan'da kullanılan bir taşıt yerine, aerodinamik direnç katsayısı daha düşük bir taşıt tasarlamışlardır. Yapılan denemelere göre ilgili katsayısdaki %2'lik azalma yaklaşık %17 yakıt tasarrufu sağlamıştır [61].

Taşıt ön izdüşüm alanı aerodinamik direnci etkilemektedir. Şekil 2. 22'de çeşitli taşıt tiplerinin ön izdüşüm alanlarının karşılaştırılması verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, kamyonun ön izdüşüm alanı standart bir otomobile göre oldukça fazladır ve bu durumda aerodinamik direnç ve harcanan yakıt artış gösterecektir [62].



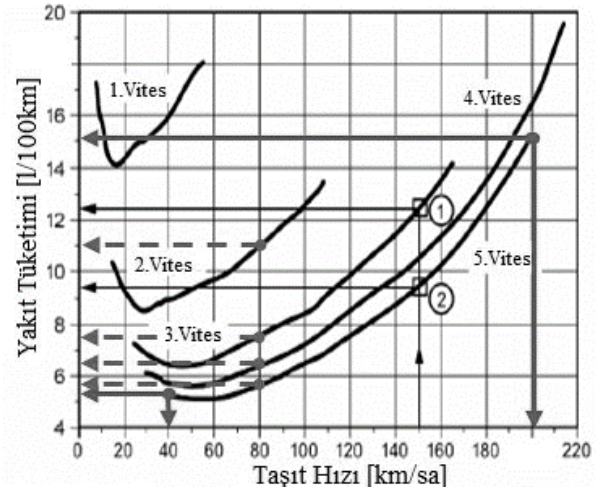
Şekil 2. 22 Farklı taşıt tiplerinin ön izdüşüm alanları [62]

2.7.6.4 İvme Direncinin Yakıt Tüketimine Etkisi

Taşıtın hızındaki değişim, değişim süresine bağlı olarak çeşitli miktarlarda yakıt tüketimini etkilemektedir. Kullanılan vitese ait ivme direnç katsayısı yakıt tüketim karakteristiğini değiştirmektedir.

Yüksek ivmelerle hareket ve sabit hızlarda sürüş sağlamamak yakıt tüketimini artırıcı yönde etki etmektedir [25].

Hakan Köylü, Vites Geçişlerine Göre Yakıt Tüketiminin Modellenmesi: Vites Değiştirme Stratejilerinin Yakıt Tüketimine Etkilerinin Analizi isimli çalışmasında bir otomobil için vites kademesinin, taşıtın hızına göre yakıt tüketimine etkisini incelemiştir. Şekil 2. 23'te çalışmadan elde edilen görsel yer almaktadır. Elde edilen sonuçlara göre vites kademesi büyüdükçe yakıt tüketimi aynı hız için azalmaktadır [63].



Şekil 2. 23 Taşıt hızı ve kullanılan vites kademesine göre yakıt tüketiminin değişimi [63]

2.8 Güç Hesabı

Taşıtın seyredeceği rotada kullanılacak ve stratejiler ile belirlenen hız profili, taşıtın anlık olarak sahip olması gereken gücün hesabında kullanılır. Güç hesabı için Denklem 2.15 kullanılabilir [25].

$$N_e \, \eta_m = \sum W \, V_T \tag{2.15}$$

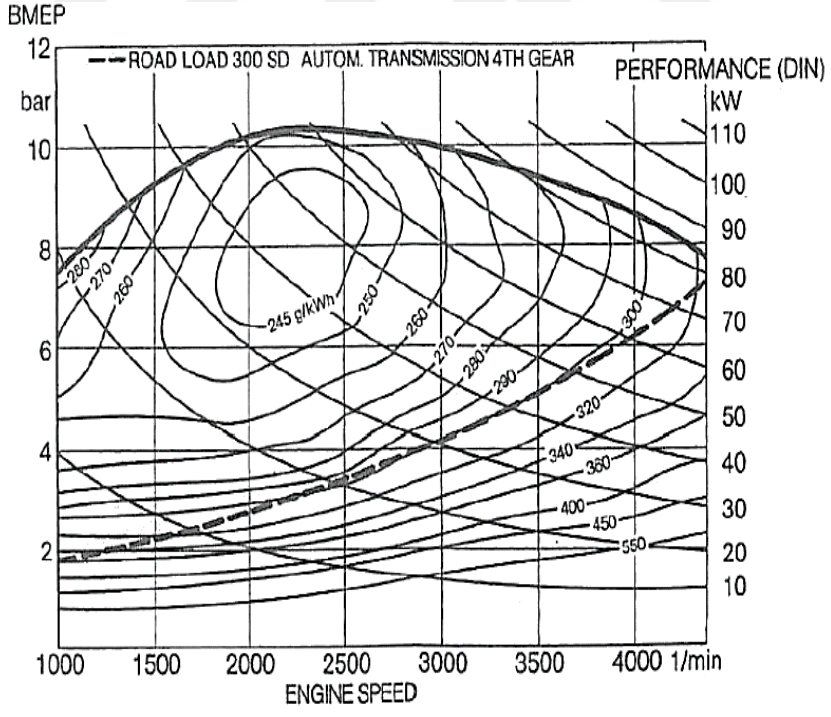
Denklem 2.15'te N_e, motordan çekilen güç; η_m, transmisyon verimi; $\sum W$, toplam dirençler; V_T ise taşıt hızıdır. Toplam dirençlerin hesabı için Denklem 2.6 kullanılabilir.

2.9 Yakıt Tüketim Miktarının Belirlenmesi

Yakıt tüketimi taşıta ait motor haritasından, nümerik yöntemlerin de kullanılmasıyla veya ölçüm cihazları ile belirlenebilir.

2.9.1 Motor Haritası ile Yakıt Tüketiminin Belirlenmesi

Motor haritaları bir taşıt motoruna ait devir sayısı, tork, efektif güç ve özgül yakıt tüketimi miktarı gibi parameterelerin yer aldığı haritalardır. Taşıtın motor haritası belli ise doğrudan bu harita yardımıyla yakıt tüketim miktarı okunabilir. Belli bir devir ve güç için veya belli bir devir ve fren ortalama efektif basıncı için gerekli özgül yakıt tüketimi miktarı motor haritası ile belirlenebilir. Şekil 2. 24'te örnek bir motor haritası yer almaktadır. Tez çalışmasında yakıt tüketimi belirlenirken çalışma yapılacak taşıta ait motor haritasından faydalanılmıştır.



Şekil 2. 24 Örnek bir motor haritası [64]

2.9.2 Yakıt Tüketiminin Ölçümü

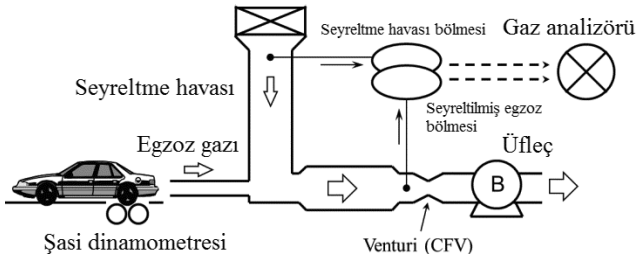
Yakıt tüketiminin ölçümü için 3 yöntem kullanılabilir: [65]

- Karbon balansı yöntemi
- Volumetrik yöntem
- Gravimetrik yöntem

2.9.2.1 Karbon Balansı Yöntemi

Egzoz gazları içindeki karbon ürünlerinin ölçümü esasına dayalı yöntem "karbon balansı yöntemi" olarak isimlendirilebilir. Yöntemde CO, CO_2 ve yanmamış hidrokarbonların konsantrasyonu belirlenir. Yakıtın sahip olduğu karbon içeriği satıcıdan veya kimyasal testlerle elde edildikten sonra egzoz gazı içinden farklı bölgelerdeki örneklerin emisyonu tespit edilir. Emisyon sürekli olarak örneklenebileceği gibi test sonrasında da analiz edilebilir. Test sonrasında yapılan işlemler yakıt tüketimi için detaylı bir sonuç vermemektedir [65], [66].

Karbon balansı ile yakıt tüketiminin ölçümüne yönelik hazırlanan emisyon testi görsel Şekil 2. 25'te yer almaktadır. Seyreltilmiş egzoz gazının, analizör yardımıyla bileşenleri tespit edilmektedir [67].



Şekil 2. 25 Karbon balansı yöntemiyle yakıt tüketimin ölçümü [67]

2.9.2.2 Volumetrik Yöntem

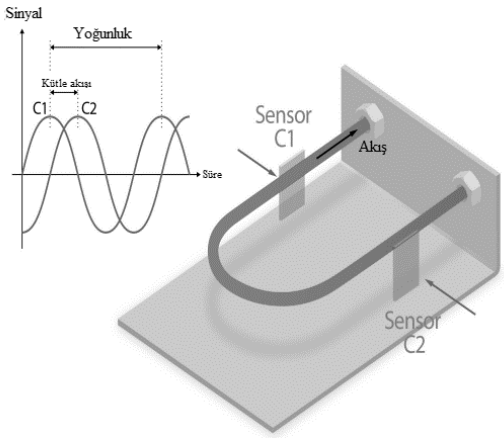
Volumetrik yöntem, motor tarafından tüketilen yakıtın hacimsel olarak ölçülmesine dayanır. Motor, yakıt tüketiminin ölçülmesi için ölçüm cihazına bağlanır. Ölçümün yapılabilmesi için akış metreler kullanılır. Yol testleri ile yapılan ölçümlerde volumetrik yöntem kullanılabilir. Ölçüm cihazlarının taşınabilir olması ve sıvı formdaki yakıtla çalışan her sisteme uyumluluk gibi sebepler, yol testlerinde kullanımı avantajlı kılmaktadır [68].

Volumetrik ölçüm cihazları motora akan yakıtın hacimsel olarak kümülatif değerini veya akış miktarını ölçerler. Zaman içindeki hacim değişim bilgisini kullanırlar. Harcanan toplam yakıtın kütlesel olarak miktarının belirlenmesi çin ise yakıtın yoğunluğuna ihtiyaç duyulur. Yakıt yoğunluğu satıcıdan alınacak bilgi ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilebilir [66]. Şekil 2. 26'da aslen bir akış metre olan ancak harcanan yakıtın miktarını kütlesel olarak da hesaplayabilen ölçüm cihazlarına ait bir örnek yer almaktadır. Bu tip cihazlar hem yol üzerinde hem de şasi dinamometresi üzerinde kullanılabilirler [69], [70].



Şekil 2. 26 Örnek bir yakıt tüketimi ölçüm cihazı

Şekil 2. 27'de volumetrik sonuç veren bir ölçüm cihazına ait çizim yer almaktadır. Yoğunluğa orantılı olarak oluşturulan sinyal, akış miktarı ile beraber değerlendirilmektedir [71].



Şekil 2. 27 Örnek bir volumetrik ölçüm cihazı çizimi [71]

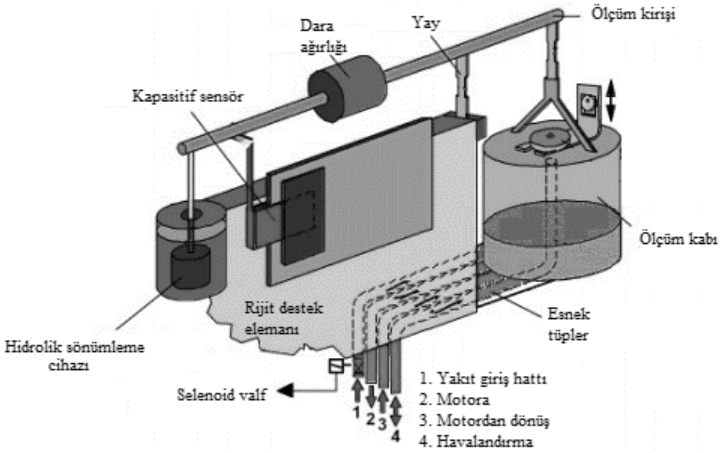
2.9.2.3 Gravimetrik Yöntem

Gravimetrik yöntem zaman içinde tüketilen yakıtın kütle cinsinden değerlendirilmesi esasına dayanır. Bir kap içerisinde bulunan yakıtın kütlesinin zaman içinde ne kadar

değiştiği ölçülür [66]. Laboratuvar şartlarında kullanılması en kolay yöntemdir. Sıvı ve gaz yakıtlar için bu yöntem uygun bir seçimdir [68].

Ölçüm cihazı yük hücresi veya basınç transdüseri içermektedir. Bu şekilde kütle değişimi tespit edilmektedir. Kütlenin doğru olarak ölçümüyle sıcaklık ve yoğunluktaki değişimin etkisi önemsiz hale gelmektedir [72].

Şekil 2. 28'de örnek bir gravimetrik ölçüm cihazı yer almaktadır. Ölçüm kabındaki yakıtın miktarındaki azalma, ölçüm kirişinin yaptığı yer değiştirmenin kapasitif sensör ile belirlenmesi ile tespit edilmektedir [73].



Şekil 2. 28 Örnek bir gravimetrik ölçüm cihazı çizimi [73]

2.9.2.4 Yakıt Tüketiminin Nümerik Olarak Hesaplanması

Yakıt tüketiminin veya özgül yakıt tüketiminin değeri belirlenirken Denklem 2.16, Denklem 2.17 ve Denklem 2.18 kullanılabilir.

Denklem 2.16'dan yakıtın kütlesel debisinin hesabında faydalanılabilir [74].

$$\dot{m_{yakıt}} = V_{tank}\, \rho_{yakıt} / \Delta_t \tag{2.16}$$

Denklem 2.16'da V_{tank}, tanktaki yakıt hacmini; $\rho_{yakıt}$, yakıt yoğunluğunu; Δ_t ise süre değişimini ifade etmektedir.

Özgül yakıt tüketiminin hesabı için Denklem 2.17'den yardım alınabilir [74].

$$b_e = \dot{m_{yakıt}}\, N_e \tag{2.17}$$

Yakıt tüketiminin hesabı için Denklem 2.18 kullanılabilir.

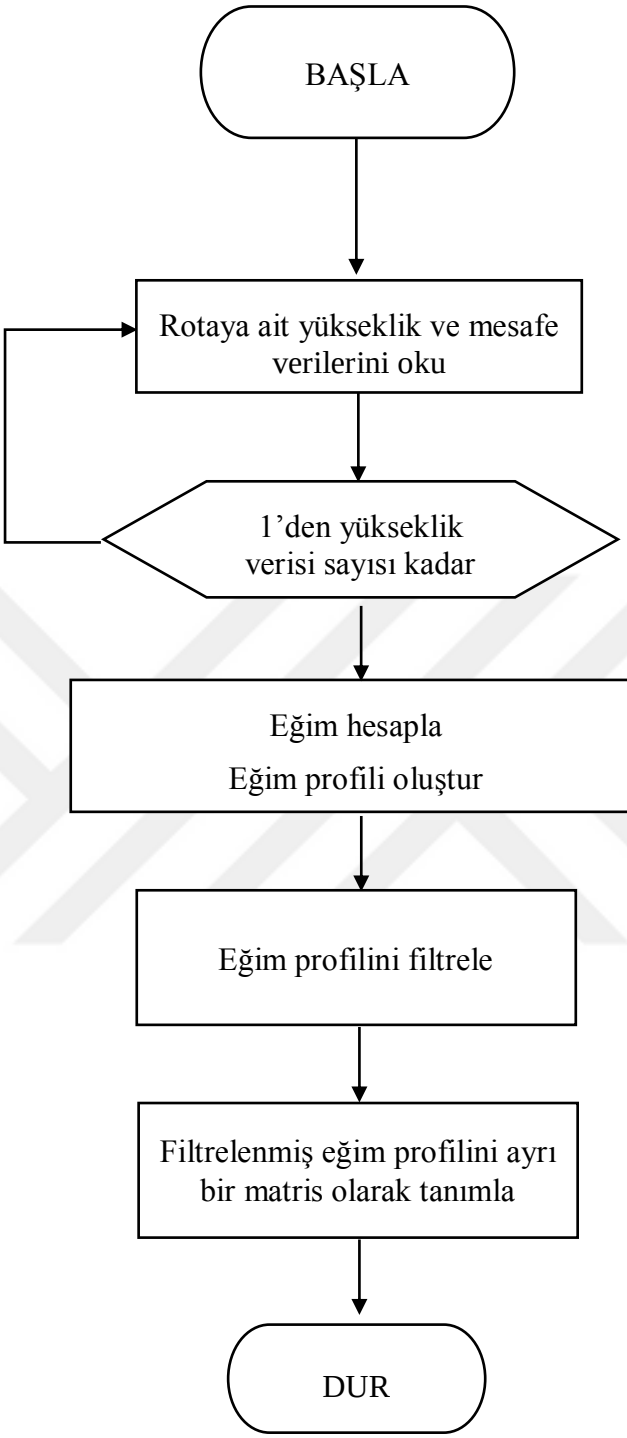
$$B_e = b_e\, N_e \tag{2.18}$$

BÖLÜM 3

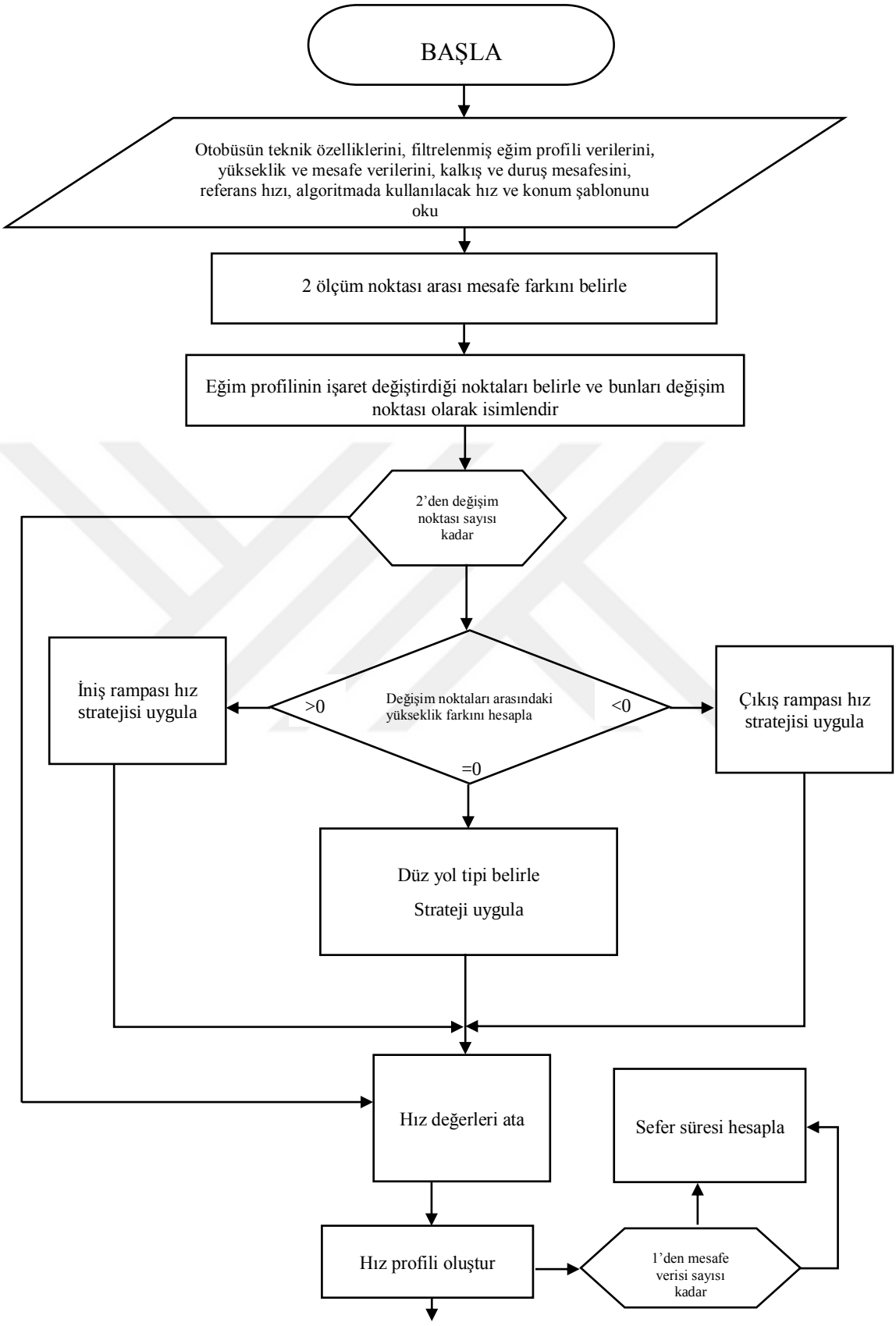
ALGORİTMA (ECO - TURK)

Yol topografyasına göre hız değişimi sağlayarak yakıt tüketimini, Sabit Hız Rejimi'ne göre azaltan çalışma ECO - TURK olarak isimlendirilmiştir.

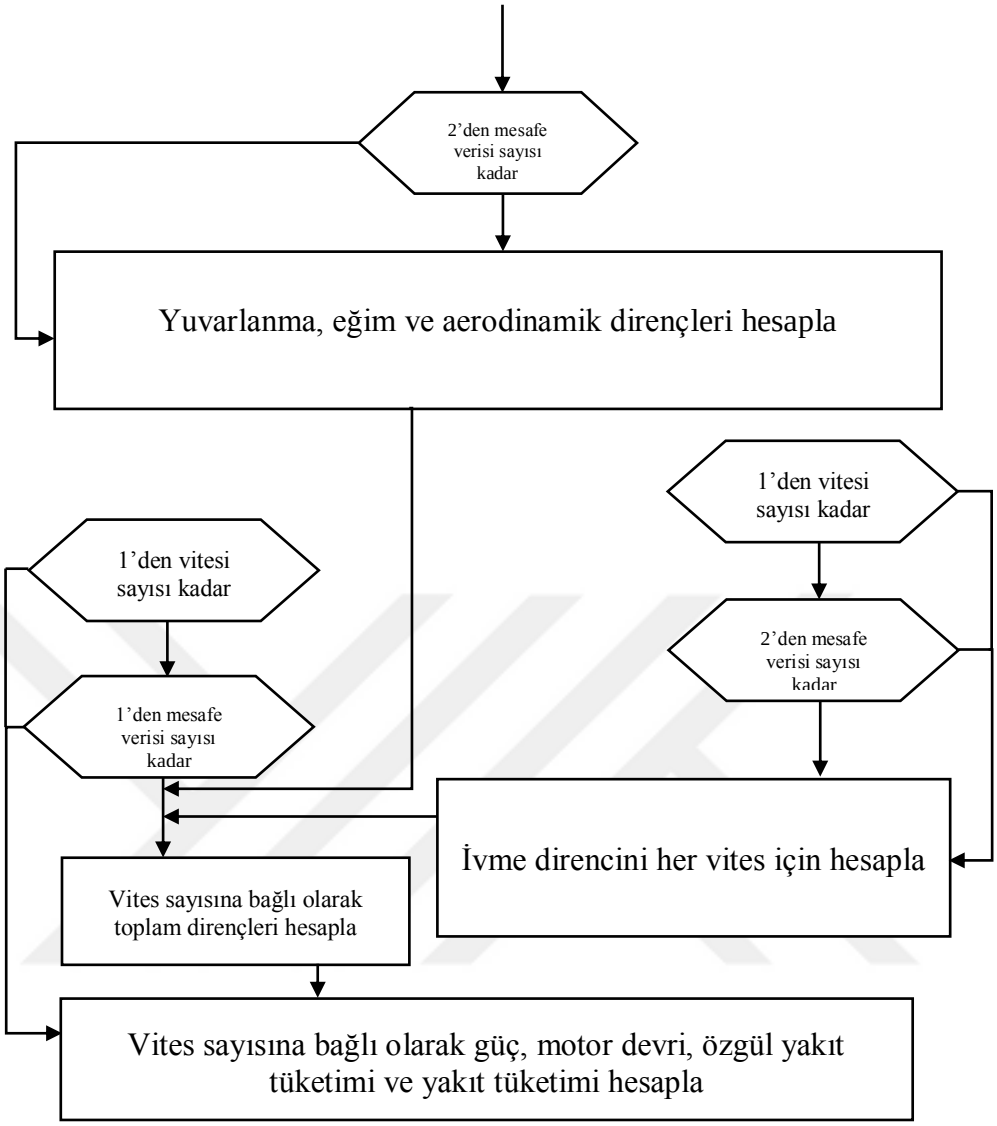
MATLAB üzerinde kodlanan ECO - TURK, taşıta etkiyen dirençleri hız değişimi sağlayarak azaltmakta ve yakıt tüketimini bu şekilde düşürmektedir. Algoritmaya ait akış şeması temel olarak Şekil 3. 1'de görülmektedir.



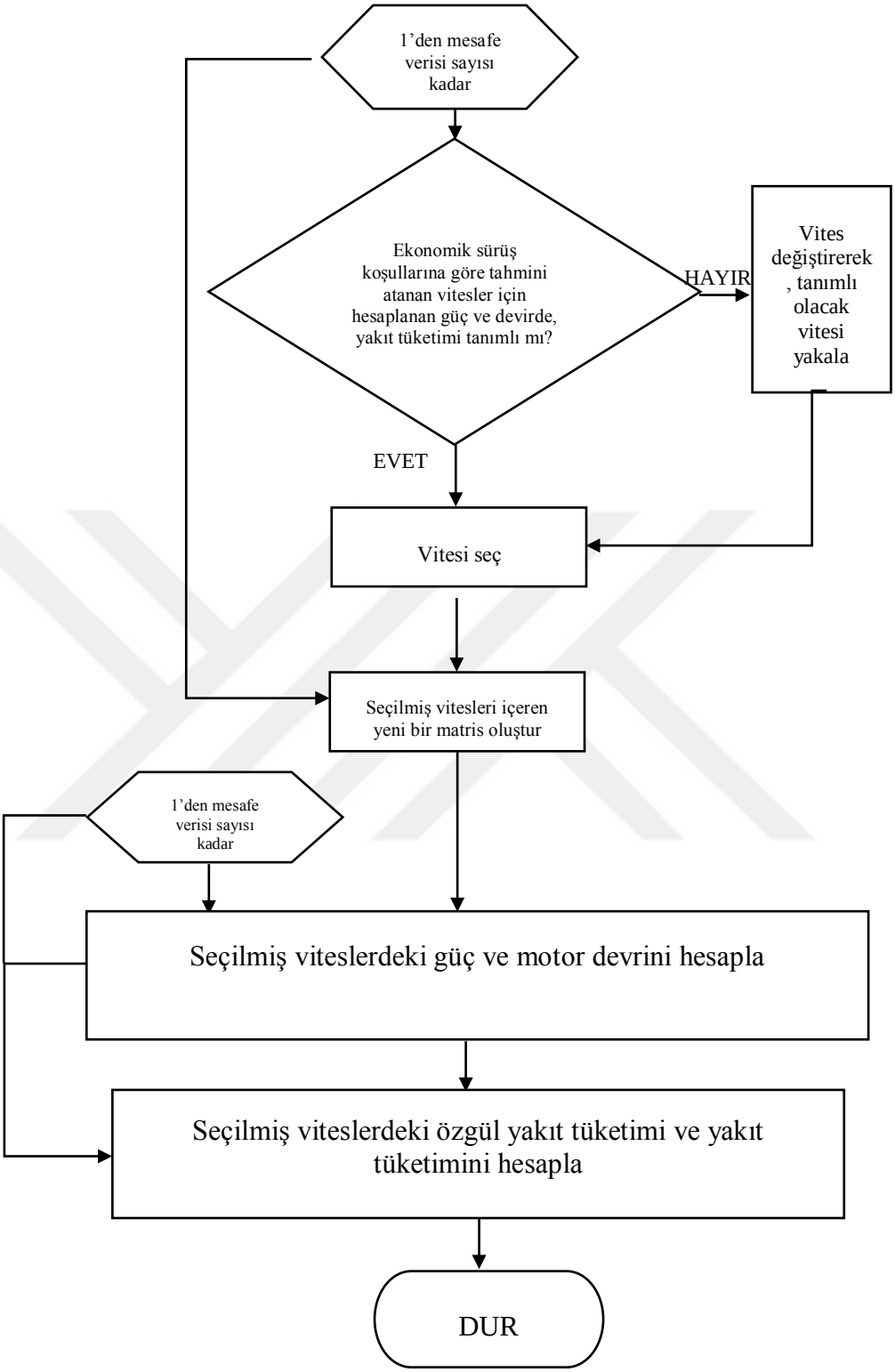
Şekil 3. 1 Algoritmaya ait temel akış şeması



Şekil 3. 1 Algoritmaya ait temel akış şeması (devamı)



Şekil 3. 1 Algoritmaya ait temel akış şeması (devamı)



Şekil 3. 1 Algoritmaya ait temel akış şeması (devamı)

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

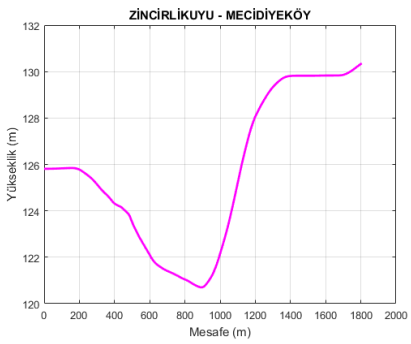
ECO-TURK, İstanbul Metrobüs hattındaki rotalarda öncelikle sabit hızın korunduğu, ardından üzerinde deneme yapılan rotayı kendisiyle aynı sürede alacağı hız rejimleriyle karşılaştırmalı olarak çalıştırılmış ve çeşitli sonuçlar elde edilmiştir.

4.1 ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi Kullanılarak Yapılan Deneme Sonuçları

ECO - TURK, rotanın her yerinde aynı hızın korunduğu "Sabit Hız Rejimi" isimli sürüş seçeneği ile 17 rotada MATLAB üzerinde çalıştırılmıştır. Yapılan tüm denemelerde ECO - TURK, Sabit Hız Rejimi'ne göre yakıt tasarrufu sağlamıştır.

Duraklar arasındaki rotalara ait yükseklik profilleri, ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profilleri ve yakıt tüketimleri ve sağlanan tasarruf ile sefer süresindeki değişim grafiklerle verilmiştir.

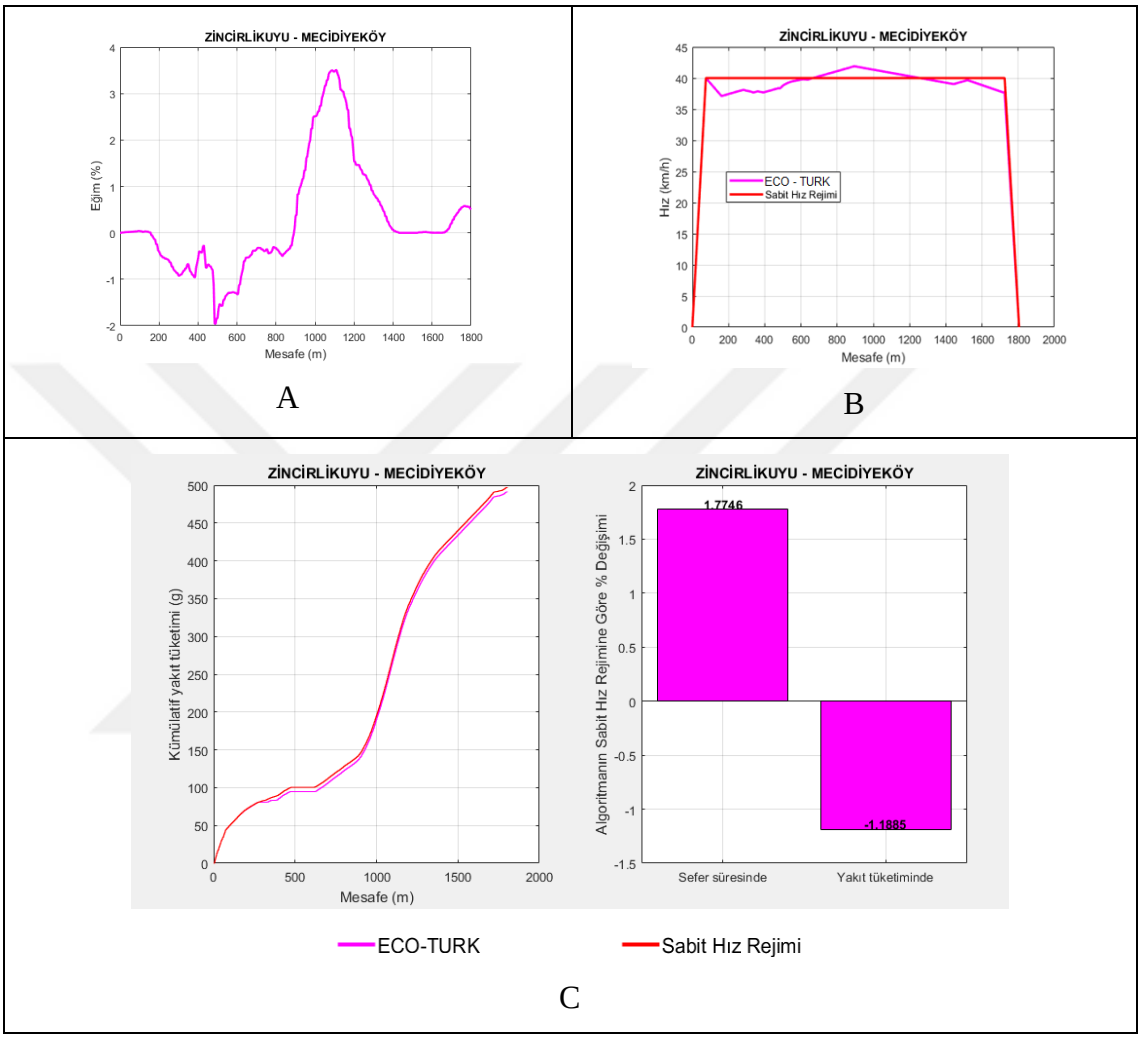
Şekil 4. 1'de Zincirlikuyu – Mecidiyeköy durakları arasındaki yükseklik profili görülmektedir.



Şekil 4. 1 Zincirlikuyu - Mecidiyeköy durakları arası yükseklik profili

Zincirlikuyu – Mecidiyeköy durakları arası, büyük bölümü çıkış rampası olmak üzere; iniş rampası ve düz yollardan meydana gelmektedir.

Şekil 4. 2'de Zincirlikuyu – Mecidiyeköy durakları arasına ait deneme için elde edilen sonuçlar, Şekil 4. 2'nin "A" kısmında ise bu rotaya ait eğim profili görülmektedir.



Şekil 4. 2 Zincirlikuyu - Mecidiyeköy durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için)[1]

Şekil 4. 2'nin "B" kısmında Zincirlikuyu – Mecidiyeköy durakları arasında ECO-TURK tarafından oluşturulan hız profili ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profili görülmektedir.

[1] Şekil 4. 2'de "A" kısmı, Zincirlikuyu - Mecidiyeköy durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Zincirlikuyu - Mecidiyeköy durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Zincirlikuyu - Mecidiyeköy durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

Zincirlikuyu'dan Mecidiyeköy'e doğru yol alan Metrobüs'ün yaklaşık 85 m'lik bir mesafede kalkış ve duruş işlemlerini yaptığı kabul edilmiştir.

ECO - TURK tarafından oluşturulan hız profili incelendiğinde, Metrobüs'ün iniş rampasına girmeden önce yavaşladığı görülmektedir. Bu yavaşlama ile Metrobüs'ün yakıt tüketiminin, Sabit Hız Rejimi ile seyre göre azaltılması amaçlanmıştır. Sefer süresinin, Sabit Hız Rejimi ile çalışma durumunda kabul edilebilir seviyede değişmesine dikkat edilmiştir.

ECO - TURK'te Metrobüs'ün rampa indiği esnada yakıt tüketmemesi ve mevcut kinetik enerjisi ile ilerlemesi istenmiştir. Ancak rotanın bazı bölgelerinde, bu bölgelerin eğim değerine göre hava direnci, ivme direnci ve yuvarlanma direnci kaynaklı olarak Metrobüs'ün hızında yavaşlama meydana gelmektedir. Sabit Hız Rejimi ile çalışmaya göre sefer süresindeki değişimi belli limitler dahilinde tutma amacıyla hızlanma gereksinimi doğmuştur. Hızlanma, hareket dirençlerinde artış meydana getirdiği için yakıt tüketimine olumsuz etki etmiştir.

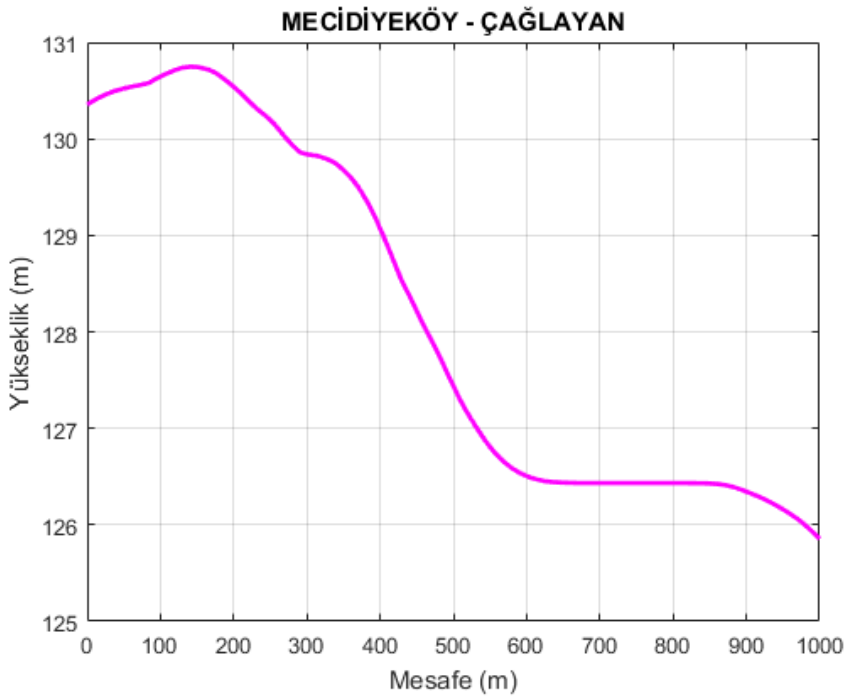
ECO - TURK, çıkış rampalarında Metrobüs'ün hızını azaltmaktadır. Bu tip rampalarda yerçekimi direnci kaynaklı olarak harcanan yakıt, Metrobüs'ün ilerlemesiyle kümülatif olarak artmaktadır. Yavaşlama etkisiyle, taşıt hızına bağlı olarak değişen dirençlerin toplam yakıt tüketimine etkisi azaltılmıştır. Yerçekimi direncinin yarattığı olumsuz etki telafi edilmiştir. Yavaşlama miktarı belirlenirken, sefer süresindeki artış belli limitler içinde tutulmuştur.

Şekil 4. 2'nin "C" kısmında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi ile çalışma durumunda hesaplanan kümülatif yakıt tüketimleri ve sonuçlar görülmektedir.

ECO - TURK iniş rampalarında, Sabit Hız Rejimi'yle çalışma durumuna göre kümülatif olarak daha az yakıt tüketimi sağlamıştır. Rotanın ilerleyen kısımlarında ECO - TURK'a ait tüketim karakteristiği, Sabit Hız Rejimi ile benzerdir. Kümülatif olarak, Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre daha düşük tüketim değerleri elde edilmiştir.

ECO - TURK, Sabit Hız Rejimi ile çalışmaya karşı Zincirlikuyu – Mecidiyeköy arasında %1.1885 yakıt tasarrufu ve sefer süresinde %1.7746 artış meydana getirmiştir.

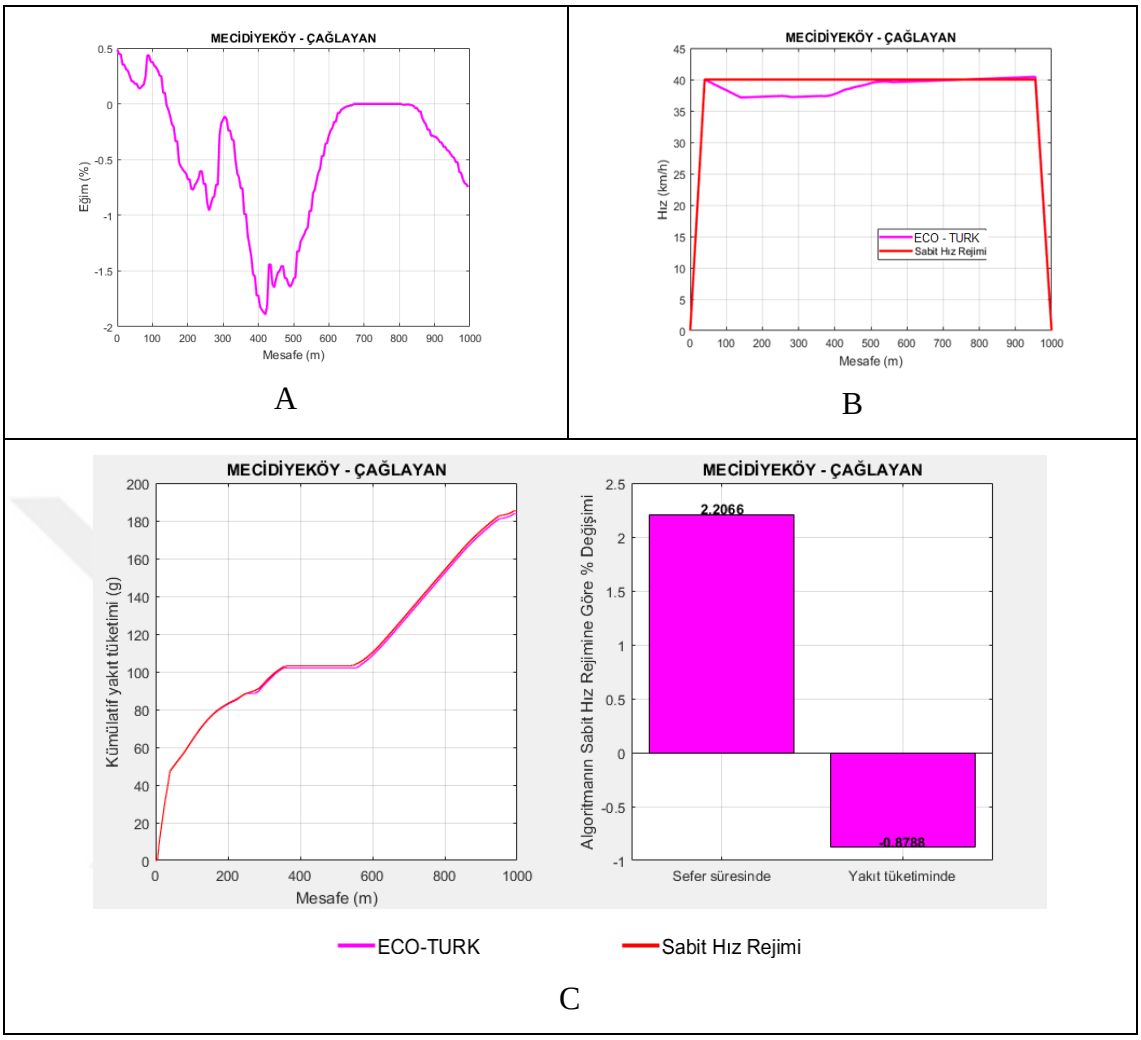
Şekil 4. 3'te Mecidiyeköy – Çağlayan durakları arasına ait yükseklik profili görülmektedir.



Şekil 4. 3 Mecidiyeköy - Çağlayan durakları arası yükseklik profili

Mecidiyeköy – Çağlayan durakları arasının çoğunlukla iniş rampasından meydana geldiği görülmektedir. Rota boyunca bir adet düz yol mevcuttur.

Şekil 4. 4'de Mecidiyeköy – Çağlayan durakları arasındaki denemeden elde edilen sonuçlar, Şekil 4. 4'ün "A" kısmında ise bu rotaya ait eğim profili incelenebilir.



Şekil 4. 4 Mecidiyeköy - Çağlayan durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için) [1]

Şekil 4. 4'ün "B" kısmında Mecidiyeköy – Çağlayan durakları arasında ECO-TURK ve Sabit Hız Rejimi ile çalışma için oluşturulan hız profilleri yer almaktadır.

Mecidiyeköy – Çağlayan durakları arası 1 km'dir. Metrobüs'ün yaklaşık 50 m'de kalkış ve duruş yapacağı tanımlanmıştır. Mecidiyeköy – Çağlayan durakları arası çıkış rampasıyla başlamaktadır. ECO - TURK, çıkış rampasında taşıtın hızını azaltmıştır.

[1] Şekil 4. 4'te "A" kısmı, Mecidiyeköy - Çağlayan durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Mecidiyeköy - Çağlayan durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Mecidiyeköy - Çağlayan durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

bYavaşlama, Sabit Hız Rejimi ile çalışmaya göre yakıt tüketimini azaltma amacıyla yapılmıştır.

Çıkış rampasından hemen sonra iniş rampası başlamaktadır. Metrobüs, yol eğimine bağlı olarak Zincirlikuyu – Mecidiyeköy durakları arasında olduğu gibi yavaşlama eğilimine girmiştir. Sefer süresindeki değişimin, Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre olumsuz olarak etkilenmesini önleme amacıyla hızlanma yapılmıştır.

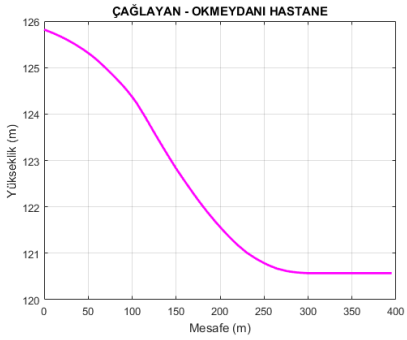
Şekil 4. 4'ün "C" kısmında Mecidiyeköy – Çağlayan durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'yle seyir için hesaplanan kümülatif yakıt tüketimleri ve sonuçlar yer almaktadır.

ECO - TURK Mecidiyeköy – Çağlayan durakları arasındaki iniş rampalarında hareket dirençleri kaynaklı olarak meydana gelen yavaşlamaya belli eğim değerlerine kadar izin vermiştir. Bu durum, ECO - TURK'ün Sabit Hız Rejimi'ne göre daha az yakıt tüketilmesini sağlamasına katkıda bulunmuştur.

Mecidiyeköy – Çağlayan durakları arasında ECO - TURK tarafından oluşturulan hız profiliyle seyir, Sabit Hız Rejimi'yle seyre göre %2.2066 daha yavaştır. İniş rampasında hareket dirençleri kaynaklı meydana gelen yavaşlama, sefer süresinde artışa sebep olmuştur.

ECO - TURK, kullandığı stratejiler ile Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre %0.8788 yakıt tasarrufu sağlamıştır.

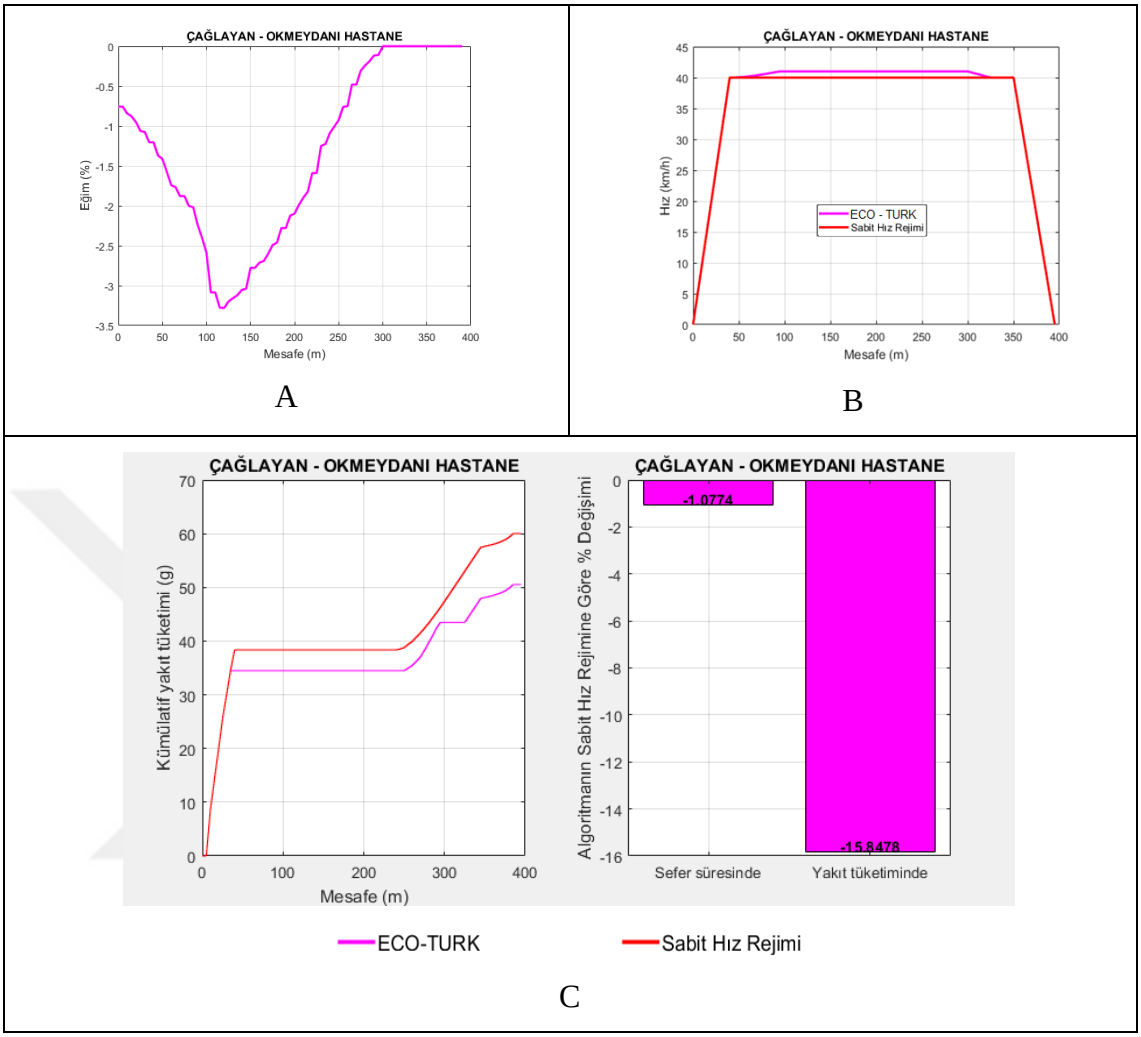
Şekil 4. 5'te Çağlayan – Okmeydanı Hastane durakları arasındaki yükseklik profili görülmektedir.



Şekil 4. 5 Çağlayan – Okmeydanı Hastane durakları arası yükseklik profili

Çağlayan - Okmeydanı Hastane durakları arası, bir iniş rampası ve bir düz yoldan oluşmaktadır. Rota yaklaşık 400 m.'dir. Rotanın yarısından fazlası iniş rampasıdır.

Şekil 4. 6'da Çağlayan – Okmeydanı Hastane durakları arasındaki denemeden elde edilen sonuçlar, Şekil 4. 6'nın "A" kısmında ise bu rotaya ait eğim profili gözlenebilir.



Şekil 4. 6 Çağlayan – Okmeydanı Hastane durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için)[1]

Şekil 4. 6'nın "B" kısmında Çağlayan – Okmeydanı Hastane durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profili görülmektedir.

İki durak arası mesafeye bağlı olarak Metrobüs'ün yaklaşık 50 m'de kalkış ve duruş yapacağı belirlenmiştir.

[1] Şekil 4. 6'da "A" kısmı, Çağlayan – Okmeydanı Hastane durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Çağlayan – Okmeydanı Hastane durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Çağlayan – Okmeydanı Hastane durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

Şekil 4. 6'nın "C" kısmında Çağlayan – Okmeydanı Hastane durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'yle seyir için hesaplanan kümülatif yakıt tüketimleri ve sonuçlar görselleştirilmiştir.

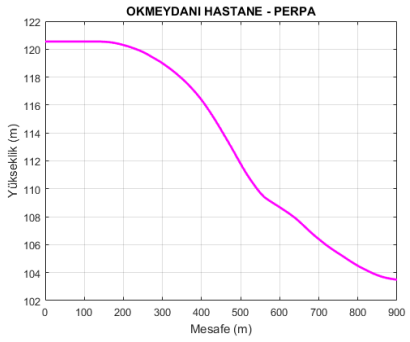
Metrobüs'ün kalkışı sırasındaki yakıt tüketim karakteristiği, hem ECO - TURK'te hem de Sabit Hız Rejimi'nde benzer karakteristiktedir.

İniş rampasında, hareket dirençlerine bağlı olarak yavaşlama meydana gelmiştir. Bu durumda yapılan hızlanma ile ECO - TURK yakıt tüketimini artırmaktadır.

ECO - TURK ile çalışma, Sabit Hız Rejimi ile çalışmaya göre göre %1.0774 daha süratlidir. İniş rampası sırasındaki hızlanma üst limitinin daha yukarı çekilmesiyle bu süratin artması mümkün olabilir.

İlgili rotada ECO - TURK'ün kullanılmasıyla %15.8478 yakıt tasarrufu sağlanmıştır.

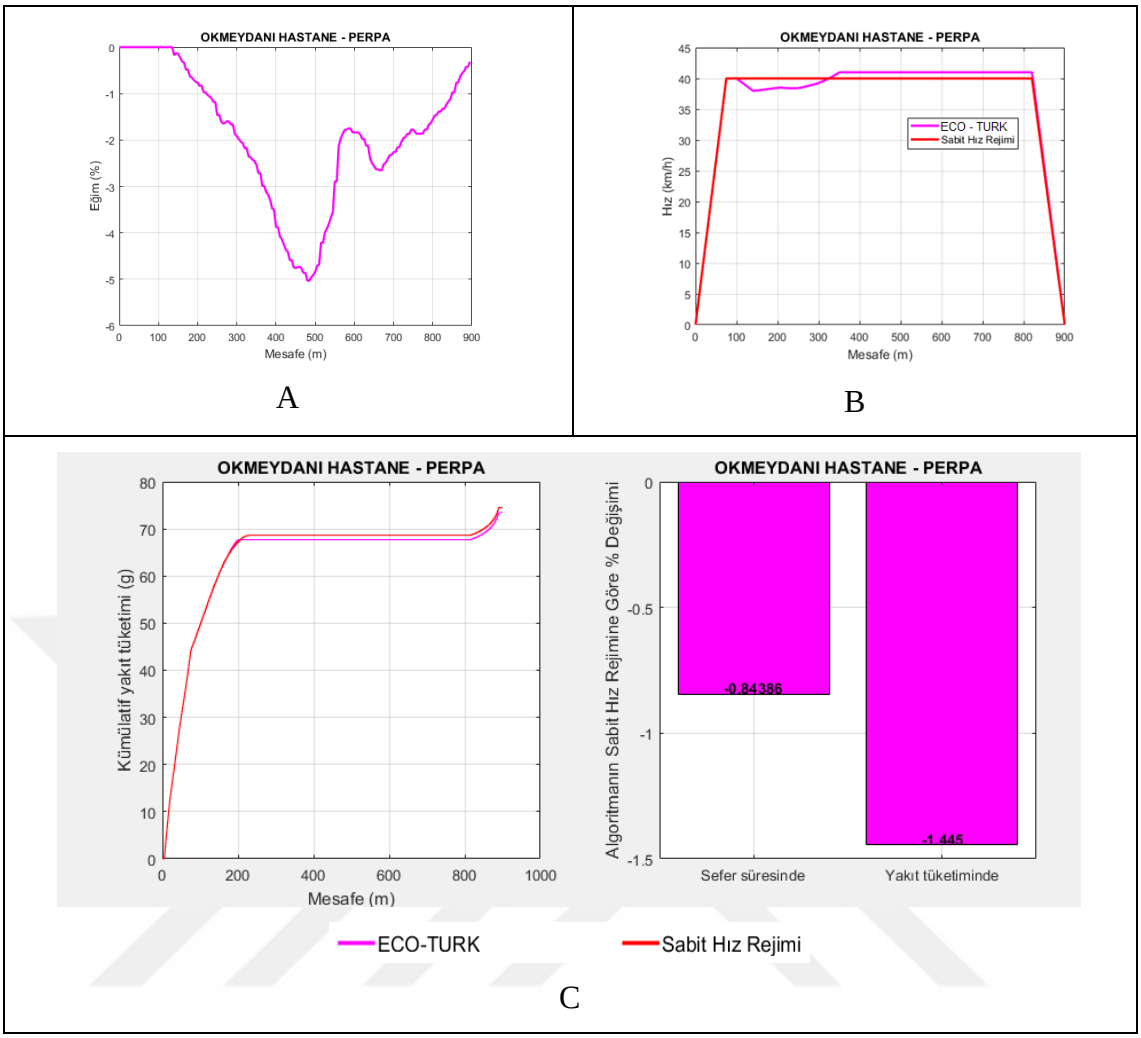
Şekil 4. 7'de Okmeydanı Hastane – Perpa durakları arasındaki yükseklik profili görülmektedir.



Şekil 4. 7 Okmeydanı Hastane - Perpa durakları arası yükseklik profili

Okmeydanı Hastane – Perpa durakları arası bir önceki duraklar arasında olduğu gibi sadece bir iniş rampası ve bir adet düz yoldan meydana gelmektedir.

Şekil 4. 8'de Okmeydanı Hastane - Perpa durakları arasındaki denemeden elde edilen sonuçlar, Şekil 4. 8'in "A" kısmında ise bu rotaya ait eğim profili görülebilir.



Şekil 4. 8 Okmeydanı Hastane - Perpa durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için)[1]

Şekil 4. 8'in "B" kısmında Okmeydanı Hastane – Perpa durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profilleri görülmektedir.

Okmeydanı Hastane – Perpa durakları arası 900 m'dir. Yaklaşık 85 m'lik kalkış ve duruş mesafeleri belirlenmiştir.

Rota bir düz yolla başlamıştır ve hemen ardından iniş rampası gelmektedir. Bu nedenle ECO - TURK iniş rampasına girmeden önce yavaşlama yapmıştır. Yavaşlama ECO - TURK ile çalışmanın Sabit Hız Rejimi ile çalışmaya göre sefer süresindeki değişimine

[1] Şekil 4. 8'de "A" kısmı, Okmeydanı Hastane - Perpa durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Okmeydanı Hastane - Perpa durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Okmeydanı Hastane - Perpa durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

olumsuz, yakıt tasarrufuna ise olumlu etki etmektedir. Sefer süresindeki artışın iniş rampasında telafi edilebildiği görülmüştür.

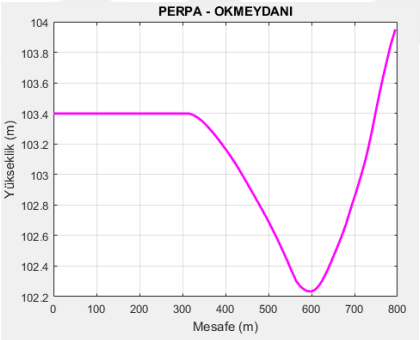
ECO - TURK ile seyirde, iniş rampasında Metrobüs'ün ulaşabileceği hızın üst limiti 41 km/h olarak belirlenmiştir. İniş rampası boyunca, rota sonlanana kadar bu hızla çalışma sağlanmıştır.

Şekil 4. 8'in "C" kısmında Okmeydanı Hastane – Perpa durakları arasındaki kümülatif yakıt tüketimleri ve sonuçlar, ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'yle çalışma durumuna göre yer almaktadır.

Metrobüs iniş rampasına girene kadar, ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'yle çalışma durumlarının kümülatif yakıt tüketimleri tamamen aynıdır. Metrobüs iniş rampasında yavaşlama eğilimine girmemiştir. Bu nedenle iniş rampasında her iki çalışma sisteminde de yakıt tüketimi olmamıştır.

ECO - TURK ile seyir, Sabit Hız Rejimi'yle seyir durumuna göre %0.84386 hızlıdır. Ayrıca ECO - TURK'ün %1.445 yakıt tasarrufu sağladığı görülmektedir.

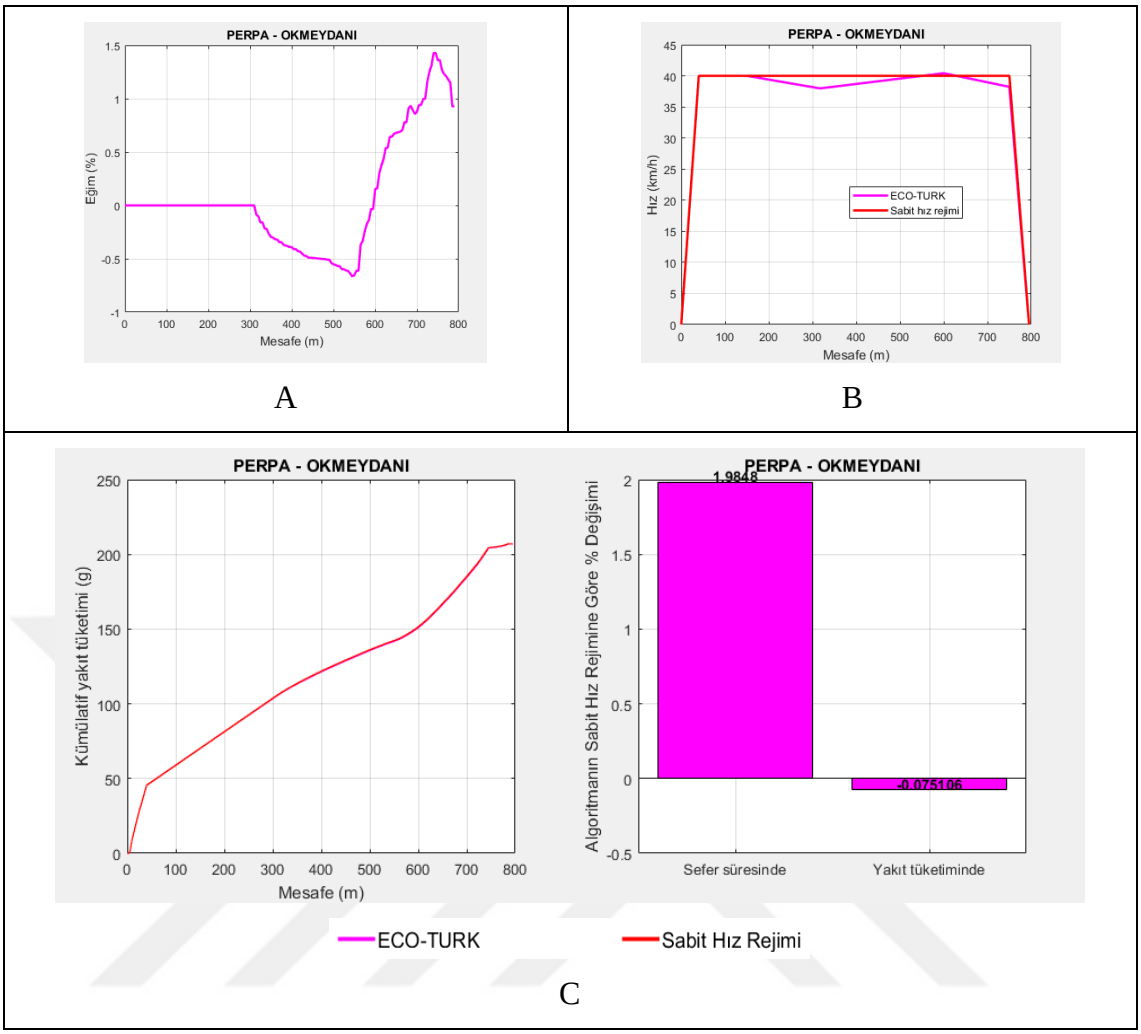
Şekil 4. 9'da Perpa – Okmeydanı durakları arasındaki yükseklik profili yer almaktadır.



Şekil 4. 9 Perpa - Okmeydanı durakları arası yükseklik profili

Perpa – Okmeydanı durakları arasındaki rotanın yaklaşık %25'i iniş rampasından oluşmaktadır. Bu rotadaki iniş rampası bir önceki rotalardan farklı olarak oldukça düşük bir eğim değerine sahiptir ve bu nedenle "riskli" olarak değerlendirilebilecek bir yol segmentidir. Metrobüs bu düşük eğim değerlerinde yavaşlama eğilimine girmektedir. ECO - TURK sefer süresinin sabit hızla seyir durumuna göre yüksek miktarda artmasını önlemek için belli limitler dahilinde hızlanmaktadır.

Şekil 4. 10'da Okmeydanı Hastane - Perpa durakları arasındaki denemeden elde edilen sonuçlar, Şekil 4. 10'un "A" kısmında ise bu rotaya ait eğim profili yer almaktadır.



Şekil 4. 10 Perpa - Okmeydanı durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için)[1]

Şekil 4. 10'un "B" kısmında Perpa – Okmeydanı durakları arasındaki ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profilleri görselleştirilmiştir.

İki durak arası 800 m'dir. Kalkış ve duruşlar yaklaşık 45 m'de yapılacak şekilde olarak belirlenmiştir.

Rotada yer alan iniş rampası, çok düşük bir eğime sahip olduğu için, Metrobüs'ün hızlanması ECO - TURK tarafından çok düşük limitler dahilinde tutulmuştur. Bu değerin

[1] Şekil 4. 10'da "A" kısmı, Perpa - Okmeydanı durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Perpa - Okmeydanı durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Perpa - Okmeydanı durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

yakıt tüketimine etkisinin çok olmaması göz önüne alınarak neredeyse Sabit Hız Rejimi'ne benzer karakteriste olması tasarlanmıştır.

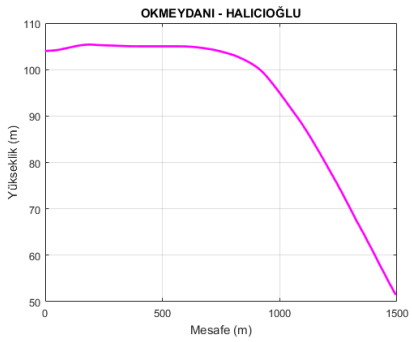
ECO - TURK, çıkış rampasında Metrobüs'ü yavaşlatmıştır. Yavaşlatma sayesinde, yerçekimi direnci etkisiyle kümülatif tüketim değeri daha hızlı artan yakıtın, daha durağan bir şekilde harcanması amaçlanmıştır.

Şekil 4. 10'un "C" kısmında iki ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'yle çalışma durumu için hesaplanan kümülatif yakıt tüketimleri ve sonuçlar gözlenmektedir.

Her iki çalışma sisteminde de kalkış sırasında aynı miktarda yakıt tüketimi meydana gelmiştir. İniş rampasında ise ECO - TURK tarafından sağlanan hızlanma sonucu, yakıt tüketimi Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre bir miktar artmıştır. Çıkış rampasında ECO - TURK'ün yavaşlayarak ilerleme stratejisi, yakıt tüketimindeki bu artışı telafi etmiştir.

ECO - TURK, iniş rampasında sınırlı hızlanma ve çıkış rampasında yavaşlayarak ilerleme stratejileri ile, Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre sefer süresinde %1.9848'lik artışa sebep olmuştur. Yakıt tüketiminde ise ECO - TURK %0.075106 tasarrufu sağlamıştır.

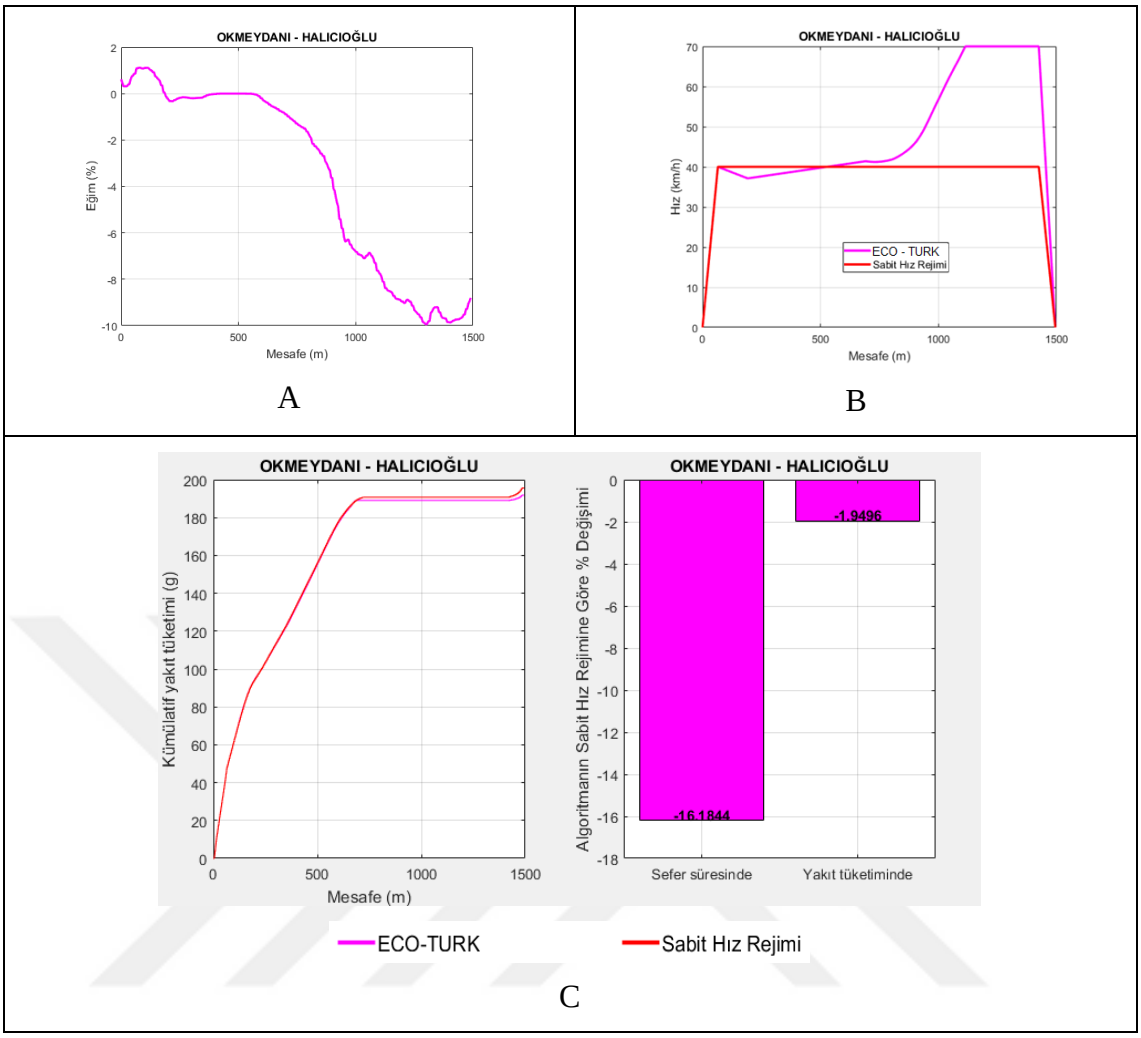
Şekil 4.11'de Okmeydanı – Halıcıoğlu durakları arasına ait yükseklik profili yer almaktadır.



Şekil 4. 11 Okmeydanı – Halıcıoğlu durakları arası yükseklik profili

Okmeydanı – Halıcıoğlu durakları arası çıkış rampası, düz yol ve iniş rampasından meydana gelmektedir. Bu tip rotalarda ayrıca bir çıkış rampası olduğu için hızlanma üst limitinin 70 km/h'e çekilmesi mümkün olmuştur.

Şekil 4. 12'de Okmeydanı Hastane - Perpa durakları arasındaki denemeden elde edilen sonuçlar, Şekil 4. 12'nin "A" kısmında ise bu rotaya ait eğim profili görselleştirilmiştir.



Şekil 4. 12 Okmeydanı - Halıcıoğu durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için)[1]

Şekil 4. 12'nin "B" kısmında Okmeydanı – Halıcıoğlu durakları arasındaki ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profilleri görülmektedir.

1.5 km'lik uzunluğa sahip Okmeydanı – Halıcıoğlu durakları arasındaki rotada, yaklaşık 90 m'lik kalkış ve duruş mesafeleri tanımlanmıştır.

Çıkış rampasında ECO - TURK tarafından oluşturulan hız profilinde yavaşlama söz konusudur. Bu yavaşlama ile yakıt tüketiminde Sabit Hız Rejimi'yle seyir durumuna göre

[1] Şekil 4. 12'de "A" kısmı, Okmeydanı - Halıcıoğlu durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Okmeydanı - Halıcıoğlu durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Okmeydanı - Halıcıoğlu durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

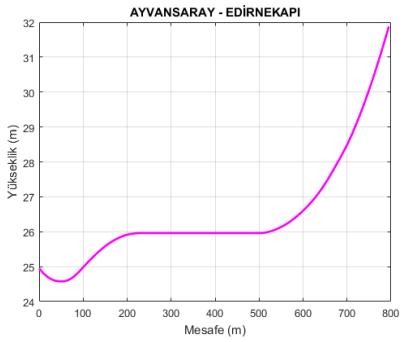
iyileşme meydana gelmiştir. İniş rampasına girmeden önce sağlanan yavaşlama ile yakıt tüketimindeki iyileşme artar vaziyete gelmiştir.

Şekil 4. 12'nin "C" kısmında Okmeydanı – Halıcıoğlu durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'yle seyir durumunda oluşan kümülatif yakıt tüketimleri ve sonuçlar görülmektedir.

Metrobüs'ün yakıt tüketimi her iki çalışma sisteminde de kalkış esnasında aynıdır. İniş rampasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'yle çalışmada yakıt tüketimi gözlenmemiştir.

İniş rampasındaki maksimum hız değerinin değişmesiyle ECO - TURK ile çalışmada sefer süresinde %16.1844 azalma, tüketimde ise %1.9496 tasarruf sağlanmıştır.

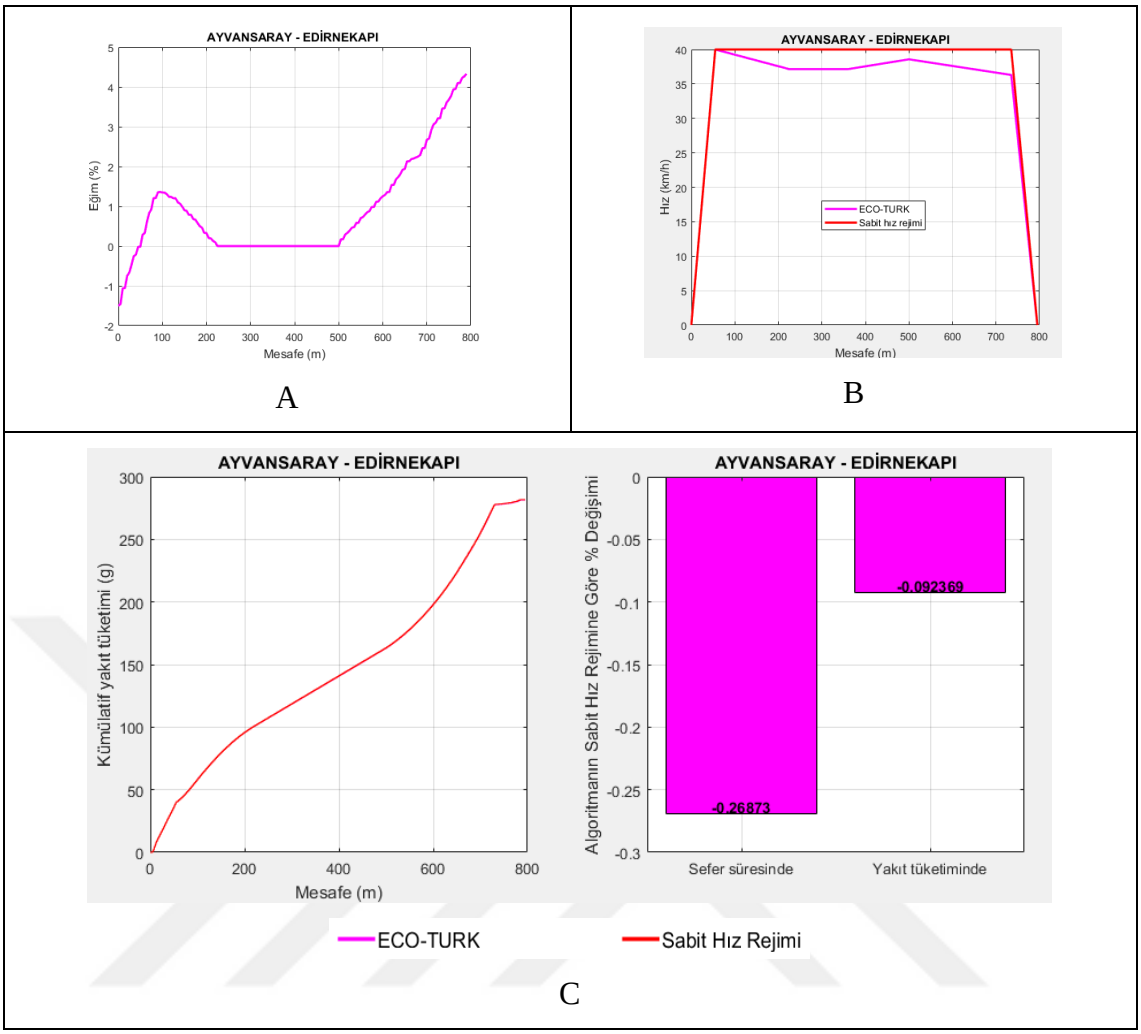
Şekil 4. 13'te Ayvansaray – Edirnekapı durakları arasındaki yükseklik profili gösterilmektedir.



Şekil 4. 13 Ayvansaray – Edirnekapı durakları arası yükseklik profili

Ayvansaray – Edirnekapı durakları arasında yoğun miktarda çıkış rampası bulunmaktadır. Mevcut olan 2 adet çıkış rampası arasında bulunan düz yol, sefer süresinindeki değişimi ECO - TURK lehine iyileştirmek için kullanılmaktadır. Ancak burda meydana gelecek hızlanma sonucu ivme direncinde artış yaşanmaktadır. Bu durum da yakıt tüketiminde ECO - TURK ile seyir için bozulmalara yol açabilir.

Şekil 4. 14'de Ayvansaray - Edirnekapı durakları arasındaki denemeden elde edilen sonuçlar, Şekil 4. 14'ün "A" kısmında ise bu rotaya ait eğim profili yer almaktadır.



Şekil 4. 14 Ayvansaray - Edirnekapı durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için)[1]

Şekil 4. 14'ün "B" kısmında Ayvansaray – Edirnekapı durakları arasında, ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profilleri karşılaştırmalı olarak incelenebilmektedir.

Ayvansaray – Edirnekapı durakları arası 800 m'dir. Yaklaşık 50 m'lik kalkış ve duruş mesafesi tanımlanmıştır.

Çıkış rampalarında yer çekimi direncinin yakıt tüketimine olumsuz etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle ECO - TURK –tüm rotalarda olduğu gibi- bu rotada da çıkış rampalarında Metrobüs'ün hızını düşürmüştür. Bu yol segmentinde hızın çok fazla azaltılması, Sabit Hız Rejimi'yle çalışma durumuna göre belirgin miktarda yakıt tasarrufunu sağlar. Ancak

[1] Şekil 4. 14'te "A" kısmı, Ayvansaray - Edirnekapı durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Ayvansaray - Edirnekapı durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Ayvansaray - Edirnekapı durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

sefer süresinde yaşanacak ciddi artış, yakıt tasarrufunda sağlanacak bu iyileşmeyi geri planda bırakmaktadır.

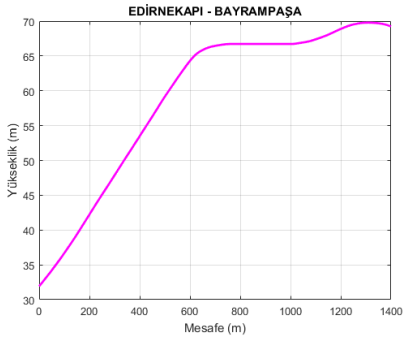
İki çıkış rampasında yer alan düz yolda, Metrobüs'ün hızının Sabit Hız Rejimi'ne göre bir miktar artışı sağlanmıştır. Daha fazla hız artışlarında ivme direncinin artışı sebebiyle ECO - TURK'ün meydana getirdiği yakıt tasarrufunda bozulmalar gözlenebilir.

Şekil 4. 14'ün "C" kısmında Ayvansaray – Edirnekapı durakları arasına ait kümülatif yakıt tüketim karakteristikleri, ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi ile seyir için verilmiştir.

Her iki çalışma sistemi için kümülatif yakıt tüketim karakteristikleri birbirlerine çok yakındır. ECO - TURK ile seyrin, Sabit Hız Rejimi'ne göre daha düşük hızlarda olduğu bölgelerde, yakıt tasarrufunun gözle görülür şekilde iyileştiği görülmektedir. İki çıkış rampası arasındaki düz yolda ivmelenme sırasında Sabit Hız Rejimi'ne göre daha fazla ivme direnciyle karşılaşılmıştır. Bu durum, rotanın sonlarına doğru ECO - TURK ile çalışma sonucu hesaplanan kümülatif yakıt tüketiminin, sabit hız rejim ile çalışmaya yaklaşmasına sebep olmuştur.

İki durak arasında yoğun şekilde yer alan çıkış rampaları ve bu rampalar arasında yer alan düz yolda hızlanma gereksinimi sonucu, ECO - TURK Sabit Hız Rejimi'ne göre %0.26873 hızlı ilerlemiş ve %0.092369 yakıt tasarrufu sağlanmıştır.

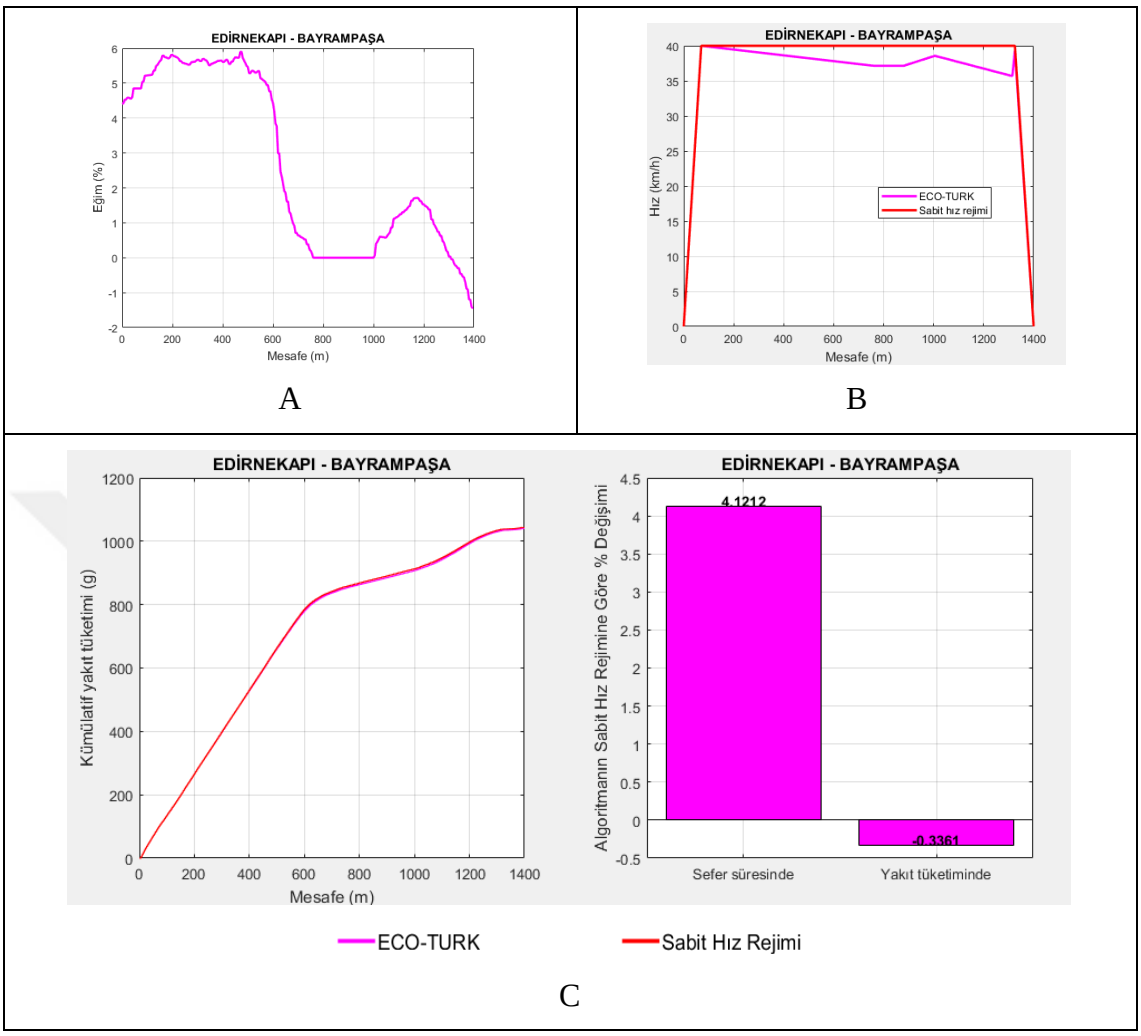
Şekil 4. 15'te Edirnekapı – Bayrampaşa durakları arasına ait yükseklik profili görselleştirilmiştir.



Şekil 4. 15 Edirnekapı – Bayrampaşa durakları arası yükseklik profili

Edirnekapı – Bayrampaşa durakları arası bir önceki rotaya benzer şekilde çıkış rampası ağırlıklıdır. Yol segmentlerinin uzunlukları ve eğimleri arasındaki farklılık, ECO - TURK'ün Sabit Hız Rejimiye çalışma durumuna göre farklı sefer süresi ve tüketim değerleri değişimi göstermesine neden olmuştur.

Şekil 4. 16'da Edirnekapı - Bayrampaşa durakları arasındaki denemeden elde edilen sonuçlar, Şekil 4. 16'nın "A" kısmında ise bu rotaya ait eğim profili verilmiştir.



Şekil 4. 16 Edirnekapı - Bayrampaşa durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için)[1]

Şekil 4. 16'nın "B" kısmında Edirnekapı – Bayrampaşa durakları arasında ECO - TURK ve sabit hız rejime ait hız profilleri verilmiştir.

1.4 km uzunluğa sahip Edirnekapı – Bayrampaşa arasında yaklaşık 85 m'lik kalkış ve duruş mesafeleri belirlenmiştir.

[1] Şekil 4. 16'da "A" kısmı, Edirnekapı - Bayrampaşa durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Edirnekapı - Bayrampaşa durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Edirnekapı - Bayrampaşa durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

Rota çıkış rampasıyla başlamıştır ve bu rampa rotanın yaklaşık ortasına kadar devam etmektedir. Bu nedenle rotanın büyük bölümünde, ECO - TURK ile çalışmada, Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre daha düşük hızlar görülmektedir. Sabit Hız Rejimi'ne ait hız değerlerinden fazla düşük hızlarda çalışmak, yakıt tasarrufundaki iyileşmeye çok olumlu katkıda bulunmasına rağmen, sefer süresindeki değişimde istenmeyen artışlara sebep olur. Bu nedenle Sabit Hız Rejimi çevresinden çok uzaklaşılmaması gereklidir.

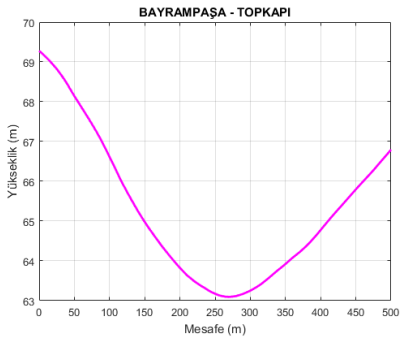
ECO - TURK ile çalışmada, iki çıkış rampasında yer alan düz yolda, bir önceki rotada olduğu gibi hızlanma sağlanmış ve çıkış rampalarında meydana gelen sefer süresi artışı elimine edilmeye çalışılmıştır.

Şekil 4. 16'nın "C" kısmında Edirnekapı – Bayrampaşa durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimleri ve sonuçlar incelenebilir.

Rotanın büyük kısmında ECO - TURK ile çalışmanın, Sabit Hız Rejimi'ne göre düşük hızlarda seyir sağlaması, rotanın tüm bölgelerinde Sabit Hız Rejimi'nden daha az yakıt tüketilmesini sağlamıştır.

ECO - TURK, yolun büyük bölümünü Sabit Hız Rejimi'nden düşük hızlarda seyretmeye neden olduğu için Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre sefer süresinde %4.1212 artış yaşatmıştır. Yakıt tüketiminde ise %0.3361 azalma ECO - TURK ile sağlamıştır.

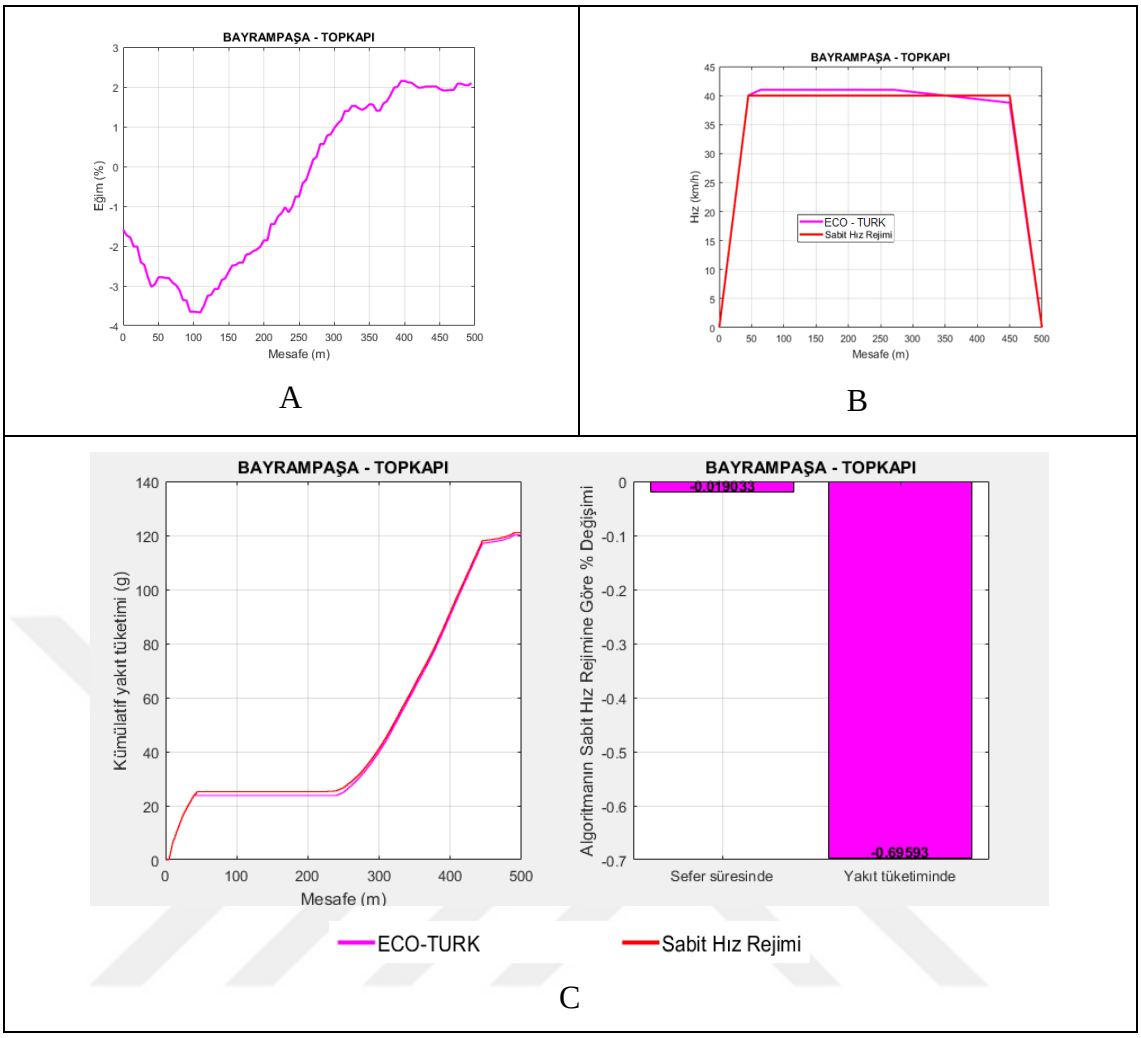
Şekil 4. 17'da Bayrampaşa – Topkapı durakları arasındaki yükselik profili yer almaktadır.



Şekil 4. 17 Bayrampaşa – Topkapı durakları arası yükseklik profili

Bayrampaşa – Topkapı durakları arası 1 adet iniş ve 1 adet çıkış rampasından oluşan ve hiç düz yol içermeyen bir rotadır.

Şekil 4. 18'de Bayrampaşa - Topkapı durakları arasındaki denemeden elde edilen sonuçlar, Şekil 4. 18'in "A" kısmında ise bu rotaya ait eğim profili görülmektedir.



Şekil 4. 18 Bayrampaşa - Topkapı durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için)[1]

Şekil 4. 18'in "B" kısmında Bayrampaşa – Topkapı durakları arasında her iki çalışma sistemine ait hız profilleri yer almaktadır.

Duraklar arası diğer rotalara kıyasla daha az uzunluğa sahiptir ve bu nedenle kalkış ve duruşlar yaklaşık 50 m olarak tanımlanmıştır.

Rotanın hemen başlangıcında yer alan iniş rampasında ulaşılabilecek maksimum hız ECO - TURK'te 41 km/h olarak önceden komutlanmıştır. İniş rampasından hemen sonra yer alan çıkış rampasında, Metrobüs'ün hızı 41 km/h'ten azalmaya başlamıştır.

[1] Şekil 4. 18'de "A" kısmı, Bayrampaşa – Topkapı durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Bayrampaşa – Topkapı durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Bayrampaşa – Topkapı durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

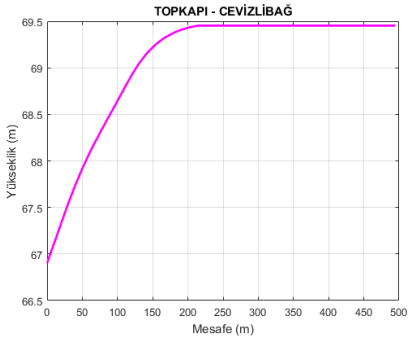
Şekil 4. 18'in "C" kısmında Bayrampaşa – Topkapı durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'yle seyir durumlarına ait kümülatif yakıt tüketimleri ve sonuçlar görselleştirilmiştir.

İniş rampalarında yol eğimine bağlı olarak, çok kısa mesafelerde dahi yakıt tüketimi meydana gelmesi olasıdır. Bu durum iki çalışma sistemi ile seyir sırasında, ECO - TURK'ün sahip olduğu stratejilerin daha iyi bir yakıt tüketimi performansı sergilemesini sağlamıştır.

ECO - TURK ile çalışmada, Sabit Hız Rejimi'ndeki hılzardan çok fazla uzaklaşılmaması sonucu sefer süresi değişimi neredeyse olmamıştır. ECO - TURK ilgili rotayı Sabit Hız Rejimi'ne göre %0.019033 hızlı işletmiştir.

ECO - TURK'ün çıkış rampasında etkili bir yavaşlama sağlanması sebebiyle yakıt tüketiminde ECO - TURK lehine %0.69593 iyileşme gözlenmiştir.

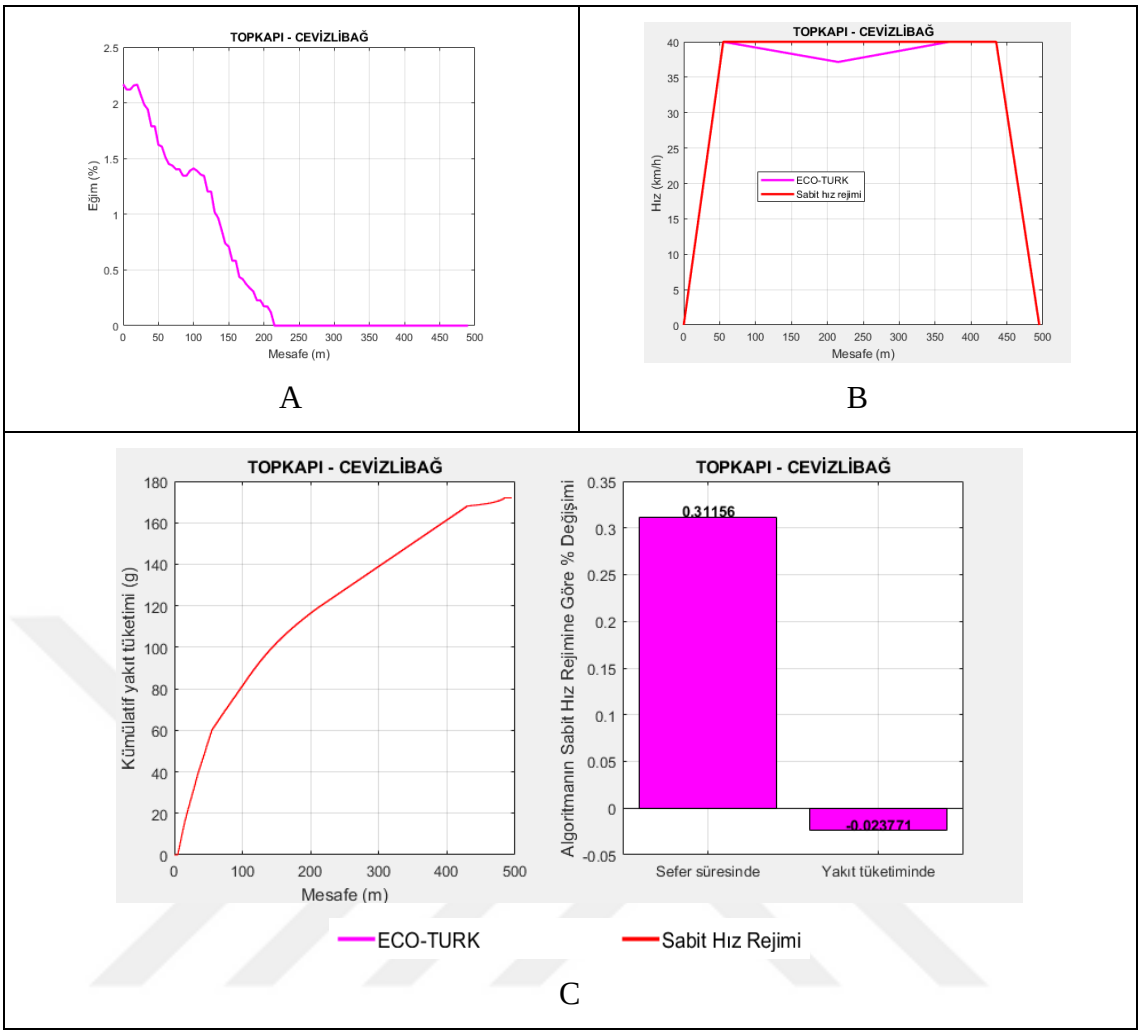
Şekil 4. 19'de Topkapı Cevizlibağ durakları arasına ait yükseklik profili yer almaktadır.



Şekil 4. 19 Topkapı – Cevizlibağ durakları arası yükseklik profili

Topkapı – Cevizlibağ durakları arası yaklaşık yarısı çıkış rampası olmak üzere 500 m'lik bir rotadır.

Şekil 4. 20'de Topkapı - Cevizlibağ durakları arasındaki denemeden elde edilen sonuçlar, Şekil 4. 20'nin "A" kısmında ise bu rotaya ait eğim profili incelenebilir.



Şekil 4. 20 Topkapı - Cevizlibağ durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için)[1]

Şekil 4. 20'nin "B" kısmında Topkapı – Cevizlibağ durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profilleri görülmektedir.

Rotada yaklaşık 50 m'lik kalkış ve duruş mesafeleri belirlenmiştir.

ECO - TURK tarafından oluşturulan hız profili incelendiğinde, önceki rotalarda olduğu gibi çıkış rampasında hızda azalma ve çıkış rampası sonundaki düz yolda Sabit Hız Rejimi'ne yaklaşma eğilimi gözlenmektedir.

[1] Şekil 4. 20'de "A" kısmı, Topkapı - Cevizlibağ durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Topkapı - Cevizlibağ durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Topkapı - Cevizlibağ durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

ECO - TURK ile çalışma sırasında rotanın hiçbir kısmında Sabit Hız Rejimi'nden yüksek hızlara ulaşılmamıştır. Rota boyunca hiç iniş rampası bulunmaması böylesi bir sonuca neden olmuştur.

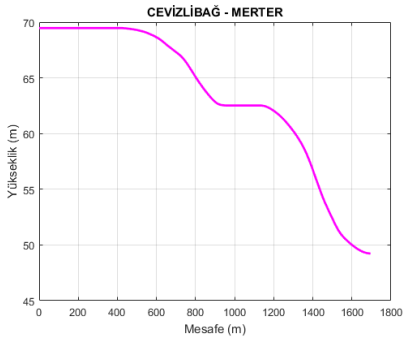
Şekil 4. 20'nin "C" kısmında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'yle seyir sonucu meydana gelen kümülatif yakıt tüketimlerinin karşılaştırılması ve sonuçlar verilmiştir.

Rotanın tamamının Sabit Hız Rejimi'yle aynı veya daha düşük hızda seyredilmesi sonucu, ECO - TURK ile çalışmada rotadaki tüm noktalarda daha düşük yakıt tüketimi sağlanmıştır.

ECO - TURK ile çalışma hızının, Sabit Hız Rejimi ile çalışma hızından düşük olduğu yerlerde, iki çalışma sistemi arasında tüketilen yakıt miktarları arasındaki fark artmıştır. Bu farkın yarattığı avantaj rotanın sonuna kadar devam etmiştir.

Tüm rotanın Sabit Hız Rejimi'yle aynı veya ondan daha düşük hızlarda seyredilmesi sonucu, ECO - TURK sefer süresinde %0.31156 artışa sebep olmuştur. Ancak bu seyrin bir sonucu olarak %0.023731 yakıt tasarrufu ECO - TURK tarafından başarılmıştır.

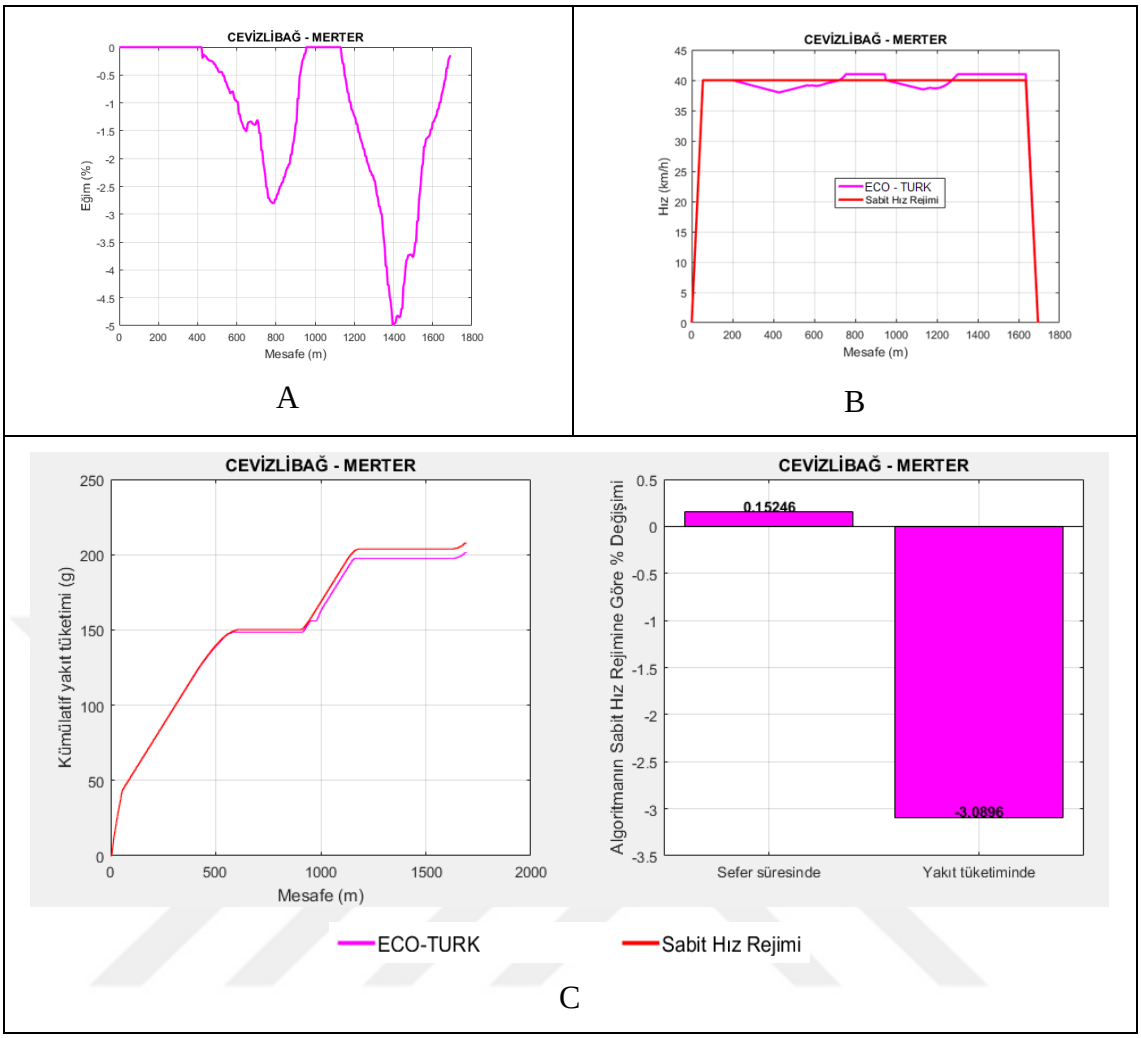
Şekil 4. 21'de Cevizlibağ – Merter durakları arasına ait yükseklik profili görülmektedir.



Şekil 4. 21 Cevizlibağ - Merter durakları arası yükseklik profili

Cevizlibağ – Merter durakları arası daha önce de karşılaşılan ve sadece düz yollar ile iniş rampalarından oluşan bir rotadır.

Şekil 4. 22'de Cevizlibağ - Merter durakları arasındaki denemeden elde edilen sonuçlara, Şekil 4. 22'nin "A" kısmında ise bu rotaya ait eğim profiline yer verilmiştir.



Şekil 4. 22 Cevizlibağ - Merter durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için)[1]

Şekil 4. 22'nin "B" kısmında Cevizlibağ – Merter durakları arasında ECO - TURK tarafından oluşturulan ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profilleri incelenebilir.

1.7 km uzunluğa sahip rotada yaklaşık 85 m'lik kalkış ve duruş mesafeleri öngörülmüştür.

ECO - TURK ile çalışmada, iniş rampalarının bazı bölgelerinde yol eğimi ve dirençlere bağlı olarak Metrobüs yavaşlama eğilimine girmiştir. Sefer süresinde ciddi artışlara yol açılmasını önlemek amacıyla ECO - TURK bu bölgelerde hızlanma sağlamıştır.

[1] Şekil 4. 22'de "A" kısmı, Cevizlibağ - Merter durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Cevizlibağ - Merter durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Cevizlibağ - Merter durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

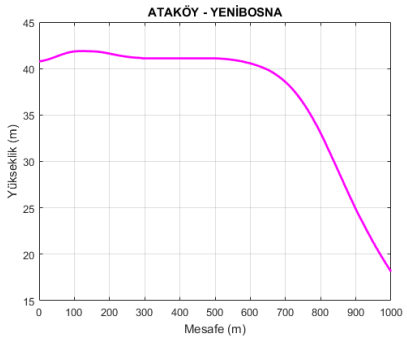
İniş rampaları arasındaki düz yolda, Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre yakıt tasarrufunu sağlamak amacıyla ECO - TURK, Metrobüs hızını düşürmektedir.

Şekil 4. 22'nin "C" kısmında Cevizlibağ – Merter durakları arasında ECO - TURK tarafından oluşturulan hız profiliyle ve sabit hız profiliyle seyir sonucu meydana gelen kümülatif yakıt tüketimlerinin karşılaştırılması ve sonuçlar yer almaktadır.

İniş rampalarının her noktasında iki çalışma sistemi için de yakıt tüketimi 0 değildir. ECO - TURK, iniş rampalarında dirençler nedeniyle meydana gelen yavaşlamayı belli limitler dahilinde engellemektedir. Bunun sonucu olarak ECO - TURK ile çalışmada, iniş rampalarının bazı kısımlarında yakıt tüketilmiştir.

ECO - TURK'ün rotanın bir kısmının Sabit Hız Rejimi'nden düşük hızlarda seyretmeyi sağlaması sonucunda sefer süresinde Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre % 0.15246 artış yaşanmıştır. Buna karşılık yakıt tüketiminde, Sabit Hız Rejimi'ne göre %3.0896 tasarruf sağlamıştır. İniş rampasının bazı bölgelerinde ECO - TURK ile çalışmada yavaşlamaya izin verilmesi, bu tasarrufun sağlanmasında başlıca etken olmuştur.

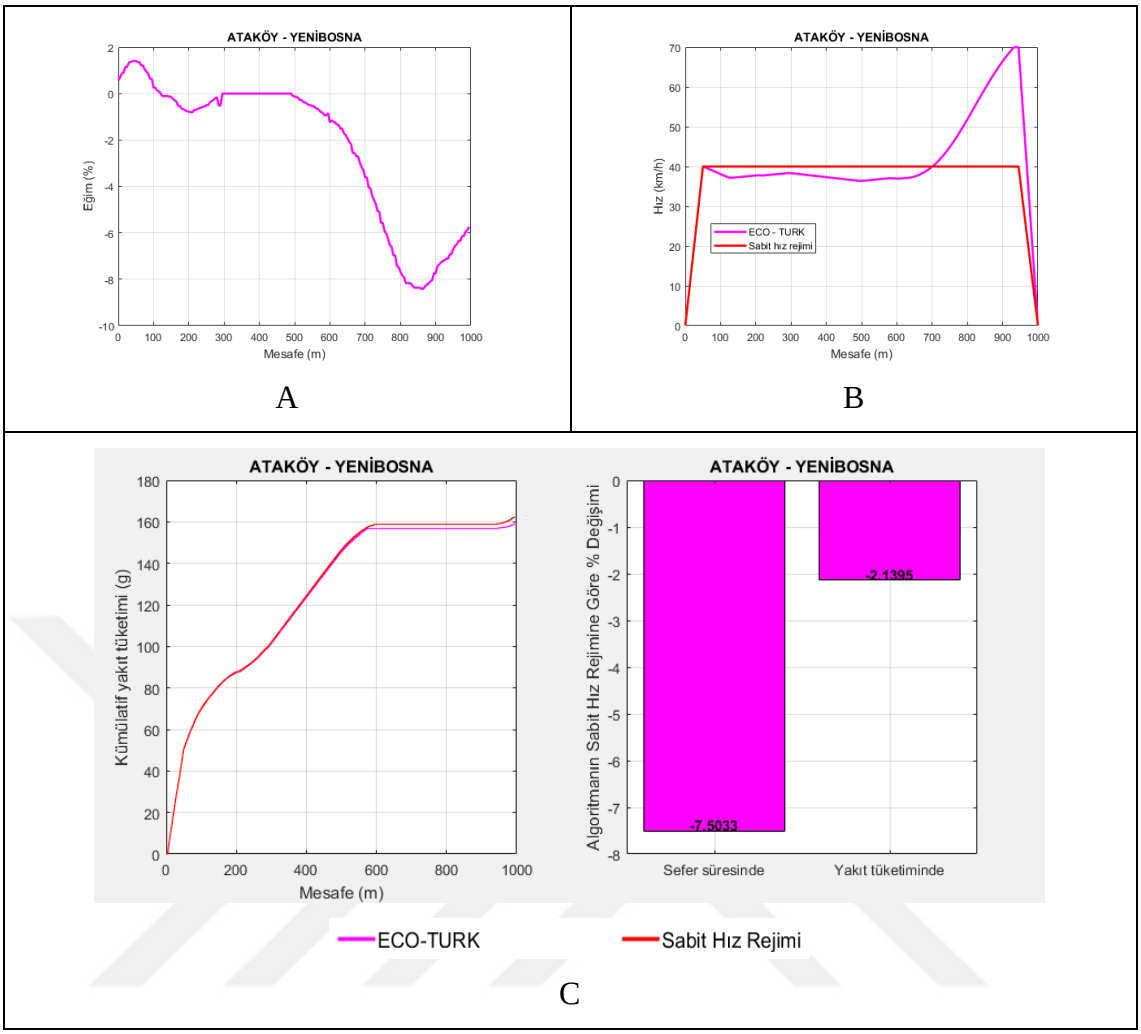
Şekil 4. 23'te Ataköy – Yenibosna durakları arasındaki yükseklik profili görülmektedir.



Şekil 4. 23 Ataköy – Yenibosna durakları arası yükseklik profili

Ataköy – Yenibosna durakları arası 1 km uzunluğa sahip olup, iniş rampası, düz yol ve çıkış rampasından oluşmaktadır.

Şekil 4. 24'de Ataköy - Yenibosna durakları arasındaki denemeden elde edilen sonuçlara, Şekil 4. 24'ün "A" kısmında ise bu rotaya ait eğim profiline yer verilmiştir.



Şekil 4. 24 Ataköy - Yenibosna durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için)[1]

Şekil 4. 24'ün "B" kısmında Ataköy – Yenibosna durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profilleri yer almaktadır.

Ataköy – Yenibosna durakları arasındaki rota, önceki bazı rotalara benzer şekilde iniş rampası ve düz yollar içermektedir. Farklı olarak rotanın başlangıcında bir çıkış rampası bulunmaktadır. Bu farklılıktan dolayı iniş rampasındaki maksimum hız ECO - TURK tarafından 41 km/h'ten farklı olarak belirlenmiştir.

İlgili rotada yaklaşık 50 m'lik kalkış ve duruş mesafeleri tanımlanmıştır.

[1] Şekil 4. 24'te "A" kısmı, Ataköy - Yenibosna durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Ataköy - Yenibosna durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Ataköy - Yenibosna durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

ECO - TURK, iki iniş rampasında yer alan düz yolda, yakıt tasarrufu sağlama amacıyla ivmelenmeler meydana getirilmiştir. Bu ivmelenmelerin yakıt tasarrufuna olan olumsuz etkisinin mümkün olduğunca az tutulması amaçlanmıştır.

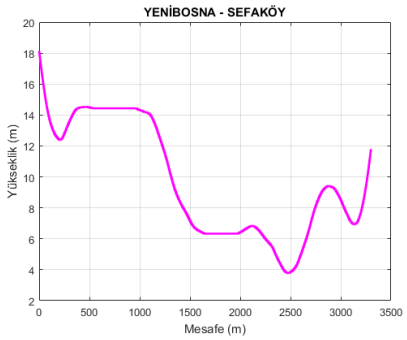
Şekil 4. 24'ün "C" kısmında Ataköy – Yenibosna durakları arasıda meydana gelen yakıt tüketimleri ve sonuçlar ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi ile seyir için kümülatif olarak ayrı ayrı verilmiştir.

İki iniş rampasından meydana gelen rotada, ilk iniş rampası kendiliğinden hızlanmak için yeterli eğime sahip olmadığı için Metrobüs yavaşlama eğilimine girmiştir. ECO - TURK bu yavaşlamaya bir miktar izin vererek yakıt tasarrufunda Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre iyileşme sağlamıştır.

Rampalar arasında yer alan düz yolda, ECO - TURK Metrobüs'ün hızını azaltarak, Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre daha iyi bir yakıt tüketim performansı göstermiştir.

ECO - TURK, ikinci iniş rampasında hızlanma üst limitini 70 km'h'e çıkararak %7.5033 sefer süresi tasarrufu sağlamıştır. İniş rampasının bazı kısımlarıda yavaşlamaya izin verilmesi ve iki iniş şrampası arasındaki düz yolda hız düşümü sağlanarak, Sabit Hız Rejimi ile çalışmaya göre %2.1395 yakıt tasarrufu gözlenmiştir.

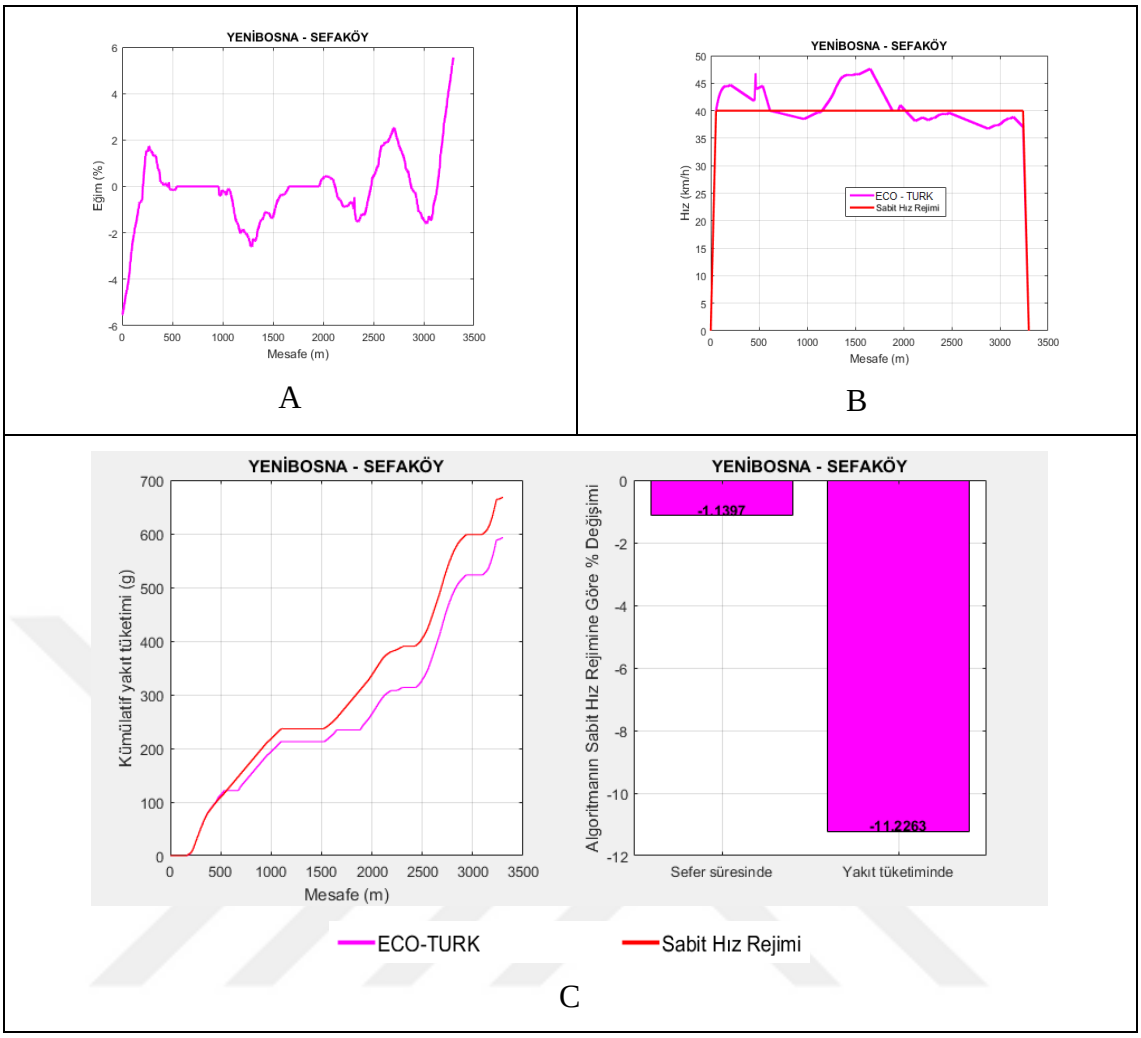
Şekil 4. 25'te Yenibosna – Sefaköy durakları arasındaki yükseklik profili görselleştirilmiştir.



Şekil 4. 25 Yenibosna - Sefaköy durakları arası yükseklik profili

Yapılan denemeler boyunca karşılaşılan ve yol segmentleri olarak en çok çeşide sahip rota Yenibosna – Sefaköy durakları arasıdır. Yaklaşık 3.3 km'den oluşan rotada iniş ve çıkış rampaları ve düz yollar yer almaktadır.

Şekil 4. 26'da Yenibosna - Sefaköy durakları arasındaki denemeden elde edilen sonuçlar, Şekil 4. 26'nın "A" kısmında ise bu rotaya ait eğim profili görülmektedir.



Şekil 4. 26 Yenibosna - Sefaköy durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için)[1]

Şekil 4. 26'nın "B" kısmında Yenibosna – Sefaköy durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'yle seyre ait hız profilleri yer almaktadır.

İlgili rotada yaklaşık 60 m'lik kalkış ve duruş mesafeleri komutlanmıştır.

Rota boyunca karşılaşılan çıkış rampalarında ECO - TURK hızını yavaşlatmış, iniş rampalarında yavaşlamaya kısmen izin vermiş ve rampalar arasında bulunan düz yollarda, düz yolun tipine bağlı olarak tanımlanmış stratejileri uygulamıştır. Rotada maksimum iniş rampası hızı ECO - TURK tarafından 70 km/h olarak berlirlenmiştir.

[1] Şekil 4. 26'da "A" kısmı, Yenibosna - Sefaköy durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Yenibosna - Sefaköy durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Yenibosna - Sefaköy durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

Şekil 4. 26'nın "C" kısmında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya ait kümülatif yakıt tüketim karakteristikleri ve sonuçlar yer almaktadır.

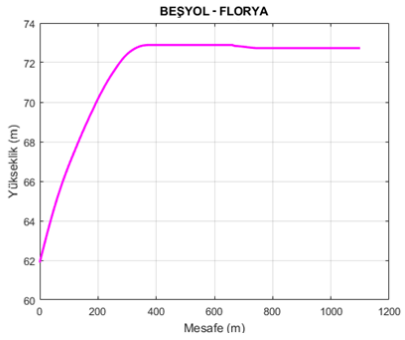
Yenibosna – Sefaköy durakları arasıda ECO - TURK ve sabit hız rejimyle çalışma sonucu hesaplanan kümülatif yakıt tüketimleri benzer karakteristikler sergilemiştir. Önceki rotalardan farklı olarak, ECO - TURK rotanın bazı kısımlarında Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre bir miktar fazla yakıt tüketme eğilimine girmiştir. İniş rampalarında yol eğimine bağlı olarak yavaşlayan Metrobüs'ün hızlandırılması bu olumsuzluğa sebep olmuştur. Rotanın ilerleyen kısımlarında bu artış telafi edilmiştir. Bazı bölgelerde Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre yakıt tüketimindeki değişim gözle görülür biçimde artmıştır.

İniş rampalarında yavaşlamaya bir miktar izin veren ECO - TURK, bu yol segmentlerinde Sabit Hız Rejimi'ne göre daha az yakıt tüketilmesini sağlamıştır.

Yenibosna – Sefaköy durakları arasında iniş rampalarının çokluğu ve buralarda maksimum hızın 70 km/h olarak tanımlanmasıyla ECO - TURK sefer süresinde %1.1397 iyileşme sağlamıştır.

İniş rampalarında yavaşlamaya bir miktar izin verilmesinin en büyük etkide bulunduğu yakıt tüketim performansında ise, ECO - TURK %11.263 tasarruf sağlamıştır. Çıkış rampalarında hız azaltma stratejisi de bu sonuca olumlu katkı sağlamıştır.

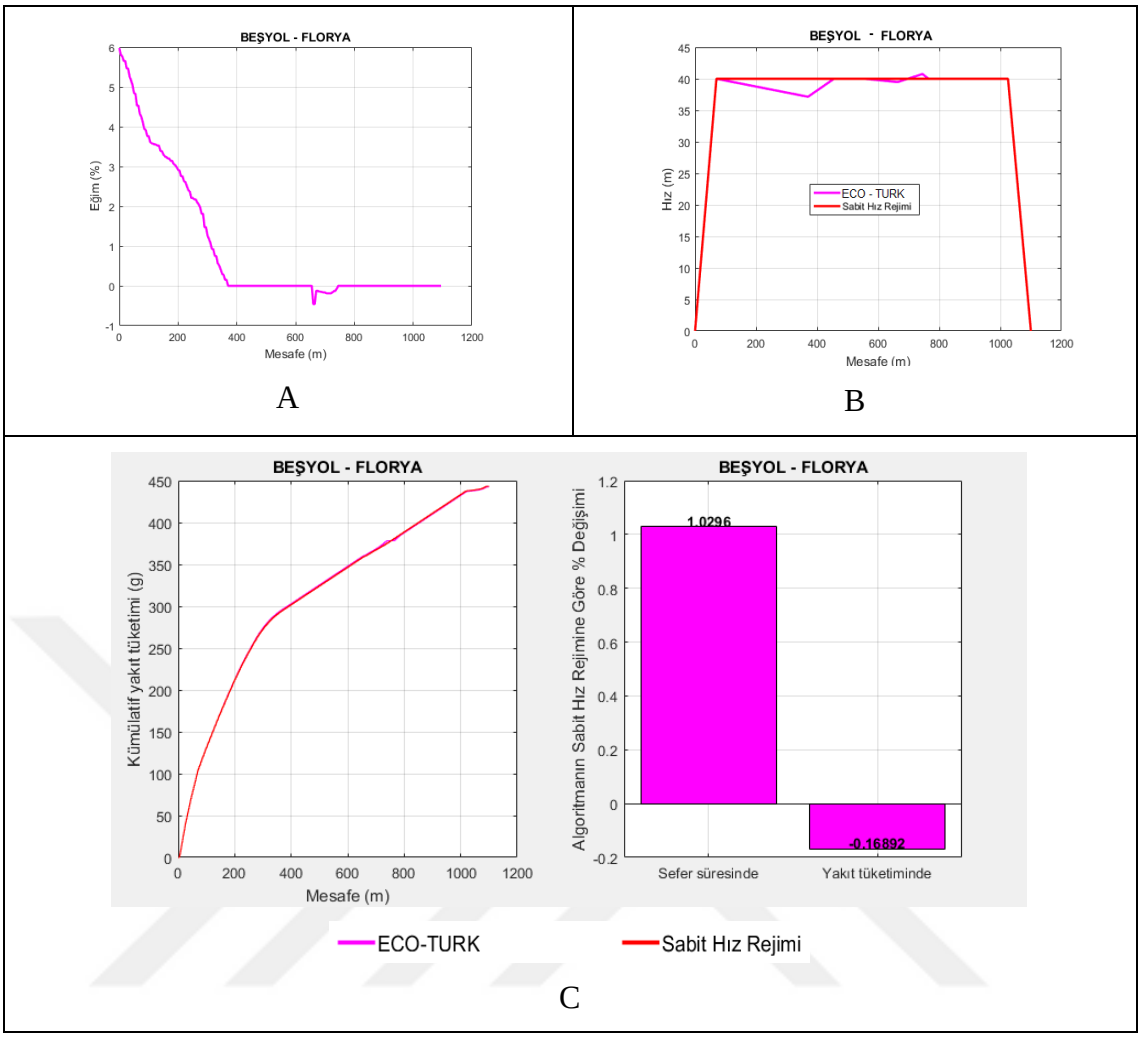
Şekil 4. 27'de Beşyol – Florya durakları arasına ait yükseklik profili yer almaktadır.



Şekil 4. 27 Beşyol – Florya durakları arası yükseklik profili

Beşyol – Florya durakları arası yaklaşık 1.1 km uzunluğa sahip ve çıkış rampası, kısa bir iniş rampası ve düz yollardan oluşan bir rotadır.

Şekil 4. 28'de Beşyol - Florya durakları arasındaki denemeden elde edilen sonuçlar, Şekil 4. 28'in "A" kısmında ise bu rotaya ait eğim profili görülmektedir.



Şekil 4. 28 Beşyol - Florya durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için)[1]

Şekil 4. 28'in "B" kısmında Beşyol – Florya durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya ait hız profilleri yer almaktadır.

İlgili rotada yaklaşık 75 m'lik kalkış ve duruş mesafesi öngörülmüştür.

Beşyol – Florya durakları arasında diğer rotalardan da hatırlanacağı üzere çıkış rampasında hız ECO - TURK tarafından düşürülmüştür. Çıkış rampasından hemen sonra gelen ve rotanın tamamına göre kısa bir uzunluğu sahip iniş rampasında ise yavaşlamaya izin verilmiştir. Rota geneli boyunca yaklaşık 100 m'lik mesafede Sabit Hız Rejimi'yle

[1] Şekil 4. 28'de "A" kısmı, Beşyol - Florya durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Beşyol - Florya durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Beşyol - Florya durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

çalışmadan yüksek hızlara çıkılmıştır. Bu durumun sefer süresinde Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre artışa sebep olduğu görülmüştür.

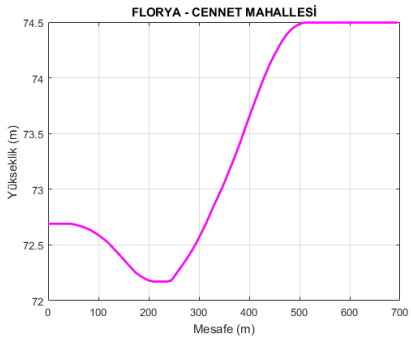
Şekil 4. 28'in "C" kısmında Beşyol – Florya durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimi miktarları ve sonuçlar yer almaktadır.

Beşyol – Florya durakları arasında rotanın bazı bölgelerinde Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre daha düşük hızlarda seyretmeye imkan veren ECO - TURK, daha düşük yakıt tüketim performansı sergilemiştir.

İniş rampasında ECO - TURK'ün yakıt tüketmeden ilerlemeye izin vermeye izin vermesi ve bu kısımda Sabit Hız Rejimi'nin, hızını korumak için yakıt tüketmesi, ilgili rotada yakıt tasarrufunun sağlanmasınına büyük etkide bulunmuştur.

Rotanın çok az bir kısmının Sabit Hız Rejimi'yle çalışmadan fazla hızlarda işletilmesi sebebiyle sefer süresinde ECO - TURK tarafından %1.0296 artış meydana gelmiştir. Buna rağmen yakıt tüketiminde %0.16892 tasarruf oluşmasını sağlanmıştır.

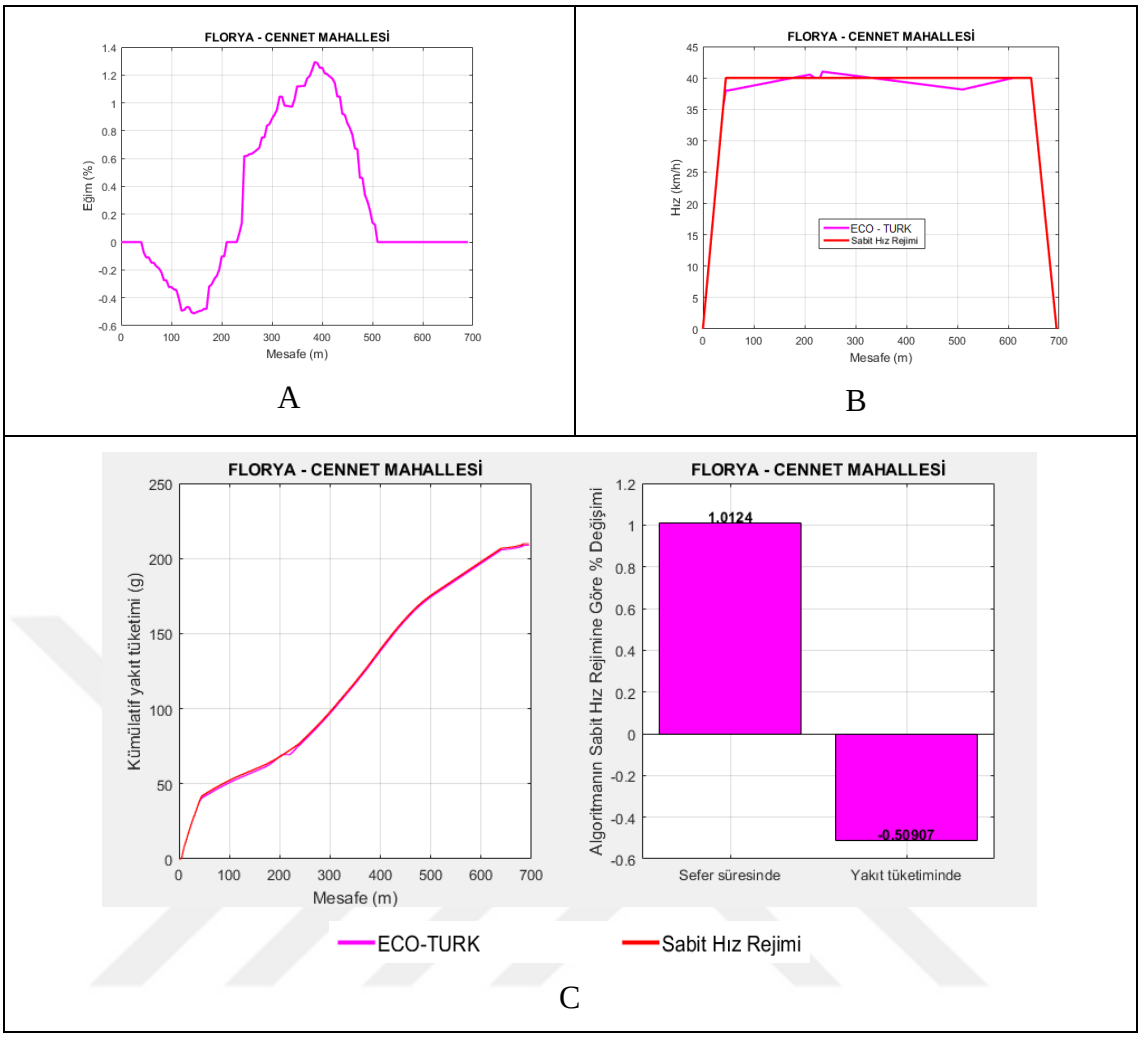
Şekil 4. 29'da Florya – Cennet Mahallesi durakları arasındaki yükseklik profili görülmektedir.



Şekil 4. 29 Florya – Cennet Mahallesi durakları arası yükseklik profili

Florya – Cennet Mahallesi 700 m uzunluğa sahip ve düz yollar, iniş ve çıkış rampalarından oluşan bir rotadır.

Şekil 4. 30'da Florya – Cennet Mahallesi durakları arasındaki denemeden elde edilen sonuçlar, Şekil 4.30'un "A" kısmında ise bu rotaya ait eğim profili incelenebilir.



Şekil 4. 30 Florya - Cennet Mahallesi durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için)[1]

Florya – Cennet Mahallesi durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya ait hız profilleri 4. 30'un "B" kısmında incelenebilir.

Florya – Cennet Mahallesi durakları arasında 50 m'lik kalkış ve duruş mesafeleri tanımlanmıştır.

Rotada, diğer rotalarda olduğu gibi çıkış rampalarında hız azalımı ve iniş rampalarında kendiliğinden hızlanma şeklinde stratejiler uygulanmıştır. ECO - TURK ile çalışmada

[1] Şekil 4. 30'da "A" kısmı, Florya - Cennet Mahallesi durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Florya - Cennet Mahallesi durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Florya – Cennet Mahallesi durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

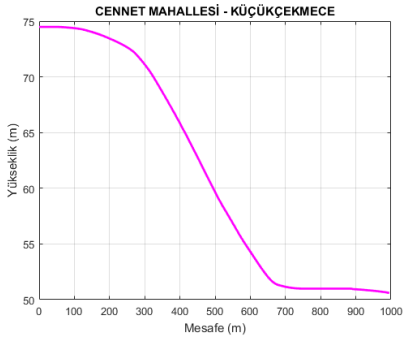
rotanın büyük kısmında Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre düşük hızlarda seyir sağlanmıştır.

Şekil 4. 30'un "C" kısmında Florya – Cennet Mahallesi durakları arasındaki kümülatif yakıt tüketimleri ve sonuçlar ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'yle seyir için verilmiştir.

İlgili rotanın tüm kısımlarında yakıt tüketimi ECO - TURK tarafından Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre daha tasarruflu şekilde hesaplanmıştır.

Rotanın büyük kısmında Sabit Hız Rejimi'yle çalışmadan düşük hızda seyir sonucu ECO - TURK ile çalışma, %1.0124 süre artışına sebep olmuş ve bu süre artışıyla %0.50907 yakıt tasarrufu sağlamıştır.

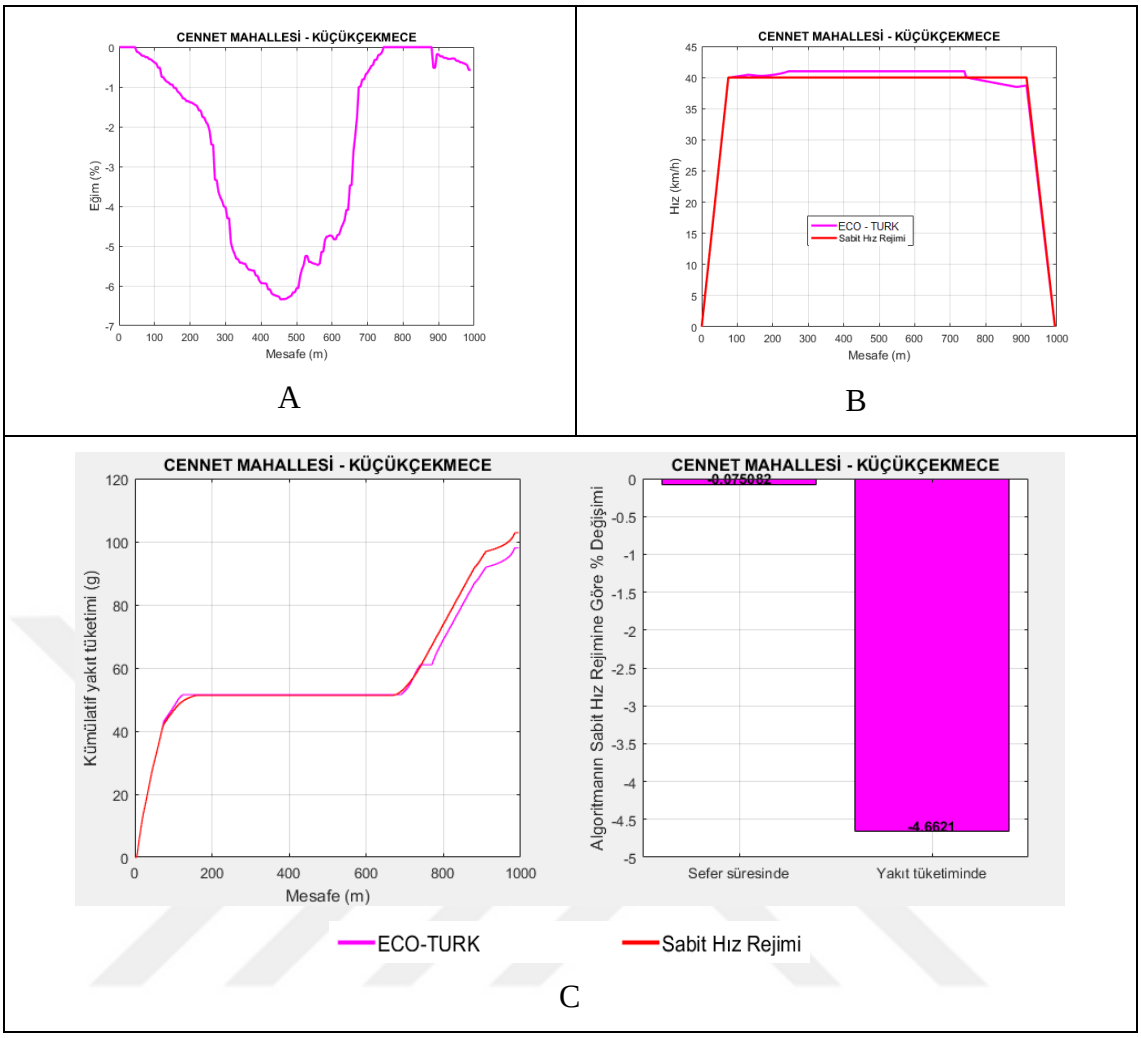
Şekil 4. 31'de Cennet Mahallesi – Küçükçekmece arasının yükseklik profili yer almaktadır.



Şekil 4. 31 Cennet Mahallesi – Küçükçekmece durakları arası yükseklik profili

Cennet Mahallesi – Küçükçekmece durakları arası 1 km uzunluğa sahiptir. Sadece düz yollar ile iniş rampalarından meydana gelmektedir.

Şekil 4. 32'de Cennet Mahallesi – Küçükçekmece durakları arasındaki denemeden elde edilen sonuçlar, Şekil 4. 32. A'da ise bu rotaya ait eğim profili yer almaktadır.



Şekil 4. 32 Cennet Mahallesi - Küçükçekmece durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için)[1]

Şekil 4. 32. B'de Cennet Mahallesi – Küçükçekmece durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya ait hız profilleri görselleştirilmiştir.

Şekil 4. 32. C'de Cennet Mahallesi – Küçükçekmece durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketim karakteristikleri ve sonuçlar verilmektedir.

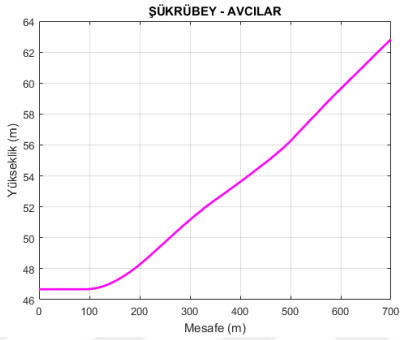
İlgili rotanın bir kısmında ECO - TURK'ün yavaşlama eğilimine giren Metrobüs'ü hızlandırması sonucu yakıt tüketimi Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre az miktarda artmıştır. Ancak bu olumsuzluğun hemen sonrasında artış telafi edilmiştir. İkinci iniş

[1] Şekil 4. 32'de "A" kısmı, Cennet Mahallesi - Küçükçekmece durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Cennet Mahallesi - Küçükçekmece durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Cennet Mahallesi - Küçükçekmece durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

rampasının bir kısmında ECO - TURK ile seyirde yavaşlamaya izin verilmesiyle yakıt tüketiminde düşme Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre gözlenmiştir ve kümülatif toplamda bu düşüş önemli bir etkide bulunmuştur.

Rotanın yaklaşık yarısının ECO - TURK tarafaından Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre daha yüksek hızlarda seyri sonucu, sefer süresinde ECO - TURK lehine %0.075082 azalma sağlanmıştır. ECO - TURK ayrıca Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre %4.6621 yakıt tasarrufu meydana getirmiştir.

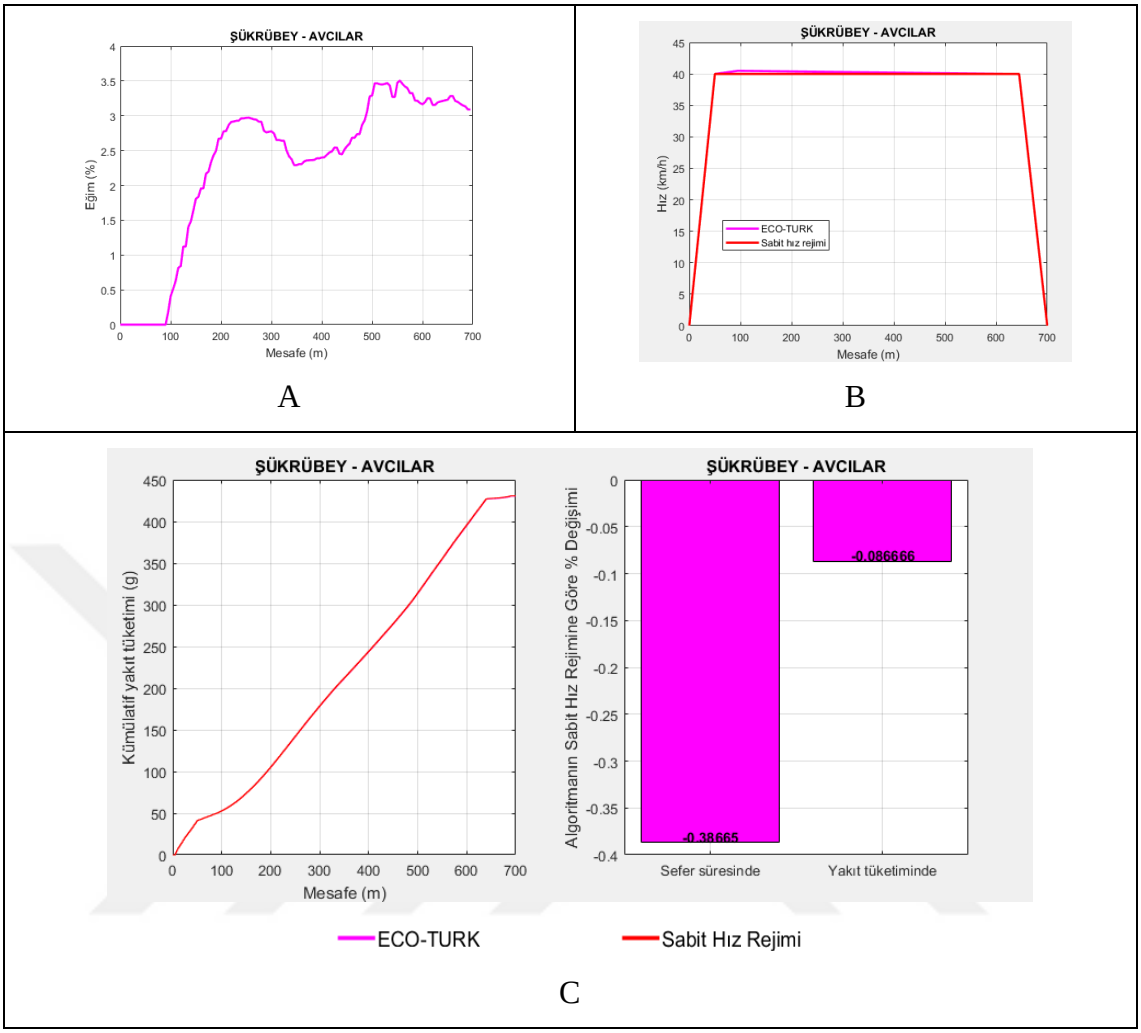
Şekil 4. 33'te Metrobüs hattının son 2 durağı olan Şükrübey – Avcılar durakları arasına ait yükseklik profili görülmektedir.



Şekil 4. 33 Şükrübey – Avcılar durakları arası yükseklik profili

Şükrübey – Avcılar durakları arası sadece düz yol ve çıkış rampasından oluşmakta olup 700 m uzunluğa sahiptir.

Şekil 4. 34'te Şükrübey - Avcılar durakları arasındaki denemeden elde edilen sonuçlar, Şekil 4. 34'ün "A" kısmında ise bu rotaya ait eğim profili görülmektedir.



Şekil 4. 34 Şükrübey – Avcılar durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Sabit Hız Rejimi için)[1]

Şekil 4. 34'ün "B" kısmında Şükrübey – Avcılar durakları arasında iki çalışma sistemine ait hız profilleri yer almaktadır

Duraklar arasında yaklaşık 50 m kalkış ve duruş mesafeleri belirlenmiştir.

İlgili rotanın büyük kısmının çıkış rampasından oluşması sebebiyle ECO - TURK ile seyirde Sabit Hız Rejimi'yle çalışmadan düşük hızlarda ilerleme sağlanmıştır. Çıkış

[1] Şekil 4. 34'te "A" kısmı, Şükrübey – Avcılar durakları arası eğim profilini; "B" kısmı, Şükrübey – Avcılar durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait hız profillerini; "C" kısmı, Şükrübey – Avcılar durakları arasında ECO - TURK ve Sabit Hız Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

rampasına girmeden hemen önce hız bir miktar artırılarak sefer süresindeki değişime olumlu katkı sağlanması istenmiştir.

Şekil 4. 34'ün "C" kısmında Şükrübey – Avcılar durakları arasındaki kümülatif yakıt tüketim karakteristikleri ve sonuçlar verilmektedir.

Çıkış rampalarında hızın azalarak ilerlemesi sonucu ECO - TURK ile seyir, rotanın sonuna doğru Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre farkı gittikçe açılan bir yakıt tüketim karakteristiği sergilemiştir.

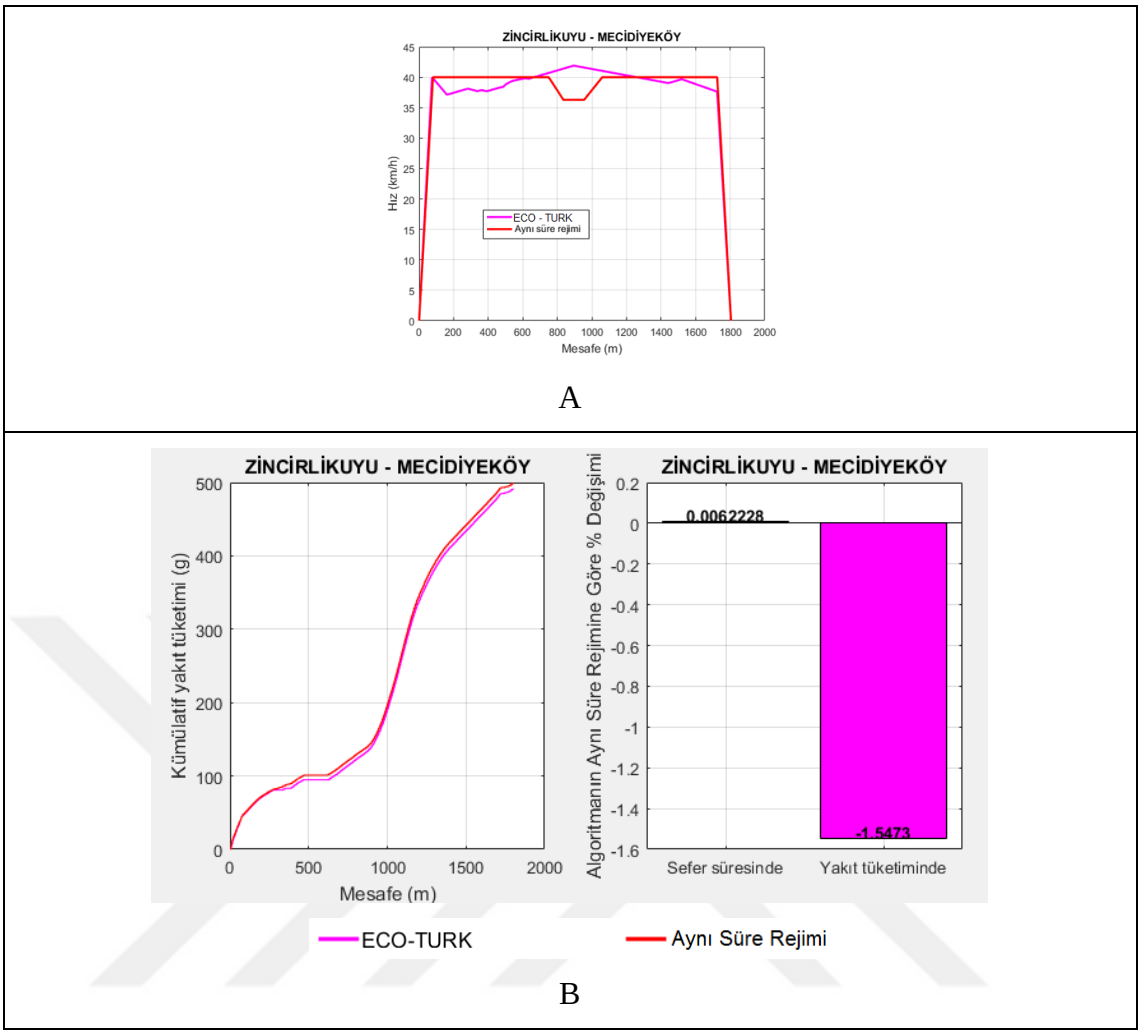
ECO - TURK Sabit Hız Rejimi'yle çalışmaya göre sefer süresinde %0.38665 düşüş, yakıt tüketiminde ise %0.086666 tasarruf sağlamıştır.

4.2 ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi Kullanılarak Yapılan Deneme Sonuçları

ECO - TURK, rotanın her yerinde aynı hızın korunduğu "Aynı Süre Rejimi" isimli sürüş seçeneği ile 8 rotada MATLAB üzerinde çalıştırılmıştır.

Duraklar arasındaki rotalarda ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait hız profilleri ve yakıt tüketimleri ve sağlanan tasarruf ile sefer süresindeki değişim grafiklerle verilmiştir.

Şekil 4. 35'te Zincirlikuyu – Mecidiyeköy durakları arasındaki denemeye ait sonuçlar görülmektedir.



Şekil 4. 35 Zincirlikuyu - Mecidiyeköy durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Aynı Süre Rejimi için)[1]

Şekil 4. 35'in "A" kısmında Zincirlikuyu – Mecidiyeköy durakları arasında, ECO - TURK tarafından oluşturulan hız profili Aynı Süre Rejimi'yle çalışmaya ait hız profili yer almaktadır.

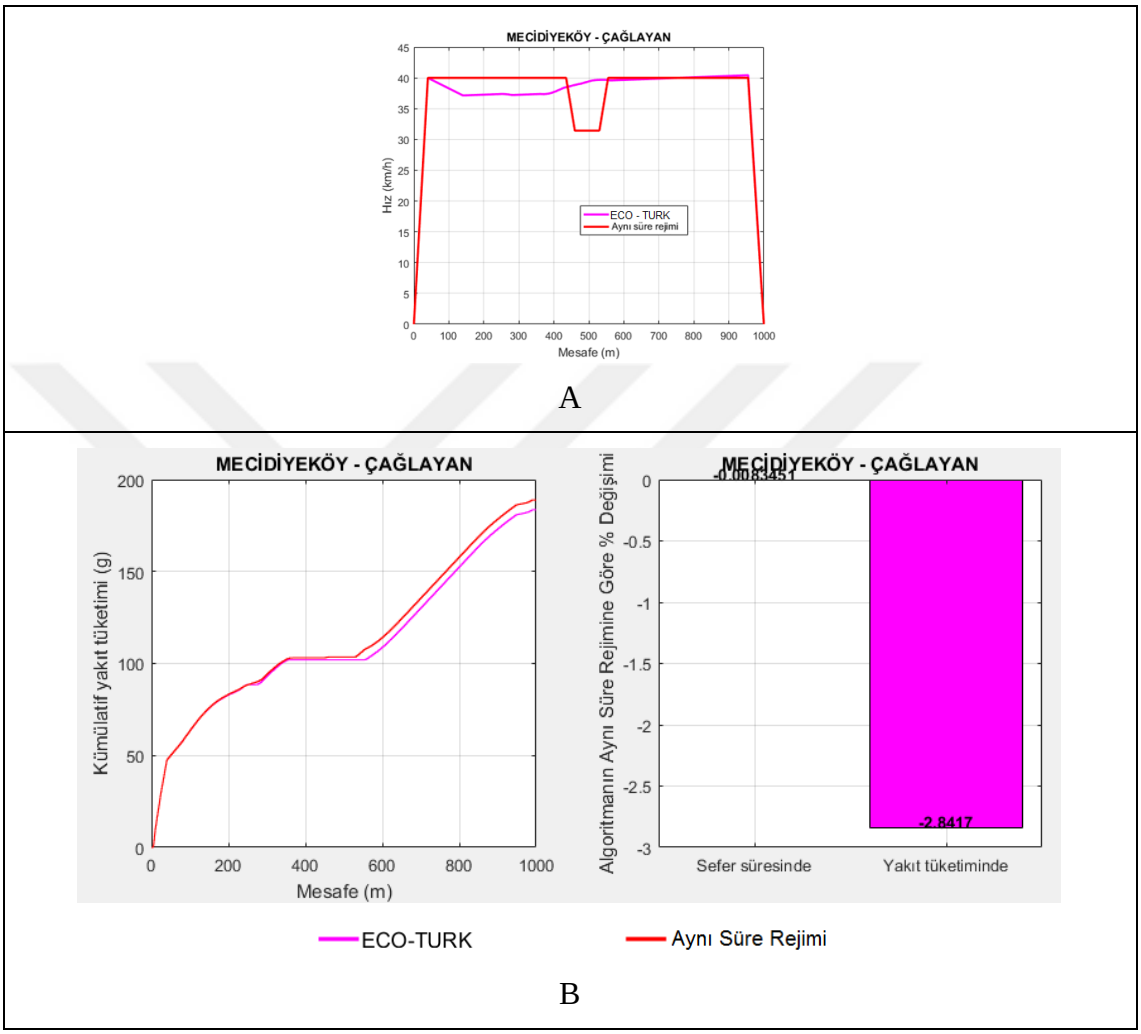
Şekil 4. 35'in "B" kısmında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'yle çalışmaya ait kümülatif yakıt tüketimi karakteristikleri ve sonuçlar yer almaktadır.

ECO-TURK, Zincirlikuyu – Mecidiyeköy durakları arası için oluşturulan Aynı Süre Rejimine ait hız profiliyle çalışmaya göre yakıt tüketiminde azalış meydana getirmiştir.

[1] Şekil 4. 35'te "A" kısmı, Zincirlikuyu - Mecidiyeköy durakları arasında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait hız profillerini; "B" kısmı, Zincirlikuyu - Mecidiyeköy durakları arasında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

ECO - TURK, Aynı Süre Rejimi'yle çalışmada %1.5473 yakıt tasarrufu meydana gelmiştir.

Şekil 4. 36'da Mecidiyeköy – Çağlayan durakları arasındki denemeye ait sonuçlar yer almaktadır.



Şekil 4. 36 Mecidiyeköy - Çağlayan durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Aynı Süre Rejimi için)[1]

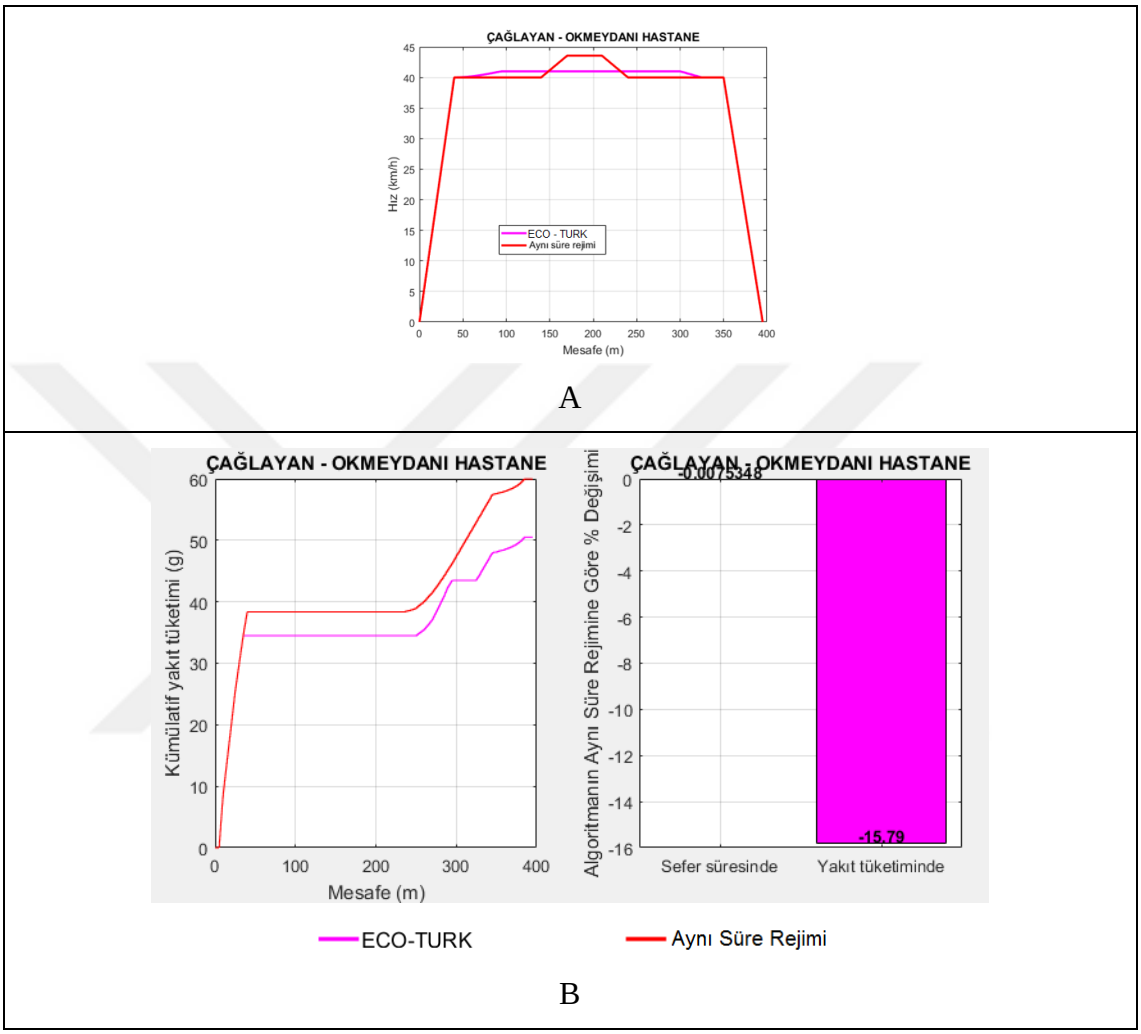
Şekil 4. 36'nın "A" kısmında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'yle çalışmaya ait hız profilleri görselleştirilmiştir.

Şekil 4. 36'nın "B" kısmında iki çalışma sistemine ait kümülatif yakıt tüketimleri ve sonuçlar verilmiştir.

[1] Şekil 4. 36'da "A" kısmı, Mecidiyeköy - Çağlayan durakları arasında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait hız profillerini; "B" kısmı, Mecidiyeköy - Çağlayan durakları arasında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

ECO-TURK, Aynı Süre Rejimi ile çalışma durumuna göre %2.8417 yakıt tasarrufu sağlamıştır.

Şekil 4. 37'de Çağlayan – Okmeydanı Hastane durakları arasındaki denemeye ait sonuçlar incelenebilir.



Şekil 4. 37 Çağlayan - Okmeydanı Hastane durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Aynı Süre Rejimi için)[1]

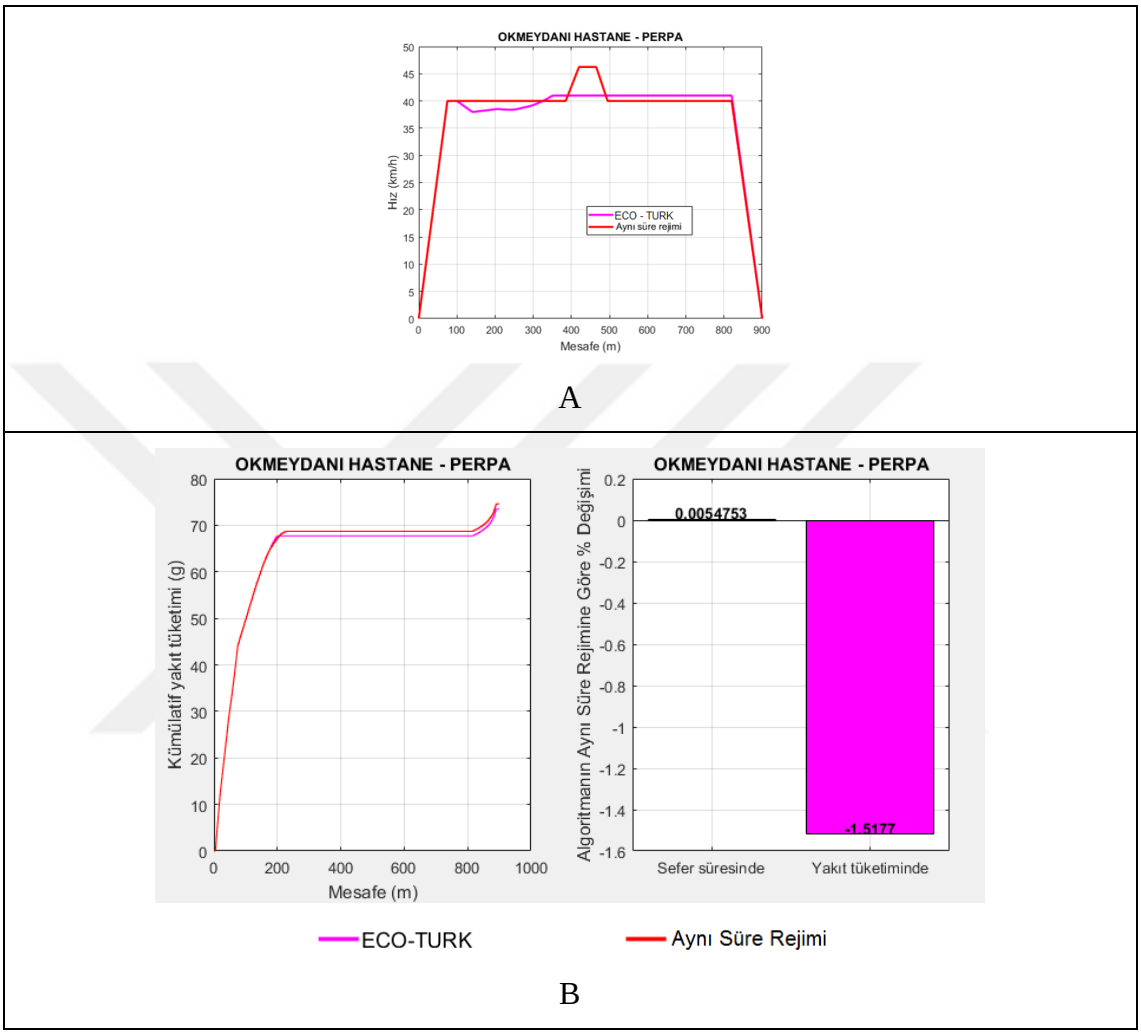
Şekil 4. 37'nin "A" kısmında ECO - TURK ve aynı süre rejimleriyle çalışmaya ait hız profilleri gösterilmektedir.

Şekil 4. 37'nin "B" kısmında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi ile yapılan uygulama sonucu elde edilen kümülatif yakıt tüketimleri ve sonuçlar görülmektedir.

[1] Şekil 4. 37'de "A" kısmı, Çağlayan - Okmeydanı Hastane durakları arasında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait hız profillerini; "B" kısmı, Çağlayan - Okmeydanı Hastane durakları arasında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

ECO - TURK ile seyir, Aynı Süre Rejimi'yle seyre göre %15.79 yakıt tasarrufu sağlamıştır.

Şekil 4. 38'de Okmeydanı Hastane – Perpa durakları arasındaki denemeye ait sonuçlar görselleştirilmiştir.



Şekil 4. 38 Okmeydanı Hastane - Perpa durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Aynı Süre Rejimi için)[1]

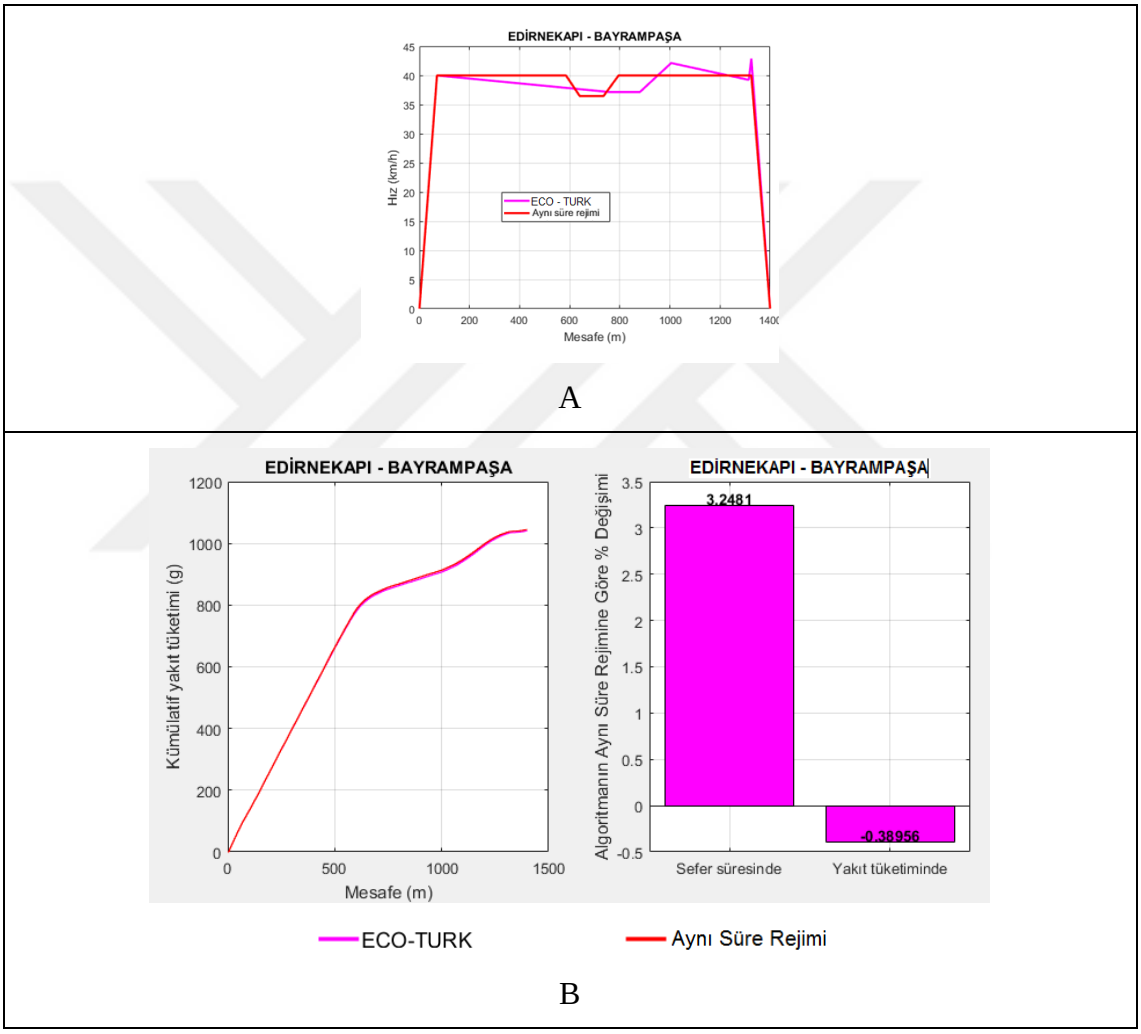
Şekil 4. 38'in "A" kısmında ilgili rotada ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'yle çalışmalara ait hız profillerine yer verilmiştir.

[1] Şekil 4. 38'de "A" kısmı, Okmeydanı Hastane - Perpa durakları arasında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait hız profillerini; "B" kısmı, Okmeydanı Hastane - Perpa durakları arasında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

Şekil 4. 38'in "B" kısmında Okmeydanı Hastane – Perpa durakları arasında iki çalışma sistemi için de hesaplanan kümülatif yakıt tüketim karakteristikleri ve sonuçlar yer almaktadır.

ECO - TURK Aynı Süre Rejimi'yle çalışmaya göre yakıt tüketiminde %1.5177 azalış meydana getirmiştir.

Şekil 4. 39'da Edirnekapı – Bayrampaşa durakları arasındaki denemenin sonuçları incelenebilir.



Şekil 4. 39 Edirnekapı - Bayrampaşa durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Aynı Süre Rejimi için)[1]

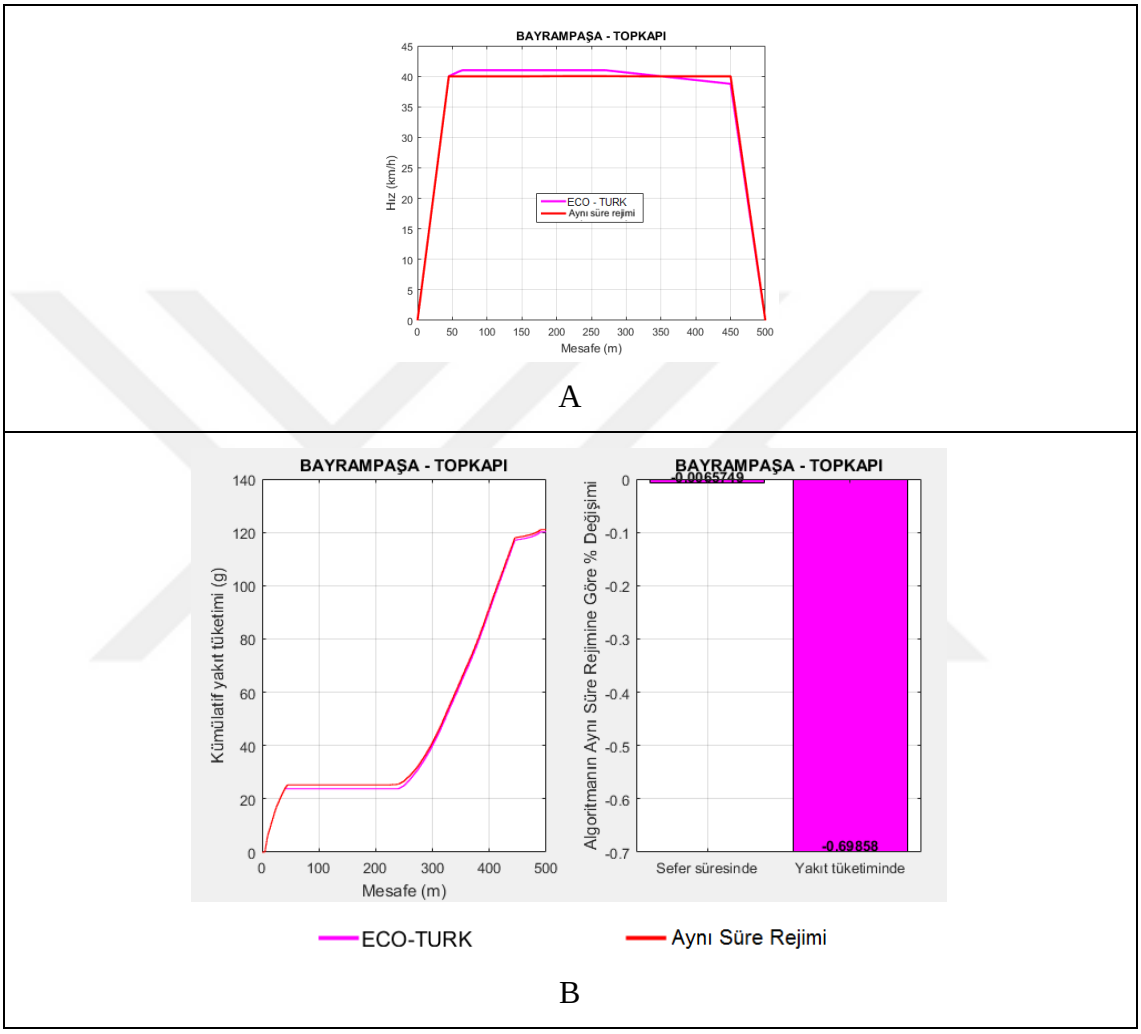
Şekil 4. 39'un "A" kısmında iki çalışma sistemine ait hız profilleri yer almaktadır.

[1] Şekil 4. 39'da "A" kısmı, Edirnekapı – Bayrampaşa durakları arasında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait hız profillerini; "B" kısmı, Edirnekapı – Bayrampaşa durakları arasında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

Şekil 4. 39'un "B" kısmında ECO - TURK ve aynı süre rejimleriyle çalışma için kümülatif yakıt tüketim karakteristikleri ve sonuçlar yer almaktadır.

ECO - TURK Aynı Süre Rejimi'ne tüm rotada %0.38956 yakıt tasarrufu sağlamıştır.

Şekil 4. 40'da Bayrampaşa – Topkapı durakları arasına ait denemenin sonuçları görselleştirilmiştir.



Şekil 4. 40 Bayrampaşa - Topkapı durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Aynı Süre Rejimi için)[1]

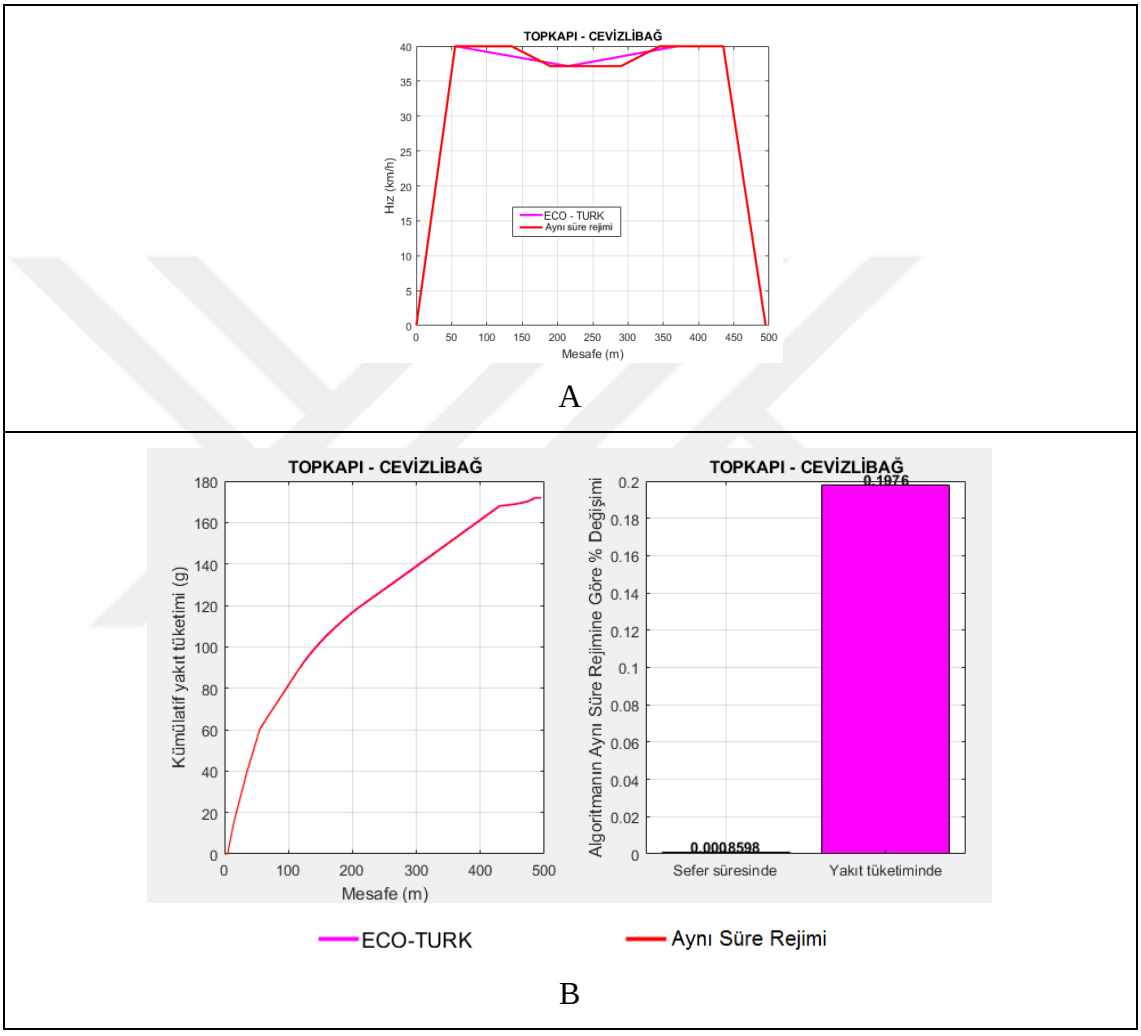
Şekil 4. 40'ın "A" kısmında ECO - TURK ve aynı süre rejimleriyle çalışmaya ait hız profilleri yer almaktadır.

[1] Şekil 4. 40'da "A" kısmı, Bayrampaşa – Topkapı durakları arasında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait hız profillerini; "B" kısmı, Bayrampaşa – Topkapı durakları arasında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

Şekil 4. 40'ın "B" kısmında duraklar arasındaki kümülatif yakıt tüketimleri ve sonuçlar ECO - TURK ve aynı süre rejimleriyle seyir için verilmiştir.

ECO - TURK ilgili rotayı Aynı Süre Rejimi'yle çalışmaya göre 0.69858 yakıt tasarrufu sağlayarak katetmiştir.

Şekil 4. 41'de Topkapı – Cevizlibağ arasındaki denemenin sonuçları görülmektedir.



Şekil 4. 41 Topkapı - Cevizlibağ durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Aynı Süre Rejimi için)[1]

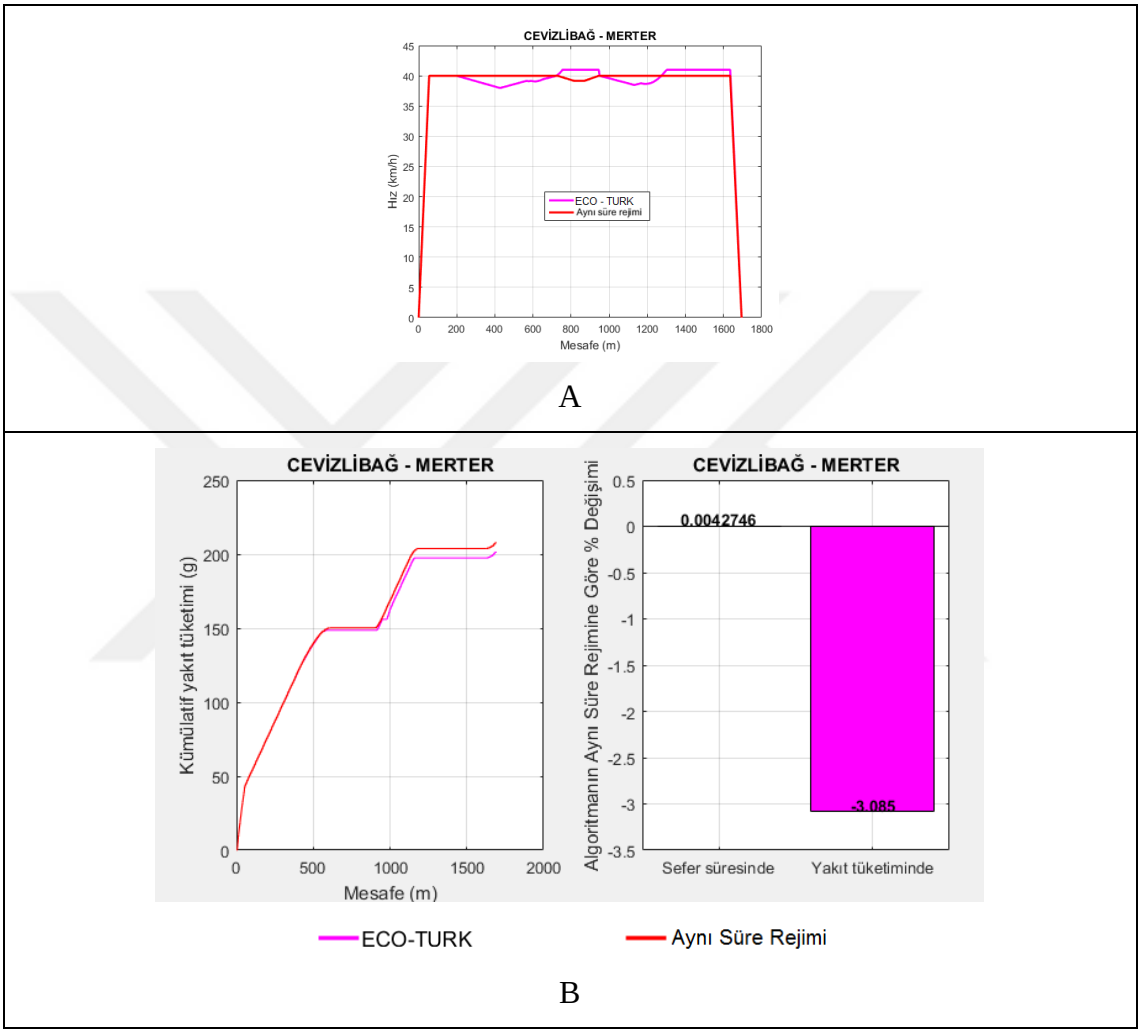
Şekil 4. 41'in "A" kısmında ilgili duraklar arasında, ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'yle çalışmaya ait hız profilleri yer almaktadır.

[1] Şekil 4. 41'de "A" kısmı, Topkapı - Cevizlibağ durakları arasında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait hız profillerini; "B" kısmı, Topkapı - Cevizlibağ durakları arasında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

Şekil 4. 41'in "B" kısmında iki çalışma sistemiyle ile seyir sonucu hesaplanan kümülatif yakıt tüketimleri ve sonuçlara ait görsel yer almaktadır.

İki seyir durumunda ECO-TURK yakıt tüketimini bir miktar artırmıştır.

Şekil 4. 42'de Cevizlibağ – Merter durakları arasında yapılan denemenin sonuçları verilmiştir.



Şekil 4. 42 Cevizlibağ - Merter durakları arasında yapılan deneme sonuçları (ECO – TURK ve Aynı Süre Rejimi için)[1]

Şekil 4. 42'nin "A" kısmında ilgili rotada ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi tarafından oluşturulan hız profilleri verilmiştir.

[1] Şekil 4. 42'de "A" kısmı, Cevizlibağ – Merter durakları arasında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait hız profillerini; "B" kısmı, Cevizlibağ – Merter durakları arasında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'ne ait kümülatif yakıt tüketimlerini ve sonuçları belirtmektedir.

Şekil 4. 42'nin "B" kısmında ECO - TURK ve Aynı Süre Rejimi'yle seyir sonucu elde edilen kümülatif yakıt tüketimleri ve sonuçlar görülmektedir.

ECO - TURK ilgili rotada Aynı Süre Rejimi'ne göre %3.085 yakıt tasarrufu sağlamıştır.

Yapılan tez çalışmasında kullanılan ECO-TURK ile yakıt tüketiminde düşme sağlanmıştır. Sonuçlara göre:

- Çıkış eğimli yollarda, sabit hız yerine daha düşük hızlarda seyretmek genellikle yakıt tüketimini düşürücü yönde etki etmektedir.
- Sefer süresinin Sabit Hız veya Aynı Süre Rejimi'ne göre artacak şekilde tasarlanan hız profillerinde çoğunlukla yakıt tüketimi daha düşük gözlenmiştir.
- Bazı rotalarda algoritma tarafından oluşturulan hız profilleri yakıt tasarrufu sağlamasına rağmen sefer süresini fazla miktarda artırdığı için, söz konusu rotalarda sabit hızlarla seyretmek daha efektif bir seçenektir.

Sağlanan bu tasarrufu daha da iyileştirmek için çeşitli seçenekler uygulamaya konulabilir:

- GPS yoluyla elde edilen veriler her zaman doğru olmayabilir. Örneğin köprü, tünel, viyadük gibi yapılar veya yakın zamanda rota üzerindeki yapım faaliyetleri GPS ölçümlerinde gözlenemeyebilir. Bu gibi durumlarda uygulanacak hız değiştirme stratejileri yakıt ekonomisini kötüleştirecek sonuçlar doğurabilir. Bu olumsuzluklardan kaçınmak için, GPS verilerinin güncel ve rota üzerindeki köprü, tünel ve viyadük benzeri yapılardaki ölçümlerin hatasız olduğuna emin olunmalıdır.
- Eğim profilinin filtreleme işlemi yapılırken, filtrelemenin mümkün olduğunca doğru yapılması gereklidir. Aksi halde rota üzerinde uygulanacak stratejiler- hatalı GPS ölçümlerinde olduğu gibi- yakıt tüketiminde bozulmaya yol açabilir.
- Hız değiştirme stratejileri ECO-TURK'ün mevcut yapısıyla geliştirilmeye ve iyileştirmeye müsait yapıdadır. Burada yapılacak her türlü olumlu faaliyet, yakıt ekonomisine pozitif etkide bulunacaktır.
- Hız değiştirme stratejileri uygulanmadan önce rotanın genel yapısınının irdelenmesi, yakıt tüketimi değerinin miktarı açısından efektif bir adımdır.
- Hızlanma üst limitinin genel seyri olumsuz etkilemeyecek şekilde değiştirilmesi sefer süresinde iyileştirme için faydalı bir adımdır. Bu limitin mümkün olduğunca yukarı çekilmesi rotanın daha hızlı bir şekilde tamamlanmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Kamal, M.A.S., Mukai, M., Murata, J. ve Kawabe, T., (2011). "Ecological Vehicle Control on Roads with Up-Down Slopes", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 12: 783-794.

[2] Park, S., Rakha, H., Ahn, K. ve Moran, K., (2011). "Predictive Eco-Cruise Control: Algorithm and Potential Benefits", IEEE Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems, 29 Haziran–1 Temmuz 2011, Wien.

[3] Lin, Y.C. ve Nguyen, H.L.T., (2016). "Development of an Eco-Cruise Control System Based on Digital Topographical Data", Inventions, 1: 1-16.

[4] Saerens, B., Rakha, H.A., Diehl, M. ve Van den Bulck, E., (2013). "A Methodology for Assessing Eco-Cruise Control for Passenger Vehicles", Transportation Research Part D: Transport and Environment, 19: 20-27.

[5] Shengbo, L., Yang, B., Keqiang, L., Ukawa, H., Bai, D. ve Handa, M., (2006). "A Control Strategy of ACC System Considering Fuel Consumption", The 8th International Symposium on Advanced Vehicle Control, 20–24 Ağustos 2006, Taipei.

[6] Fröberg, A., Nielsen, L., Hedström, L.G. ve Pettersson, M., (2005). "Controlling Gear Engagement and Disengagement on Heavy Trucks for Minimization of Fuel Consumption", 16th IFAC World Congress, Prague.

[7] Alves, R., Ferreira, C., ve Fernandes, T.R., (2012). "Improved Cruise Control for Fuel Economy and Driver's Safety Feeling", FISITA 2012 World Automotive Congress, 27-30 Kasım 2012, Beijing.

[8] Alam, A., Martensson, J. ve Johansson, K.H., (2013). "Look-Ahead Cruise Control for Heavy Duty Vehicle Platooning", 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems, 6-9 Ekim 2013, Hague.

[9] Yangın, V.B. ve Özkan, M., (2018). "Öngörücü Yol Değerlendirme Algoritmasıyla Yakıt Tüketiminin Azaltılması", 14th International Conference of Combustion, 25-27 Nisan 2018, Karabük (baskıda).

[10] U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, Why Is Fuel Economy Important?, www.fueleconomy.gov/feg/why.shtml, 12 Nisan 2018.

[11] SAE, Bosch Unveils New Technology Packages to Boost Gasoline and Diesel Fuel Efficiency, articles.sae.org/7011/, 2 Kasım 2016.

[12] Ergenç, A.T. ve Yavaşlıol, İ., (2010). "Ünite Pompalı Tek Silindirli Dizel Motorunun PLC Kontrollü Yüksek Basınç Yakıt Püskürtme Sistem ile Araştırma Motoruna Dönüştürülmesi", Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 28: 188-198.

[13] Parlak, A. Çevik, İ. ve Eldoğan, O., "Bir Dizel Motorunda Sıkıştırma Oranı Artışının Performansa Etkisi", SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1: 36-41.

[14] Sekmen, Y. Erduranlı, P. Akbaş, A. ve Salman, M.S., (2011). "Sıkıştırma Oranı Değişiminin Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Tüketimine Etkisi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8: 139-148.

[15] İstanbul Teknik Üniversitesi Cem Soruşbay Ders Notları, Egzoz Gazları Emisyonu Motorun Çalışma Koşullarının Emisyona Etkileri, web.itu.edu.tr/sorusbay/EGE/EGE_FILES/N03.pdf, 1 Mayıs 2018.

[16] Yıldız Teknik Üniversitesi Alp Tekin Ergenç Ders Notları, Motor Konstrüksiyonu, http://yildiz.edu.tr/~aergenc/motor_konstruksiyonu_2.pdf, 1 Mayıs 2018.

[17] Özcan, E., (2009). Faz III-B Emisyon Standartlarına Cevap Veren Turbo Dizel Traktör Motorunun 4 Subaplı Silindir Kafasının Tasarımı ile İlgili Teorik İncelemeler ve Uygulamalar, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[18] Kocaeli Üniversitesi Yalçın Ubay Ders Notları, Güç Aktarma Organları, golcukmyo.kocaeli.edu.tr/dersmateryalleri/guc%20aktarma%20organlari.pdf, 1 Mayıs 2018.

[19] Wang, L., Kelly, K., Walkowicz, K. ve Duran, A., (2015). "Quantitative Effects of Vehicle Parameters on Fuel Consumption for Heavy-Duty Vehicle", SAE 2015 Commercial Vehicle Engineering Congress, 6-8 Ekim 2007, Rosemont.

[20] National Research Council, (1992). "Automotive Fuel Economy: How Far Can We Go?", III. Baskı, National Academy Press, Washington D.C.

[21] Çengel, Y.A. ve Boles, M., (2011). Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, V. Baskı, Güven Bilimsel, İzmir.

[22] Şahin, C., (2008). Ağır Yük Taşıtlarının Aerodinamik Şekil Direnç Katsayılarının Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği Yöntemi İle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[23] Yenitepe, R. ve Akdeniz, B., (2009). "Motorlu Taşıtlarda Yakıt Ekonomisi ve İşletme Şartlarının Performansa Etkileri", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs 2009, Karabük.

[24] Özkan, M., (2015). Taşıtlarda Yakıt Ekonomisi Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı, İstanbul.

[25] Özkan, M., (1997). İstanbul Trafiğinde Belirlenen Güzergahta Çalıştırılan Belediye Otobüsünün Optimum Yakıt Sarfiyatı Koşullarının Nümerik Yöntemle Etüdü, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[26] Yıldız Teknik Üniversitesi Orhan Deniz Ders Notları, Motorlar, http://www.yildiz.edu.tr/~odeniz/Ders%20Kitabi.pdf, 1 Mayıs 2018.

[27] Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers, Cruise control, www.cds.caltech.edu/~murray/amwiki/index.php/Cruise_control, 12 Nisan 2018.

[28] GM Heritage Center, 1958 Cruise Control, history.gmheritagecenter.com/wiki/index.php/1958,_Cruise_Control, 12 Nisan 2018.

[29] Rajamani, R., (2012). Vehicle Dynamics and Control, II. Baskı, Springer, Minneapolis.

[30] Calvin College Karen Lie, Cruise Control System In Vehicle, https://www.calvin.edu/~pribeiro/courses/engr315/samples/Engr315_CruiseControl.doc, 1 Mayıs 2018.

[31] National Research Council of The National Academies, (2010). Technologies and Approaches to Reducing the Fuel Consumption of Medium and Heavy Duty Vehicles, I. Baskı, The National Academies Press, Washington D.C.

[32] Young, M.S. ve Stanton, N.A., (2002). "Attention and Automation: New Perspectives on Mental Underload and Performance", Theoretical Issues in Ergonomics Science, 3: 178-194.

[33] BP, (2017). BP Energy Outlook 2017.

[34] Koç, E. ve Şenel, M.C., (2013). "Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme", Mühendis ve Makina, 54: 32-44.

[35] Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni, Sektörel Enerji Tüketim İstatistikleri 2014, http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21587, 12 Nisan 2018.

[36] Google, Google Earth Web, https://earth.google.com/web/, 28 Nisan 2018.

[37] Geocontex, Center for Geographic Analysis, geocontext.org/publ/2010/04/profiler/en/, 13 Nisan 2018.

[38] University of Hawai'i Hawai'i Community College, Math100 Homework, http://www.hawcc.hawaii.edu/math/Courses/Math100/Chapter3/HomeWork/HmWrk332.htm, 13 Nisan 2018.

[39] Bijleveld, F.R., Vasenev, A. Hartmann, T. ve Dorée, A., (2011). "Real-time and Post Processing of GPS Data in the Field of Visualizing Asphalt Paving Operations". 6-8 Temmuz 2011, EG-ICE Workshop 2011, Twente.

[40] Hu, C., Chen, W., Chen, Y. ve Liu, D., (2003). "Adaptive Kalman Filtering for Vehicle Navigation", Journal of Global Positioning Systems, 2: 42-47.

[41] Duran, A. ve Earleywine, M., (2012). "GPS Data Filtration Method for Drive Cycle Analysis Applications", 24-26 Nisan 2012, SAE World Congress 2012, Detroit.

[42] İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Metrobüs, http://metrobus.iett.istanbul., 13 Nisan 2018.

[43] Metrobüs Durakları Haritası, 34AS Söğütlüçeşme Metrobüs Saatleri, metrobusharitasi.com/34as-hatti-metrobus-duraklari,13 Nisan 2018.

[44] Mercedes-Benz, (2007). CapaCity Standart Tanıtım.

[45] Gillespie, T.D., (1992). Fundamentals of Vehicle Dynamics, I. Baskı, Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale.

[46] Oh, Y., Park, J., Lee, J., Eom, M.D. ve Park, S., (2014). "Modelling Effects Of Vehicle Specifications on Fuel Economy Based On Engine Fuel Consumption Map and Vehicle Dynamics", Transportation Research Part D: Transport and Environment, 32: 287-302.

[47] Indian Institute of Technology Delhi P. M. V. Subbarao Ders Notları, Power Requirements of a Vehicle, web.iitd.ac.in/~pmvs/courses/mcl345/mcl345-7.ppt , 1 Mayıs 2018.

[48] Build Your Own Race Car, Car Aerodynamics Basics and How-To Design Tips, www.buildyourownracecar.com/race-car-aerodynamics-basics-and-design/2/, 13 Nisan 2018.

[49] Özkan, M., (2014). Otomotiv Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı, İstanbul.

[50] Trakya Üniversitesi Hilmi Kuşçu Ders Notları, B. Özdalyan Motorlu Taşıtlar Mekaniği, http://hilmi.trakya.edu.tr/ders_notlari/mtm/mtm.pdf, 1 Mayıs 2018.

[51] Michelin, (2011). Michelin Teknik Bülten, Yayın No: 1.

[52] T.C. Resmi Gazete, Karayolları Trafik Yönetmeliği. (23053 mükerrer), 18.7.1997, 352-570.

[53] iStock, istockphoto.com/tr/vekt%C3%B6r/tractor-trailer-vector-illustration-gm525953927-52782662, 13 Nisan 2018.

[54] Depositphotos, tr.depositphotos.com/99098964/stock-illustration-truck-semi-trailer-for-transportation.html, 13 Nisan 2018.

[55] Jones, R. Ve Newell, T. (1980). The Effects of Tire Rolling Resistance on Automotive Emissions and Fuel Economy, Washington D.C.

[56] Michelin, Ultimate Energy Tire, http://thetiredigest.michelin.com/michelin-ultimate-energy-tire, 28 Nisan 2018.

[57] Çetinkaya, S., (2005). Taşıt Mekaniği, V. Baskı, Nobel Yayıncılık, Ankara.

[58] İstanbul Teknik Üniversitesi Taner Hergüner Ders Notları, Üstyapı Yüzeylerinin Yuvarlanma Direnci Üzerindeki Etkileri, web.itu.edu.tr/~ergunmur/ULS612E/TAnerHerguner.ppt, 28 Nisan 2018.

[59] Bhave, A. ve Taherian, H., (2014). "Aerodynamics of Intercity Bus and Its Impact On CO_2 Reductions", 14th Annual Early Career Technical Conference, 1-2 Kasım 2014, Alabama.

[60] Bosch, (2002). Electronic Automotive Handbook, I. Baskı, Robert Bosch GmbH, Stuttgart.

[61] Chidiebere, M., Christopher, A.S., Oladeji, B.G., Joseph, O. ve David, D., (2014). "Vehicle Body Shape Analysis of Tricycles for Reduction in Fuel Consumption", Innovative Systems Design and Engineering, 5: 91-99.

[62] Arslan, M.Ö., (2005). Ticari Taşıt Aerodinamiğinin Temelleri ve Sayısal Yöntemlerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[63] Köylü, H., (2017). "Vites Geçişlerine Göre Yakıt Tüketiminin Modellenmesi: Vites Değiştirme Stratejilerinin Yakıt Tüketimine Etkilerinin Analizi", Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32: 627-643.

[64] Classic Motorsports Magazine, classicmotorsports.com, 13 Nisan 2018.

[65] Cornell Law School, 40 CFR 610.42-Fuel economy measurement. https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/610.42?qt-ecfrmaster=1#qt-ecfrmaster., 28 Nisan 2018.

[66] Burke, R., Brace, C. ve Hawley, J., (2011). "Critical Evaluation of On Engine Fuel Consumption Measurement", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D: Journal of Automobile Engineering, 225: 829-844.

[67] Kumagai, T., (2014). "Improving The Accuracy of Fuel Consumption Measurement In CVS System", HORIBA Readout Technical Journal English Edition, 42: 70-75.

[68] Taubert, S. ve Majerczyk, A., (2013). "Some Aspects of Validation of The Fuel Consumption Measurement Method", Journal of KONES Powertrain and Transport, 20: 457-464.

[69] Özener, O., (2017). "Real Driving Emissions and Fuel Consumption Characteristics of Istanbul Public Transportation", Thermal Science Journal, 21: 655-667.

[70] AVL, (2009). AVL Product Description AVL KMA Mobile Fuel Measurement System, Graz.

[71] AVL, AVL FuelExact Mass Flow & PLU, https://www.avl.com/-/avl-fuelexact-mass-flow-plu, 28 Nisan 2018.

[72] Killedar, J., (2012). Dynamometer: Theory and Application to Engine Testing, Xlibris Corporation LLC, Indiana.

[73] AVL, (2009). AVL Product Description AVL Fuel Balance, Graz.

[74] İstanbul Teknik Üniversitesi Cem Soruşbay Ders Notları, Engine Characteristics, http://web.itu.edu.tr/~sorusbay/ME422/LN11.pdf, 1 Mayıs 2018.

[75] Tat, M.E. ve Özenç, F., (2007). "Otomobil Lastiklerinde Yuvarlanma Direncine Etkiyen Faktörlerin ve Standart Yuvarlanma Direnci Ölçüm Tekniklerinin İncelenmesi ", Mühendis ve Makina, 572: 16-22

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Volkan Bekir YANGIN

Doğum Tarihi ve Yeri : 14.09.1993 - Beyoğlu

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : volkanyangin@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	Makine Mühendisliği (Enerji)	Yıldız Teknik Üniversitesi	2018
Lisans	Makine Mühendisliği (Otomotiv)	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lise	Fen	Gelibolu Anadolu Lisesi	2011

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2017 - 2018	Haliç Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Yangın, V.B. ve Özkan, M., (2018). "Öngörücü Yol Değerlendirme Algoritmasıyla Yakıt Tüketiminin Azaltılması", 14th International Conference of Combustion, 25-27 Nisan 2018, Karabük (baskıda).