

İSTANBUL OKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



SÜRÜCÜSÜZ KARAYOLU TAŞITLARININ İSTANBUL TRAFİĞİNİN
KESİNTİSİZ AKIMA SAHİP KESİMLERİNDE SERBEST AKIM
KOŞULLARINDA BEKLENEN DAVRANIŞLARININ MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HİKMET GAMZE İZ

tarafından

YÜKSEK LİSANS

derecesi şartını sağlamak için hazırlanmıştır.

Ekim 2020

Program: İnşaat Mühendisliği

Yüksek Lisans Tezi

HİKMET GAMZE İZ

tarafından

İSTANBUL OKAN ÜNİVERSİTESİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalına

YÜKSEK LİSANS

Derecesi şartını sağlamak için sunulmuştur.

Danışman
Dr. Öğretim Üyesi
Selim DÜNDAR

Üye
Prof. Dr. Serhan TANYEL
Dokuz Eylül Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Ilgın GÖKAŞAR
Boğaziçi Üniversitesi

Ekim 2020

Program: İnşaat Mühendisliği

ÖZET

Ülkemizin en kalabalık nüfusa sahip ili olan İstanbul'da yaşanan en büyük sorunlardan bir tanesi nüfusun ve trafikteki taşıt sayısının artmasına bağlı olarak artan trafik sorunudur. Trafikte yaşanan sorunlara karşı geliştirilen çözüm önerilerinden en önemlilerinden biri de, öncü firma ve özel kuruluşlar tarafından tasarlanan sürücüsüz taşıtlardır. Yakın gelecekte tüm dünyada olduğu gibi İstanbul trafiğinde de sürücüsüz taşıtlar yer almaya başlayacaktır. Trafiğin tümüyle sürücüsüz taşıtlardan oluşacağı tarihe değin bu taşıtlar insan sürücülü taşıtlarla birlikte, karma trafikte yer alacaktır.

Bu tez kapsamında, sürücüsüz taşıtların İstanbul'daki karma trafikte kesintisiz akım koşullarındaki davranışları modellenmiş ve trafiğe olası etkileri incelenmiştir. Öncelikle kesintisiz akım koşullarının gerçekleştiği D100 karayolu Acıbadem kesiminden elde edilen kamera görüntüleri incelenerek, trafik akımının şu andaki özellikleri saptanmıştır.

İnsan sürücülerin tepki süresi, hızlanma ve yavaşlama ivmeleri gibi davranışları gönüllü sürücüler bulunarak, araç içi kameralardan toplanan saha verileri ile elde edilmiştir. Sürücüsüz taşıtların bu özellikleri ise üretici firmalar tarafından açıklanan veriler kullanılarak düzenlenmiştir. Sürücü davranışlarının trafiğe olan etkileri SIDRA TRIP yazılımı kullanılarak saptanmıştır. Acıbadem'den toplanan trafik verileri ve sürücü davranışlarına ilişkin değerler PTV Vissim benzetim yazılımının ölçümlenmesinde kullanılmıştır. Ölçümlenen trafik koşullarına sürücüsüz araçların farklı oranlarda katılımının etkileri incelenmiştir.

ABSTRACT

One of the biggest problems occurred in the city of Istanbul which is the most populous province of our country, is the increasing traffic problem due to the population growth and the number of vehicles in traffic. Also, one of the most important solution that is developed against traffic problems is autonomous vehicles which are designed by leading companies and private organizations. In the near future, autonomous vehicles will start to take place in Istanbul traffic as they will do in the rest of the world. Until the traffic will be composed of autonomous vehicles entirely, they will take place in mixed traffic together with human driven vehicles.

In this thesis, the behavior of autonomous vehicles under uninterrupted flow conditions in mixed traffic in Istanbul is modeled and examined for possible effects on traffic. Firstly, the camera footage which is obtained from the D100 Highway Acibadem section, where uninterrupted flow conditions occur, were examined and the current characteristics of the traffic flow were determined.

The behavior of human drivers such as response time, acceleration and decelerations were obtained from volunteer drivers and field data was collected from in-vehicle cameras. These features of autonomous vehicles are regulated by using the data which is announced by the manufacturer companies. The effects of driver behavior on traffic have been determined using SIDRA TRIP software. Traffic data and the values related to driver behavior which was collected from Acibadem were calibrated by PTV Vissim simulation software. The effects of the participation of driverless vehicles at different rates in the measured traffic conditions were examined.

TEŞEKKÜR

Öncelikle lisans ve yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım boyunca benden desteğini ve emeğini hiç esirgemeyen, sonsuz yardım ve sabır gösteren çok değerli hocam ve tez danışmanım Selim DÜNDAR'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca her yardıma ihtiyaç duyduğumda benden zamanlarını ve desteklerini esirgemeyen İstanbul Okan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üye ve yardımcılarına, yardımları için çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında TÜBİTAK tarafından desteklenen 217M283 nolu proje verilerinden ve proje ara raporlarından yararlanılmıştır. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan ve güzel dostluğu ve yardımları için Bilgi YIPRAMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca desteğini hep arkamda hissettiğim dedem İbrahim DİNÇ'e hayatım boyunca tüm özveri ve sabrı gösteren annem Nuray İZ'e, babam Orhan İZ'e tez çalışmam boyunca hiçbir yardımı esirgemeyen her koşulda yanımda olan biricik kardeşim Onurhan İZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans hayatımda büyük emegi olan, bana göstermiş olduğu sevgi ve desteği için yol arkadaşım ve biricik eşim Ahmet Oğuzhan ALPERGİN'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

1	AMAÇ VE KAPSAM.....	1
2	KAYNAK TARAMASI	4
3	SÜRÜCÜSÜZ ARAÇLAR VE ÖZELLİKLERİ	10
3.1	SÜRÜCÜSÜZ ARAÇLAR.....	10
3.2	SÜRÜCÜSÜZ ARAÇLARIN ÖZELLİKLERİ.....	10
3.3	SÜRÜCÜSÜZ ARAÇLARIN ÜSTÜNLÜKLERİ VE ZAYIFLIKLARI	13
3.3.1	Sürücüsüz Araçların Üstünlükleri	13
3.3.2	Sürücüsüz Araçların Olumsuz Etkileri Ve Zayıflıkları.....	14
3.4	ÜRETİM SÜRECİNDE BULUNAN SÜRÜCÜSÜZ TAŞITLAR	15
4	TRAFİK AKIM KURAMI VE TEMEL ELEMANLARI.....	17
4.1	TRAFİK TEKNİĞİNİN KRONOLOJİK GELİŞİMİ	17
4.2	TRAFİĞİ OLUŞTURAN ELEMANLAR	19
4.3	TRAFİK AKIMININ TEMEL DEĞİŞKENLERİ	19
4.3.1	Hacim	20
4.3.2	Yoğunluk	21
4.3.3	Hız	22
4.4	KAPASİTE VE TALEP.....	23
4.4.1	Kapasite	23
4.4.2	Talep.....	23
4.5	TRAFİK AKIM MODELLERİ	24
4.5.1	Kaba Boyutlu Modeller	24
4.5.2	İnce Boyutlu Modeller	24
5	SÜRÜCÜ DAVRANIŞLARI	27
5.1	TAŞIT TAKİP MODELLERİ.....	27
5.2	ŞERİT DEĞİŞTİRME MODELLERİ	38
5.2.1	Temel Şerit Değiştirme Modelleri.....	39

5.2.2	Zorunlu Şerit Değişirme (ZŞD) ve Keyfi Şerit Değişirme (KŞD) Modelleri.....	40
5.2.3	Zorlamalı Şerit Değişirme Modeli	43
5.2.4	Birleşik Modeller.....	44
6	ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ VE VERİ TOPLAMA	50
6.1	GÖNÜLLÜ SÜRÜCÜLERİN BELİRLENMESİ	50
6.2	JANUS ARAÇ İÇİ KAMERANIN ÖZELLİKLERİ	53
6.3	SIDRA TRİP PROGRAMINDAN VERİLERİN ELDE EDİLMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ	60
6.4	ACIBADEM'DEN TOPLANAN TRAFİK VERİLERİ	77
6.4.1	D100 Acıbadem Kesimi	77
6.4.2	Zaman Cinsinden Takip Aralığı Verilerinin Toplanması	79
6.4.3	Acıbadem Kesiminden Toplanan Araç Verilerine İlişkin Bilgiler.....	83
6.5	PTV VISSİM PROGRAMINDAN VERİLERİN ELDE EDİLMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ	92
6.5.1	Sürücü Davranışları.....	93
7	SÜRÜCÜSÜZ ARAÇLARIN KESİNTİSİZ AKIM KOŞULLARINDA KARMA TRAFİKTEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	95
7.1	SIDRA TRİP KULLANILARAK GELİŞTİRİLEN BENZETİM MODELİ	95
7.2	PTV VISSİM KULLANILARAK GELİŞTİRİLEN BENZETİM MODELİ.....	111
7.2	ÖLÇÜMLEME VE DOĞRULAMA İŞLEMLERİ	121
7.3	OLUŞTURULAN BENZETİM MODELİ İÇİN ÖLÇÜMLEME VE DOĞRULAMA İŞLEMLERİNİN YAPILMASI	122
7.3.1	Acıbadem için Tanımlanan Yollara Ait Kurallar	122
7.4	GÖZLEM VERİLERİNİN PTV VISSİM MODELİ ÖLÇÜMLEME VE DOĞRULAMA İŞLEMLERİNE AİT SONUÇLARI	125
7.4.1	Gözlem Verilerinin PTV Vissim Modelinin Ölçümlemesi.....	125
7.4.2	Gözlem Verilerinin PTV Vissim Modelinin Doğrulama İşlemleri....	132
7.5	SÜRÜCÜSÜZ ARAÇLARIN KESİNTİSİZ AKIM KOŞULLARINDA KARMA TRAFİKTEKİ ETKİLERİ.....	134

8	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	144
	KAYNAKLAR	147
	ÖZGEÇMİŞ	158



TABLO LİSTESİ

Tablo III.1.	Sürücüsüz Araçlara İlişkin Bazı Teknik Bilgilerin Karşılaştırılması	16
Tablo VI.1.	Belirlenen 9 Katılımcının Özellikleri.....	50
Tablo VI.2.	JANUS V2 Kameranın Özellikleri	55
Tablo VI.3.	Yavaşlama İvmesi Değerleri.....	69
Tablo VI.4.	Hızlanma İvmesi Değerleri	69
Tablo VI.5.	SIDRA Trip'te Önerilmiş Olan Sürücü Ölçümleme Katsayıları	71
Tablo VI.6.	p1, p2, p3 Bağlantı Katsayıları	72
Tablo VI.7.	Gönüllü Sürücülere Ait Kesintisiz Akımda Ölçülendirme Katsayıları	74
Tablo VI.8.	Gönüllü Sürücülere Ait Serbest Akımda Ölçülendirme Katsayıları	75
Tablo VI.9.	SIDRA Trip'te Önerilmiş Olan Değerlere Göre Sürücü Ölçümleme Verilerinin Sonuçları	76
Tablo VI.10.	D100 Acıbadem Kesiminden Toplanan Araç Verilerine İlişkin Bilgiler (Serbest Akım).....	84
Tablo VI.11.	D100 Acıbadem Kesiminden Toplanan Araç Verilerine İlişkin Bilgiler	86
Tablo VI.12.	Her Bir Şerit İçin Elde Edilen Sınır Değerleri	92
Tablo VII.1.	SIDRA Trip'de Tanımlanan Vakaya İlişkin Olayların Yazılıma Tanımlanması.....	98
Tablo VII.2.	SIDRA Trip Sürücüsüz Araç ve Gönüllü Sürücülere Ait Veriler....	100

Tablo VII.3.	SIDRA Trip’e Tanımlanan Sürücüsüz Araç ve Gönüllü Sürücülere Ait Veriler.....	101
Tablo VII.4.	Gözlem Verilerine Uygun Hacim Değerleri	123
Tablo VII.5.	Tanımlanan Taşıt Türlerine İlişkin Takip Süresi (Headway) Verileri	124
Tablo VII.6.	PTV Vissim’de Sürücülere Ait Hızlanma ve Yavaşlama İvmeleri	124
Tablo VII.7.	Sürücü Tiplerinin Dağılım Oranları	125
Tablo VII.8.	PTV Vissim’e Tanımlanan Serbest Akım Veri Tablosu.....	136

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil I.1.	UYM- Trafik Analiz Haritası.....	2
Şekil II.1.	Waymo İsimli Araç Görselleri.....	7
Şekil III.1.	Sürücüsüz Araç Genel Sistemi.....	11
Şekil III.2.	Sürücüsüz Araçların Sürücüsüz Sürüş Düzeyleri	13
Şekil IV.1.	Akım, Yoğunluk ve Hız Arasındaki İlişkiler	23
Şekil IV.2.	Uzunluk Cinsinden Takip Aralığı	25
Şekil IV.3.	Zaman Cinsinden Takip Aralığı.....	26
Şekil V.1.	Araç Takip Modeline Göre Farklı Eşiklerin Oluşturdukları Bölgeler.....	33
Şekil V.2.	Toledo&Koutsopoulos&Ben-Akiva Tarafından Önerilen Şerit Değiştirme Modelinin Yapısı.....	40
Şekil V.3.	Ahmed, K.I.Tarafından Önerilen Şerit Değiştirme Modeline Ait Akış Şeması	41
Şekil V.4.	Toledo, vd. Tarafından Önerilen Şerit Değiştirme Modelinin Yapısı	42
Şekil V.5.	Zorlamalı Birleşme Modelinin Yapısına Ait Akış Çizelgesi	44
Şekil V.6.	Şerit Değiştiren Araçla Onun Önünde ve Arkasında Yer Alan Araçlar Arasındaki İlişkinin Şematik Gösterimi.....	46
Şekil V.7.	Sürücü Davranışının Kavramsal Yapısı.....	47
Şekil V.8.	Bir Arterdeki Sürücülere Ait Şerit Değiştirme Modeli.....	48

Şekil VI.1.	Janus V2 Marka Kameranin Kendi Yazılımından Elde Edilen Kamera Görüntüsü ve Bilgiler	52
Şekil VI.2.	Hız Ve Konum Bilgilerinin Excel Programında Görüntülenmesine İlişkin Bir Ekran Görüntüsü	52
Şekil VI.3.	Verilerin SIDRA TRIP’de Görüntülenmesi.....	53
Şekil VI.4.	Janus V2 Kameranin Genel Görünümü	54
Şekil VI.5.	Janus V2 Kamerasından Araç İçi ve Dışı Görünümleri.....	55
Şekil VI.6.	JANUS Kameradan Elde Edilmiş Olan Görüntü.....	56
Şekil VI.7.	Hafıza Kartının Yuvasına Yerleştirilmesi.....	57
Şekil VI.8.	Harici GPS Monitörü Yardımıyla Kameranin Yerinin Belirlenmesi	57
Şekil VI.9.	Dokuz Eylül Üniversitesi’nde JANUS Kameranin Gönüllü Aracına Montajı	58
Şekil VI.10.	Güç Kablosunun Kameraya ve Çakmak Prizine Bağlanması	58
Şekil VI.11.	JANUS V2 Kamerasına Ait Programın Genel Görünümü	59
Şekil VI.12.	JDF Dönüştürücü Yazılıma Ait Görüntü	60
Şekil VI.13.	JDF Dönüştürücü Yardımı Ile Elde Edilen Hız ve Konum Bilgilerine İlişkin Dosya	61
Şekil VI.14.	Hız ve Konum Bilgilerinin Excel Programında Görüntülenmesine İlişkin Bir Ekran Görüntüsü	61
Şekil VI.15.	SIDRA Trip Yazılımında Tanımlanan Yolculukların “General Settings” Sekmesinde Girilen Veriler	63
Şekil VI.16.	SIDRA Trip Yazılımında Tanımlanan Yolculukların “Trip Settings” Sekmesinde Girilen Veriler	63

Şekil VI.17.	SIDRA Trip Yazılımında Tanımlanan Yolculukların “Speed Settings” Sekmesinde Girilen Veriler	64
Şekil VI.18.	SIDRA Trip Yazılımında Tanımlanan Yolculukların “Noise Settings” Sekmesinde Girilen Veriler	64
Şekil VI.19.	SIDRA Trip Yazılımında Tanımlanan Yolculukların “Cost & Level of Service (LOS) Parameters” Sekmesinde Girilen Veriler	65
Şekil VI.20.	SIDRA Trip Yazılımında Tanımlanan Gönüllü Sürücülerin Araçlarına İlişkin “Vehicles” Sekmesinde Girilen Veriler	65
Şekil VI.21.	SIDRA Trip Yazılımından Elde Edilen Yolculuk Değerlendirmesi Bilgileri.....	66
Şekil VI.22.	SIDRA Trip Yazılımından Elde Edilen Yol-Zaman Grafiği	67
Şekil VI.23.	SIDRA Trip Yazılımından Elde Edilen Hız-Zaman Grafiği	67
Şekil VI.24.	SIDRA Trip Yazılımından Elde Edilen İvme -Zaman Grafiği	68
Şekil VI.25.	SIDRA Trip Yazılımından Elde Edilen Sademe-Zaman Grafiği	68
Şekil VI.26.	SIDRA Trip Programında Tanımlanmış Olan Sürücü Tipleri	70
Şekil VI.27.	D100 Acıbadem Kesimi Gözlem Noktası	77
Şekil VI.28.	D100 Acıbadem Yol Kesiminin Bağlantısının Bulunduğu Yol Ağları	78
Şekil VI.29.	D100 Acıbadem Kesimi Gözlem Alanının Uydu Görüntüsü	78
Şekil VI.30.	D100 Acıbadem Kesimi Gözlem Alanının Fotoğrafı	79
Şekil VI.31.	D100 Acıbadem Kesiminde Referans Alınan Noktaların Mesafesine İlişkin Google Earth Ekran Görüntüsü	79
Şekil VI.32.	D100 Acıbadem Kesimine Ait Takip Süresi/Hız Grafiği	85

Şekil VI.33.	D100 Acıbadem Sol Şerit Hız Yoğunluk Grafiği	87
Şekil VI.34.	D100 Acıbadem Orta Şerit Hız Yoğunluk Grafiği	87
Şekil VI.35.	D100 Acıbadem Sağ Şerit Hız Yoğunluk Grafiği	88
Şekil VI.36.	D100 Acıbadem Sol Şerit Hacim Yoğunluk Grafiği	88
Şekil VI.37.	D100 Acıbadem Orta Şerit Hacim Yoğunluk Grafiği	89
Şekil VI.38.	D100 Acıbadem Sağ Şerit Hacim Yoğunluk Grafiği	89
Şekil VI.39.	Acıbadem Sol Şerit Hız Hacim Grafiği	90
Şekil VI.40.	Acıbadem Orta Şerit Hız Hacim Grafiği	90
Şekil VI.41.	Acıbadem Sağ Şerit Hız Hacim Grafiği.....	91
Şekil VI.42.	Araç Takip Modeli.....	93
Şekil VI.43.	PTV Vissim Ekran Görüntüsü	94
Şekil VII.1.	Google Earth Pro Yazılımından Elde Edilen, İstanbul Okan Üniversitesi Tuzla Yerleşkesi ve TEM Çamlıca Gişeleri Arasındaki Kesime Ait Yol Üstten Görünüşü ve Boykesiti	95
Şekil VII.2.	SIDRA Trip'in Ön Tanımlı Otomobili'nin Tanımlanmasına İlişkin Ekran Görüntüsü.....	96
Şekil VII.3.	Olayların Tanımlanmasına İlişkin SIDRA Trip Ekran Görüntüsü.....	97
Şekil VII.4.	Gönüllü Sürücülerin Yol – Zaman Grafiği	103
Şekil VII.5.	Gönüllü Sürücülerin Yol – Zaman Grafiği (0 – 300 sn).....	104
Şekil VII.6.	Gönüllü Sürücülerin Yol – Zaman Grafiği (300 – 600 sn).....	105
Şekil VII.7.	Gönüllü Sürücülerin Yol – Zaman Grafiği (600 – 900 sn).....	106
Şekil VII.8.	Gönüllü Sürücülerin Yol – Zaman Grafiği (900 – 1200 sn).....	107
Şekil VII.9.	Gönüllü Sürücülerin Yol – Zaman Grafiği (1200 – 1600 sn).....	108

Şekil VII.10.	Gönüllü Sürücüler ve Sürücüsüz Araca Ait Yakıt Tüketimi	109
Şekil VII.11.	Gönüllü Sürücüler ve Sürücüsüz Araca Ait Karbondioksit Salımı	109
Şekil VII.12.	Gönüllü Sürücüler ve Sürücüsüz Araca Ait Karbonmonoksit Salımı	110
Şekil VII.13.	Gönüllü Sürücüler ve Sürücüsüz Araca Ait Yanmamış.....	110
Şekil VII.14.	D100 Acıbadem Kesiminin PTV Vissim'e Tanımlanması.....	111
Şekil VII.15.	PTV Vissim'de Araç Sınıfı Ekranına Ait Bir Ekran Görüntüsü.....	112
Şekil VII.16.	PTV Vissim'de Araç Girişinin Tanımlanması.....	113
Şekil VII.17.	PTV Vissim'de Araç Rotalarının Belirlenmesi	113
Şekil VII.18.	PTV Vissim'de Araç Rotalarının Belirlenmesine İlişkin Bir Ekran Görüntüsü	114
Şekil VII.19.	PTV Vissim'de Veri Toplama Noktalarının Gözlem Alanlarına Yerleştirilmesi.....	114
Şekil VII.20.	PTV Vissim'de Veri Toplama Noktasının Yerleştirilmesine İlişkin Bir Ekran Görüntüsü.....	115
Şekil VII.21.	PTV Vissim'de Öncelik Kuralları Verisinin Yerleştirilmesi.....	116
Şekil VII.22.	PTV Vissim'de Öncelik Kuralları Verisinden Açılan Pencereye Ait Bir Ekran Görüntüsü	116
Şekil VII.23.	PTV Vissim'de Araç Bileşimleri Seçeneğinden Araç Oran ve Dağılımlarının Belirlenmesi.....	117
Şekil VII.24.	PTV Vissim'de Sürücü Davranışı Eklenmesine Ait Bir Ekran Görüntüsü.....	118

Şekil VII.25.	PTV Vissim’de Bağlantılı Davranış Türleri Penceresi Açılarak Oluşturulan Sürücüler Tipleri Düzenlenmesi	118
Şekil VII.26.	PTV Vissim’de Sürücülere Ait Hızlanma ve Yavaşlama İvmelerinin Düzenlenmesi	119
Şekil VII.27.	PTV Vissim’de Yapılandırma Kısımından Benzetimden İstenilen Veriye Ait Bilgiler.....	120
Şekil VII.28.	PTV Vissim’de Benzetim Parametresine Ait Bilgiler	120
Şekil VII.29.	Acıbadem Sol Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hız Hacim Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması	126
Şekil VII.30.	Acıbadem Orta Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hız Hacim Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması	126
Şekil VII.31.	Acıbadem Sağ Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hız Hacim Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması	127
Şekil VII.32.	Acıbadem Sol Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hız Yoğunluk Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması	127
Şekil VII.33.	Acıbadem Orta Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hız Yoğunluk Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması	128
Şekil VII.34.	Acıbadem Sağ Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hız Yoğunluk Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması	128
Şekil VII.35.	Acıbadem Sol Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hacim Yoğunluk Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması	129
Şekil VII.36.	Acıbadem Orta Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hacim Yoğunluk Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması	129

Şekil VII.37	Acıbadem Sağ Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hacim Yoğunluk Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması	130
Şekil VII.38.	Acıbadem'den Elde Edilen Hacim Verilerinin 10 Dakikalık Ortalamalarının Gözlem Verileri İle Karşılaştırılması	131
Şekil VII.39.	Acıbadem'den Elde Edilen Hacim Verilerinin Dakikalık Olarak Gözlem Verileri İle Karşılaştırılması.....	131
Şekil VII.40.	Acıbadem 10 Dakikalık Ortalama Olarak GEH değerleri	133
Şekil VII.41.	Acıbadem 10 Dakikalık Ortalama Olarak RMSE değerleri	133
Şekil VII.42.	Sürücüsüz Araç Yüzdesi Ortalama Gecikme Grafiği	137
Şekil VII.43.	Sürücüsüz Araç Yüzdesi Ortalama Durma Grafiği	137
Şekil VII.44.	Sürücüsüz Araç Yüzdesi Ortalama Hız Grafiği.....	138
Şekil VII.45.	Sürücüsüz Araç Yüzdesi Ortalama Gecikmeli Duraklama Grafiği	138
Şekil VII.46.	Sürücüsüz Araç Yüzdesi Toplam Mesafe Grafiği	139
Şekil VII.47.	Sürücüsüz Araç Yüzdesi Toplam Yolculuk Süresi Grafiği	139
Şekil VII.48.	Sürücüsüz Araç Yüzdesi Toplam Gecikme Grafiği.....	140
Şekil VII.49.	Sürücüsüz Araç Yüzdesi Toplam Duraklama Grafiği	140
Şekil VII.50.	Sürücüsüz Araç Yüzdesi Toplam Gecikmeli Duraklama Grafiği....	141
Şekil VII.51.	Sürücüsüz Araç Yüzdesi Etkin Araç Grafiği	141
Şekil VII.52.	Sürücüsüz Araç Yüzdesi Varan Araç Grafiği	142
Şekil VII.53.	Sürücüsüz Araç Yüzdesi Gizli Gecikme Grafiği	142
Şekil VII.54.	Sürücüsüz Araç Yüzdesi Gizli Talep Grafiği	143

SEMBOLLER

V	Hız
V_f	Serbest Akım Hızı
V_o	En Uygun Hız
V_i	Aracın İlk Hızı
v_f	Aracın Son Hızı
V_{max}	Düşük Hız Değeri
x	Yol
t	Zaman
k	Yoğunluk
k_o	En Uygun Yoğunluk
k_j	Tıkanıklık Yoğunluğu
q	Hacim
q_{maks}	En Yüksek Hacim Değeri
nt	“t” Süresi Boyunca Geçen Taşıt Sayısı
a	İvme
a_{null}	Belirsiz Olan İvme Değeri
a_{min}	Düşük İvme Değeri
a_{max}	Yüksek İvme Değeri
f_a	Hızlanma Katsayısı
f_d	Yavaşlama Katsayısı
$P_{1,2,3}$	Bağıntı Katsayıları
μ_t	Veri Grubuna Ait Ortalama
σ_t	Veri Grubuna Ait Standart Sapma
R	Medyandan Küçük Gözlem Sayısı
M_d	Veri Grubuna Ait Ortanca Değeri
n	Gözlem Sayısı
t_i	Takip Aralığı
X_i	Varsayılan Değişken
$\bar{t}$	Zaman Cinsinden Aritmetik Ortalama

KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ARK	Amerikan Radyo Kurumu
CO	Karbonmonoksit
CO₂	Karbondioksit
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency (Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Ajansı)
DP	Dinamik Programlama
DTÖ	Derin Takviyeli Öğrenme
DVR	Dijital Video Kaydı
EEM-I	Economic Evaluation Manual (Ekonomik Değerlendirme Kılavuzu)
EPA	Amerikan Çevre Koruma Ajansı
EPS	Electronic Stability Program (Elektronik Savrulma Önleyici Sistem)
GEH	Geoffrey E. Havers
GHR	Gazis-Herman-Rohery
GMM	Gizli Markov Modeli
GPS	Global Positioning System (Küresel Konum Belirleme Sistemi)
GS	Gönüllü Sürücü
HC	Yanmamış Hidrokarbon
INS	International Navigation System (Uluslararası Seyir Sistemi)
KŞD	Keyfi Şerit Değiştirme
LCD	Liquid Crystal Display (Sıvı Kristal Görüntü)
MTK	Model Tahmin Kontrolü

NHTSA	National Highway Traffic Safety Association (Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği Derneği)
OGT	Ortalama Günlük Trafik
OHT	Ortalama Haftalık Trafik
OKANOM	Okan Otonom Araç Projesi
PID	Proportional,Integral,Derivative (Oransal, Integral, Türev)
RMSE	Root Mean Square Error (Ortalama Karesel Hatanın Karekökü)
SAE	Society Of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Birliği)
SD	Secure Digital (Dijital Güvenlik)
SDV	Spark Delay Valve (Ateşleme Geciktirme Valfi)
SMD	Spring Mass Damper (Yay Kütle Sönümleyici)
STTC	Stationary Time To Collision (Sabit Çarpışma Zamanı)
SUV	Sport Utility Vehicle (Spor Amaçlı Taşıt)
TEM	Transit European Motorway (Trans Avrupa Otoyolu)
TT	Toplu Taşıma
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UYM	Ulaşım Yönetim Merkezi
V2I	Vehicle To Interface (Araçtan-Altyapıya)
V2V	Vehicle To Vehicle (Araçtan-Araca)
V2X	Vehicle To Everything (Araçtan-Her Şeye)
YOGT	Yıllık Ortalama Günlük Trafik
YOHT	Yıllık Ortalama Haftalık Trafik

YSA	Yapay Sinir Ağları
ZF	Zahnrad Fabrik
ZŞD	Zorunlu Şerit Değişirme



1 AMAÇ VE KAPSAM

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 2019 yılında yayınlanan verilere göre Türkiye nüfusu 83.154.997 kişidir. En kalabalık şehrimiz olan İstanbul' un nüfusu ise 15.519.267 kişidir [1]. İstanbul' un nüfusuna bağlı olarak trafik yoğunluğu da sürekli artmaktadır. Özellikle zirve saatlerde özel araç sahipleri, araçlarının sağladığı konforu tercih etmekte ve sürücüler kişisel otomobilleri ile yolculuk yapılmaktadır. Ulaşım yönetim merkezi trafik analizi ağ haritasında da trafik saatlerinin yoğun olduğu bir gün incelendiğinde yolculuk sürelerinin normal yolculuk süresinin (Google Haritalar üzerinden elde edinilen ortalamalara süreye göre, Şekil I.1'de verilmiştir.) [2] üzerine çıktığı görülmektedir. Bu da sürücüler tarafından istenilen zaman kazancını sağlamamaktadır. Trafiğin bir diğer olumsuz etkisi ise, çevre kirliliğidir. Bunun başlıca nedenlerinden biri de motorlu araçlardır. Araçların çıkardığı gürültü, egzoz gazı, yağ ve yakıt kaynakları sorunlar da çevreyi kirleten etmenlerdendir. Trafik sorunu, hem çevre için büyük sıkıntılar yaratmakta hem de trafikte geçirilen uzun süre dolayısıyla insanların ruhsal açıdan yıpranmasına neden olmaktadır.



Şekil 1.1. UYM- Trafik Analiz Haritası

Bu amaçla, geliştirilmeye başlanan sürücüsüz araçların yakın gelecekte trafikte yerlerini alarak bazı olumsuzlukları büyük ölçüde azaltacağı ön görülmektedir. Fakat, asıl araştırılması gereken nokta, sürücülü ve sürücüsüz araçların birlikte trafiğe çıkması durumu, yani karma trafik diye adlandırılan koşullar altında karşılaşılması beklenen sorunlardır.

Bu koşullarda sürücüsüz araçların karma trafikte bulunan sürücülü ve sürücüsüz araçların arasındaki etkileşimin nasıl olacağı ve bunun sonucunda trafik koşullarının ne ölçüde değişeceğini incelemek son derece önemlidir.

Bu tez kapsamında, karma araç trafiğinde oluşabilecek trafik koşulları göz önünde bulundurularak, İstanbul şehri içinde kesintisiz akım koşulları gözlemlenen noktalar olan D100 Karayolu Acıbadem kesimindeki, trafiğin akım, hız ve yoğunluk değişkenleri arasındaki ilişkileri incelenmiştir. SIDRA Trip programında belirlenen yollardaki sürücülü ve sürücüsüz araç davranışları karşılaştırılarak incelenmiştir. Daha sonra PTV Vissim ince boyutlu benzetim yazılımı ile farklı oranlardaki sürücüsüz taşıtların trafiğe olan etkileri incelenmiştir.

Tezin amacı karma araç trafiğinde yerini alacak olan sürücüsüz araçların trafiğe olası etkilerini incelemektir. Yakın gelecekte sürücüsüz araçların en başta sürücülü araçlar ile birlikte trafiğe çıkması durumunda oluşabilecek olumlu veya olumsuz birçok etki öngörülmektedir. Bunlardan bazıları, araç takip süresinin sürücülü ve sürücüsüz araçlarda farklı olacağından dolayı oluşabilecek durumdur. Sürücüsüz araç güvenli mesafede kalmak isterken, sürücülü araç kendi isteğine göre hareket edecek ve bu kuralı ihlal edebilir. Bu gibi etkiler bu tez kapsamında incelenmeye çalışılmıştır.

2 KAYNAK TARAMASI

Otomotiv sektöründeki gelişmeler, teknolojinin gelişmesine paralel olarak artmaktadır. Sürücüler, acil fren sistemi, uyumlu hız kontrol sistemi, şerit koruma sistemi, melez (hibrit) araçlar ve elektrikli araçlar gibi farklı kavramlarla ve uygulamalarla tanışmışlardır. En son oluşan büyük gelişme, özellikle yapay zekanın gelişmesiyle beraber ortaya çıkmış olan sürücüsüz araçlardır [3].

Otonom ya da robotik araç olarak ifade edilen sürücüsüz araçlar, araç mekaniğini bilişim teknolojileri ile bütünleştiren, gelişmiş kontrol sistemlerini kullanan araç içi ve çevresel verileri çözümleyerek (analiz ederek) bağımsız karar verebilme yetenekleriyle donatılmış akıllı makinelerdir [4]. Sürücüsüz araçlar “unmanned vehicle”, “autonomous car”, “uncrewed vehicle”, “driverless car”, “self driving car”, “robotic car” olmak üzere birçok farklı şekilde isimlendirilse de, bu araçların temel üretim amacının, insan unsurunu ortadan kaldırıp tam öz devinim (otomasyon) sağlanması olduğu için yaygın bir biçimde “otonom araç” (autonomous vehicle) olarak adlandırılmaktadır [4].

Sürücüsüz araçlar üzerinde yapılan ilk çalışmalar 1920’li yıllarda başlamıştır. Bilinen ilk çalışma 1925 yılında Haudina Radyo Kontrol şirketi tarafından geliştirilmiş sürücüsüz araca aittir. Aracın üzerine takılan bir anten yardımıyla kendisinin de içerisinde olduğu ikinci araçtan yayılan radyo sinyalleri sayesinde Haudina Radyo Kontrol şirketi aracı hareket ettirmeyi başarmıştır [5].

General Motors tarafından 1939 yılında Futurama Dünya Fuarı’nda sergilenen araç şehir içi yollarda, insanları güvenli bir şekilde otomatik olarak taşıyan bir araç olarak tanıtılmıştır [6].

1953 yılında Amerikan Radyo Kurumu (ARK) tarafından radyo kontrolünde yönlendirilebilen bir otomobil geliştirilmiştir. 1958 yılında trafik mühendisleri L. Hancock ve L.N. Ress Amerikan Radyo Kurumu'nun bulduğu fikir üzerine 121,92 metre uzunluğunda bir karayolu tesisinde sürücüsüz araç çalışması yapmıştır. Karayolu şeridi boyunca, üzerinden geçen aracın hızını belirleyebilmek amacıyla yola algılayıcı gömülmüştür [5]

Amerikan Radyo Kurumu ile General Motors firması birleşerek 1959-1960 yılları arasında, özel radyo verilerine sahip, ivmeleme ve frenleme davranışları gösterebilen iki model geliştirmiştir [7]

Makine mühendisi R.Teetor'ün icat ettiği hız sabitleme sistemi ilk olarak 1958 yılında, 1926 üretimi olan zamanının lüks aracı Chrysler Imperial'da kullanılmıştır [8].

1960'lı yıllarda Birleşik Krallık'a ait laboratuvarlarda sürücüsüz araca ait çeşitli denemeler yapılmıştır. 1955 yılında üretilen, Citroen DS marka aracı kullanılarak manyetik kablolar yardımı ile sürüş sağlanmış, hız ve yön sapması olmaksızın 130 km/sa hızla sürüş sonlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; sürücüsüz araç insan unsuru olmadan daha iyi bir sürüş gerçekleştirmiştir [9].

1977 yılında Japonya'da Tsubaka Makine Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen bir projede geliştirilen sürücüsüz araç beyaz bir çizgiyi takip ederek 30 km/sa hıza çıkabilmektedir [10].

1980'li yıllarda Ernst Dickmanns Münih'de bulunan Bundeswehr Üniversitesi'nde gerçekleşen çalışma ile gerçek anlamdaki ilk sürücüsüz aracı üretilmiştir. Bu araç, bilgisayar yardımı ile verilerin işlenebileceği kamera ve

algılayıcıların (sensörlerin) yer aldığı sürücüsüz bir araçtır. Araç yaklaşık olarak 95 km/sa hıza ulaşmıştır [10].

1995 yılında Carnegie Mellon Üniversitesi, Navlab isimli projesinde %98.2 verim ile 5000 km yol almıştır [9].

Prometheus projesi 1986 başlamıştır. Çalışmanın amacı; otonom sürüş sağlayabilen, araç rota yönlendirme sistemleri bulunan V2X (Vehicle to everything- Araçtan her şeye) gibi ileri düzey teknolojileri içeren sürücüsüz bir araç geliştirmektir. 1995 yılında başarı ile sonuçlanan projede kullanılan Mercedes marka araç, insan etkisi olmadan tek bir seferde 1758 km kadar yol almıştır. Belirlenen geçki boyunca 175 km/sa'ten daha yüksek hızlara ulaşan araç, sürücü gözetiminde olmasına rağmen kendi şerit değiştirme hareketlerini gerçekleştirmiştir [11].

2004 yılında DARPA firması tarafından sürücüsüz araç teknolojinin gelişimini hızlandırmak amacıyla bir yarışma düzenlenmiştir. Ancak finale kalan 15 yarışmacıdan hiç biri yarışmayı kazanamamıştır [12]. 2007 yılında DARPA tarafından düzenlenen diğer bir yarışmada Stanford Üniversitesi tarafından tasarlanan sürücüsüz araç bitiş çizgisini geçerek yarışmayı kazanmıştır [13].

Google firmasının 2009 yılında çalışmalarına başlamış olduğu sürücüsüz Waymo isimli araç, sınama aşamasında olup, deneme sürüşlerinde 16 milyon km ve benzetimde 11 milyar km mesafe kat etmiştir. Araç yola çıkmadan önce yolun geometrik özelliklerini, kaldırımlarını, şerit çizgilerini, trafik işaretlerini ve diğer birçok yol özelliklerini kendi üç boyutlu haritalarından çıkarabilmektedir [14]. Waymo isimli aracın görselleri ŞEKİL II.1'de verilmektedir.

Sürücüsüz araçların düşük tepki süreleri, kurallara daha katı bir halde uymaları ve araçlar ile altyapı arasındaki teknolojik iletişim üstünlükleri (avantajları) sayesinde

(Vehicle to Vehicle (Araçtan Araca) - V2V ya da Vehicle to Interface - V2I (Araçtan Altyapıya)) daha güvenli trafik ortamları ve daha yüksek kapasitede yol kullanımları sağlanabilecektir. Ancak sürücülü taşıtlardan sürücüsüz taşıtlara geçiş süreci bir anda olmayacaktır. Bu uzun süreç tamamlanıncaya dek sürücülü ve sürücüsüz araçlar trafikte bir arada bulunacaklardır.



Şekil 2.1. Waymo İsimli Araç Görselleri

Bazı araştırmacılara göre bu geçişin tamamlanmasının en erken 2050 yılında olması beklenirken [15], bazıları 2070 yılına kadar bu sürecin devam edeceğini düşünmektedir [16].

Sürücüsüz araçların algılama yeteneği, insan sürücülere göre daha yüksek olduğundan sürücüsüz araçların trafikteki payı arttıkça trafik kazalarında ve trafik sıkışıklığında azalma olacağı ön görülmektedir.

Araç başına kat edilen uzunluğun da kişi başına düşen araç sayısının azalmasıyla beraber artacağı öngörülmektedir [17]. Sürücüsüz araçların trafiğe olası etkilerini

incelemek amacıyla, 1997 yılında (Chang vd.) yapılan araştırmalarda hacim-hız-yoğunluk grafikleri, trafik akımı içerisinde sürücüsüz araçların farklı oranları için ayrı senaryolar oluşturulmuştur [18]. Uzunluk cinsinden taşıt takip aralığı, bir yolun kapasitesini önemli ölçüde etkileyen temel bir etkidir. Düşük takip aralıkları, yol kapasitesini artırırken, trafik güvenliğini azaltmaktadır. Farklı zemin koşullarının da hem kapasiteye hem de diğer değişkenlere etkileri bulunmaktadır [3]. Araştırmada yol kaplamalarının ıslak olmasının kapasiteyi %30 – 40 oranlarında, frenleme ivmesinin de otobüsler için %10, kamyonlar için %11 – 23 oranlarında azalttığı görülmüştür. Aynı şekilde kümelenme de arttıkça kapasitenin yükseldiği gözlemlenebilmektedir [19]. Yola bağlı talep arttıkça kapasiteye ulaşıp kuyruklanmalar olduğu gözlemlenmiştir [3].

Günümüzde sürücüsüz araçları hayata geçirmeye yönelik birçok engel bulunmaktadır. Bunlar; teknoloji engelleri (tüm şehirlerde güvenli bir şekilde ve sürücüleri olmadan çalışabilen sürücüsüz araçlar, deneme amacıyla sürüş testleri yapılmaktadır), düzenleyici engelleri (araç lisanslama standartlarına ihtiyaç vardır ve taksi benzeri hizmetlere yönelik ticari engellerin üstesinden gelinmesi gerekir) ve maliyettir [15].

Sürücüsüz araçların paylaşımlı kullanılması, maliyetleri aşağı çekebilecek önemli bir olanaktır. Bu, ileriye dönük bir bakış açısı sunmaktadır. Sürücüsüz araçların kullanılmaya başlanması, gelecekte toplu ulaşım taleplerini ve maliyetlerini önemli ölçüde etkileme olasılığına sahiptir. Bununla birlikte, sürücüsüz araç teknolojisinin gelişmesinin, ulaşımın geleceğini nasıl etkileyeceği ve modern şehirler için ne gibi sonuçlara yol açacağı tam olarak kestirilememektedir [15].

Başka bir çalışmada, insan sürücüler ve sürücüsüz araçlardan oluşan karma bir sistemde trafik akım özelliklerinde oluşan değişimler incelenmiştir. Çalışmada sürücüsüz araçların bulundukları ortamda hem araçlar arası iletişimin (V2V: Araçtan Araca) hem de araçların çevreyle ve altyapıyla iletişimlerinin (V2I: Araçtan Altyapıya) olmadığı kabul edilmiştir. İnsan sürücülerin davranış özellikleri (tepki süresi, hızlanma ve yavaşlama ivmeleri, vb.) saha çalışmalarıyla toplanan verilerden edilmiş, diğer yandan sürücüsüz araçların özellikleri yapılan bazı kabullere dayanarak belirlenmiştir [20].

Dünyada hızla üretimine başlanan sürücüsüz taşıtların denemelerine başlanmıştır. AVL Araştırma ve Mühendislik Türkiye mühendislerinin son yıllardaki çalışmaları sonucunda sürücüsüz olarak geliştirilen melez özellikli ilk sürücüsüz araç, İstanbul'da da test edilmeye başlanmıştır [21].

Sürücüsüz aracın hız kontrolünü sağlamak amacıyla yapılan bir çalışmada aracın belirlenen sabit hız değeri ile dönemeci veya yokuşu kat etmesi istenmektedir. Bu çalışma kapsamında uygulama ortamı olarak radyo kontrollü bir model araç dönüştürülerek aracın kontrolü için gereken algılayıcılar ile donatılmıştır. Bunun yanında PID kontrol yazılım algoritmasının ve diğer yazılımların farklı değiştirgeler (parametreler) ile üzerinde çalıştırılabileceği bir model oluşturulmuştur [22].

Başka bir çalışmada, 3 boyutlu oyun ortamı oluşturularak sürücüsüz araçların varlığı ile zenginleştirilmiş bir sanal trafikte sürüş deneyimleri ile sürücü davranışlarını ölçülmesi ve iyileştirilmesi çalışılmıştır. Bu çok kullanıcıli ciddi oyun için sürücülü ve sürücüsüz araç modelleri, yollar ve binalar içeren yerleşkeler geliştirilmiştir [23].

3 SÜRÜCÜSÜZ ARAÇLAR VE ÖZELLİKLERİ

3.1 Sürücüsüz Araçlar

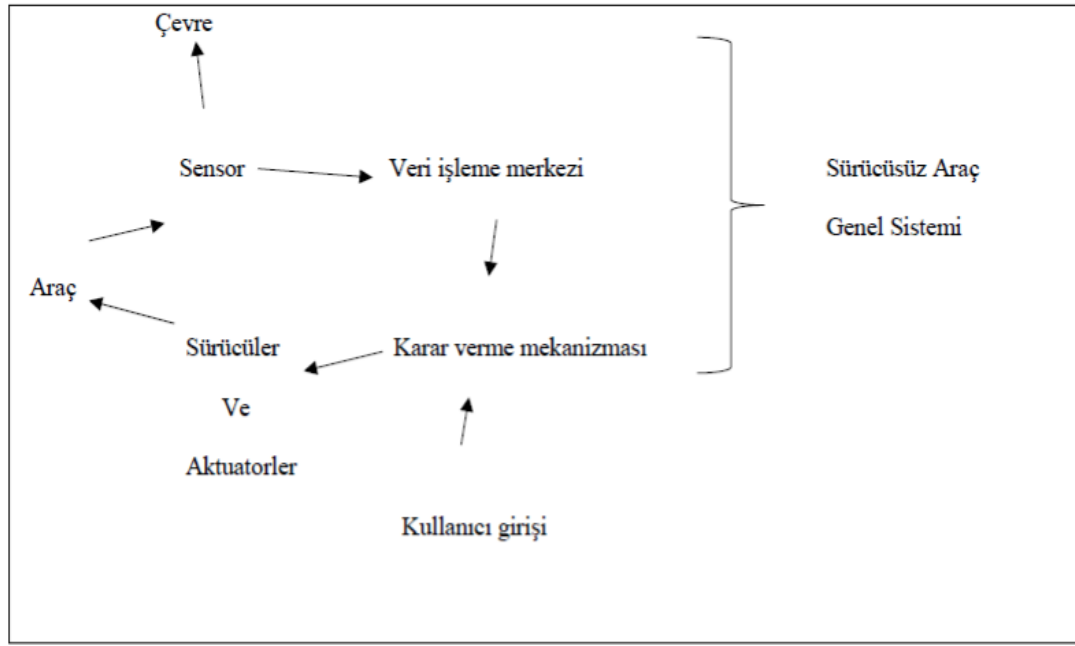
En basit tanımıyla; sürücüsüz taşıtlar insan gücüne ihtiyaç duymaksızın içerisinde bulunan yazılımlar ile karar verebilen sistemlerdir. Sürücüsüz araçlar, insan sürücülü araçlardan farklı olarak birçok ayrı teknolojinin birleşmesi ile hayat bulan yeni bir teknolojidir. Otomotiv üreticileri ana üretici olmakla birlikte sürücüsüz araçların bilgisayar yazılımları ve bu yazılımların topladığı verileri depolayacak olan sistemleri kuracakları alt yapıları ve tesisleri kuran şirketlerle etkileşim içerisinde çalışmaktadırlar [4].

3.2 Sürücüsüz Araçların Özellikleri

Sürücüsüz araçların gerekli işlevlerini yerine getirebilmeleri için araç üzerine tasarlanması gereken birçok donanım ihtiyacı vardır. Genellikle sürücüsüz araçlar birbirine benzer ve karar verme düzenekleri da benzerlik gösterir. Karar verme ve algılamada sürücüsüz araca yardımcı olan donanım sistemleri;

- Algılayıcı Sistemleri (Lidar): Lazer mesafe algılayıcıları engellere olan uzaklığı belirler. Radar sistemine benzer fakat ışık ışınları göndererek, bu ışınların çevresindeki nesnelerden geri dönüş süresini hesaplama mantığını kullanarak çalışır.
- Araç içerisinde bulunan sistemler (kamera, lidar, kızıl ötesi): Araç çevresinin üç boyutlu haritasını çıkarır.
- Radar: Lidara benzer bir biçime, çevresindeki nesnelere gönderdiği farklı radyo sinyali yansımalarının dönüş süresini hesaplayarak uzaklık ölçümü gerçekleştirir.

- INS (Internatinal Navigation System – Ataletsel Yöngüdüm Sistemi): İçerdiği jiroskop ve ivmeölçer ile sürekli olarak aracın konumunu, yönünü ve hızını ölçer.
- Kamera: Çevredeki nesnelerin algılanmasında kullanılır. ŞEKİL III.1’de [24] sürücüsüz araç genel sistemine dair görsel verilmektedir.



Şekil 3.1. Sürücüsüz Araç Genel Sistemi

Sürücüsüz araç düzeyi ve yoldaki motorlu taşıtların otomatik sürüş sistemine ilişkin terimleri, 2014 yılında Otomobil Mühendisleri Topluluğu (Society of Automotive Engineers – SAE) tarafından sınıflandırma ve tanımlamalar halinde yayınlanmıştır. Raporda, otomobil üreticilerin geleceğin sürücüsüz araçlarını üretmeye yönelik olarak ulaşılması gereken 6 öz devinim düzeyi belirtilmiştir. Eylül 2016’da Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi (National Highway Traffic Safety Association – NHTSA), 2013 yılında yayınlamış olduğu kendi resmi sınıflandırma sistemini çıkartarak, SAE’nin standartlarını kabul etmiştir. Bu standartlara göre;

0: Öz Devinir (Otonom) Olmayan: Tüm işi sürücü yapar. “Motor arıza ışığı” gibi uyarılar aracın beyni tarafından kontrol ediliyor olsa da bu bir öz devinim düzeyi sayılmaz.

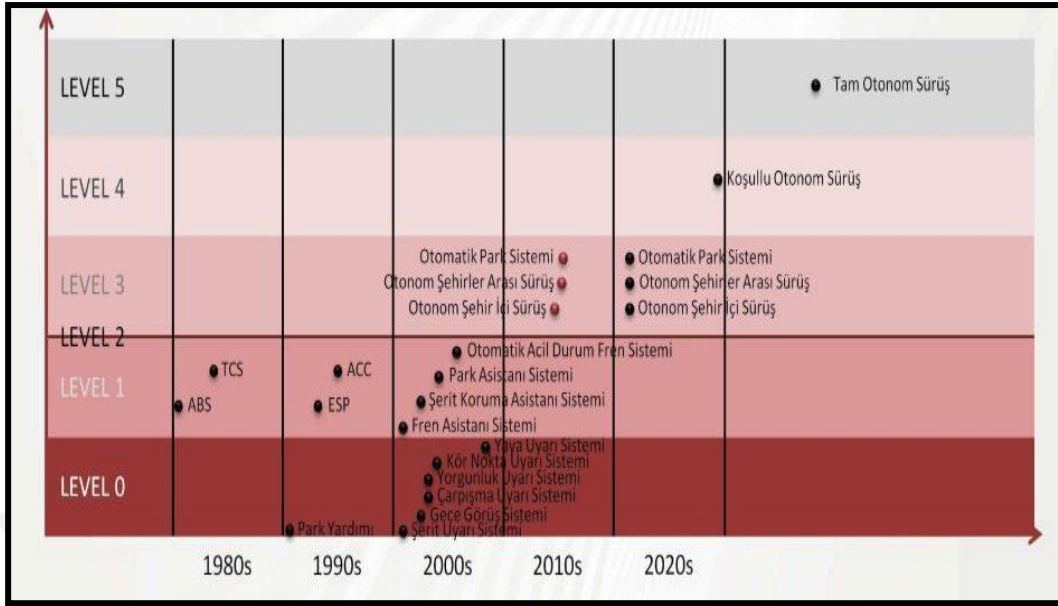
1: Sürücü Yardımcısı (Asistanı): Araç çeşitli durumlarda direksiyon yönlendirmesi ya da hız konusunda sürücüye destek olabilir fakat yine de tüm sorumluluk insan sürücüye aittir.

2: Kısmi Öz Devinir: Araç çeşitli durumlarda direksiyonu ve hızı tümüyle kontrol edebilir fakat sorumluluk yine de insana ait olacaktır.

3: Koşullu Öz Devinir: Araç direksiyonu ve hızı kontrol eder, algılayıcılarıyla yolu sürekli izler fakat gerekli durumlarda müdahale etmek için insan hazır beklemelidir. Bu düzeydeki araç miktarı azdır ve bu duruma dünyanın birçok yerinde henüz izin verilmemektedir.

4: Yüksek Öz Devinir: Araç her işlevi kontrol eder, gerekli durumlarda insandan yardım ister, yanıt alamasa bile çalışmayı sürdürür. Bu düzeydeki araçlar seri üretimde değildir ve henüz yasal da değildir.

5: Tam Öz Devinir: Araç bir insanın yapabileceği her şeyi yapar. Direksiyon bulunmasına gerek duyulmamaktadır. Bu düzeydeki taşıtlar henüz ilk örnek (prototip) aşamasındadır [24]. Şekil III.2’de Sürücüsüz araçların sürücüsüz sürüş düzeylerine ait görsel verilmektedir.



Şekil 3.2. Sürücüsüz Araçların Sürücüsüz Sürüş Düzeyleri

3.3 Sürücüsüz Araçların Üstünlükleri Ve Zayıflıkları

3.3.1 Sürücüsüz Araçların Üstünlükleri

Sürücüsüz araçların gelişmesi ve yaygınlaşması insan hayatında ve çevresinde birçok yarar sağlayacaktır. Sürücüsüz araçların başlıca faydaları ve üstünlükleri şöyle sıralanabilir;

- İnsan kaynaklı kazaları azaltmak,
 - Araç sayısının artışıyla kaynaklanan trafik yoğunluğunu azaltmak,
 - Fosil yakıt tüketimini azaltmak,
 - Sürüş kısıtlamalarından arınmak: Yaş sınırı, zihinsel ve/veya fiziksel engellerin araç sürüş deneyimine engel olması durumunun ortadan kalkması,
 - Sürüş konforunun ve güvenliğinin artırılması ile ulaştırılmasının sağlanması
- [25].

3.3.2 Sürücüsüz Araçların Olumsuz Etkileri Ve Zayıflıkları

Teknolojinin herhangi bir alanda gelişmesi ve ilerlemesi ile insanlığın alışmış olduğu koşulları etkilediğinden olumlu etkileri kadar, olumsuz etkileri de söz konusu olabilmektedir. Sürücüsüz araçların beklenen olumsuz etkileri ve zayıflıkları şöyle sıralanabilir;

- Araç içi olası ek donanımdan dolayı fiyatta artış olasılığı.
- Altyapının yetersizliğinden ve yenilenmesi gerektiğinden doğabilecek sorunlar.
- Hem üretim aşamasında hem de kullanım aşamasında insan gücüne ihtiyaç duyulmayacağından, işsizlik oranının bu alanda artmasından kaynaklı sorunlar.
- Herhangi bir siber saldırıda sürücüsüz aracın kontrolünü kaybetme olasılığı bulunmaktadır.

Yakın gelecekte trafikte yer alacak olan araçlar hem sürücüsüz olarak üretilen hem de insan sürücü tarafından kullanılan, iki sınıf araç olarak ayrılacaktır. Sürücülü araçlarda her ne kadar kullanıcı sürücü koltuğunda aracı kullanıyor olsa da araçtaki elektronik sistemler, sürücüsüz aracın diğer araçlarla sağlıklı bir şekilde iletişime geçebilmesi/haberleşebilmesi, sağlıklı veri üretebilmesi ve rotasında gidebilmesi için aracı kullanan sürücüyü devamlı olarak bazı hareketleri yapmaya ya da yapmamaya zorlayacaktır [25]. Bu hem teknolojik anlamda hem de yasal anlamda bir zorunluluk olarak sürücünün karşısına çıkacaktır [4].

3.4 Üretim Sürecinde Bulunan Sürücüsüz Taşıtlar

Sürücüsüz araçların teknik özelliklerinin ve yeteneklerinin bilinmesi, ulaştırma ve trafik mühendisliği açısından da oldukça önemlidir. Bu nedenle, bu tez kapsamında, geliştirilmekte olan sürücüsüz taşıt örneklerinin teknik özellikleri ve yetenekleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ortaya konan sonuçlar, trafik mühendisliğinin farklı alanlarında kullanılabilir. Bu nedenle sunulan tez çalışmasının sürücüsüz taşıtların işletileceği trafik koşulları için bir kılavuz niteliği görebileceği düşünülmektedir.

Geliştirilen sürücüsüz araçlara ilişkin bazı teknik bilgilerin karşılaştırması Tablo III.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1. Sürücüsüz Araçlara İlişkin Bazı Teknik Bilgilerin Karşılaştırılması

[illegible]

4 TRAFİK AKIM KURAMI VE TEMEL ELEMANLARI

Trafik, canlı (yükli veya yuksüz) veya cansız (motorlu ya da motorsuz) bütün nesnelerin kara yolları üzerindeki ulaşım, yolculuk veya taşıma amacı ile tek başlarına ya da grupça yaptıkları her türlü harekettir [26]. Trafik mühendisliği, yol ağlarının planlanması, geometrik tasarımı, trafiğin düzenlenmesi ve diğer ulaşım türleri ile ilişkisinin incelenmesidir [27].

4.1 Trafik Tekniğinin Kronolojik Gelişimi

Trafik tekniğinin 18. yüzyılın başından itibaren gelişimi şu şekilde özetlenebilir:

- 1850 yılında, New York'ta trafik tıkanmaları gözlemlenmiş ve polis ile denetim sağlanmaya çalışılmıştır. O dönemlerde inşaat mühendislerinin sadece yol inşaatı ile ilgilendiği kanısı bulunmaktaydı. Ancak zamanla yalnızca polis ile yönetmenin olanaksız olduğu anlaşılmış ve mühendislerden trafik problemlerinin çözülmesi için yardım istenmiştir.
- 1878 yılında, Amerika'da ilk motorlu araç patenti alınmıştır.
- 1904 yılında birçok yerde trafik sayımı ve kontrolü ile ilgili çalışmalar başlamıştır.
- 1907 yılında San Francisco'da ilk defa yaya adaları kullanılmaya başlanmıştır.
- 1908 yılında Rhode Island'da ilk şoför ehliyet kanunu çıkarılmıştır.
- 1910 yılında Detroit'de ilk defa el ile idare edilen renkli fenerler ve trafik memurları için yoldan yüksek platform ve şemsiyeler kullanılmıştır.
- 1911 yılında Wayne kentinde ilk defa beyaz yol eksen çizgisi kullanılmıştır.

- 1913 yılında James Hoge, bugünkü üç renkli sinyallerin ilk örneğini bulmuştur.
- 1914 yılında ilk defa Cleveland'da elektrikli ışıklı işaretler kullanılmıştır.
- 1915 yılında New York'da başlangıç ve son sayımları ile trafik kaza haritası kullanılmıştır.
- 1916 yılında E.P. Godrich tarafından yüksek bir binadan gözleme ile hız ve gecikme etütleri yapılmıştır.
- 1918 yılında Wisconsin'de ilk defa yol numaraları ve işaretleri kullanılmıştır.
- 1922 – 1927 yılları arasında trafik kule ve sinyallerinin uygulaması artmış, fakat 1930'dan sonra kuleler kaldırılmıştır.
- Trafik Mühendisi unvanı ilk defa 1921 yılında Ohio'da Harry Neal'a (Ohio Eyalet Trafik Mühendisi) verilmiştir.
- 1920-1930 yılları arasında, çeşitli gerekçelerle toplantılar, kongreler yapılmıştır.
- 1922 yılında Pittsburgh Üniversitesi'nde Prof. Lewis Mc Intyre tarafından ilk trafik dersi verilmiştir.
- 1924 yılında ABD'de ülke çapında yol güvenliği ile ilgili toplantılar yapılmıştır.
- 1927 yılında daha önce Ohio ve Minnessota Eyaletleri'nce kabul edilen trafik işaretleri ile ilgili temelleri benimseyen bir kitap yayınlanmıştır.
- 1930 yılında 30 üyesi ile Trafik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Traffic Engineers) kurulmuştur. Trafik mühendisliği resmen meslek olarak kabul edilmiştir.

- 1950 yılı başlarında ABD’de 43 eyalette ve 82 kentte trafik mühendisliği büroları açılmıştır.

Batı Avrupa ülkeleri trafik mühendisliği bakımından ABD’yi 10-15 yıl geriden takip etmektedir.

Ülkemizde ise 1947 yılında İsveçli prof. H.N. Pallin İTÜ İnşaat Fakültesi’nde ders vermek üzere davet edilmiş ve ilk Trafik Tekniği dersini vermeye başlamıştır [27].

4.2 Trafiği Oluşturan Elemanlar

Gerçekte karayolu trafiğini oluşturan elemanlar;

1. Yol
2. Taşıt
3. İnsan’dır.

Bu elemanları birbirinden ayırmak mümkün değildir. Çünkü;

İnsansız taşıt düşünülemez, insan taşıt ile trafiği oluşturur, taşıt, yol ve park sahası olmayan yerde trafik de yoktur.

Genel olarak karayolu trafiği ile uğraşanlar meseleyi 3E olarak görürler:

- Education (Eğitim)
- Enforcement (Yaptırım)
- Engineering (Mühendislik)
- Eğitim ve yaptırım insan, mühendislik ise yollar üzerinde etkilidir [27].

4.3 Trafik Akımının Temel Değişkenleri

Trafik akımının temel değişkenleri uzunluk, zaman ve trafik birimidir. Uzunluk “x” ile gösterilir. Uzunluk için kullanılan birimler ise genelde metre (m) ya da

kilometre (km)'dir. Zaman “t” ile gösterilir. Zaman için kullanılan birimler ise genelde saniye (sn), dakika (dak) ya da saat (sa)'dir. Trafik birimi “n” ile gösterilir. Trafik birimi için kullanılan birim ise yaya, taşıt ya da birim taşıttır.

Trafik akımı, sürücü ve araç davranışının bir bileşimini içerir. Sürücü davranışları düzensiz olduğundan dolayı, trafik akımı da düzensizdir. Trafik akımı hem araç hem sürücünün bireysel özelliklerinin birbiriyle etkileşiminden etkilenir. Bu yüzden, trafik akışı insan davranışındaki değişime bağlı olarak yer ve zamana göre değişim gösterir.

Trafik akımı, özelliklerin kestirilebileceği bazı değişkenlere sahiptir. Bu değişkenler, yoğunluk ve trafik akımını içeren nitelik ve hızı içeren nicelik ölçümleridir. Trafik akım değişkenleri, bir bütün olarak trafiği betimleyen kaba boyutlu (makroskopik) veya akımdaki her bir aracın diğerlerine göre davranışlarını inceleyen ince boyutlu (mikroskopik) ölçekte olabilir. Kaba boyutlu özellikler, nicelik veya niteliksel olarak, akım, yoğunluk ve hız olarak sınıflandırılabilir. İnce boyutlu özellikler ise taşıtlar arasındaki uzunluk ya da zaman cinsinden takip aralığını içerir [26].

4.3.1 Hacim

Belirli bir süre boyunca bir yolun, yönün ya da şeridin bir kesiminden geçen taşıt sayısı olarak tanımlanır. Bir yoldaki taşıtlar iki farklı şekilde sayılabilir. Bunlardan ilki akım ya da hacimdir ve belirli bir süre boyunca bir yolun, yönün ya da şeridin bir kesiminden geçen taşıt sayısı olarak tanımlanır. Belirlenen t süresi boyunca geçen taşıt sayısı nt 'yi sayarak yapılır.

Akım planlama ve tasarım sırasında zaman ölçütü olarak gün alınarak da tanımlanabilir q akımı, taşıt/saat cinsinden şöyle elde edilir:

$$q=nt/t \quad (III.1)$$

formülünden gelen n taşıt sayısı ve t zaman olduğundan, $\text{akım} = \text{taşıt} / \text{zaman}$ olur [28], [29].

4.3.1.1 Hacim ölçüm türleri

Trafik hacminde önemli değişimler olduğu için, bu değişimleri tek bir hacim ölçümüne indirgeyip tasarım amacıyla kullanabilmek için bazı hacim ölçümleri geliştirilmiştir:

1.Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT): Bir kesimden 365 gün boyunca geçen taşıtların 24 saatlik ortalama trafik hacim değeridir. Diğer bir deyişle, bir kesimden bir yıl boyunca geçen taşıtların sayısının 365'e bölünmesiyle elde edilir.

2.Yıllık Ortalama Hafta içi Trafiki (YOHT): Bir yıldaki hafta içi günlerinde oluşan 24 saatlik ortalama trafik hacim değeridir. Bir yılın hafta içi günlerinde geçen taşıt sayısını 260'a bölerek elde edilir.

3.Ortalama Günlük Trafik (OGT): Bir yıldan daha kısa bir sürede belirli bir kesimde gerçekleşen 24 saatlik ortalama trafik hacim değeridir. 6 ay, bir mevsim, bir ay, bir hafta hatta iki gün gibi kısa bir süre için bile ölçülebilir. OGT yalnızca ölçüldüğü dönem için geçerli bir değerdir.

4.Ortalama Hafta içi Trafiki (OHT): Bir yıldan kısa bir sürede belirli bir kesimde hafta içi günlerde gerçekleşen 24 saatlik ortalama trafik hacim değeridir.

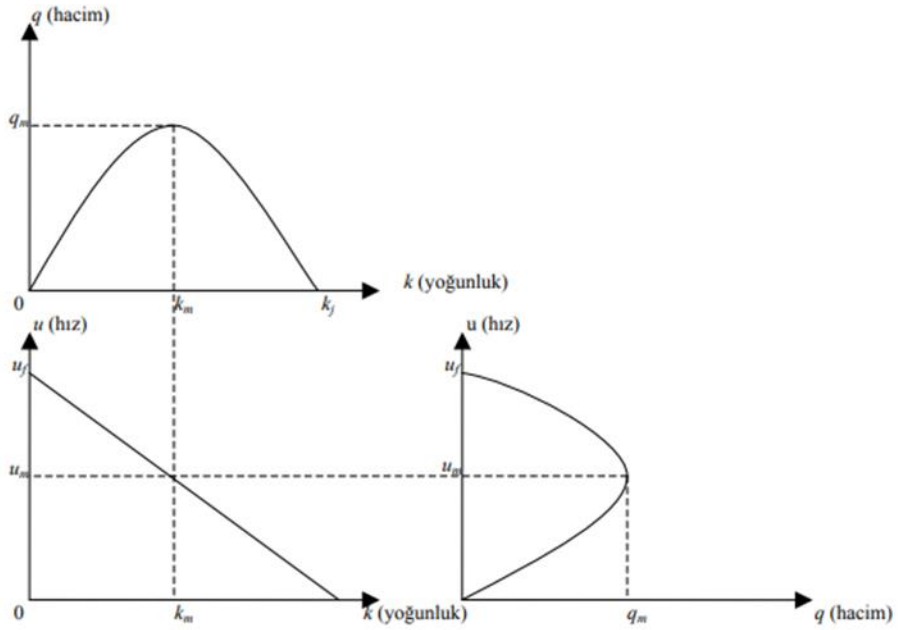
4.3.2 Yoğunluk

Trafik yoğunluğu (k), yolun birim uzunluğunda (genellikle 1 kilometre) herhangi bir anda bulunan taşıt sayısı olarak ifade edilir. Boyutu taşıt/kilometre-şerit'tir. İki adet özel yoğunluk vardır: Bunlar, tıkanıklık yoğunluğu (k_j) ve en uygun (optimum) yoğunluktur (k_0). Tıkanıklık yoğunluğu, trafik akım hızı sıfıra yaklaştığında oluşan

yoğunluktur. En uygun yoğunluk ise en yüksek akım koşullarına ulaşıldığında meydana gelen yoğunluktur. Trafik yoğunluğu değeri sıfırdan araçların tampon tampona durdukları aşamaya kadar değişik değerler alabilir. Bu üst sınıra *tıkanıklık yoğunluğu* denir [30].

4.3.3 Hız

Hız (u), trafiği meydana getiren taşıtların toplu halde oluşturdukları akımın birim zamanda aldığı yoldur. Buradaki birim zaman, genellikle, 1 saat ve 1 saniye olarak kullanılır. Trafik akım hızı (u), akımın ortalama hızı olarak tanımlanır ve km/sa olarak ifade edilir. Hız katsayısının iki özel değeri vardır. Bunlar, serbest akım hızı (u_f) ve en uygun hız (u_o) değerleridir. Serbest akım hızı, trafik akım değerinin sıfıra yaklaştığı serbest akım koşullarında erişilen hızdır. En uygun hız ise en yüksek akım koşullarında görülen hıza verilen addır. Taşıtların tek tek hızlarından söz edilebileceği gibi, trafik akımının hızından da bahsedilebilir. Temel değişkenlerden faydalananarak $u = x / t$ olarak ifade edilir. Buna göre, x alınan yolun uzunluğu olduğunda, hız = yol / zaman birimi elde edilir. Hacim, yoğunluk ve hız arasındaki ilişki Şekil IV.1'de [31] verilmiştir.



Şekil 4.1. Akım, Yoğunluk ve Hız Arasındaki İlişkiler

4.4 Kapasite ve Talep

4.4.1 Kapasite

Mevcut koşullar altında yolun birim kesitinden birim zamanda geçen en fazla araç, insan ya da birim sayısıdır [30]. Trafik akımının özel değeri, akımın en yüksek (q_m) değeridir ve bu değer kapasite olarak adlandırılır. Kapasite, en sık görülen yol, trafik ve kontrol şartlarında, bir yolun belirli bir kesitinden bir saat içinde geçirilebilecek en yüksek taşıt sayısı olarak tanımlanır [31].

4.4.2 Talep

Yolun bir kesitinden geçmek isteyen araç veya insan sayısıdır. Kapasite noktasına kadar talep hacim değerine eşittir. Kapasite noktasını aştıktan sonra talep hacmi geçmeye başlar.

4.5 Trafik Akım Modelleri

Trafik akım modellemesinde genel olarak iki ana modelleme tekniği kullanılmaktadır. Bu teknikler, kaba ve ince boyutlu modeller olarak sınıflandırılmaktadır. Her iki modelde de bazı istatistiksel incelemelerin yapılması zorunludur. Kaba boyutlu modellerde, Poisson, Binom veya Negatif Binom dağılımları kullanılırken; ince boyutlu Modellerde, Negatif Üstel, Ötelenmiş Negatif Üstel, Gamma, Erlang, Pearson Tip III gibi dağılımlar kullanılmaktadır. Son yıllarda ince boyutlu modellerde kullanılan diğer önemli bir istatistiksel dağılım ise Cowan M3 dağılımıdır [32].

4.5.1 Kaba Boyutlu Modeller

Kaba boyutlu model, trafiğin genel karakteristikleri olan hız (u), yoğunluk (k) ve hacme (q) bağlı olarak tanımlanmasıdır. Bu şekilde bir tanımlamada, akım bir bütün olarak ele alınır ve belirli zaman aralıklarında araç sayımları, hız ölçümleri ve/veya yoğunluk ölçümleri yapılarak trafik akımı tanımlanmaya çalışılır [33]. Yolun belirli bir kesitindeki taşıt geçişlerinin birbirinden bağımsız ve rastgele olduğu kabul edilirse; birim zamanda geçen ortalama taşıt sayısı “ q ” ve gözlem süresi “ t ” ise, bu süre içerisinde bu kesitten geçebilecek taşıt sayısı “ $q.t$ ” olarak bulunacaktır. Ancak, gelişlerin rastgele olması, her “ t ” aralığındaki araç sayısının birbirinden farklı olması sonucunu doğurmaktadır [33].

4.5.2 İnce Boyutlu Modeller

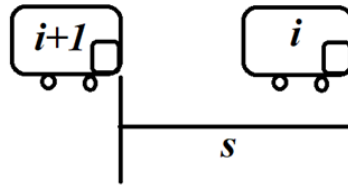
İnce boyutlu modellerde ise, yol üzerinde bulunan araçlar ayrı ayrı tanımlanmaktadır. İnce boyutlu modellerde her aracın ayrı ayrı davranışları ele alınmakta ve taşıt hareketinin bazı genel özellikleri incelenmektedir. Trafik hacminin

düşük olduğu durumlar dışında her taşıtın hareketi, önündeki araçla sınırlanmaktadır. Bu sınırlamalar, araç hareketlerinin temel özellikleriyle ilgili olduğundan, araç takibi kuramı kullanılarak incelenebilir [34].

Bu değişkenler içerisinde en önemli değiştirge birbirini takip eden taşıtlar arasındaki aralıktır. Birbirini takip eden araçlar arasındaki ilişki; uzunluk cinsinden ve zaman cinsinden takip aralığı olarak ikiye ayılabılır [32].

4.5.2.1 Uzunluk Cinsinden Takip Aralığı

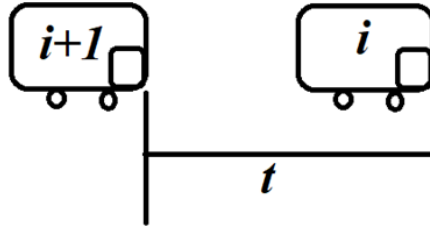
Uzunluk cinsinden takip aralığı (spacing - s), " i " aracının ön tamponu ile takip eden " $i+1$ " aracının ön tamponu arasındaki uzunluktur. Şekil IV.2'de bu aralık görülmektedir [32].



Şekil 4.2. Uzunluk Cinsinden Takip Aralığı

1.1.1.1. Zaman Cinsinden Takip Aralığı

Zaman cinsinden takip aralığı (headway - h) ise, " i " aracının ön tamponun belirli bir noktayı geçtiği anla, takip eden " $i+1$ " aracının ön tamponunun aynı noktayı geçtiği an arasındaki zaman farkıdır. Şekil IV.3'de bu aralık görülmektedir [32].



Şekil 4.3. Zaman Cinsinden Takip Aralığı

Zaman cinsinden takip aralığı değerlerinin istatistiksel olarak modellenmesi, basit ve karmaşık modeller olarak ayrılmaktadır.

Zaman cinsinden aralık modellerinin kuramsal değerlendirilmesinde üç unsur dikkate alınmaktadır:

1. Uygunluk
2. Kullanılabilirlik
3. Geçerlilik [34]

Basit dağılımlar, genel olarak kullanımları basit olmasına rağmen, zaman cinsinden aralık değerlerinin tanımlanmasında yetersiz kalabilmektedirler. Özellikle dağılımın kuyruk kısmının tanımlanmasında, basit dağılımlar kullanıldığında büyük sorunlarla karşılaşılabilir. Bu da zaman cinsinden aralık değerlerinin modellenmesinde farklı özelliklere sahip dağılımların kullanılması zorunluluğunu doğurmaktadır. Bu durumda karmaşık modeller önem kazanmaktadır [30].

5 SÜRÜCÜ DAVRANIŞLARI

5.1 Taşıt Takip Modelleri

Sürücüsüz araçlar, yıllardır dünya çapında incelenen ve bilim dünyasının odağında olan bir konudur. Artan nüfus ve değişen yaşam koşullarına bağlı olarak, şehirleşmeyi arttırmakta ve ulaşım alanında yeni ve farklı talepler oluşturmaktadır. Sürücüsüz araçlar ile bu taleplerin karşılanması hedeflenmektedir. Bu değişim hızlı veya bir gecede gerçekleşebilecek bir şey değildir. Kısıtlı kullanım 2020'lerin sonlarına doğru, daha geniş alanda kullanılmaya başlanması ise 2040 yılından sonra gerçekleşmesi öngörülmektedir [35]. O zamana kadar hem sürücülü hem de sürücüsüz araçlar trafikte bir arada bulunmaya devam edeceklerdir.

Sürücüsüz araçlar, başlangıç ve varış noktaları arasında sürücü etkisine ihtiyaç duymadan yolculuğunu tamamlayabilen araçlardır. Literatürde bu araçlardan aynı zamanda kendi kendini sürebilen araç ya da robotik araçlar olarak da bahsedilir [36]. Araçların üzerinde bulunan LIDAR, GPS, görsel odometre ve bilgisayarla görme teknolojileri sayesinde, araç kendi etrafındaki yol durumunu ve trafik akışını inceleyebilir ve saptamalarına göre kendi kendine karar vererek yolculuğunu güvenli bir şekilde sürdürebilir. Otomotiv Mühendisleri Topluluğu (SAE) 5 öz devinirlik düzeyi belirlemiştir. Bu düzeylere göre 1. düzey hiçbir sürücü yardımı olmayan öz devinirlik sistemi gösterirken 5. düzey tamamen otomatik olan ve kesinlikle bir sürücü etkisi olmayan sistemi temsil etmektedir [37]. Sürücüsüz araçlar trafikteki bazı tehlikeli durumları daha hızlı saptayıp, uygun bir biçimde hareket edebilirler. Bu özellikleri sayesinde yolların ve kavşakların kapasitelerinde bir artış, trafik kazalarında ve yolculuk sürelerinde bir azalma ve daha verimli yakıt ve enerji

tüketimi gibi faydalar sağlanması beklenmektedir [38]. Trafiğe sağlayacağı faydaların yanı sıra, sürücülerin enerjilerini ve dikkatlerini daha üretken eylemlere yöneltmesi gibi faydalar da sağlanabilecek, bununla birlikte genç, yaşlı ya da engelli yolculara kolay ulaşım olanağı sunulabilecektir [39]. Bu faydaların sağlanabilmesi için öncelikle sürücüsüz araçların insan sürücülerin davranabildiği gibi bazı davranışları gerçekleştirebilmeleri gerekmektedir.

Araç takip modeli ilk olarak 1953 yılında Pipes [40], tarafından sunulmuştur ve bu model hareket eden araçların davranışlarını tanımlayabilmek için kullanılmıştır [41]. Hıza bağlı bir fonksiyon olan bu modelin denklemi aşağıdaki gibidir (V.1).

$$d_{MIN} = [x_n(t) - x_{n+1}(t)]_{MIN} = L_n \left[\frac{v}{(1,47)(10)} \right] + L_n \quad (V.1)$$

d_{MIN} değeri iki aracın arasında olması gereken en küçük güvenli takip uzunluğunu göstermektedir. $x_n(t)$ ve $x_{n+1}(t)$ sırasıyla takip edilen aracın t anındaki konumunu ve takip eden aracın t anındaki konumunu göstermektedir. v ise takip eden aracın hızını göstermektedir. Son olarak L_n takip edilen aracın uzunluğunu göstermektedir. Bu model bir aracın başka bir aracı güvenli bir aralıkla takip edebilmesini hedefleyerek türetilmiştir. Takip eden sürücünün, her 10 km/saat hızı için, takip ettiği araçla arasında en az bir araç mesafesi bırakması bu modelle sağlanmaktadır.

Bu klasik modeli kullanarak (Ioannou ve Chien, 1993) sürücüsüz ve akıllı bir seyir kontrol sistemi geliştirmiştir ve bu sistem ile normal sürücülü araçların trafik akımı üzerindeki etkileri ve başarımları kıyaslanmıştır [42]. Sonuç olarak bu sistem ile daha hızlı ve sorunsuz bir trafik akımı sağlandığı tespit edilmiştir [43]. Pipes'ın

araç takip modelini, en uygun hız fonksiyonu ile birleştirerek daha da geliştirmiştir. Genel bir ölçüt belirleyip değerlendirerek [44] tehlikeli bir durum olup olmayacağını tahmin ettiği bir sistem geliştirmiştir. Bu ölçüt oluşturulurken araç takip modellerinin istikrarlılığı temel alınmıştır. Klasik modeli geliştiren [45] en yakın komşu etkileşimini kullanarak klasik araç takip modelini geliştirmiş ve bu sayede trafik akışı dengeye oturmuştur [46]. yeni bir araç takip modeli sunmuş ve bunu çok evreli trafiği tanımlayabilmek için kullanmıştır. Bu sayede ani kapasite düşüşü ve trafik gecikme döngüleri türetilebilmiştir [47]. trafik akışının sadece ileriye dönük bilgilerden değil, ayrıca geriye dönük bilgilerden de etkilendiğini fark etmiş ve bunun üzerine akıllı ulaştırma sistemlerini ve geriye dönük etkileri kullanarak bu modeli geliştirmiştir [48].

Trafik akışındaki araçlar arası iletişimin güvenilirliğini tartışmıştır. Bu güvenilirliği ölçerken bir bilginin belirli bir noktadan daha öteye erişebilme olasılığı ele alınmıştır. Olasılıksal (stokastik) modeller hem homojen hem de genel akımlar için sunulmuştur. Bu temel model üzerine daha birçok yeni model türetilmiştir. Temelde geleneksel 4 tip araç takip modeli mevcuttur: uyarıcı temelli, güvenli uzaklık, psikofizik ve arzu edilen ölçü modelleri.

- Uyarıcı temelli modeller, takip eden aracın ivmesini, takip ettiği lider araca olan göreceli uzaklığına ve lider aracın hızına göre, ayarladığını varsaymaktadır [49].
- Güvenli uzaklık modelleri, takip eden aracın belirlediği bir hızla takip ettiği araç ile arasındaki mesafeyi korumayı hedefleyen modellerdir. Bu kategoride en yaygın olarak [50] modeli kullanılmaktadır.

- Arzu edilen ölçü modeline göre sürücünün her zaman sağlamak istediği bir durumu olduğu varsayılmaktadır ve sürücü sürekli olarak arzu edilen ve gerçekte olan durumlar arasındaki farkı azaltmaya çalışmaktadır. IDM bu kategoride en çok kullanılan modeldir [51]. Bu model arzu edilen hızı ve takip uzaklığını dikkate almaktadır.

Psikofizik modelleri trafik durumlarına göre sürücü davranışlarının değiştiğini varsaymaktadır [52] modeline göre sınır şartları göreceli hız ve göreceli takip edilen araca olan uzaklığın bileşimi sonucu oluşan terimler tarafından belirlenir.

VISSIM adlı trafik benzetimi programı psikofizik bazlı [52] modelini kullanmaktadır. Bu model Fritzsche modeli [52] gibi sürücü davranış biçimlerini sınırlandıran eşiklerden oluşmaktadır. Bu model açıklanırken takip eden araç n ile takip edilen araç ise $n - 1$ şeklinde gösterilmiştir. Sabit duran araçlar arasındaki arzulanan mesafe (AX) eşiği aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$AX = L_{n-1} + AX_{add} + RND1_n \cdot AX_{mult} \quad (V.2)$$

AX , öndeki aracın uzunluğu (L_{n-1}) ve takip eden aracın önü ile takip edilen aracın arkasındaki aralıkta kalan mesafeyi içermektedir. AX_{add} ve AX_{mult} ölçümlenen değiştirgelerdir. $RND1_n$ sürücüye bağlı olan normal dağılımlı bir değiştirgerdir.

Düşük hız farkı olduğu durumlarda arzu edilen en düşük takip uzaklığı (ABX) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$ABX = AX + BX \quad (V.3)$$

$$BX = (BXadd + BXmult.RND1_n)\sqrt{v} \quad (V.4)$$

$BXadd$ ve $BXmult$ ölçümlenecek değiştirgelerdir. Hız (v) ise aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$v = \begin{cases} v_{n-1} & (v_n > v_{n-1}) \\ v_n & (v_n < v_{n-1}) \end{cases} \quad (V.5)$$

En yüksek takip uzaklığı (SDX), ABX değerinin 1,5 ila 2,5 katı arasında değişmektedir. SDX aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$SDX = AX + EX.BX \quad (V.6)$$

$$EX = (EXadd + EXmult(NRND - RND2_n)) \quad (V.7)$$

$EXadd$ ve $EXmult$ ölçümlenen değiştirgelerdir. $NRND$ rastgele türetilen normal dağılıma sahip bir sayıdır. Son olarak $RND2_n$ sürücüye bağlı olan normal dağılımlı bir değiştirgedir.

Sürücünün daha yavaş bir araca yaklaştığını fark ettiği nokta eşiği (SDV) aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$SDV = \left(\frac{\Delta x - L_{n-1} - AX}{CX} \right)^2 \quad (V.8)$$

$$CX = CXconst. (CXadd + CXmult.(RND1_n + RND2_n)) \quad (V.9)$$

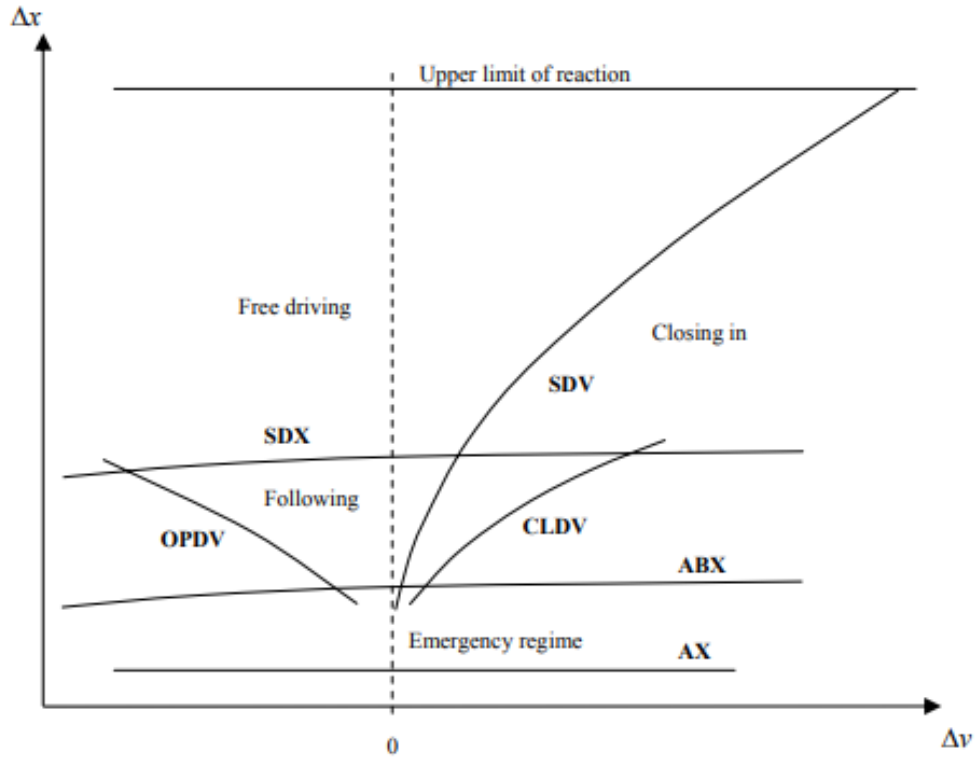
CX_{mult} , CX_{add} ve CX_{mult} ölçümlenen değıştirgelerdir. Düşük hız farklarını algılayabilmek adına Wiedemann ve Reiter (1992) SDV 'ye benzer bir eşik daha belirlemiştir ($CLDV$). $CLDV$ değeri kısa ve azalan uzaklıklarda küçük hız farklarını algılamak için kullanılmaktadır. VISSIM yazılımı bu eşığı yok saymakta ve bu değeri yerine doğrudan SDV değerini kullanmaktadır.

Bir başka eşik olan $OPDV$ değeri ise, sürücünün takip ettiği araçtan daha yavaş bir hızla gittiğini fark ettiği noktayı göstermektedir ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$OPDV = CLDV.(-OPDV_{add} - OPDV_{mult}.NRND) \quad (V.10)$$

$OPDV_{add}$ ve $OPDV_{mult}$ ölçümleme değıştirgeleridir. $NRND$ ise normal dağılıma sahip rastgele türetilen bir sayıdır.

Yukarıdaki eşikler ile araç takip bölgeleri (usulleri) oluşmaktadır. Bunlar takip (Following), serbest sürüş (Free driving), yaklaşma (Closing in) ve acil durum (Emergency regime) bölgeleridir (Şekil V.1) [52].



Şekil 5.1. Araç Takip Modeline Göre Farklı Eşiklerin Oluşturdukları Bölgeler

SDV, *SDX*, *OPDV* ve *ABX* eşiklerinin oluşturduğu bölgenin adı takip bölgesidir.

Bu bölgedeki araçların ivme oranı tüm zamanlar için sıfırdan farklı kabul edilmektedir. Bu tercih, ivmelenme yönetimindeki hataları hesaba katabilmek adına yapılmıştır. Bir araç *SDV* ya da *ABX* eşiğini geçtikten sonra bu bölgeye girdiğinde ivme değeri $-b_{null}$ olarak değiştirilirken, *OPDV* ya da *SDX* eşiğini geçtikten sonra ivme değeri b_{null} olarak ayarlanır. Hızlanma ya da yavaşlama ivme değeri b_{null} aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$b_{null} = BNULLmult. (RND4_n + NRND) \quad (V.11)$$

$BNULLmult$ ölçümleme değiştirgesidir. $NRND$ rastgele türetilen normal dağılıma sahip bir sayıdır. Son olarak $RND4_n$ normal dağılımlı bir sürücü değiştirgesidir.

Serbest sürüş bölgesi, diğer tüm eşiklerin üzerinde bulunan bölgeyi kapsamaktadır. Bu bölgedeki araçlar çevresindeki trafikten etkilenmemektedir. Araç istediği hıza erişmek için bu bölgede en yüksek ivme değeriyle hareket etmektedir.

Araç istediği hıza eriştiğinde belirsiz olan ivme değeri b_{null} kullanılarak modellenir. Özel araçlar için tanımlanan en yüksek ivme (b_{max}) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$b_{max} = BMAXmult. (v_{max} - v.FaktorV) \quad (V.12)$$

$$FaktorV = \frac{v_{max}}{v_{des} + FAKTORMult. (v_{max} - v_{des})} \quad (V.13)$$

v_{max} aracın en yüksek hızını gösterirken $FAKTORMult$ bir ölçümleme değiştirgesidir.

SDV eşiğini geçen araçlar daha yavaş bir araca yaklaştığını fark ettiği anda “yaklaşma” bölgesine girmiş olurlar. Sürücü herhangi bir kazayı önlemek amacıyla yavaşlamaya başlar. Yavaşlama oranı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$b_n = \frac{1}{2} \frac{(\Delta v)^2}{ABX - (\Delta x - L_{n-1})} + b_{n-1} \quad (V.14)$$

b_{n-1} ve L_{n-1} sırasıyla öndeki aracın ivmesini ve uzunluğunu göstermektedir.

Son olarak acil durum bölgesi iki araç arasındaki uzaklığın ABX eşliğinden düşük olduğu değerlerin olduğu bölgedir. Gerektiği durumda takip eden araç kazayı önlemek amacıyla aşağıdaki ivme değeri ile yavaşlamaktadır:

$$b_n = \frac{1}{2} \frac{(\Delta v)^2}{AX - (\Delta x - L_{n-1})} + b_{n-1} + b_{min} \frac{ABX - (\Delta x - L_{n-1})}{BX} \quad (V.15)$$

Araçın en düşük ivme değeri olan b_{min} aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$b_{min} = -BMINadd - BMINmult.RND3_n + BMINmult.v_n \quad (V.16)$$

$BMINadd$ ve $BMINmult$ ölçümleme değiştirgeleridir. $RND3_n$ normal dağılımlı bir sürücü değiştirgesidir.

Trafikteki araçların birbirlerini gittikleri hızlara göre güvenli bir uzaklıkla takip edebilmesi, düzgün bir trafik akımının sağlanabilmesi için önemli bir adımdır. Sürüş yörüngelerinin tekrarlanabilmesi, araçların boylamsal hareketlerinin modellenebilmesi için, ana hedeflerden bir tanesidir [53]. Adı geçen araç takip modelleri ve daha niceleri, sürücüsüz araç takip sistemleri için kuramsal kaynak olmuştur [54].

Sürücülü ve sürücüsüz araçların önemli bir süre boyunca trafikte beraber bulunacakları göz önünde bulundurulduğunda, bu araçların birbirleriyle olan etkileşiminin incelenmesi ve oluşabilecek sorunların saptanıp çözülmesi son derece önem kazanmaktadır. Bu iki tip araçlar arasında nasıl bir fark olduğunu incelemek için yapılan araştırmalar hangi noktalara dikkat edilmesi hakkında faydalı ipuçları sağlayabilir. Belli bir zaman aralığı eşliğinden sonra sürücünün sürüş deneyiminin etkilenmeye başladığı gözlemlenmektedir. Farklı hız değerleri ile zaman aralığı

eşikleri arasında sürücülü araçların olduğu durumlarda bir ilişki gözlemlenememiştir. Ancak sürücüsüz araçların olduğu koşullarda araç hızlarının, tercih edilen zaman aralıkları üzerinde bir etkisi gözlemlenebilmektedir. Hız değerleri arttıkça bu zaman aralığı değerleri azalmaktadır. Araçların görüş mesafesi azaldıkça her iki durumda da zaman aralıkları artmaktadır. Bu sonuçlara göre sıfır riskli bir sürücü davranış modeli oluşturmak mümkündür [55]. Yapılan bir başka çalışmada araç takip ve şerit değiştirme modeli geliştirmesi çalışmasında değiştirilmiş bir akıllı sürücü modeli geliştirilmiştir [56]. Modelin doğrulaması adına MATLAB ile oluşturulmuş bir otoyolda yolculuk senaryosunda model sınanmış ve geleneksel araç takip ve şerit değiştirme modelleri ile karşılaştırılmıştır. Sunulan bu model ile trafikteki dalgalanmanın azaldığı ve trafiğin daha homojenleştiği gözlemlenmiştir. Araç takip modellerinin serbest akımda yolculuk yaparken güvenlik açısından bir sorun oluşturmaması son derece önemlidir.

Yapılan bir çalışmada farklı araç takip modelleri kullanılarak sürücüsüz araç davranışları modellenmiştir. Gazis-Herman-Rothery (GHR) modeli, Stationary Time-To-Collision (STTC) modeli ve Spring-Mass-Damper (SMD) modeli kullanılan araç takip modelleridir.

Farklı senaryolar altında test edilen bu modellerin sonuçlarına bakıldığında, SMD ve STTC modellerinin en az GHR modeli kadar iyi ivmelenme değerlerini tahmin edebildiği gözlemlenmiştir. SMD modeli hassas sonuçları tahmin edebilmesinin yanı sıra, araçların güvenliği hakkında iyi bir iç görüş sunabilmektedir. Ancak STTC modeli ivmelenme değerlerini iyi tahmin edebilse de, model katsayıları araç takip davranışları hakkında sağlıklı bir iç görüş sunamamaktadır [57].

Önemli bir makine öğrenimi olan derin takviyeli öğrenme (DTÖ) ile sürücülü araç gibi araç takip edebilen sürücüsüz araç takip modeli geliştirilmiştir. Derin belirleyici meylli plan algoritması (Python dilinde kodlanmıştır) ile en iyilenen bu model geleneksel ve veri güdümlü araç takip modellerinden daha iyi başarımlar göstermiştir. Ayrıca modelin yüksek genelleme olasılığına da sahip olduğu gözlemlenmiştir [58]. DTÖ kullanılarak sürücüsüz araçlar için gelişmiş bir tercih yapma yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemle göre önce DTÖ ile model eğitilecek sonrasında da bir sanal benzetim ortamında sınanacaktır. Oluşturulmuş bu model ile hem araç takibi hem de şerit değiştirme davranışları bütünleşmiş bir şekilde 3 şeritli bir yol kesitinde sınanmış ve ortalama hız değerlerinin %2,4 arttığı gözlemlenmiştir [59]. Benzer bir şekilde, DTÖ ile geliştirilmiş hız kontrolü temelli model ile güvenli, verimli ve konforlu sürüş deneyimi hedeflenmiştir [58].

Modelin başarımına bakıldığında normal sürücülerden daha iyi başarımlar gösterebildiği bile gözlemlenmiştir. DTÖ yöntemlerinin sürücüsüz araç takip modelleri için önemli bir yöntem olduğu söylenebilir. Araç takip modelleri oluşturulurken diğer araçların da davranışlarının göz önünde bulundurulması önemlidir. Oluşturulmuş bir araç takip modelinde diğer araçların şerit değiştirme davranışları da tahmin edilmiştir [46]. Çok değişkenli zaman serisi verisi hem incelenen araç hem de çevresindeki araçlar için toplanmış ve bunlarda 2 tane sürekli Gizli Markov Modeli (GMM) oluşturulmuştur. Bunlar şerit değiştirme ve şerit koruma davranışlarını göstermektedir. Eşik temelli sınıflandırma yöntemi ile incelenen aracın davranışı kestirilmeye çalışılmıştır ve model tahmin kontrolü (MTK) ile incelenen aracın davranışı en iyilenmiştir. 4 saniye öncesinde araçların şerit

değiştireceği %85'lik bir doğruluk oranı ile kestirilebilmiştir. Bu model ile yüksek sürüş güvenliğine ve konforuna erişilebilmiştir.

Dinamik programlama (DP) algoritmaları ile araçlar arası uzaklığı temel alarak araçlar için en uygun gidiş yoluna ulaşılmaya çalışılmıştır. Ayrıca bu yöntemi birden fazla araç için eşzamanlı olarak yapıyor olması da bu modelin bir başka önemli özelliklerinden birisidir.

Uygun araç takip modelleri ile trafik koşullarının iyileştirilebileceği ve var olan sorunlara çözüm olabileceği de öngörülmektedir. Yapılan bir çalışmada ajan temelli araç takip modeli ile değiştirilmiş uygun değer hız kullanılarak trafik sıkışıklığı dağıtılmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bu ajanların bulunduğu sistemlerde genel hız ve trafik akışının iyileştiği ve trafik sıkışıklığının ertelendiği gözlemlenmiştir [60]. Yapılan bir diğer çalışmada bağlantılı sürücüsüz araçlar ile sürücülü araçların bir arada bulunduğu bir filonun işbirliği yapan bir kontrol düzeneği oluşturulmaya çalışılmıştır [61]. Bu model filonun tamamının başarımına odaklandığı gibi her bir aracın komşu araçlarının da güvenliğinin ve hareket yeteneğinin önüne geçmemeye çalışmıştır [62]. Oluşturulan bu kontrol sistemi ile trafikteki dalgalanmanın etkisi azalmış ve trafik akışı tüm karma filo için iyileşmiştir.

5.2 Şerit Değiştirme Modelleri

Literatürde, sürücülerin şerit değiştirme davranışlarını incelemek ve modellemek için gerçekleştirilen çalışmalar çoğunlukla ana arter özelliği taşıyan kent içi ve şehirlerarası yollarda gerçekleştirilmiştir. Ancak veri toplama kolaylığı ya da incelenmek istenen verinin yol işletmesinden sorumlu kuruluşlarca zaten toplanmış olmasından dolayı, şehirlerarası, özellikle de çevreyolu niteliği taşıyan yollarda gerçekleştirilmiş olan çalışmalar çok daha fazladır.

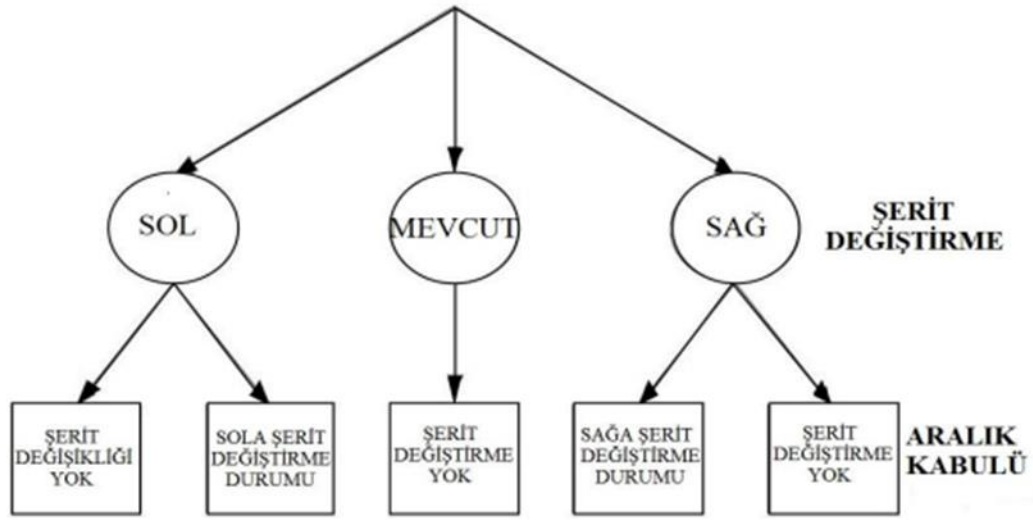
Şerit değiştirme modelleri temel, zorunlu/keyfi, zorlamalı ve bileşik modeller olmak üzere 4 temel başlık altında incelenebilir.

5.2.1 Temel Şerit Değiştirme Modelleri

İlk şerit değiştirme modeli ince boyutlu benzetimde kullanmak amacıyla Sparmann [63] tarafından geliştirilmiştir. Modelde, otoyoldan ayrılmak isteyen taşıtlar, eğer en sağ şeritte bulunuyorlarsa, çıkış rampasına geçiş dışında herhangi bir şerit değişikliğine gerek duyulmamaktadır. Ancak diğer şeritlerde bulunan taşıtlar, otoyoldan ayrılmak istediklerinde, diğer şeritlerde bulunan taşıtların engelleme etkileriyle karşılaşmaktadır. Geliştirilen model, sürücülerin araçların hız ve takip mesafelerine bağlı olarak gösterecekleri davranışları da detaylı olarak incelemektedir. Model, şerit değiştirme olasılığını, seçilen şeritteki aralığa bağlı olarak belirlemektedir.

Gipps [64] çalışmasında, şerit değiştirmenin zorunluluğu, isteği ve güvenliği üzerinde duran kural bazlı bir model geliştirmiştir. Bu modelde, sürücüler hızlarını korumak ve dönüş hareketi için uygun şeritte bulunmaya çalışmaktadır.

Şekil V.2’de [65] [66] basit şerit değiştirme modellerine ilişkin bir çerçeve görülmektedir. Hareket halinde olan bir araç, sağ ya da sol şeride geçmek istediğinde, bu şeritte bulunan aralık değerini göz önüne almaktadır. Eğer bu şeritteki aralık değeri, sürücü için kabul edilebilir ise, şerit değişimini gerçekleştirmekte, değilse kendi bulunduğu şeritte yoluna devam etmektedir.



Şekil 5.2. Toledo&Koutsopoulos&Ben-Akiva Tarafından Önerilen Şerit Değiştirme Modelinin Yapısı

5.2.2 Zorunlu Şerit Değiştirme (ZŞD) ve Keyfi Şerit Değiştirme (KŞD)

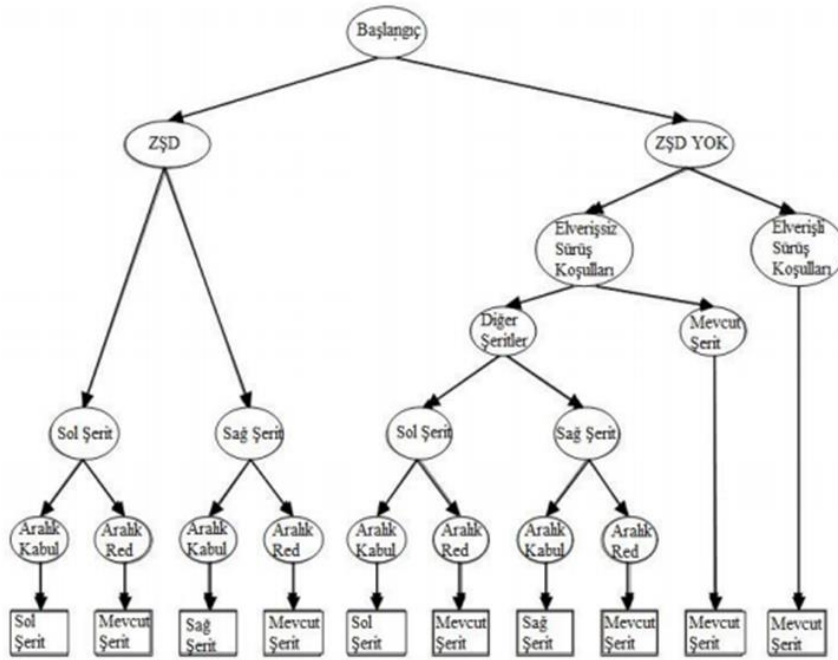
Modelleri

Zorunlu Şerit Değiştirme (ZŞD), sürücülerin bir katılım ya da ayrıma yönelmeleri, ya da hareket halinde oldukları şeritte bir engel, trafik kazası gibi bir durum bulunduğunda gerçekleştirmek zorunda oldukları şerit değiştirme hareketini belirtmektedir. Keyfi Şerit Değiştirme (KŞD) ise, herhangi bir zorunluluk olmaksızın, sürücülerin sağ ya da sol şeritte kendi şeritlerindeki sürüş koşullarından daha iyi koşullar bulunduğundan gerçekleştirdikleri şerit değiştirme hareketini belirtir. KŞD’de, şerit değiştirme kararını etkileyen en önemli etkenler, farklı şeritlerdeki trafik hızları, trafik yoğunlukları, sürücülerin tercih ettikleri hızlar, sürücünün şerit değiştirmek istediği şeritteki şeritte arkasında bulunan araca göre hız farkı, şerit değiştirmek isteyen aracın önünde ve diğer şeritlerde ağır taşıt bulunup, bulunmamasıdır.

Yang ve Koutsopoulos [67] ise geliştirdikleri modelde belirleyici (deterministik) olan kural bazlı modellerin aksine, şerit seçimini rastgeleliğe dayandırmaktadır.

Bu rastgeleliğin daha yüksek hızla seyir olanağı, ağır taşıt varlığı, katılım ve ayrımların bulunup bulunmaması gibi şerit seçimini etkileyen etkenleri içerdiklerini belirtmektedir.

Ahmed [68] geliştirdiği şerit değiştirme modelinde, şerit değiştirme hareketini 3 adımda tanımlamıştır. Sürücü öncelikle şerit değiştirmeye karar vermekte, hedef şeridi seçmekte ve bu şeritteki aralığı kabul ya da ret etmektedir. Geliştirilen modelin yapısı Şekil V.3'de [65] görülmektedir.



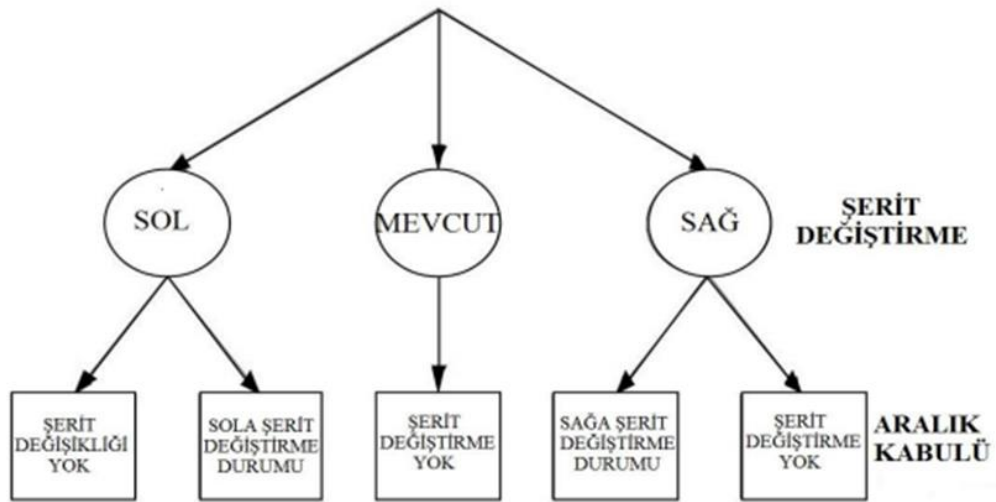
Şekil 5.3. Ahmed, K.I.Tarafından Önerilen Şerit Değiştirme Modeline Ait Akış Şeması

Modelde ZŞD durumunda, sürücü ya hemen, ya da koşullar uygun olduğu ilk fırsatta şerit değiştirme hareketini gerçekleştirmektedir.

KŞD durumunda ise, bulunduğu şeritteki sürüş koşullarından memnun ise kendi şeridinde yoluna devametmekte, değilse, diğer şeritlerdeki sürüş koşullarını

incelemektedir. Eğer diğer şeritlerdeki (sağ ya da sol) sürüş koşulları kendi bulunduğu şeritteki sürüş koşullarından daha iyi ise, bu şeritteki aralığı incelemekte, kabul ettiğinde şerit değiştirmekte, etmediğinde ise kendi şeridinde yola devam etmektedir. Sürücülerin göz önüne aldıkları sürüş koşulları arasında hız, konfor, güvenlik gibi farklı etkenler bulunmaktadır. Geliştirilen modelin katsayıları taşıtların konum-zaman grafikleri kullanılarak belirlenmektedir.

Toledo, vd. [66] geliştirdikleri modelde ZŞD ve KŞD durumlarını bir arada değerlendirmektedir. Şekil V.4'de görülen model iki aşamadan oluşmaktadır. Öncelikle sürücüler hareketine devam edecekleri şeridi seçmekte, sonrasında ise aralık kabulüne karar vermektedir. Modelde şerit değiştirmeye ilişkin değişirgeler ve aralık kabul modelleri bir otoyoldan geçen araçların saniye bazlı konum-zaman çizgeleri incelenerek belirlenmiştir.



Şekil 5.4. Toledo, vd. Tarafından Önerilen Şerit Değiştirme Modelinin Yapısı

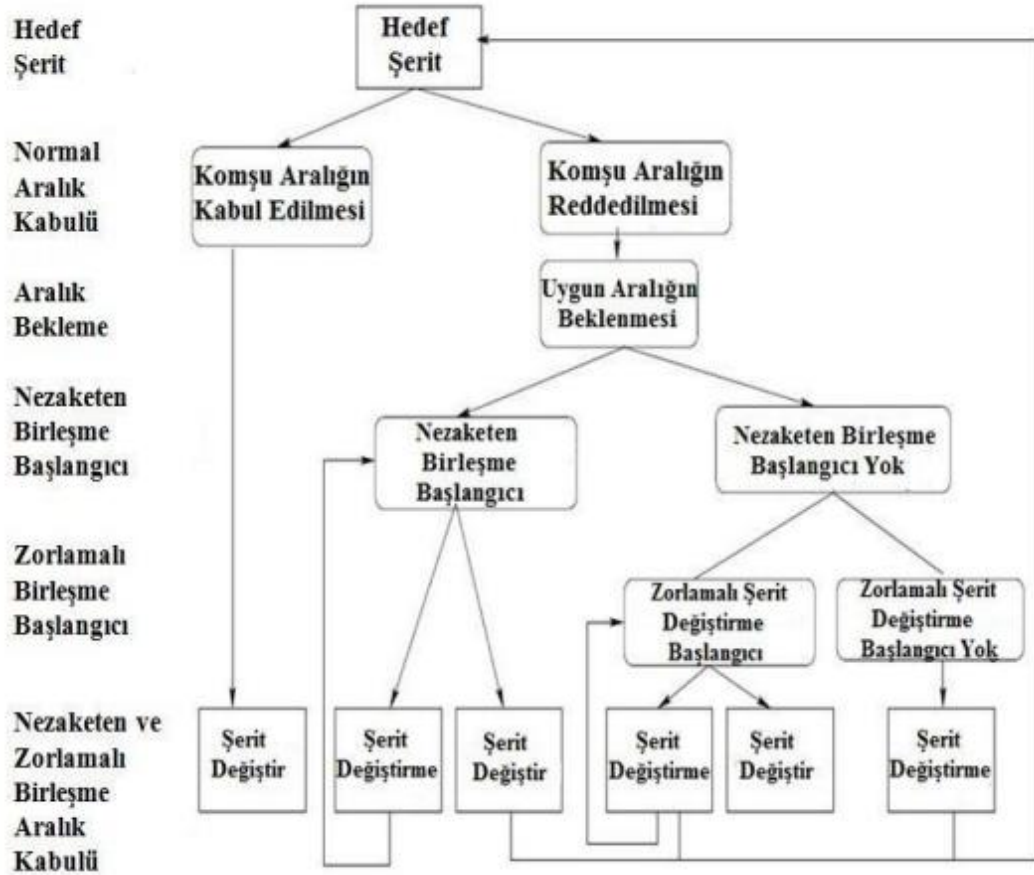
Wei, vd. (2000), kent içi arterlerden toplanan verileri kullanarak belirleyici bir kural temelli model geliştirmiştir. Modelde şerit seçimi, yoldaki konum, yön ve

gidilecek hedefe bağılı olarak belirlenmektedir. Modelde sürücüler bir sonraki ayrımı kullanarak yoldan ayrılacaksa, bu şerit değişimi ZŞD olarak tanımlanmaktadır. Eğer sürücüler şerit değişimini daha önce gerçekleştiriyorsa, bu şerit değişikliği KŞD olarak belirlenmektedir. Modelde aracın bulunduğu ve değişikliğin gerçekleştirileceği şeritte önde ve arkada bulunan araçlarla arasındaki uzaklığın bilinmesi gerekmektedir.

Hunt ve Lyons [69] sürücü davranışlarını modellemede Yapay Sinir Ağlarını (YSA) kullanmıştır. Bu modelde sürücünün önündeki ve arkasındaki aracın konumuna göre verdiği şerit değiştirmek kararları incelenerek, YSA ile modellemiştir.

5.2.3 Zorlamalı Şerit Değiştirme Modeli

Eğer sürücünün hedeflediği şeritteki aralık değeri, kabul edilebilir sınırlarda değilse, sürücü hedeflediği şeritte arkasında bulunan aracı yavaşlamaya ve aralık boyutunu arttırmaya zorlamaktadır. Bu işlem, zorlamalı şerit değiştirme olarak adlandırılmaktadır. Zorlamalı birleşme modelinin akış çizgesi Şekil V.5'de [65] görülmektedir.



Şekil 5.5. Zorlamalı Birleşme Modelinin Yapısına Ait Akış Çizelgesi

Bir sürücünün öncelikle hedeflediği şeritteki trafik koşullarını değerlendirdiği ve bu şeritte önünde ve arkasında bulunan araçları gözlemlediği, sonrasında da arkasında bulunan sürücü ile şerit değiştirme hareketini gerçekleştirmek için iletişim kurduğu varsayılmaktadır. Şerit değiştirmeye ilişkin geliştirilen modellerin çoğunda hedeflenen şeritteki aralık değeri, önde bulunan araçla olan aralık olarak tanımlanmış iken, zorlamaları şerit değiştirme modellerinde hedeflenen şeritte arkada bulunan taşıt ile olan aralık olarak tanımlanmıştır.

5.2.4 Birleşik Modeller

Şerit değiştirme hareketleri serbest, zorlamalı ve işbirliği tabanlı olarak üç ana gruba ayrılmaktadır. Serbest şerit değiştirme hareketinde hedef şeritteki öndeki ve

arkadaki taşıtlarla olan aralıkta önemli bir değişiklik bulunmamaktadır. Bu da araçlar arasında herhangi bir etkileşim bulunmadığını göstermektedir. Zorlamalı şerit değiştirmede ise, şerit değiştiren araç ile arkada bulunan taşıt arasındaki aralığın şerit değiştirme hareketi başlamadan önce sabit olduğu ya da azaldığı görülmektedir.

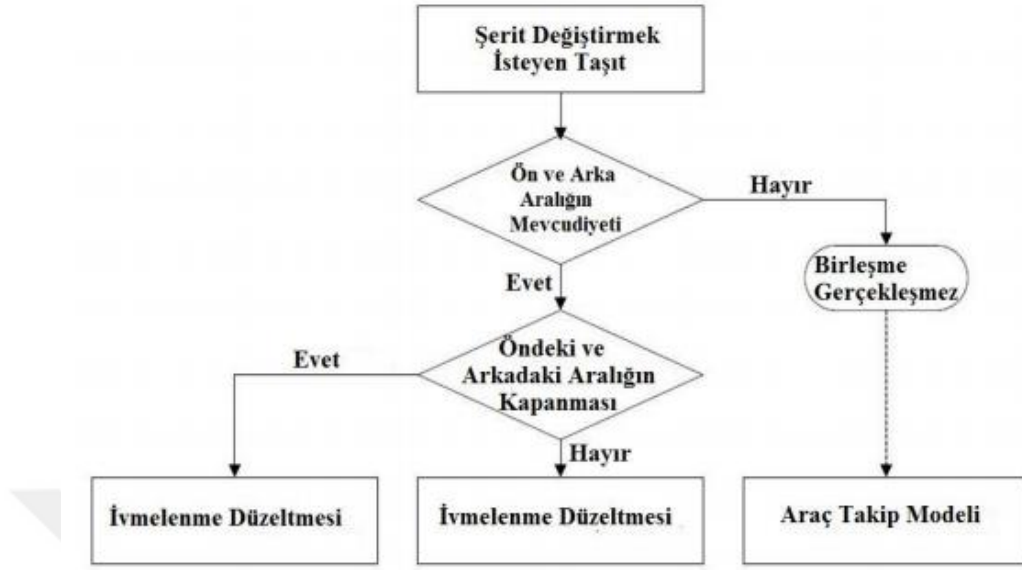
İşbirliği tabanlı şerit değiştirmelerde ise, şerit değiştiren araç ile hedeflenen şeritte önde bulunan taşıt ile aralığın önde arttığı, daha sonra da azaldığı görülmektedir. Bu da hedeflenen şeritte arkada bulunan taşıtın şerit değişiminin gerçekleşebilmesi için yavaşladığını göstermektedir.

Hidas [70] sıkışık trafik koşullarına ilişkin bir şerit değiştirme modeli geliştirmiştir. Bu modelde, eğer bir taşıt, normal aralık kabulü ile şerit değiştirme işlemini gerçekleştiremiyorsa, hedeflediği şeritteki akım koşullarını değerlendirerek, ivmeli bir hareket ile şerit değişimini gerçekleştirmektedir.

Wang vd. [71] sürücünün şerit değiştirmeyi hedeflediği şeritte arkasında bulunan sürücünün bu harekete izin verme olasılığını göz önüne alan bir şerit değiştirme modeli geliştirmiştir. Geliştirilen modelin akış çizgesi Şekil V.6'da görülmektedir. Çalışmada, arkada bulunan sürücünün izin verme olasılıkları ve bunu etkileyen etkenler video kayıtlarından gözlenerek, modelin ölçümlemesi gerçekleştirilmiştir.

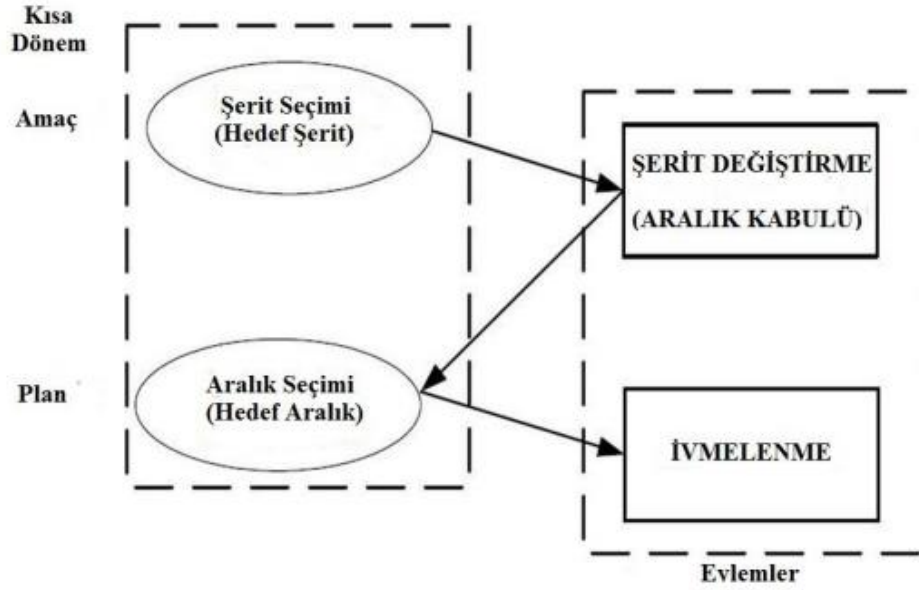
Şerit değiştiren araç hedeflediği şeritteki aralık değerine göre hız ve konumunu ayarlamak için hızlanmakta ya da yavaşlamaktadır.

Modelde şerit değişikliği sürücü şerit değiştirmeyi hedeflediği şeritteki aralık değerini uygun kabul ettiğinde gerçekleşmektedir. Modelin zayıflıklarının başında, sürücü davranışlarını homojen olarak kabul etmesi gelmektedir.



Şekil 5.6. Şerit Değiştiren Araçla Onun Önünde ve Arkasında Yer Alan Araçlar Arasındaki İlişkinin Şematik Gösterimi

Toledo'nun [72] geliştirdiği modelde, sürücü davranışları, kısa dönemli amaç, kısa dönemli plan ve sürücülerin eylemleri olmak üzere 3 ana etkenden oluşmaktadır. Kısa dönemli amaç, sürücünün hedeflediği şerit olarak tanımlanmaktadır. Bu amaç kapsamında, sürücü kısa dönemli plan oluşturmakta ve bu plan da sürücünün şerit değiştirmeyi hedeflediği şeritteki aralık değeri olarak tanımlanmıştır. Hız ve şerit değişiklikleri de sürücünün kısa dönemli planlarını gerçekleştirdikleri eylemlerdir. Modelin yapısı Şekil V.7'de görülmektedir.



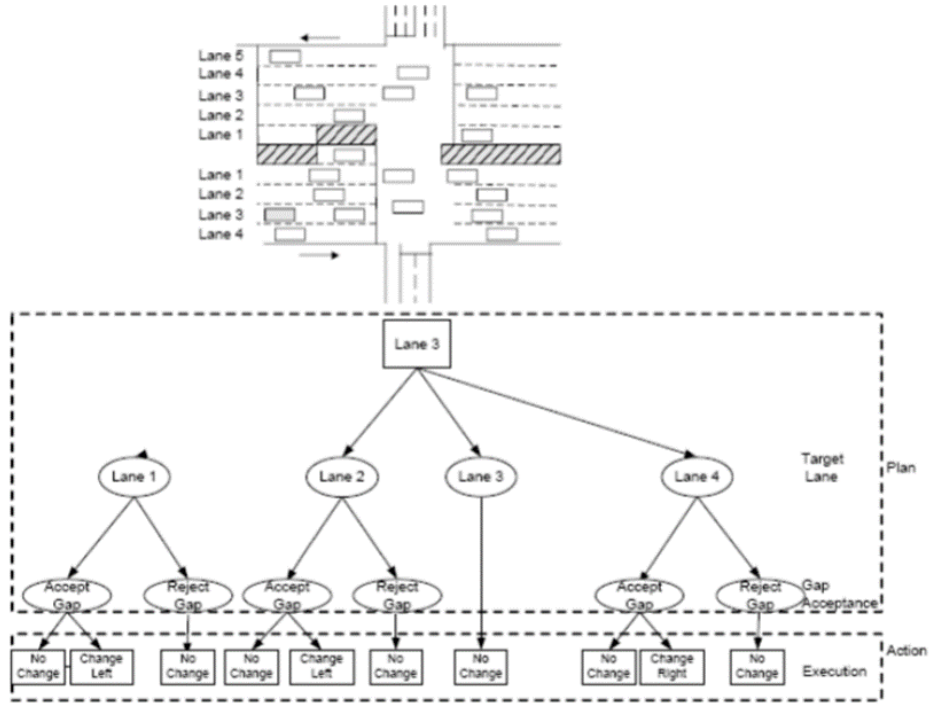
Şekil 5.7. Sürücü Davranışının Kavramsal Yapısı

Kent içi yollarda şerit değiştirme kararları üzerine son yıllarda başlıca çalışmalar Choudhury, v.d. ile Choudhury ve Ben-Akiva [73] tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen çalışmalardan ilki, bir arterdeki sürücülerin, sonraki kavşaktaki hareketlerine bağlı olarak gerçekleştirecekleri şerit seçimlerini incelerken, ikincisi artere yan yoldan katılan sürücülerin şerit seçimlerini incelemektedir.

Choudhury, v.d. [73] bir arterde hareket eden bir sürücünün, kendisi için en uygun şeridi seçeceğini, ancak bu şeride geçebilmek için uygun bir aralığı arayacağını belirtmiştir. Geliştirilen modelde, bir arterde hareket eden sürücülerin şerit seçimi üç adımda gerçekleşmektedir.

1. Sürücünün hedeflediği şeridi seçmesi
2. Seçilen şeride geçmek için uygun aralık değerinin belirlenmesi
3. Hedeflenen şeride geçiş işleminin gerçekleşmesi.

Çalışmada arterler için geliştirilen şerit seçim ve değiştirme modeli Şekil V.8'de [73] [74] görülmektedir.



Şekil 5.8. Bir Arterdeki Sürücülere Ait Şerit Değiştirme Modeli

Choudhury ve Ben-Akiva [73] 'nın gerçekleştirdiği çalışmada, ana artere bir kavşakta yan yoldan katılan sürücülerin şerit seçim davranışları modellenmiştir. Model sürücünün hedeflediği şeridi seçmesi ve acil şerit seçimi olmak üzere iki durumu göz önüne almaktadır. Birinci durum, sürücünün kendisi için en yüksek faydayı sağlayan şeridi seçme sürecini, ikinci durum da aracın kavşağa girdiğinde, trafik akımının kendisine sunduğu şerit olanaklarını içermektedir.

Geliştirilen modelde sürücüler, geçeceği şeridi önceden planlayan ve şeride son anda karar verenler olmak üzere iki ayrı sınıfta incelenmektedir.

Çalışmada, sürücülerin şerit seçimi kararında etkili olabilecek etkenler şöyle sıralanmaktadır:

- Rota belirleme ölçütleri: Sürücülerin hedefledikleri şeride ulaşmak amacıyla gerçekleştirecekleri şerit değiştirme sayısı.

- Şeride ilişkin özellikler: Kuyruk uzunluğu, ortalama hız ve kuyruk boşalım oranı.
- Sürücü özellikleri: Hareketlerini önceden planlayabilme yetisi, sürücülerin atılganlık (agresiflik) düzeyi.
- Aracın kavşakta anayola katıldığı şeridin sunduğu olanaklar.

Acil şerit değiştirme kararında etkili olabilecek etkenler ise şöyle sıralanmaktadır:

- Aracın konumu.
- Çevresel etkiler: Diğer araçların konumları, hareketleri, hızları ve bu hızların sürücünün aracın hızına olan oranları.
- Sürücünün şerit değiştirmeyi hedeflediği şerit ve konumu
- Sürücü özellikleri: Hareketlerini önceden planlayabilme yetisi, sürücülerin atılganlık düzeyi.

Her iki çalışmada da araştırmacılar, sürücülerin şerit seçimi davranışlarını modelleyen ve ayrık seçim modeli ilkesine dayanan bir en yüksek olabilirlik fonksiyonu önermektedir.

6 ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ VE VERİ TOPLAMA

6.1 Gönüllü Sürücülerin Belirlenmesi

Sürücü davranışlarının incelenmesi için, ivme algılayıcısı ve GPS birimi olan araç kameraları kullanılmıştır. Araç kameralarından veri toplanabilmesi için, çalışmada gönüllü olarak yer alan, kendi aracını gündelik olarak kesintisiz akım koşullarına sahip yolları kullanan sürücülere ulaşılmıştır. İstanbul ili için, öncelikle İstanbul Okan Üniversitesi öğrencileri ve çalışanları arasından, D100 ve TEM Otoyollarını kullanarak Tuzla Yerleşkesi'ne gelip giden sürücüler hedeflenmiştir. Bu kapsamda, öncelikle 12 adet gönüllü sürücü saptanmıştır. 3 sürücünden elde edilen verilerin çözümlenmesinde sorunlar yaşanmıştır. Veri toplama süresi ortalama gönüllü sürücü başına 1 ay olarak belirlenmiştir. Belirlenen 9 katılımcının özellikleri Tablo VI.1'de sunulmuştur.

Tablo 6.1. Belirlenen 9 Katılımcının Özellikleri

Gönüllü Sürücü No	Yaş	Cinsiyet	Meslek	Araç Modeli
GS1	24	Erkek	Öğrenci	Skoda Fabia-2004 Model
GS2	27	Erkek	Diğer	Amarok Canyon-2016 Model
GS3	35	Kadın	Akademisyen	Mecedes Benz CLA-2017 Model
GS4	40	Erkek	Akademisyen	Hyundai Accent Era-2009 Model
GS5	22	Erkek	Öğrenci	Peguat 208-2015 Model
GS6	22	Erkek	Öğrenci	Ford Kuga-2017 Model
GS7	27	Erkek	Öğrenci	Renault Clio-2014 Model
GS8	39	Erkek	Akademisyen	Kia Cerato-2008 Model
GS9	36	Kadın	Akademisyen	Peugeot 307-2005 Model

Janus V2 marka ve model araç kameraları ön ve arka kameraları sayesinde araç için ve dışının görüntüsünü alabilmesinin yanı sıra, aracın hızı ve konumunun da verisini toplamaktadır. “.jdf” dosyası şeklinde toplanan verilerden, hız ve konum bilgileri Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı bünyesinde hazırlanmış bir kod yardımıyla metin formatında çekilmektedir.

Daha sonra bu veriler Excel programı yardımıyla incelenmekte ve taşıt hızları, konumları ve toplam yolculuk uzunluğu verisine dönüştürülmektedir.

Bu veriler, kamera görüntüleri ile birlikte incelenerek, sürücülerin yalnızca kesintisiz akım koşullarındaki yolculuk verileri girdi olarak kullanılmaktadır. Excel’den elde edilen hız, enlem ve boylam bilgileri daha sonra SIDRA TRIP programına aktarılarak, detaylı incelemeleri gerçekleştirilmektedir. Janus V2 marka kameranın kendi yazılımından elde edilen kamera görüntüsü ve bilgiler Şekil VI.1.’de, kameradan elde edilen hız ve konum bilgilerinin Excel programında görüntülenmesine ilişkin bir ekran görüntüsü Şekil VI.2.’de, verilerin SIDRA TRIP’e aktarılmasından sonra bu programda görüntülenmesi ise Şekil VI.3.’de görülmektedir.

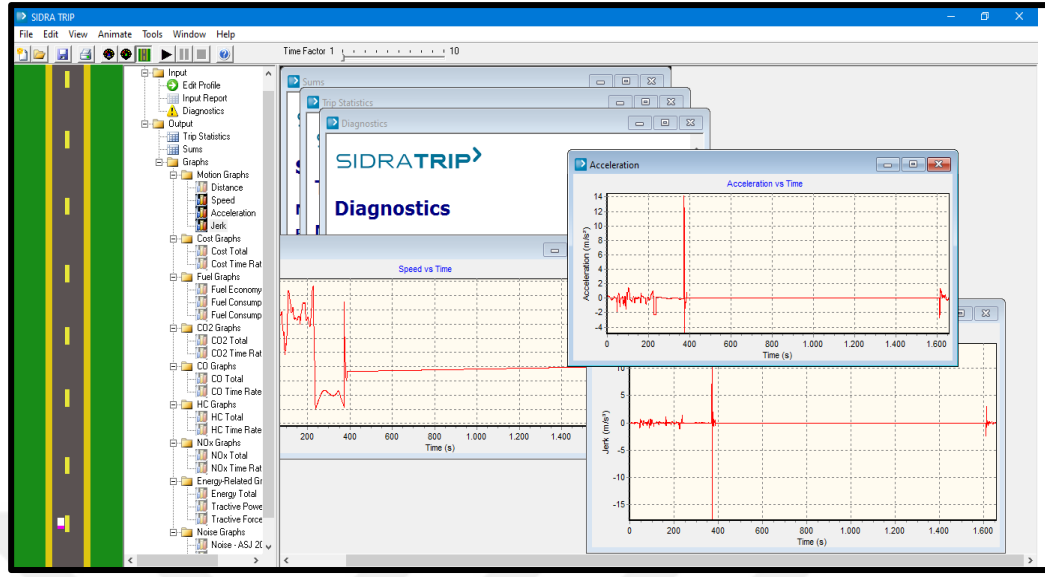


Şekil 6.1. Janus V2 Marka Kameranin Kendi Yazılımından Elde Edilen Kamera Görüntüsü ve Bilgiler

Excel spreadsheet showing a table with columns A through W. The table contains numerical data, likely representing speed and position information. The formula bar shows a complex formula:
$$E38 = \sqrt{((ABS((I38-I39))*111194,93)^2 + ((ABS((J38-J39))*COS((I38*PI()/180))*111194,93)^2)}$$

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	km/h	Step	cameri	hız	mesafe	hız	enlem	boyut	metre	metre	metre	metre	metre	metre	metre	metre	metre	metre	metre	metre	metre	metre
2	1.01319	1.01309	0	86.1458	24.18959944	0	86.1458	40.817647	29.336851	0.00000000	24.31621336	3.812516-06	6378000	4201489	2361290	4177422	4201451	2361301	4177433			
3	1.01134	3.02639	1.02639	87.6126	24.61281056	0	87.6126	40.817786	29.336874	0.35560564	24.63964796	3.863222-06	6378000	4201453	2361301	4177433	4201453	2361312	4177446			
4	1.009	3.03239	2.03239	88.8571	24.83053489	0	88.8571	40.817933	29.337089	1.35560564	24.85793385	3.887398-06	6378000	4201433	2361312	4177446	4201414	2361322	4177459			
5	1.00712	4.03951	3.03951	90.135	25.21581045	0	90.135	40.818087	29.337307	2.35560564	25.24317062	3.957858-06	6378000	4201414	2361322	4177459	4201395	2361332	4177472			
6	1.01231	5.05182	4.05182	91.148	25.63029330	0	91.148	40.818249	29.337517	3.35560564	25.65879758	4.023016-06	6378000	4201395	2361332	4177472	4201376	2361341	4177486			
7	1.0065	6.05780	5.05780	92.3037	25.79527074	0	92.3037	40.818419	29.337729	4.35560564	25.82350447	4.048848-06	6378000	4201376	2361341	4177486	4201357	2361349	4177501			
8	1.01165	7.06953	6.06953	93.276	26.21183569	0	93.276	40.818595	29.337923	5.35560564	26.2403091	4.114205-06	6378000	4201357	2361349	4177501	4201337	2361357	4177517			
9	1.01226	8.0818	7.0818	94.3112	26.51884514	0	94.3112	40.818779	29.338118	6.35560564	26.5480513	4.162445-06	6378000	4201337	2361357	4177517	4201317	2361364	4177533			
10	1.0118	9.09359	8.09359	95.2243	26.76329960	0	95.2243	40.818979	29.338307	7.35560564	26.79257533	4.200785-06	6378000	4201317	2361364	4177533	4201297	2361370	4177549			
11	1.00983	10.1021	9.1021	96.0632	26.9984131	0	96.0632	40.819167	29.33849	8.35560564	26.96814764	4.228312-06	6378000	4201297	2361370	4177549	4201277	2361376	4177566			
12	1.01377	11.1169	10.1169	96.8689	27.27843437	0	96.8689	40.819359	29.338687	9.35560564	27.30848548	4.261676-06	6378000	4201277	2361376	4177566	4201256	2361381	4177584			
13	1.01236	12.1129	11.1129	97.8115	27.49733654	0	97.8115	40.819573	29.338887	10.35560564	27.51578769	4.316076-06	6378000	4201256	2361381	4177584	4201236	2361386	4177602			
14	1.01046	13.1194	12.1194	98.8486	27.74532256	0	98.8486	40.819792	29.339001	11.35560564	27.77958992	4.354912-06	6378000	4201236	2361386	4177602	4201216	2361390	4177620			
15	7.12386	20.2633	19.2633	99.8487	197.78336423	hata	99.8487	40.820009	29.339164	12.35560564	198.0005377	3.104435-05	6378000	4201216	2361390	4177620	4201196	2361419	4177751			
16	1.00043	21.2637	20.2637	98.5005	27.37288113	0	98.5005	40.821561	29.340314	13.35560564	27.4029033	4.296478-05	6378000	4201196	2361419	4177751	4201149	2361424	4177768			
17	1.00002	22.2645	21.2645	97.6004	27.13334208	0	97.6004	40.821771	29.340484	14.35560564	27.14531061	4.258895-05	6378000	4201149	2361424	4177768	4201109	2361429	4177786			
18	0.99983	23.2644	22.2644	96.8763	26.95977101	0	96.8763	40.821979	29.340655	15.35560564	26.95969553	4.232121-05	6378000	4201109	2361429	4177786	4201069	2361434	4177803			
19	0.99987	24.2612	23.2612	96.3761	26.68793804	0	96.3761	40.822184	29.340823	16.35560564	26.716895014	4.188925-05	6378000	4201069	2361434	4177803	4200985	2361438	4177820			
20	1.00084	25.2621	24.2621	95.6229	26.58421624	0	95.6229	40.82239	29.340986	17.35560564	26.61312619	4.172645-05	6378000	4200985	2361438	4177803	4200969	2361442	4177838			
21	0.99999	26.262	25.262	95.0613	26.40476567	0	95.0613	40.822598	29.341142	18.35560564	26.43348577	4.144488-05	6378000	4200969	2361442	4177838	4200950	2361446	4177855			
22	0.99984	27.2579	26.2579	94.865	26.41469983	0	94.865	40.822805	29.341296	19.35560564	26.27032856	4.11895-05	6378000	4200950	2361446	4177855	4200931	2361450	4177873			
23	0.99954	28.2544	27.2544	94.7187	26.19600209	0	94.7187	40.823012	29.341448	20.35560564	26.24889813	4.11358-05	6378000	4200931	2361446	4177855	4200911	2361453	4177890			
24	0.99978	29.2502	28.2502	94.5084	26.14086026	0	94.5084	40.82322	29.341593	21.35560564	26.18895884	4.10312-05	6378000	4200911	2361453	4177855	4200892	2361456	4177908			
25	1.00143	30.2516	29.2516	94.7483	26.15723459	0	94.7483	40.823428	29.341788	22.35560564	26.18628797	4.137088-05	6378000	4200891	2361456	4177855	4200873	2361460	4177923			
26	1.00348	31.2518	30.2518	94.9428	26.40773517	0	94.9428	40.823637	29.341886	23.35560564	26.48963705	4.153288-05	6378000	4200873	2361460	4177855	4200854	2361463	4177943			
27	1.00476	32.2508	31.2508	95.3984	26.6259669	0	95.3984	40.823845	29.342039	24.35560564	26.65467041	4.179168-05	6378000	4200854	2361463	4177855	4200834	2361468	4177960			
28	1.00384	33.2634	32.2634	95.9551	26.75114009	0	95.9551	40.824053	29.342196	25.35560564	26.78060282	4.18989-05	6378000	4200834	2361468	4177855	4200814	2361472	4177978			
29	1.00057	34.2680	33.2680	96.8003	27.06020214	0	96.8003	40.824261	29.342356	26.35560564	27.08078887	4.247356-05	6378000	4200814	2361472	4177855	4200794	2361476	4177995			
30	1.01118	35.2609	34.2609	97.7652	27.46070424	0	97.7652	40.82447	29.342521	27.35560564	27.48060851	4.310223-05	6378000	4200794	2361476	4177855	4200773	2361482	4178013			
31	1.00298	36.2639	35.2639	98.6857	27.84943630	0	98.6857	40.82468	29.342693	28.35560564	27.8242641	4.31556-05	6378000	4200773	2361482	4178013	4200753	2361487	4178030			
32	0.34652	45.6003	44.6003	98.6598	256.7398285	hata	98.6598	40.824886	29.342874	29.35560564	259.0226484	4.061195-05	6378000	4200753	2361487	4178030	4200558	2361558	4178186			

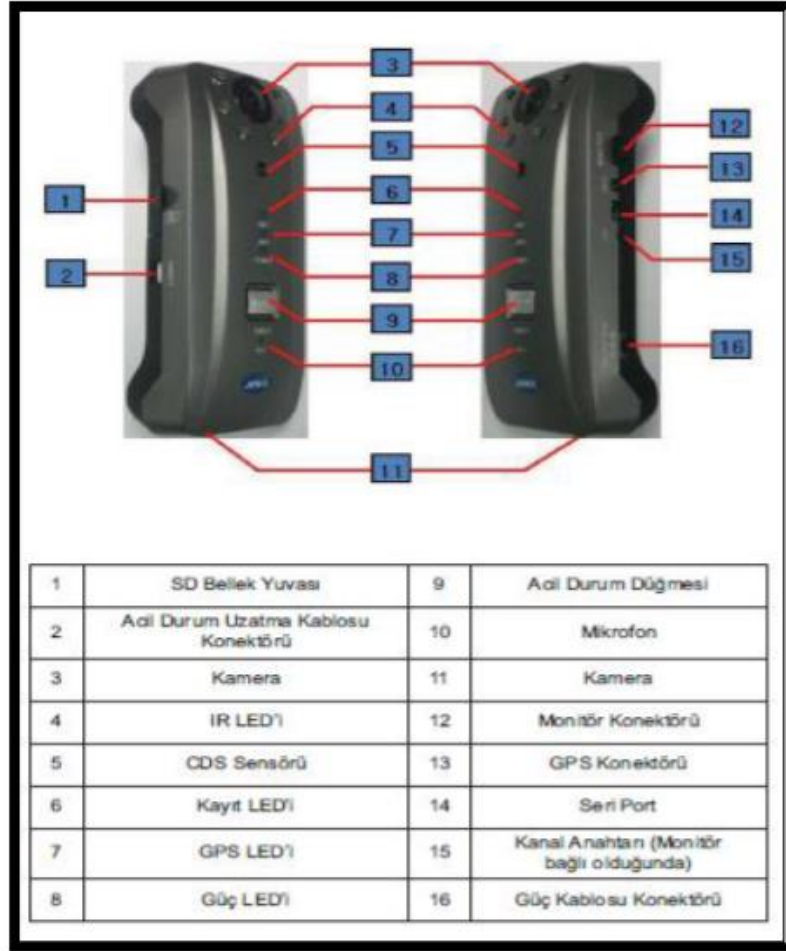
Şekil 6.2. Hız Ve Konum Bilgilerinin Excel Programında Görüntülenmesine İlişkin Bir Ekran Görüntüsü



Şekil 6.3. Verilerin SIDRA TRIP’de Görüntülenmesi

6.2 JANUS Araç İçi Kameranın Özellikleri

Çalışma kapsamında kullanılan Janus V2 model kameranın tanıtımına ilişkin bu bölüm Tanyel, vd. (2012)’den alınmıştır [74]. Janus V2, aracın DVR (dijital video kaydı) sistemini GPS ile birleştirmektedir. Bu sistem sadece H.264 video ve CD kalitesinde ses kaydetmekle kalmaz, aynı zamanda aracın içinde ve dışında olanları da kontrol eder. Kameranın genel görünümü ve tuşların özellikleri Şekil VI.4’de [74] görülmektedir. Kameranın özellikleri ise Tablo VI.2.’de verilmektedir.



Şekil 6.4. Janus V2 Kameranın Genel Görünümü

Tablo 6.2. JANUS V2 Kameranın Özellikleri

KAMERA	2EA CMOS Dahili
VIDEO GİRİŞİ	Dijital 2 kanal dahili
SES GİRİŞ/ÇIKIŞ	C- Mikrofon dahili
VIDEO SIKIŞTIRMA	H.264
SES SIKIŞTIRMA	AD PCM
KAYIT ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ	VGA 640X480
KAYIT HIZI	Azami 50fps (CH/25fps)
ACİL DURUM DÜĞMESİ	Acil durum kaydı
TİTREŞİM SENSÖRÜ	Çarpma tespiti ve kaydı
GPS SENSÖRÜ	Ani hızlanma ve frende anında kayıt yapar.
KAYIT ORTAMI	SDHC Bellek kartı Sınıf 6 (Azami: 32GB, Varsayılan 4GB)
MERCEK	Önde 120° ve içerde 175° Geniş açı
IR LED'İ	CDS Sensörlü 850nm 6PCS
GÖRÜNTÜLEYİCİ	Windows XP/ VISTA desteği
GÜÇ	DC 7V-26v (Otomobil Aküsünden çalışır)
ÇALIŞMA SICAKLIĞI	0° - 45° C (saklama sıcaklığı: -25° - 85° C)
NEM	%10-95
AĞIRLIK	150g
BOYUTLAR (G x D x Y)	65(G)x140(D)x30(Y)mm

Janus, araç hareket halindeyken aracın içinde ve dışında olanları kaydetme yeteneğine sahiptir (Şekil VI.5) [74]. Bu cihaz, hızı mil/s veya km/s olarak izlemenin yanı sıra, en fazla 50 fps (kanal/25fps), VGA (640 x 480) çözünürlükte video görüntüsü de sağlamaktadır.



Şekil 6.5. Janus V2 Kamerasından Araç İçi ve Dışı Görünümleri

Janus, bir kaza olduğunda otomatik olarak kaydeder (Varsayılan ayar, olayın meydana gelişinden önce ve sonra toplam 20 saniye kayıt süresidir). Acil bir

durumda, acil durum düğmesine basılması halinde JANUS olayı derhal kaydeder. Ani çarpma, hızlanma veya fren durumunda, cihaz derhal kayıt yapmaya başlar. Canlı yayın kaydetme sürecinde, içerdeki sesleri, aracın hızını ve yerini aracın GPS sistemi üzerinden analiz eder (Şekil VI.6) [74].



Şekil 6.6. JANUS Kameradan Elde Edilmiş Olan Görüntü

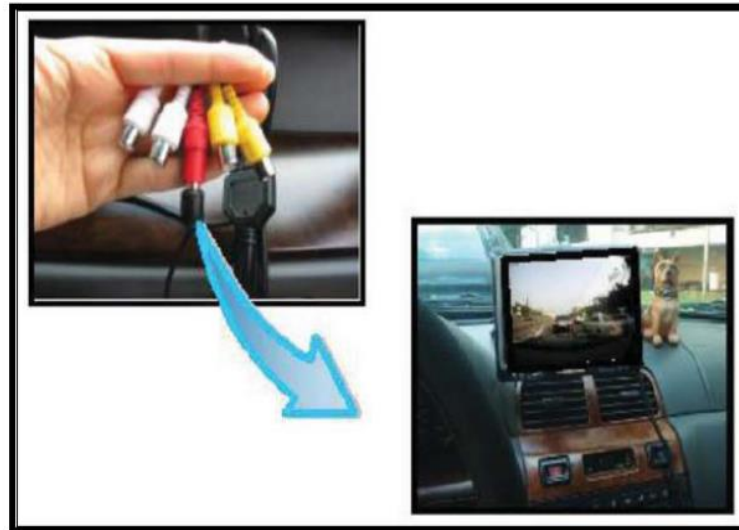
JANUS Kameranın kurulum aşamaları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. SD bellek kartı JANUS SD kart yuvasına takılır (Şekil VI.7)
2. Harici GPS monitörü için, JANUS “Video ÇIKIŞ” bileşeni LCD ekran üzerindeki “video GİRİŞ” bileşenine bağlanır. Video çıkışının bağlanacağı özel LCD monitörü yoksa cihazın yeri sabitlenmeden önce farklı noktalardan kayıt alınıp sonrasında SD kart bilgisayara takılır ve izlenir. Böylece en iyi açı ve pozisyon belirlenir (Şekil VI.8).

3. Cihazın takılması için en iyi yerin dikiz aynasının sağ yanı olduğu, üretici firma tarafından vurgulanmaktadır. Önemli olan sürücünün dikkatini dağıtmadan araç içinden ve dışından istenilen görüntülerin sağlıklı bir şekilde elde edilmesidir (Şekil VI.9).
4. JANUS V2 güç kablosu çakmak prizine bağlanır (Şekil VI.10). [74]



Şekil 6.7. Hafıza Kartının Yuvasına Yerleştirilmesi



Şekil 6.8. Harici GPS Monitörü Yardımıyla Kameranın Yerinin Belirlenmesi



(a)



(b)



Şekil 6.9. Dokuz Eylül Üniversitesi'nde JANUS Kameranın Gönüllü Aracına Montajı



Şekil 6.10. Güç Kablosunun Kameraya ve Çakmak Prizine Bağlanması

Cihazın açılması yaklaşık 30 saniye sürer. Cihazın üzerinde 3 LED yandığında ve kısa bir uyarı sesi duyulduğunda cihaz kayda hazırdır. Kayıt esnasında ve GPS çalışırken, 3 LED daima yanacaktır. Kameradan, araç içi ve araç dışı görüntü ve ses kaydı yapılabilir. İstenildiği takdirde, ses kaydı ve/veya araç içi veya dışının video çekimleri iptaledilebilir. Kamera GPS verileri yardımıyla aracın güzergahının izlenmesinin yanı sıra araç sarsıntılarını da kaydedebilir. Böylece, sürücünün davranışları hakkında daha detaylı bilgi alınması mümkün olabilmektedir (Şekil VI.11).



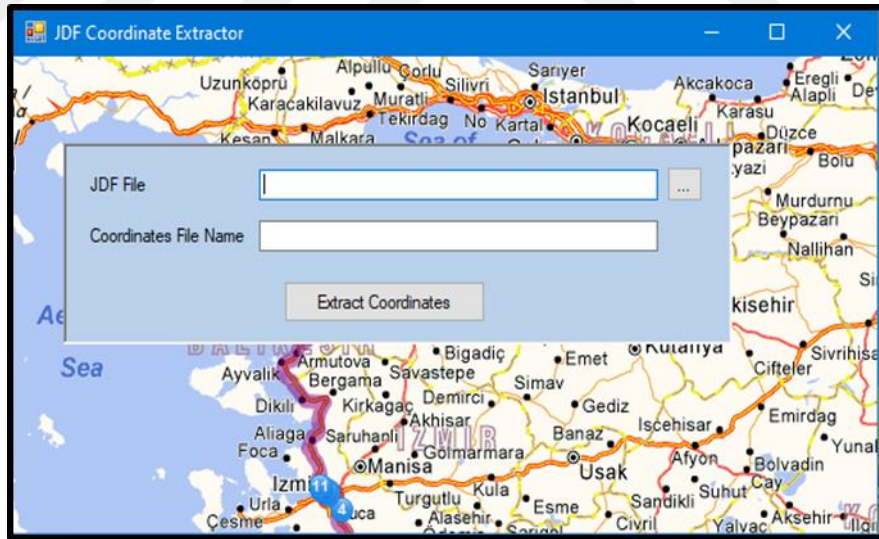
Şekil 6.11. JANUS V2 Kamerasına Ait Programın Genel Görünümü

Sürücü davranışlarının incelenmesi için, gönüllü sürücülerden kamera görüntüleri ve GPS verileri toplanmıştır. Gönüllü sürücülerden Janus V2 marka kameradan elde edilen konum ve hız verilerinden yalnızca kesintisiz akım özelliklerine sahip olanların değerlendirilmesi için, öncelikle sürücülerin kesintisiz

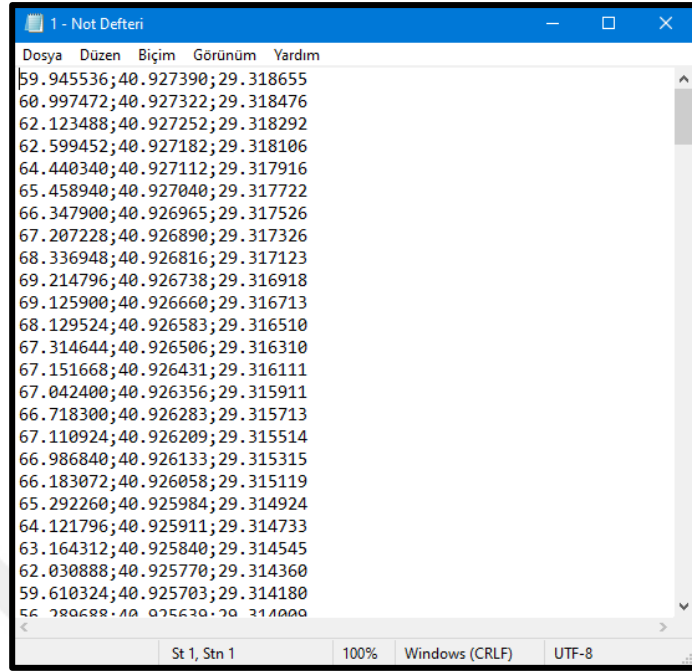
akım koşullarına girdikleri ve bu koşullardan çıktıkları konum ve zamanlar kamera görüntüleri izlenerek belirlenmiştir.

6.3 SIDRA Trip Programından Verilerin Elde Edilmesi Ve Değerlendirilmesi

Belirlenen konum ve zamanlara ilişkin dosyalar, gönüllü sürücülerin kesintisiz akım koşullarındaki yolculuk verilerinden çekilmiş ve diğer koşullardaki yolculukları değerlendirmeye katılmamıştır. Janus V2 marka ve model araç kameralarından “.jdf” dosyası şeklinde toplanan verilerden, hız ve konum bilgileri Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı bünyesinde hazırlanmış bir yazılım yardımıyla metin formatında çekilmiştir. Şekil VI.12’ de hazırlanan yazılıma ait bir görüntü verilmiştir. Aktarılan görüntülerin hız ve Gps verilerine ilişkin veriler Şekil VI.13’de verilmiştir.

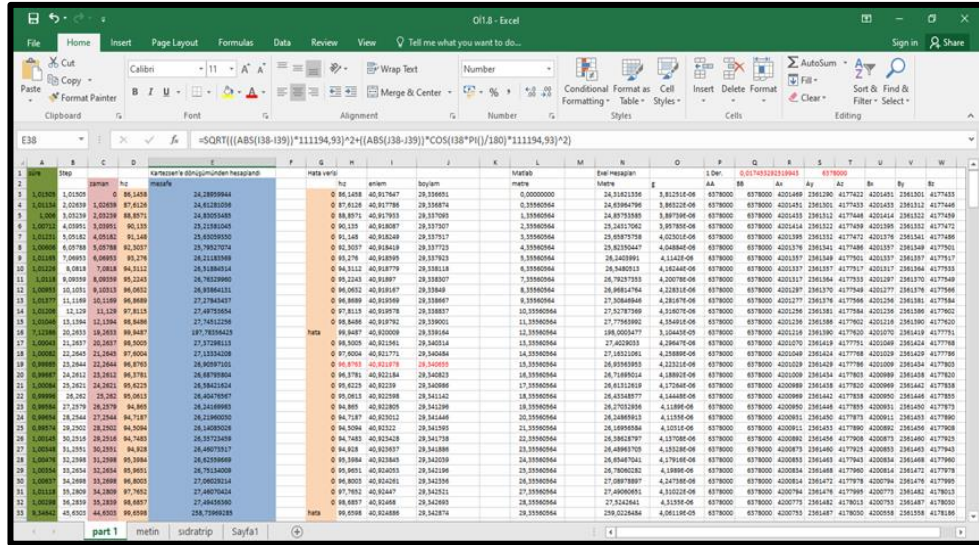


Şekil 6.12. JDF Dönüştürücü Yazılıma Ait Görüntü



Şekil 6.13. JDF Dönüştürücü Yardımı İle Elde Edilen Hız ve Konum Bilgilerine İlişkin Dosya

Daha sonra bu veriler Excel programı yardımıyla incelenmiş ve taşıt hızları, konumları ve toplam yolculuk uzunluğu verisine dönüştürülmüştür. Şekil VI.14’de verilerin aktarılmasını sağlayan Excel dosyasına ilişkin görsel verilmiştir.



Şekil 6.14. Hız ve Konum Bilgilerinin Excel Programında Görüntülenmesine İlişkin Bir Ekran Görüntüsü

Excel'den elde edilen hız, enlem ve boylam bilgileri daha sonra SIDRA Trip programına yolculuk (travel) verisi olarak tanımlanmıştır. Her bir yolculuğa ilişkin “General Settings” sekmesinde (Şekil VI.15) yolculuk başlığı, varsa alt başlığı, açıklaması, araç tipi, gönüllü sürücünün adı, yolculuk kodu bilgileri yazılıma girilmiştir. “Trip Data” sekmesinde (Şekil VI.16), zaman aralığı (time step), hız (speed) ve uzaklık (distance) bilgileri Excel'den alınarak girilmiştir. “Speed Settings”, “Noise Settings” ve “Cost & LOS Parameters” sekmelerinde (Şekil VI.17~6.19) deneme amacıyla SIDRA Trip'in ön tanımlı değerleri kullanılmıştır. “Vehicles” sekmesinin altında ise “Default” ve “User” olmak üzere iki seçenek bulunmaktadır. “User” seçeneği seçilerek, gönüllü sürücünün aracına ilişkin taşıt bilgisi (vehicle ID), türü (class), kg cinsinden ağırlığı (mass), uzunluğu (m), kW cinsinden en yüksek gücü (max. Power), km/sa cinsinden en yüksek hızı (max. Speed), % cinsinden tırmanabileceği en yüksek eğim (max. Grade) ve m/s^2 cinsinden en yüksek ivmesi (max. Acceleration) bilgileri tanımlanmıştır (Şekil VI.20). Diğer veriler, deneme amacıyla SIDRA Trip'in ön tanımlı değerleri korunarak kullanılmıştır.

Source Data Units: Speed Distance

Defaults: Metric
Time Zone: Automatic (+03:00)

Time Step	Speed	Distance	Grade	Date	Time	Latitude	Longitude	Altitude	Heading
0.0	10.728636	0	0	0					
1.3	14.095572	0	0	0					
2.4	17.568072	0	0	0					
3.5	21.49246	0	0	0					
4.5	24.542704	0	0	0					
5.6	26.415076	0	0	0					
6.6	28.21522	0	0	0					
7.6	30.096852	0	0	0					
8.6	30.646896	0	0	0					
9.6	29.28012	0	0	0					
10.6	27.805928	0	0	0					
11.6	28.083728	0	0	0					
12.6	29.793124	0	0	0					
13.6	29.031952	0	0	0					
14.4	23.90932	0	0	0					
15.4	16.342048	0	0	0					
16.5	14.230768	0	0	0					

Perform Simulation Using: ☒ Speed Data ☐ Distance Data ☐ Coordinates

Import Trip Data

OK Cancel Help

Şekil 6.15. SIDRA Trip Yazılımında Tanımlanan Yolculukların “General Settings” Sekmesinde Girilen Veriler

General Settings

Title:

Subtitle:

Description:

Data Method:

Vehicle:

Driver:

Number of Vehicle Trips:

Trip ID:

Start Section:

End Section:

To import data, click or right click on the Trip Data node in the tree.

OK Cancel Help

Şekil 6.16. SIDRA Trip Yazılımında Tanımlanan Yolculukların “Trip Settings” Sekmesinde Girilen Veriler

Edit Profile - Travel Data Method (Speed Settings)

Speed Settings

☐ Desired Speed (km/h) 100

Lower Speed for a Stop (km/h) 5

Upper Speed for a Stop (km/h) 25

Speed Groups

From km/h	To km/h
☒ 0	5
☒ 5	10
☒ 10	40
☒ 40	55
☒ 55	75
75	Maximum

OK Cancel Help

Şekil 6.17. SIDRA Trip Yazılımında Tanımlanan Yolculukların “Speed Settings” Sekmesinde Girilen Veriler

Edit Profile - Travel Data Method (Noise Settings)

Noise Settings

Flow Rate (veh/hour) 100

Receptors

☒ Fixed

☒ Distance

From Start of Trip (m) 0.0

From Road to Receptor (m) 10.0

☐ Coordinates

Latitude 0.00000000

Longitude 0.00000000

☐ Relative

Distance between Source and Receptor (m) 10.0

Heights

Height of Source above Ground (m) 0.4

Height of Receptor above Ground (m) 1.2

OK Cancel Help

Şekil 6.18. SIDRA Trip Yazılımında Tanımlanan Yolculukların “Noise Settings” Sekmesinde Girilen Veriler

Edit Profile - Travel Data Method (Cost & LOS Parameters)

Cost & Level Of Service (LOS) Parameters

Cost Parameters

Cost Unit: ?

Vehicle Cost Parameters

Pump Price of Fuel (?/L): 1.20

Fuel Resource Cost Factor: 0.5

Ratio of Running Cost to Fuel Cost: 3.00

Time Cost Parameters

Average Income (?/h): 28.00

Time Value Factor: 0.6

Average Occupancy (persons/veh): 1.50

Level of Service Parameters

Lower Limit for Travel Time Ratio: 0.10

Cost Method Parameters

Toll Cost (?): 0.00

Cost Method: Operating Cost

OK Cancel Help

Şekil 6.19. SIDRA Trip Yazılımında Tanımlanan Yolculukların “Cost & Level of Service (LOS) Parameters” Sekmesinde Girilen Veriler

Edit Profile - Travel Data Method (My Car)

Vehicle Details

Vehicle Parameters

Vehicle ID: Hyundai Accent Era 2009

Class: Passenger Car

Mass (kg): 1033.0

Length (m): 4.3

Maximum Values

Max. Power (kW): 71.0

Max. Speed (km/h): 177.0

Max. Grade (%): 15.0

Max. Acceleration (m/s²): 8.13

Fuel Consumption and Emission Parameters

	Idle	A	B	beta 1	beta 2
Fuel	1350.0	21.0	0.00550	0.0900	0.0300
CO	50.0	1.0	0.00000	0.0150	0.0250
HC	8.0	0.0	0.00002	0.0000	0.0004
NOx	2.0	0.0	0.00006	0.0010	0.0002

CO2 to Fuel Consumption Rate: 2.5

These parameters are in Metric units.

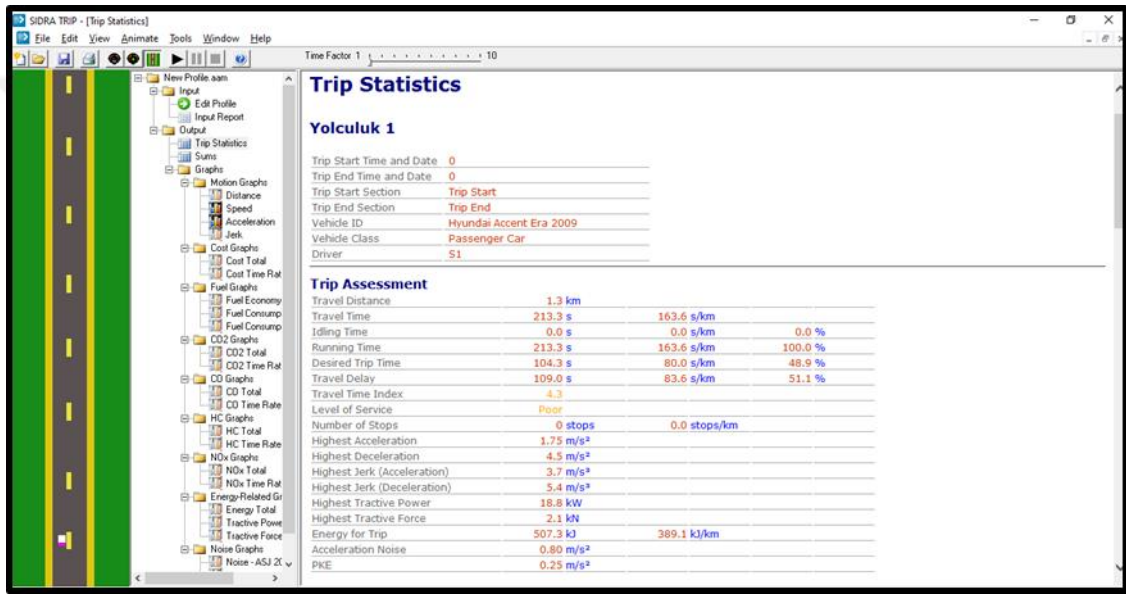
Clone Vehicle Delete Vehicle

OK Cancel Help

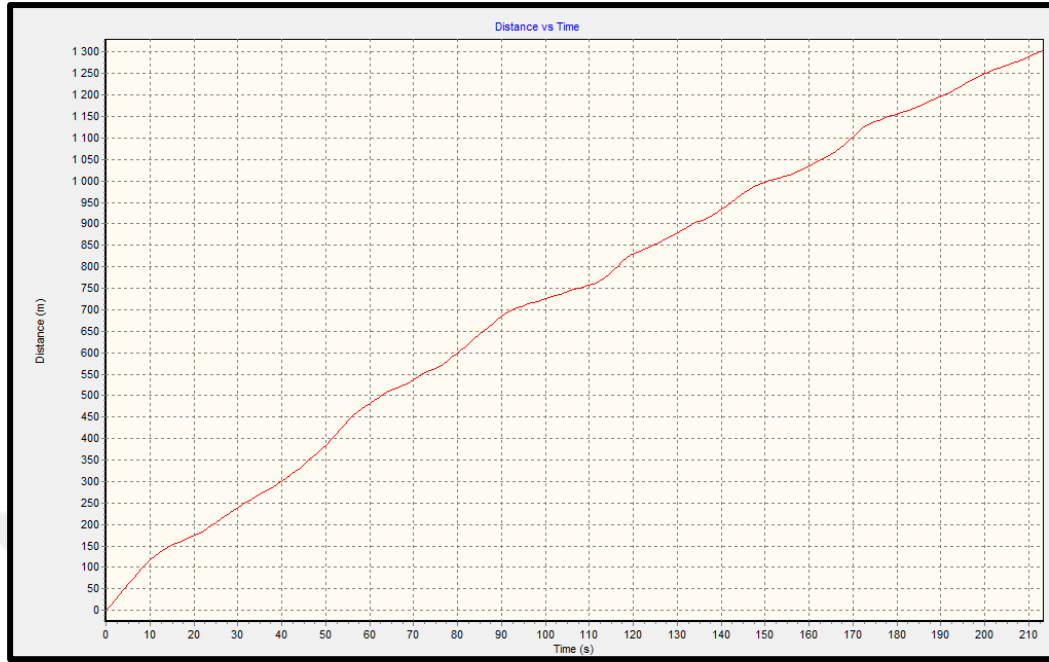
Şekil 6.20. SIDRA Trip Yazılımında Tanımlanan Gönüllü Sürücülerin Araçlarına İlişkin “Vehicles” Sekmesinde Girilen Veriler

Yolculuklara ilişkin veriler sisteme girilerek, yazılım çalıştırıldığında, “Trip Statistics” sekmesinde, yolculuğa ilişkin detaylı çözümlemeler bulunmaktadır. Burada

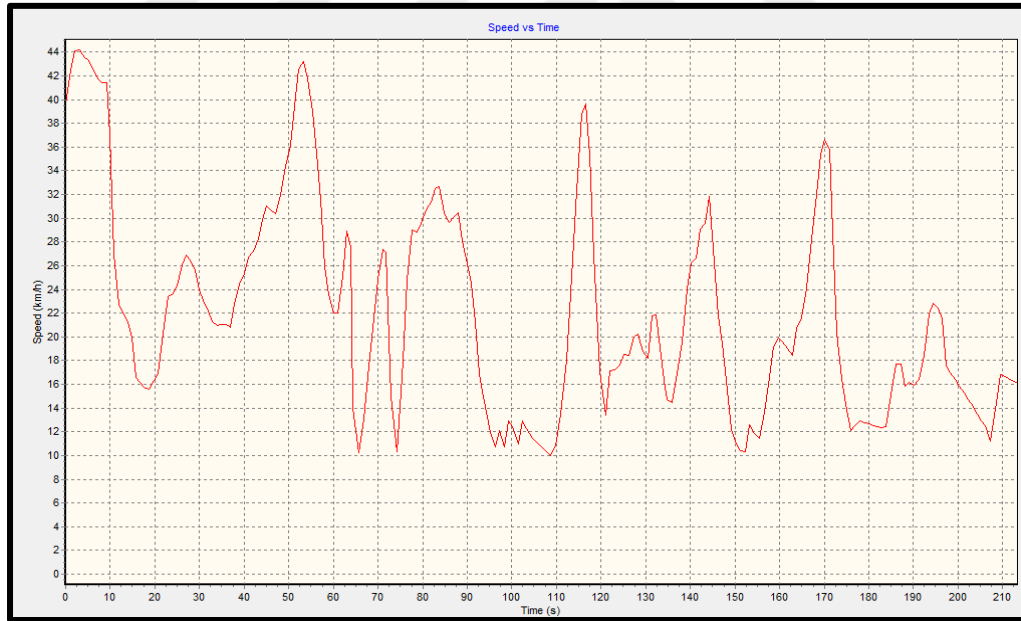
yolculuk değerlendirmesi (Trip Assessment) sekmesinde (Şekil VI.21) bulunan verilerden en yüksek hızlanma ve yavaşlama ivmeleri çözümlemenin bir sonraki aşamasında önem taşımaktadır. Bu bilginin yanı sıra, hareket grafikleri (Motion Graphics) sekmesi altından, yolculuğa ilişkin yol-zaman (Şekil VI.22), hız – zaman (Şekil VI.23), ivme – zaman (Şekil VI.24) ve sademe – zaman (Şekil VI.25) grafikleri de çizdirilebilmektedir.



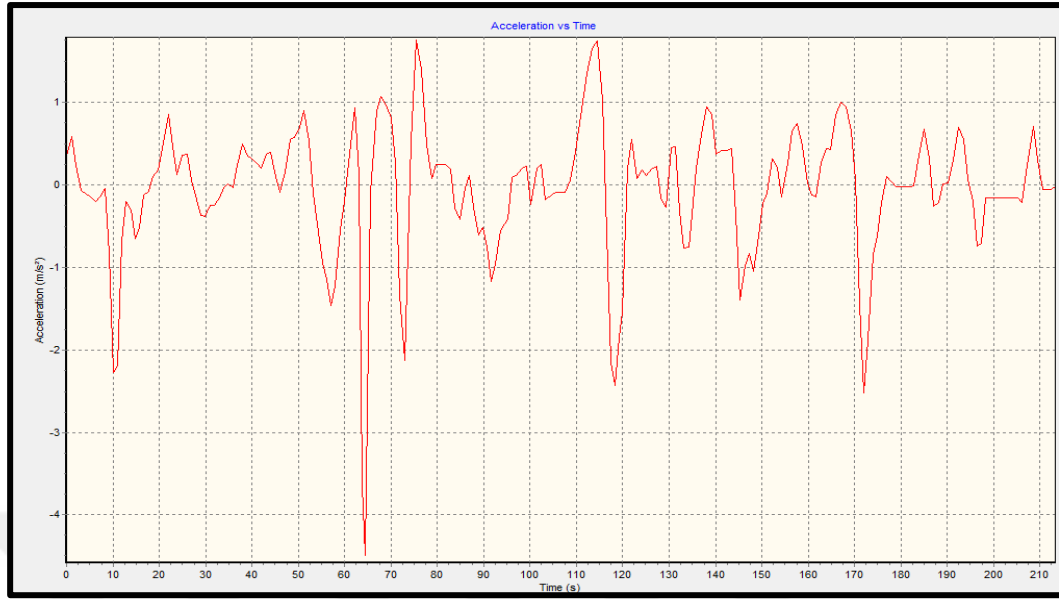
Şekil 6.21. SIDRA Trip Yazılımından Elde Edilen Yolculuk Değerlendirmesi Bilgileri



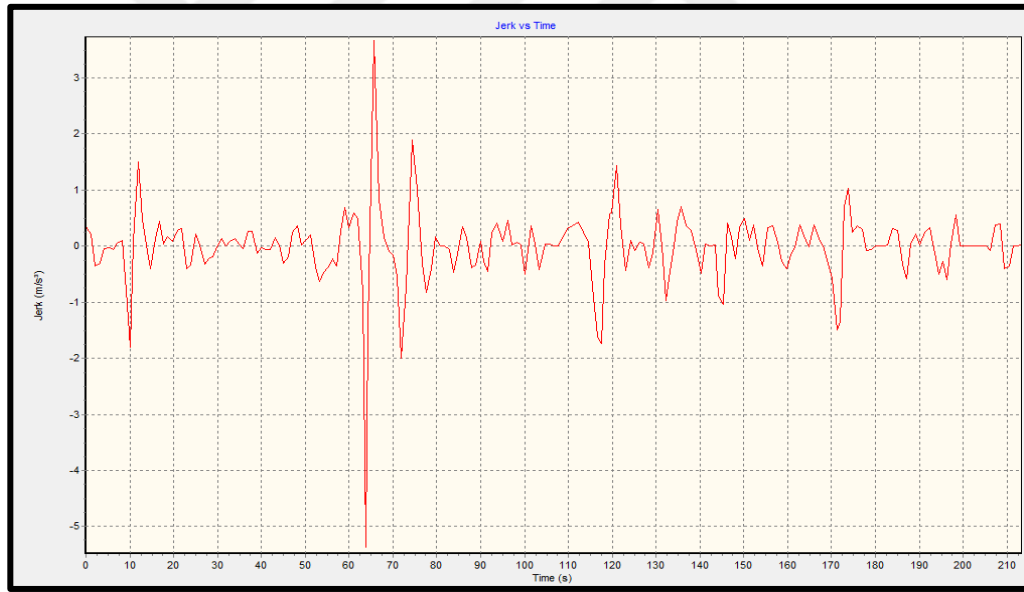
Şekil 6.22. SIDRA Trip Yazılımından Elde Edilen Yol-Zaman Grafiği



Şekil 6.23. SIDRA Trip Yazılımından Elde Edilen Hız-Zaman Grafiği



Şekil 6.24. SIDRA Trip Yazılımından Elde Edilen İvme -Zaman Grafiği



Şekil 6.25. SIDRA Trip Yazılımından Elde Edilen Sademe-Zaman Grafiği

Tablo VI.3' de yavaşlama, Tablo VI.4' de ise hızlanma ivmeleri üzerine yapılmış olan çalışmaların birer özeti sunulmaktadır [20].

Tablo 6.3. Yavaşlama İvmesi Değerleri

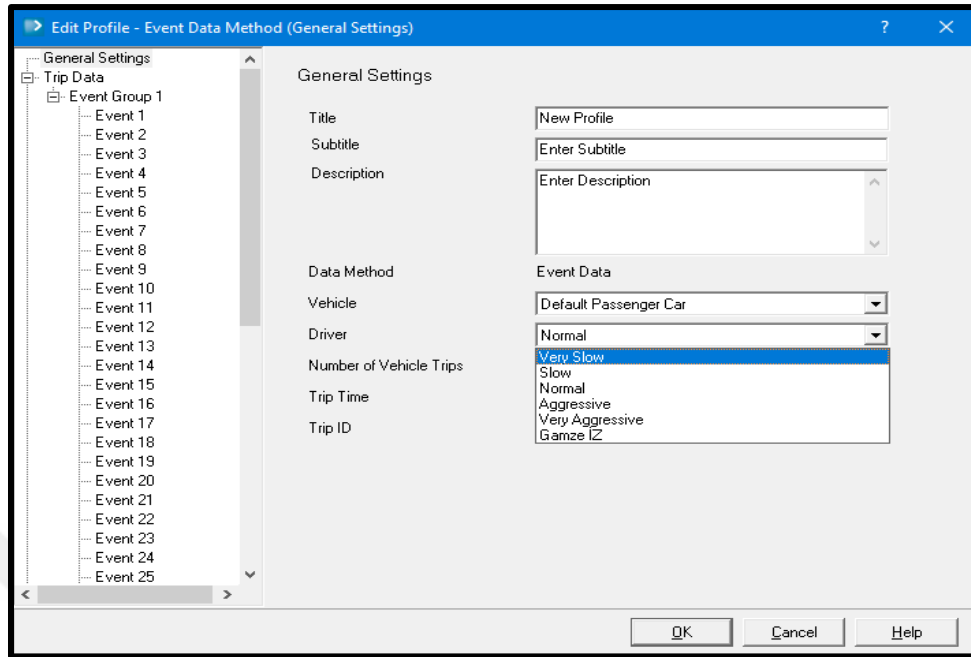
Yazar	Yıl	Değer
ITE (Trafik Mühendisliği El Kitabı)	2009	3,0 m/sn ²
Gazis ve diğer.	1960	4,9 m/sn ²
Williams	1977	2,95 m/sn ²
Parsonson ve Santiago	1980	3,0 m/sn ²
Wortman ve Matthias	1983	2,1~4,2 m/sn ²
Chang ve diğer.	1985	2,9 m/sn ²
Ihab ve diğer.	2007	3,27 m/sn ²

Tablo 6.4. Hızlanma İvmesi Değerleri

Yazar	Yıl	Değer
ITE (Trafik Mühendisliği El Kitabı)	2009	1,48 m/sn ²
Loutzehheizer	1937	en fazla 1,74 m/sn ²
NCHRP Report 383	1996	1,5 m/sn ²
Long	2000	1,45 m/sn ²
Bham ve Benekohal	2001	1,43~0,83 m/sn ²

Sürücüler farklı trafik koşulları altında farklı hızlanma ve yavaşlama ivmelerine sahip olabilirler. Ancak davranış özellikleri, bu hızlanma ve yavaşlama ivmelerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. [75] , SIDRA Trip 1.1 programında 5 (beş) farklı sürücü tipi önermiştir (Şekil VI.26)

1. Çok Yavaş
2. Yavaş
3. Normal
4. Saldırgan
5. Çok Saldırgan



Şekil 6.26. SIDRA Trip Programında Tanımlanmış Olan Sürücü Tipleri

Şekil VI.26 incelendiğinde, "Benim Sürücüm (My Driver) olarak tanımlanmış bir seçeneğin daha olduğu görülmektedir. Bu, program üzerinde yolculuk verilerini elde ettiği bir sürücüye ait değerlerden yola çıkarak programı ayarlama (ölçümleme) olanağını sunmaktadır. [75] [20], yukarıda açıklanan beş ayrı sürücü tipi için aşağıdaki ölçümleme katsayılarını önermiştir (Tablo VI.5) [20].

Tablo 6.5. SIDRA Trip'te Önerilmiş Olan Sürücü Ölçümleme Katsayıları

Sürücü Tipi	Hızlanma İvmesi Ölçümleme Katsayıları	Yavaşlama İvmesi Ölçümleme Katsayıları
Çok yavaş	1,4	1,4
Yavaş	1,6	1,6
Normal	1,8	1,8
Saldırgan	2	2
Çok saldırgan	2,2	2,2

Akçelik ve Besley [76], hızlanma ve yavaşlama ivmelerine ait değerlerin hesaplanabilmesi için aşağıdaki bağıntıları önermişlerdir:

$$a_{hızlanma} = f_a[p_1 + p_2 \sqrt{V_f - V_i} - p_3 V_i]/3,6 \quad (VI.1)$$

$$a_{yavaşlama} = f_d[p_1 + p_2 \sqrt{V_i - V_f} - p_3 V_f]/3,6 \quad (VI.2)$$

Burada, $a_{hızlanma}$, hızlanma ivmesini (m/sn^2), $a_{yavaşlama}$, yavaşlama ivmesini (m/sn^2), v_f , aracın son hızını (km/saat), v_i , aracın ilk hızını (km/saat), f_a , hızlanma ivmesi ölçümleme katsayısını, f_d , yavaşlama ivmesi ölçümleme katsayısını ifade etmektedir. p_1 , p_2 , p_3 bağıntı katsayıları olup, aldıkları değerler Tablo VI.6'de gösterilmiştir.

Tablo 6.6. p_1 , p_2 , p_3 Bağıntı Katsayıları

	p_1	p_2	p_3
Hızlanma İvmesi	2,08	0,127	0,005
Yavaşlama İvmesi	1,71	0,236	0,003

6.1 ve 6.2 bağıntıları kullanılarak, sürücülerin yolculuklarından elde dilmiş olan hızlanma ve yavaşlama ivmeleri kullanılarak yolculuklara ait "fa ve fd" değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerin ortalaması alınarak, sürücülere ait ölçümleme katsayıları elde edilebilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen sürücülere ait kesintisiz akım için, ölçümleme katsayıları Tablo VI.7'da sunulmuştur.

Gönüllü sürücülere ait kesintisiz akımda ölçümlendirme katsayıları incelendiğinde sürücülerin genelinde yavaşlama katsayıları, hızlanma katsayılarından yüksek çıkmıştır.

Gönüllü sürücülerin kesintisiz akım koşullarında sergilediği davranışlar ise, hızlanma katsayılarına bakıldığında 2 ve 8 nolu sürücünün Çok Yavaş sürücü davranışı gösterdiği, 9 nolu sürücünün Yavaş sürücü davranışı gösterdiği, 7 nolu sürücünün Normal sürücü davranışı gösterdiği, 1, 3, 4, 5 ve 6 nolu sürücülerin Çok Saldırgan sürücü davranışı göstererek ölçümleme katsayılarının üzerine çıktığı gözlemlenmiştir.

Gönüllü sürücülerin yavaşlama katsayılarına bakıldığında 1, 2, 3, 4, 5, 8 ve 9 nolu sürücülerin Saldırgan davranış gösterdiği 6 ve 7 nolu sürücülerin ölçümleme katsayısının üzerine çıkarak Çok Saldırgan davranış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Çalışma kapsamında, değerlendirme ve karşılaştırma açısından önemli olduğu düşünüldüğü sürücülere ait normal akım ölçümlendirme katsayıları

incelenmiştir. Bu değerler Tablo VI.8’de verilmiştir. Gönüllü sürücülere ait normal akımda ölçümlendirme katsayıları incelendiğinde sürücülerin genelinde hızlanma katsayıları, yavaşlama katsayılarından yüksek çıkmıştır.

Gönüllü sürücülerin normal akım koşullarında, sergilediği davranışlar ise, hızlanma katsayılarına bakıldığı taktirde; 1 ve 9 nolu sürücünün Çok Yavaş davranış gösterdiği, 2 ve 4 nolu sürücünün Normal davranış gösterdiği, 6 ve 8 nolu sürücünün Yavaş ve 3, 5, 7 nolu sürücünün ise Saldırgan sürücü davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir.

Gönüllü sürücülerin normal akım koşullarında yavaşlama katsayılarına bakıldığında 1,5 ve 6 nolu sürücülerin Çok Yavaş davranış gösterdiği 2, 3, 8 ve 9 nolu sürücülerin Normal davranış gösterdiği, 7 nolu sürücünün ise Yavaş sürücü davranışı gösterdiği, 4 nolu sürücünün ise Çok Saldırgan sürücü davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir.

Veriler incelendiğinde sürücülerin normal akım koşullarında SIDRA Trip katsayılarına göre özellikle yavaşlama ivmeleri bakımından daha az agresif oldukları gözlemlenmiştir. Gönüllü Sürücülere ait SIDRA Trip’te önerilmiş olan değerlere göre sürücü ölçümleme verilerinin sonuçlarının yer aldığı veriler Tablo VI.7.9’da verilmiştir.

Tablo 6.7. Gönüllü Sürücülere Ait Kesintisiz Akımda Ölçülendirme Katsayıları

Gönüllü Sürücü No	Hızlanma İvmesi(m/sn ²)				Yavaşlama İvmesi(m/sn ²)				Hızlanma Katsayısı <i>fa</i>				Yavaşlama Katsayısı <i>fd</i>			
	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma
GS1	0,57	3,04	1,37	0,61	0,68	3,30	1,90	0,76	0,73	3,71	1,83	0,73	0,75	3,66	2,28	0,73
GS2	0,82	1,27	0,99	0,26	2,30	2,90	2,50	0,27	0,87	1,83	1,33	0,40	2,00	3,10	2,40	0,40
GS3	0,69	2,26	1,33	0,34	1,10	3,10	2,00	0,49	0,43	3,00	1,75	0,44	0,49	3,00	2,10	0,40
GS4	1,41	2,24	1,85	0,29	1,13	3,80	2,60	0,80	1,90	3,00	2,54	0,30	1,30	4,10	2,90	0,90
GS5	0,86	3,86	1,88	0,75	1,80	5,10	3,10	1,30	1,30	5,00	2,40	1,04	2,10	4,50	3,10	1,14
GS6	0,53	3,84	1,50	1,00	0,54	3,20	1,80	1,11	0,78	5,40	2,06	1,56	0,76	3,36	2,00	1,00
GS7	0,41	2,68	1,29	0,63	1,20	2,50	1,80	0,57	0,65	4,45	1,90	1,00	1,50	2,80	2,15	0,56
GS8	0,31	1,96	1,17	0,51	0,31	3,30	1,88	1,07	0,65	2,44	1,59	0,62	0,48	3,84	2,18	1,10
GS9	0,71	1,58	1,20	0,47	1,10	3,30	2,05	0,71	1,09	0,85	1,69	0,71	1,44	3,21	2,19	0,60

Tablo 6.8. Gönüllü Sürücülere Ait Serbest Akımda Ölçülendirme Katsayıları

Gönüllü Sürücü No	Hızlanma İvmesi(m/sn ²)				Yavaşlama İvmesi(m/sn ²)				Hızlanma Katsayısı				Yavaşlama Katsayısı			
									fa				fd			
	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma
GS1	0,37	2	1,13	0,5	0,37	2	1,7	1,5	0,57	3,54	1,6	0,7	0,37	2,66	1,9	1,6
GS2	1,1	1,8	1,45	0,31	1,1	2,3	1,77	0,49	1,4	2,58	1,93	0,48	1,3	2,49	1,98	0,49
GS3	0,77	3	1,44	0,74	0,82	2,6	1,42	0,58	1,13	4,23	2,06	1	1,14	3,25	1,85	0,67
GS4	0,47	2	1,37	0,5	0,51	2,4	1,85	0,69	0,73	2,6	1,88	0,63	0,82	3,1	2,29	0,83
GS5	0,71	4	1,9	1,16	0,68	4,4	1,8	1,22	1,21	5,75	2,54	1,49	0,86	4,23	1,89	1
GS6	0,98	3,84	1,8	1,27	0,84	1,1	0,98	0,1	1,2	5,4	2,5	1,8	0,93	1,1	1,4	0,11
GS7	0,72	3,3	1,61	1,05	0,54	4,9	1,62	1,64	1	4,07	2,15	1,2	0,65	4,8	1,7	1,5
GS8	0,45	2,2	1,16	0,67	1,1	2,5	1,86	0,65	0,71	3,48	1,73	1,07	1,43	2,76	1,9	0,53
GS9	0,4	1,31	1,04	0,43	0,31	3,3	1,57	1,24	0,65	1,89	1,45	0,55	0,47	3,78	1,87	1,38

Tablo 6.9. SIDRA Trip'te Önerilmiş Olan Değerlere Göre Sürücü Ölçümleme Verilerinin Sonuçları

	KESİNTİSİZ AKIM		SERBEST AKIM	
Gönüllü	Hızlanma İvmesi	Yavaşlama İvmesi	Hızlanma İvmesi	Yavaşlama İvmesi
Sürücü No	Ölçümleme Katsayıları	Ölçümleme Katsayıları	Ölçümleme Katsayıları	Ölçümleme Katsayıları
GS1	ÇOK SALDIRGAN	SALDIRGAN	ÇOK YAVAŞ	ÇOK YAVAŞ
GS2	ÇOK YAVAŞ	SALDIRGAN	NORMAL	NORMAL
GS3	ÇOK SALDIRGAN	SALDIRGAN	SALDIRGAN	NORMAL
GS4	ÇOK SALDIRGAN	SALDIRGAN	NORMAL	ÇOK SALDIRGAN
GS5	ÇOK SALDIRGAN	SALDIRGAN	SALDIRGAN	ÇOK YAVAŞ
GS6	ÇOK SALDIRGAN	ÇOK SALDIRGAN	YAVAŞ	ÇOK YAVAŞ
GS7	NORMAL	ÇOK SALDIRGAN	SALDIRGAN	YAVAŞ
GS8	ÇOK YAVAŞ	SALDIRGAN	YAVAŞ	NORMAL
GS9	YAVAŞ	SALDIRGAN	ÇOK YAVAŞ	NORMAL

6.4 Acıbadem'den Toplanan Trafik Verileri

Trafik akım niteliklerinin çözümlenmesi için İstanbul kenti içinde D100 Acıbadem kesimi incelenmiştir. Kesintisiz akım koşulları altında alınan video kamera görüntüleri üzerinden araç bileşimi, hız, hacim ve zaman cinsinden takip aralıkları verileri elde edilmiştir. Şekil VI.27'de bu gözlem noktasının konumu gösterilmiştir.



Şekil 6.27. D100 Acıbadem Kesimi Gözlem Noktası

6.4.1 D100 Acıbadem Kesimi

D100 Karayolu'nun doğusunda Üsküdar ilçesinde yer alan Çamlıca semti, batı kesiminde Üsküdar ilçesi arasında kalan bir parçası olan Acıbadem kesimi, 3.05 m şerit genişliğine sahip 2x3 bir arterdir. Güneybatı kesiminde D100; Güneydoğu kesiminde E80; doğusunda bulunan Şile Yolu ile birleşmektedir. Metropolen alan E80 ve D100 bağlantıları olan köprü ve tünel geçişleri ile Asya ve Avrupa arasında bağlantıyı sağlamaktadır. Seçilmiş olan yolun batı bölgesinde konut alanları, doğu bölgesinde üretim tesisleri bulunmaktadır. D100 Acıbadem Kesimi'nin konumu Şekil

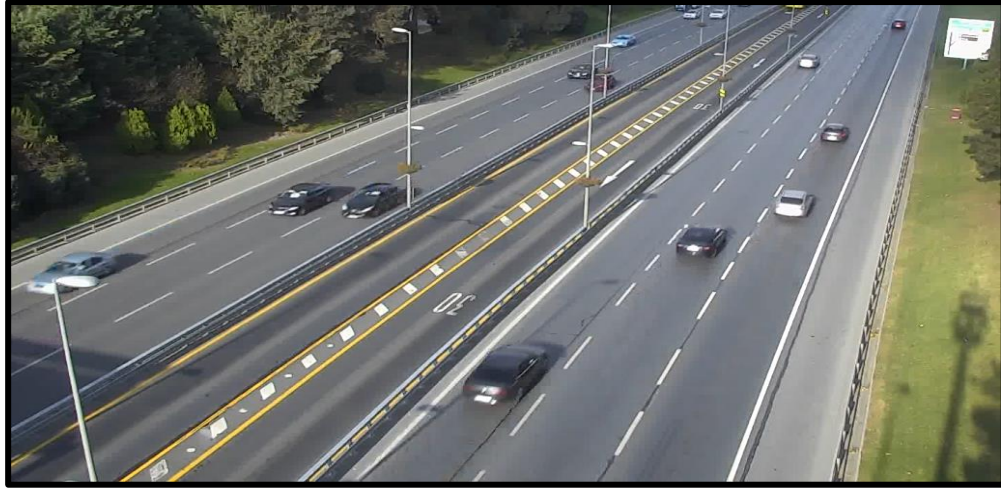
VI.28’da, gözlem alanının uydu görüntüsü Şekil VI.29’da, fotoğrafı ise Şekil VI.30’da verilmektedir. Acıbadem kesiminde araç hızlarını belirlemek için iki elektrik direği referans olarak kullanılmıştır. İki direk arasındaki uzaklık 35 metre olarak Google Earth’den ölçülmüştür. Ekran görüntüsü Şekil VI.31’de verilmiştir.



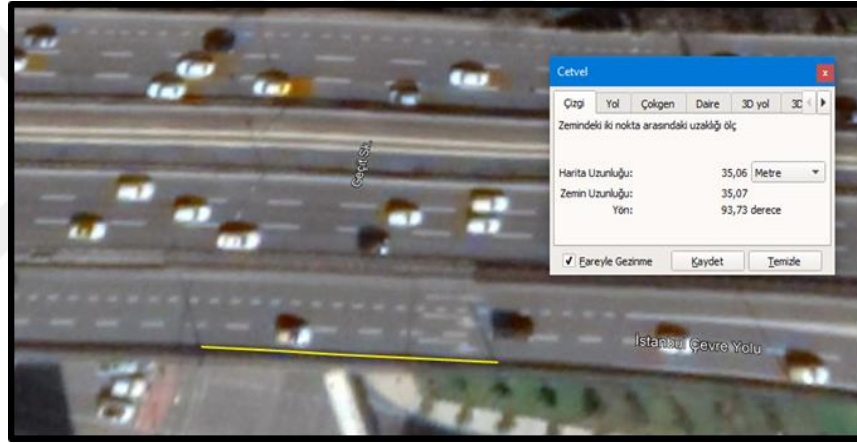
Şekil 6.28. D100 Acıbadem Yol Kesiminin Bağlantısının Bulunduğu Yol Ağları



Şekil 6.29. D100 Acıbadem Kesimi Gözlem Alanının Uydu Görüntüsü



Şekil 6.30. D100 Acıbadem Kesimi Gözlem Alanının Fotoğrafı



Şekil 6.31. D100 Acıbadem Kesiminde Referans Alınan Noktaların Mesafesine İlişkin Google Earth Ekran Görüntüsü

6.4.2 Zaman Cinsinden Takip Aralığı Verilerinin Toplanması

Veri toplanmasında dikkate edilmesi gereken ilk kural, verilerin durağan (değişmeyen) akım koşullarında toplanmasıdır. Durağan akım koşulları, gözlem sırasında azalan veya artan eğilim (trend) olmaması koşulunu ifade eder. Burada durağanlık, zaman içinde trafik akımının özelliklerinde bir değişiklik olmaması koşulu olarak dikkate alınmıştır.

Veri gruplarındaki eğilimin saptanması için Breiman v.d. [77] tarafından doğrusal regresyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem daha sonra Hagring [78] ve Tanyel v.d. [79] tarafından da kullanılmıştır. Doğrusal regresyon çözümleme yöntemi parametrik bir yaklaşım olarak tek değişkenli serilerin gidiş (trend) eğiminin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Eğer eğilim (trend) ortalama doğrusu artı eğimli ise artan eğilime sahip bir seri, eksi eğimli ise de azalan karakterli bir seri var anlamına gelmektedir [80]. Zaman cinsinden takip aralığı analizleri için kullanılabilecek bir veri grubunda ise b katsayısının anlamlı bir biçimde “0” veya sıfıra yakın bir değer olması beklenir.

Zaman cinsinden aralık verilerinin toplanmasında dikkat edilmesi gereken bir diğer koşul ise, veriler arasında içsel bağımlılık (otokorelasyon) olmamasıdır. İçsel bağımlılık (otokorelasyon) katsayısı, farklı uzaklıklardaki (aralıklardaki veya sıralardaki) gözlemler arasındaki ilişki (bağımlılık) hakkında bir ölçüt vermektedir. “n” sayıda gözlemden oluşan bir veri grubuna ait içsel bağımlılık katsayısı bir “k” kaydırma (gecikme, geride kalma/ *İng. Lag*) değeri için aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanabilir [34]:

$$\bar{\rho}_k = \frac{\sum_{j=1}^{n-k} (t_j - \bar{t})(t_{j+k} - \bar{t})}{\sum_{j=1}^n (t_j - \bar{t})^2} \quad (\text{VI.3})$$

Bağıntıda $\bar{t}$, zaman cinsinden aralıkların aritmetik ortalamasıdır. “k” değerinin “0” olması (yani verilerde bir kaydırma yapılmaması, aynı veri grubunun kendisi ile içsel bağımlılığının araştırılması) durumunda içsel bağımlılık katsayısı “1” olacaktır. “n” veriye sahip bir gözlem örneğine ait içsel bağımlılık katsayıları (otokorelasyon

katsayıları) ortalaması sıfır ve standart sapması $1/n$ olacak şekilde asimptotik normal dağılıma uyarlar [81]; [34].

Luttinen [34], gözlemler sonucunda elde edilen zaman cinsinden takip aralığı değerlerinin analiz için uygun bir veri grubu oluşturup oluşturmadığının belirlenebilmesi için rastgelelik testinin de uygulanması gerektiğini belirtmiştir. Bu amaçla, Wald ve Wolfowitz tarafından 1940 yılında önerilmiş olan koşum testinin kullanılmasını uygun görmüştür. Koşum testi, zamana veya belirli bir sıraya göre alınan örnek değerlerinin ortalama değerinin farklı noktalarda değişip değişmediğinin ortaya konmasında kullanılan istatistiksel bir testtir.

Her bir t_i takip aralığının, aşağıdaki kurallar doğrultusunda bir x_i değişkeni ile tanımlandığı varsayılın:

$$x_i = \begin{cases} 1, & t_i > M_d \\ 0, & t_i < M_d \end{cases} \quad (\text{VI.4})$$

Burada M_d , gözlem verilerinin medyan (ortanca) değeridir. x_i değerleri belirlenirken, medyana eşit olan zaman cinsinden aralıklar dikkate alınmaz. $\{x_{i+1}, x_{i+2}, \dots, x_{j+k}\}$ şeklindeki bir veri dizisi, eğer $x_{j+1} = x_{j+2} = \dots = x_{j+k}$ ve $x_j \neq x_{j+1}$ ve $x_{j+k} \neq x_{j+k+1}$ koşulları için bir koşum (runs) olarak adlandırılır [34]. Bir veri grubu içindeki koşum sayısının, aşağıda bağıntıları verilen ortalama ve varyans değerleri ile asimptotik olarak normal dağılıma uyduğu söylenebilir:

$$\mu = \frac{2r(n-r)}{n} + 1 \quad (\text{VI.5})$$

$$\sigma^2 = \frac{2r(n-r)[2r(n-r)-n]}{n^2(n-1)} \quad (VI.6)$$

Bağıntılarda “ n ” gözlem sayısı ve “ r ” ise, medyandan daha küçük gözlem sayısıdır. Verilerdeki kümelenme, koşum sayısını azaltır. Veri grubundaki koşum sayısı, veri içinde eğilim (trend) olması koşulunda da azalma gösterir.

Griffiths ve Hunt [82] ile Al-Ghamdi [83], ortalama ve standart sapma arasındaki ilişkiyi tanımlayarak, sadece trafik hacim değerlerinden yararlanılarak zaman cinsinden aralıkların ortalama ve standart sapmalarının belirlenebileceğini vurgulamışlardır. Ortalama takip aralığı değerlerinin trafik sayımlarından kolayca hesaplanabileceği ($t_{ort} = 3600/Q$) göz önünde bulundurulduğunda standart sapma değerinin de kolayca bulunmaktadır. Buradan yapılabilecek çıkarım, beklenildiği üzere, bir kesitten geçen taşıt sayısı arttıkça araçlar arasındaki takip aralıklarının ve bu aralıklarının değişimlerinin de azalacağıdır. Diğer bir değişle, sürücüler birbirlerinden daha fazla etkilenecek birbirlerine yakın takip aralığı değerlerini kabul ederek seyahat etmektedirler.

Luttinen [34] tarafından yapılmış olan çalışma, hacim ile medyan arasında azalan bir üstel (eksponensiyel) ilişkinin olması gerektiğini göstermiştir. Çalışmada kapsamında yapılan gözlemler ise bir üssel fonksiyonun kullanılabileceğini göstermiştir.

Verilerin değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer parametre ise değişkenlik katsayısıdır. Değişkenlik katsayısını Luttinen [34] aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplamıştır:

$$C(t) = \frac{\sigma(t)}{\mu(t)} \quad (VI.7)$$

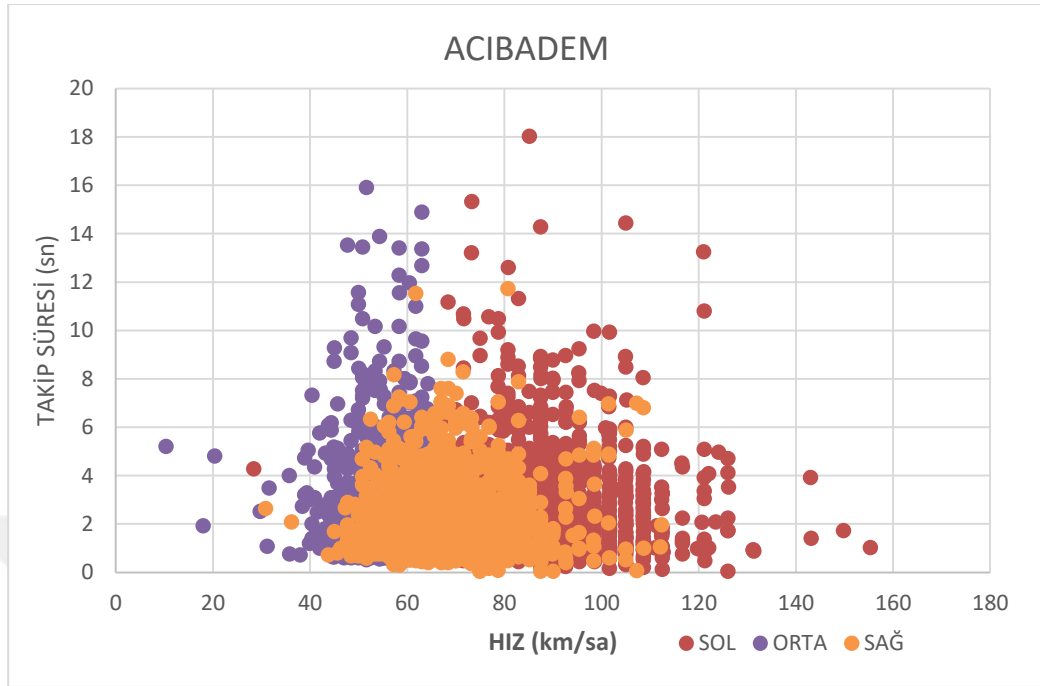
Burada $\sigma(t)$, veri grubuna ait standart sapma, $\mu(t)$ ise veri grubunun ortalamasını ifade etmektedir.

6.4.3 Acıbadem Kesiminden Toplanan Araç Verilerine İlişkin Bilgiler

Toplanan bir saatlik veriler incelendiğinde; en yoğun araç sayısı Acıbadem orta şerittedir. Ayrıca en yoğun otobüs sayısı da bu şeritte görülmektedir. Acıbadem sol şerit en yüksek otomobil ortalamasına sahiptir. Acıbadem sağ şeride bakıldığında ise; en yoğun minibüs sayısı bu şeritte görülmektedir. Hız ortalamalarına baktığımızda 80 km/sa ile en yüksek hız ortalamasına sahip şerit sol şerittir. Diğer araç ve hız bilgileri Tablo VI.10'da verilmiştir. Ayrıca şeritlere ait takip süresi/hız grafikleri Şekil VI.32'de verilmiştir. Takip süresi/hız bilgilerinden, trafik koşullarının benzetiminde yararlanılmıştır.

Tablo 6.10. D100 Acıbadem Kesiminden Toplanan Araç Verilerine İlişkin Bilgiler (Serbest Akım)

GÖZLEM NOKTALARI	ŞERİT	TRAFİK HACMİ (Taşıt/Saat)	ARAÇ TİPİ	ARAÇ SAYISI	ORTALAMA TAKİP ARALIĞI	ORTALAMA HIZ (km/sa)	Şerit Ortalaması
ACIBADEM	SOL	1521	OTOMOBİL	1466	1,92	87	80
			MINİBÜS	51	2,28	82	
			KAMYON	1	0,96	75	
			KAMYONET	2	1,92	87	
			OTOBÜS	1	1,88	68	
ACIBADEM	ORTA	1740	OTOMOBİL	1624	2,00	68	67
			MINİBÜS	80	2,09	68	
			KAMYON	8	3,48	63	
			KAMYONET	8	2,30	69	
			OTOBÜS	20	2,72	69	
ACIBADEM	SAĞ	1259	OTOMOBİL	1105	2,77	59	56
			MINİBÜS	82	3,06	57	
			KAMYON	37	4,49	53	
			KAMYONET	13	3,14	53	
			OTOBÜS	22	3,97	60	
			OTOMOBİL	1830	1,875	71	



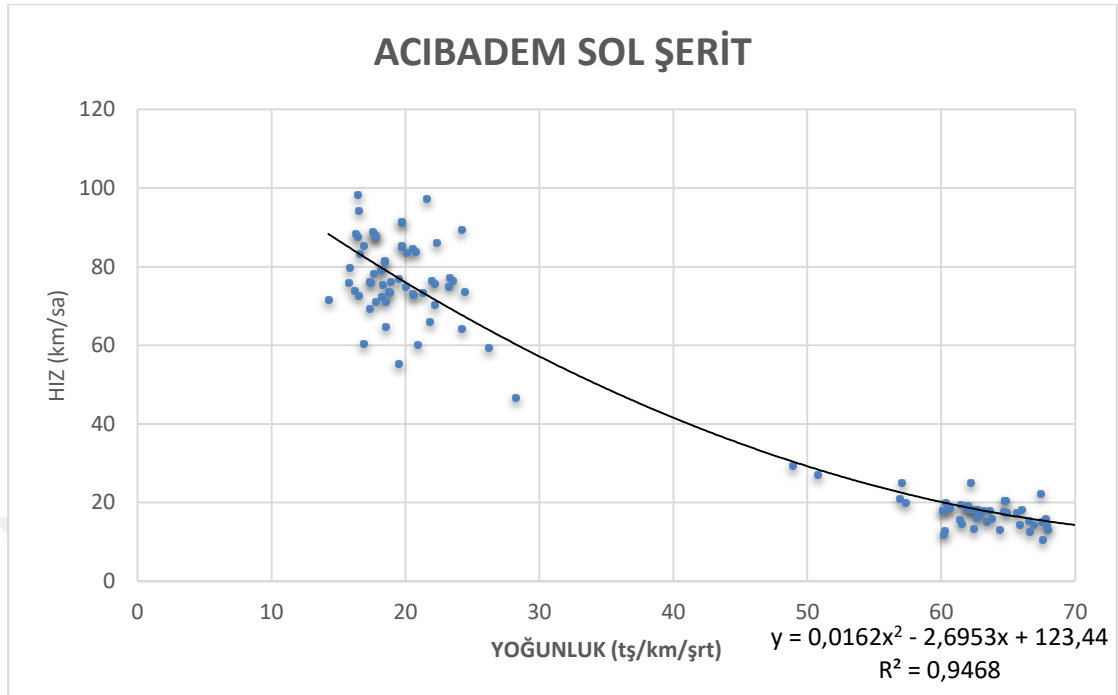
Şekil 6.32. D100 Acıbadem Kesimine Ait Takip Süresi/Hız Grafiği

Kesintisiz akım koşullarında sabit araç trafiğinin karşılaştırılabilmesi ve Vissim programında verilerin değerlendirilebilmesi için incelenen serbest akımın yanında Acıbadem kesiminden trafiğin daha yoğun olduğu bir saat seçilerek incelenmiştir. Karşılaştırılma yapılan bu Tablo VI.11’de verilmiştir. Verilere göre;

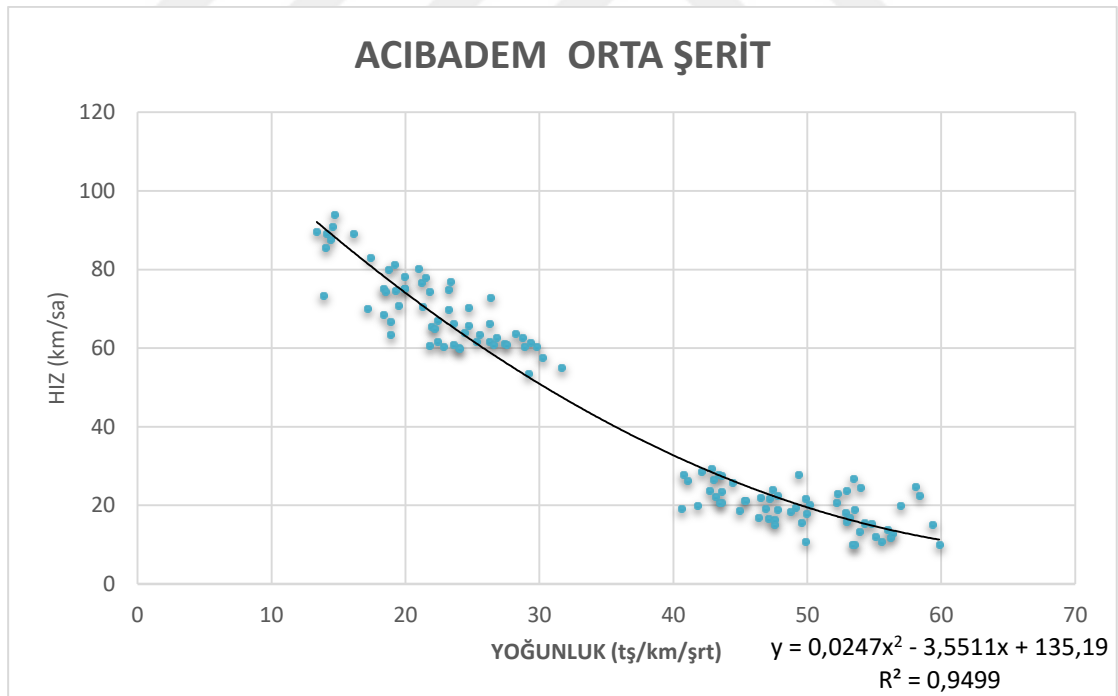
Acıbadem serbest ve zorlamalı akım karşılaştırıldığında en yüksek hız ortalaması sol şerittedir. En yüksek trafik hacmi orta şerittedir. zorlamalı akım verilerinde sol şeritte kamyon verisi elde edilememiştir. Acıbadem verilerinden elde edilen hız-hacim-yoğunluk grafikleri Şekil VI.33 – Şekil VI.41’de verilmiştir.

Tablo 6.11. D100 Acıbadem Kesiminden Toplanan Araç Verilerine İlişkin Bilgiler

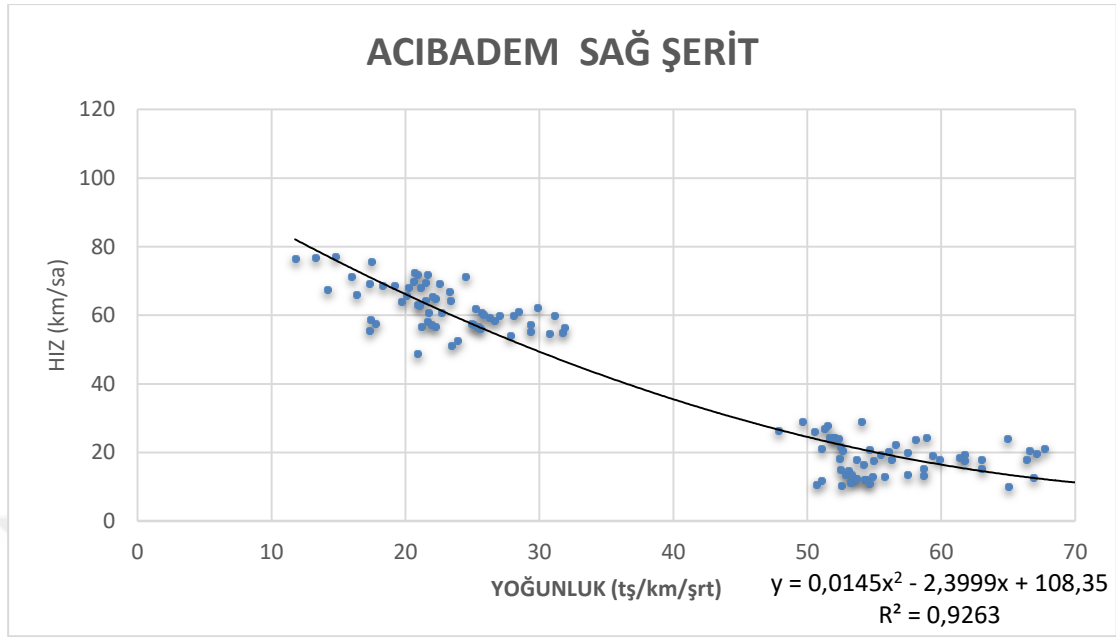
	GÖZLEM NOKTALARI	ŞERİT	TRAFİK HACMİ (Taşıt/Saat)	ARAÇ TİPİ	ARAÇ SAYISI	ORTALAMA HIZ (km/sa)	Şerit Ortalaması
SERBEST AKIM	ACIBADEM	SOL	1521	OTOMOBİL	1466	87	80
				MİNİBÜS	51	82	
				KAMYON	1	75	
				KAMYONET	2	87	
				OTOBÜS	1	68	
	ACIBADEM	ORTA	1740	OTOMOBİL	1624	68	67
				MİNİBÜS	80	68	
				KAMYON	8	63	
				KAMYONET	8	69	
				OTOBÜS	20	69	
	ACIBADEM	SAĞ	1259	OTOMOBİL	1105	59	56
				MİNİBÜS	82	57	
				KAMYON	37	53	
				KAMYONET	13	53	
				OTOBÜS	22	60	
ZORLAMALI AKIM	ACIBADEM	SOL	554	OTOMOBİL	540	34	23
				MİNİBÜS	12	31	
				OTOBÜS	2	27	
				KAMYON	0	0	
	ACIBADEM	ORTA	573	OTOMOBİL	512	32	27
				MİNİBÜS	43	30	
				OTOBÜS	8	26	
				KAMYON	10	20	
	ACIBADEM	SAĞ	448	OTOMOBİL	374	28	28
				MİNİBÜS	44	28	
				OTOBÜS	12	27	
				KAMYON	18	27	



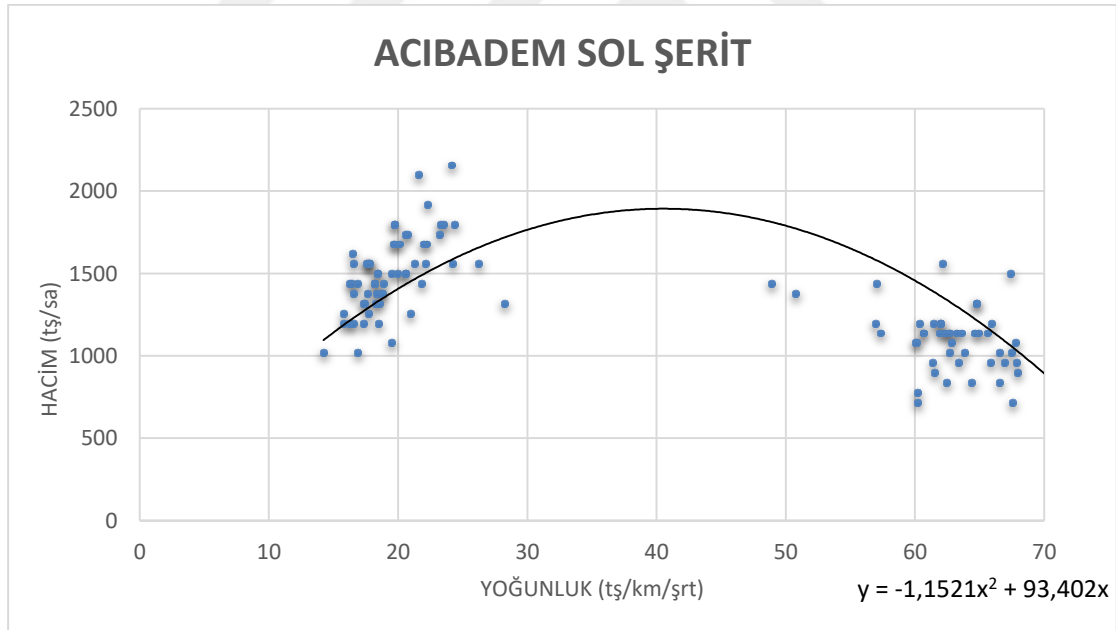
Şekil 6.33. D100 Acıbadem Sol Şerit Hız Yoğunluk Grafiği



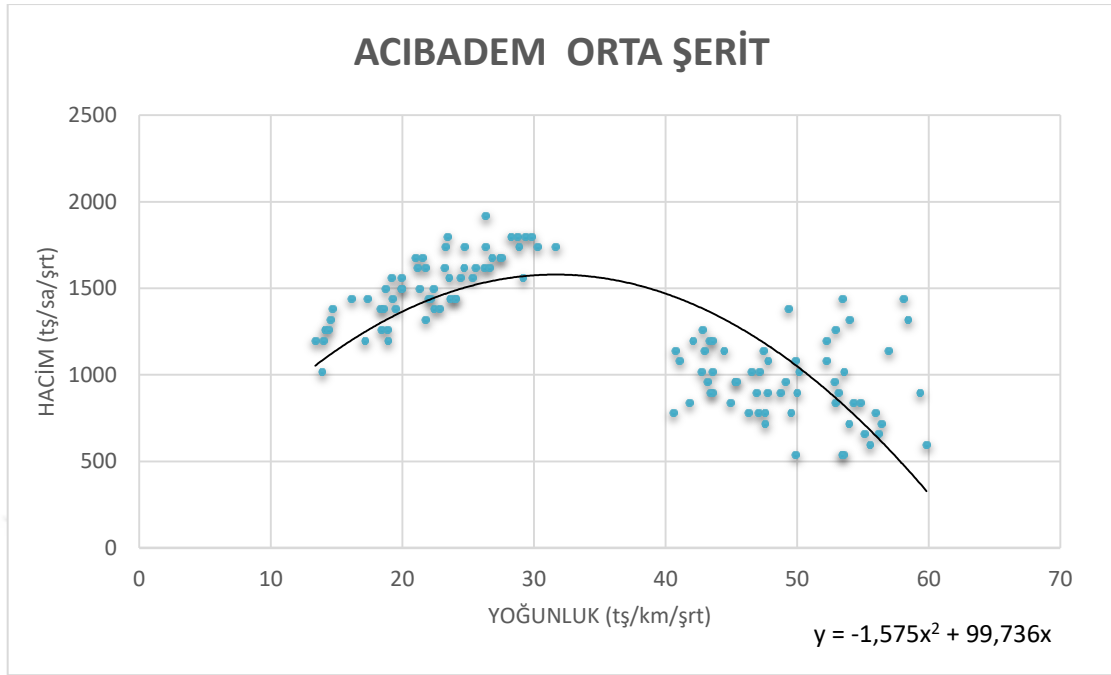
Şekil 6.34. D100 Acıbadem Orta Şerit Hız Yoğunluk Grafiği



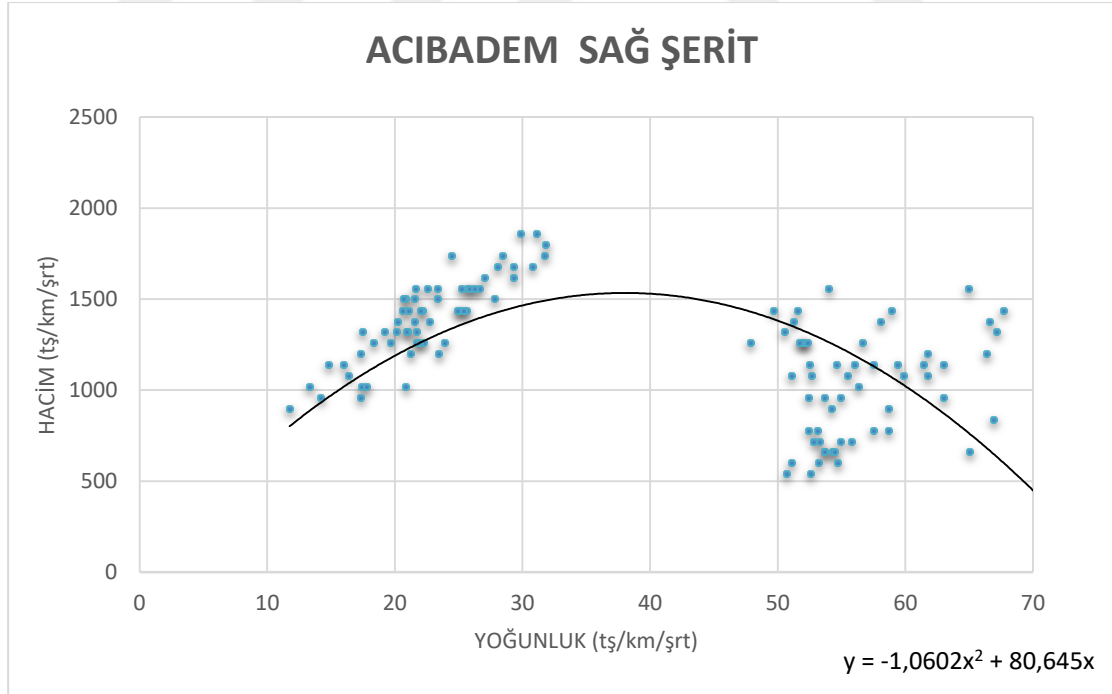
Şekil 6.35. D100 Acıbadem Sağ Şerit Hız Yoğunluk Grafiği



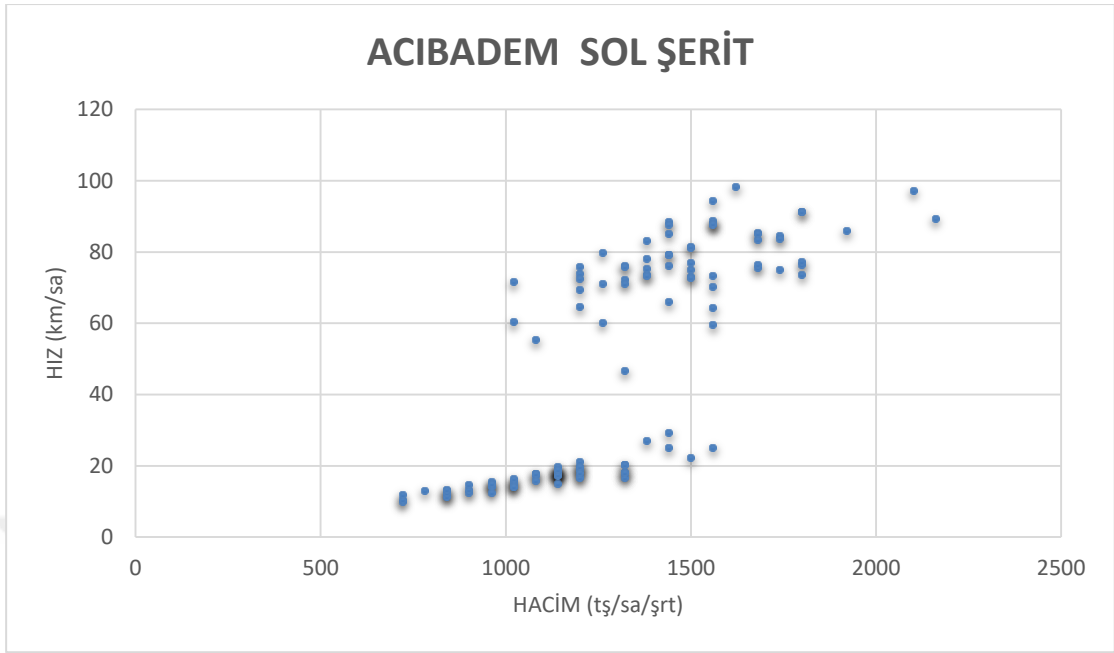
Şekil 6.36. D100 Acıbadem Sol Şerit Hacim Yoğunluk Grafiği



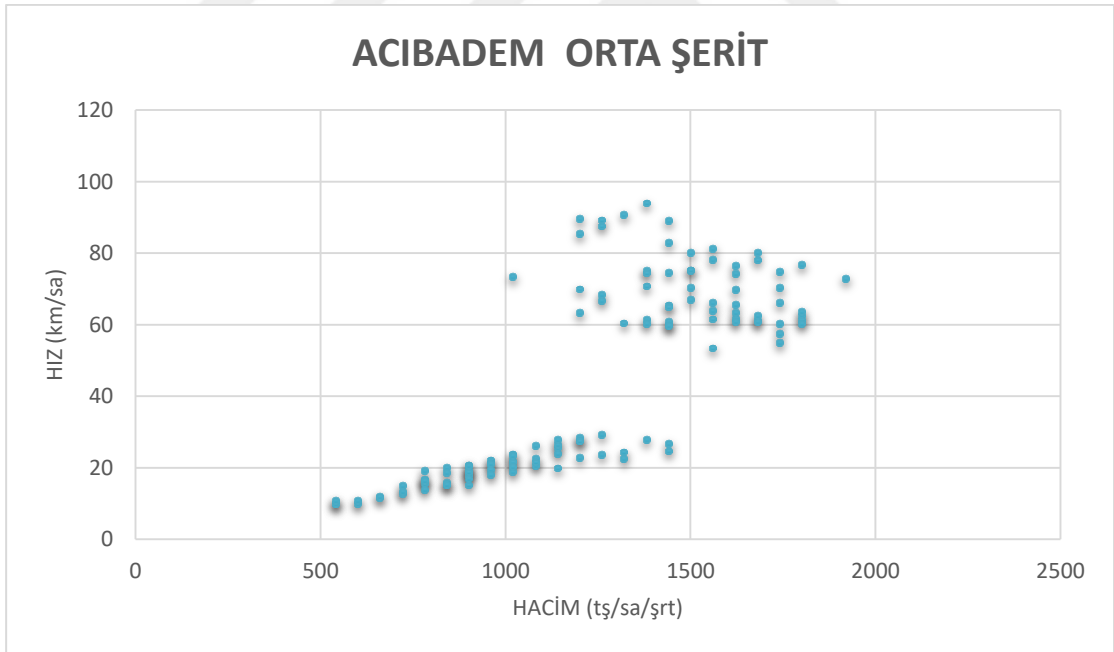
Şekil 6.37. D100 Acıbadem Orta Şerit Hacim Yoğunluk Grafiği



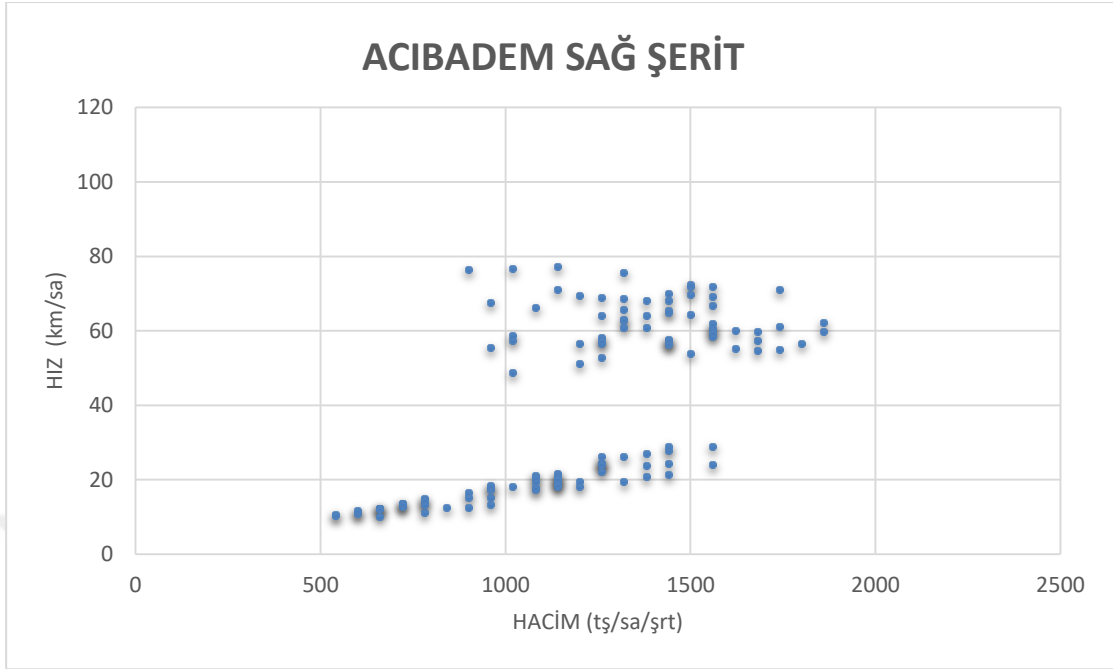
Şekil 6.38. D100 Acıbadem Sağ Şerit Hacim Yoğunluk Grafiği



Şekil 6.39. Acıbadem Sol Şerit Hız Hacim Grafiği



Şekil 6.40. Acıbadem Orta Şerit Hız Hacim Grafiği



Şekil 6.41. Acıbadem Sağ Şerit Hız Hacim Grafiği

Her bir şerit için, hız – yoğunluk arasındaki 2. Derece polinom şeklindeki ilişki excel’in eğilim çizgisi ekleme seçeneği kullanılarak belirlenmiştir. Bu ilişkiyi ortaya koyan R^2 değerleri, sol şerit için 0,9468, orta şerit için 0,9499 ve sağ şerit için de 0,9263 olarak belirlenmiştir. Her bir şerit için ayrı ayrı tanımlanan hız – yoğunluk ilişkilerinde, x değeri yerine 0 konularak, bir sınır değeri olan serbest akım hızı V_f elde edilmiştir. y yerine 0 konularak da diğer bir sınır değeri olan tıkanıklık yoğunluğu k_j elde edilmek istenmiştir. Ancak elde edilen ifade x eksenine asimptot olduğundan tıkanıklık yoğunluğu buradan elde edilememiştir. Her bir şeritten geçebilecek olan en büyük hacim değeri olan q_{maks} ’ı bulmak için hacim ve yoğunluk arasında eksenden geçen 2. dereceden bir ilişki elde edilmiştir. Bu ilişkide hacim değerini 0 yapan yoğunluk değeri hesaplanarak, tıkanıklık yoğunluğu elde edilmiştir. Yine bu ilişkinin türevi alınarak, 0’a eşitlenmiş ve buradan en büyük hacme karşılık gelen yoğunluk değeri hesaplanmıştır. Bu değer, hacim – yoğunluk ilişkisinde yerine

konularak, en büyük hacim değeri elde edilmiştir. Her bir şerit için elde edilen sınır koşulları Tablo VI.12’de görülmektedir.

Tablo 6.12. Her Bir Şerit İçin Elde Edilen Sınır Değerleri

Şerit	Vf (km/sa)	kj (tş/km/şrt)	q _{maks} (tş/sa/şrt)
Acıbadem Sol	123,44	107,61	1893,05
Acıbadem Orta	135,19	157,08	1578,93
Acıbadem Sağ	108,35	85,50	1533,58

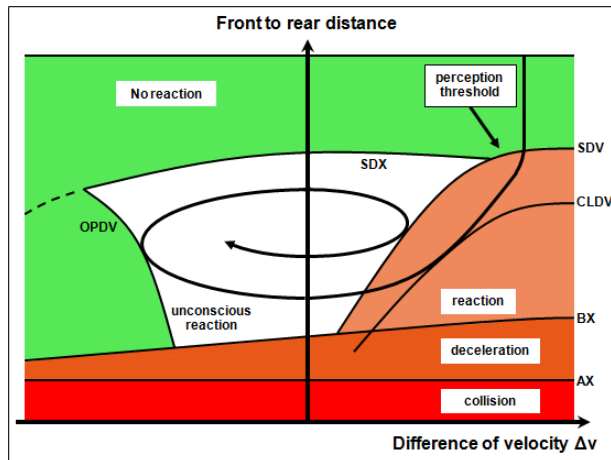
6.5 PTV Vissim Programından Verilerin Elde Edilmesi Ve Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında, trafik koşullarının benzetimi için PTV Vissim programı kullanılmıştır. PTV Vissim, çok detaylı ulaşım işlemlerini modellemek amacıyla üretilen önde gelen ince boyutlu benzetim programıdır ve “Vision Traffic Suite” yazılıma aittir. Vissim, gerçekçi şehir modellemesi ve şehirlerarası trafik ve yaya hareketi modelleme amaçlı, zaman adımı ve davranım temelli ince boyutlu bir benzetim modelidir. Şahsi kullanım amaçlı trafiğin yanında ray ve yol temelli toplu taşıma (TT) da modellenenebilir. Her noktada gerçekçi ve kesin sonuçlara sahip olan Vissim, çeşitli trafik senaryoları gerçekleşmeden önce onları sınaama olanağı sağlamak amacıyla en iyi durumları üretir. Modeller “varsayılan” veya “tahmin” verileri üzerine inşa edilebilir. Doğru sonuçlar elde etmek için, araç hareketleri benzetim modelinde ölçümlenebilir, böylece sürücü davranışı ve yerel trafik koşullarını yansıtmaktadır [84].

Vissim, şehirlerarası ve kentsel düzenin trafik akışını ve ayrıca yaya akışını modellemek için ince boyutlu, davranış esaslı, zaman artışına yönelik bir benzetim aracıdır. Özel ulaşımın yanı sıra, raylı sistemler ve karayolu bazında toplu taşıma da modellenenabilir. Dar sokak ve patikaların dağılımı, araç düzeni, sinyal kontrolleri ile özel ve toplu ulaşım araçlarının kaydının yapılmasını gerektiren çeşitli durumlarda trafik akışının benzetimi yapılabilir. Uyarlanabilir sinyal kontrolü, ağ içi rota önerisi ve iletişim araçları gibi sistemler arasındaki etkileşimin çözümleyip, rahatlıkla sinayabilir. Yaya akışı ve yerel temelli toplu ve özel ulaşım arasındaki etkileşimi benzetmek için ya da binaların tahliyesini ve bütün bir stadyumu planlamak için kullanılabilir.

6.5.1 Sürücü Davranışları

Şekil VI.42'de [52] görülen araç takip modeli, Almanya'daki Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü'nün ulaşım çalışmaları enstitüsünde çok yönlü olarak yapılan ölçümlerle ayarlanmıştır. Son yapılan ölçümler, seyir davranışlarındaki ve araçların teknik kapasitelerindeki değişimlerin ölçümler yapılırken hesaba katıldığını kesin olarak göstermektedir.



Şekil 6.42. Araç Takip Modeli

Çok şeritli yollarda, VISSIM modellemesinde bir sürücü, sadece ilerdeki taşıtı hesaplamakla kalmaz, aynı zamanda bitişik iki şeritteki araçları da göz önünde bulundurmaktadır. Ayrıca, duruş hattına ulaşmadan yaklaşık 100 m mesafedeki sinyal kontrolü sürücünün dikkatini artırmasına neden olmaktadır.

VISSIM, sürücü taşıt birimlerini bir ağ üzerinden geçirerek trafik akışını benzetir. Her sürücü kendi özgün davranış özellikleriyle birlikte özgün bir taşıta atanmıştır. Bunun sonucunda, davranış biçimleri, kullandığı taşıtının teknik kapasitesiyle örtüşmüştür. Varsayılan ayarlarında taşıtların benzetimi için kullanılması yanında, VISSIM Wiedemann modeli temel alınarak oluşturulan yaya benzetimi uygulamak için de kullanılabilmektedir.

Trafik akışı benzetirken şerit ayırımı, taşıt dizilimleri, sinyal kontrol ile özel ve toplu taşıma araçlarının tespit edilmesine dikkat edilir. [29] VISSIM'den alınan bir ekran görüntüsü Şekil VI.43'de [29] verilmektedir.

VISSIM'de farklı taşıt tiplerinden oluşan trafik bileşimlerinin incelenmesi amacıyla sürücüsüz akım özelliklerinden oluşan yol kesimleri tanımlanmıştır.

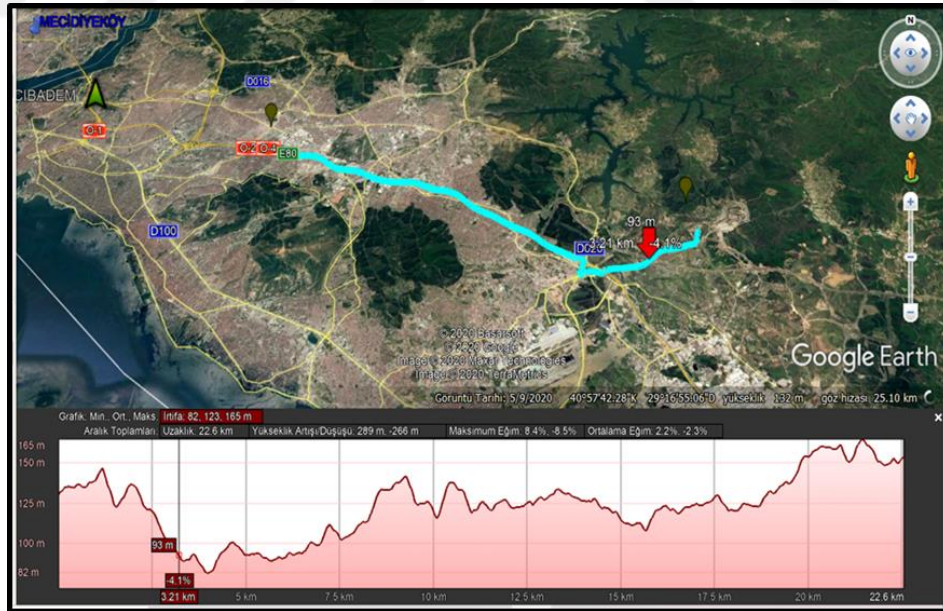


Şekil 6.43. PTV Vissim Ekran Görüntüsü

7 SÜRÜCÜSÜZ ARAÇLARIN KESİNTİSİZ AKIM KOŞULLARINDA KARMA TRAFİKTEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

7.1 SIDRA Trip Kullanılarak Geliştirilen Benzetim Modeli

SIDRA Trip’de bir vaka (senaryo) oluşturulmuş ve gönüllü sürücülerin yanı sıra, sürücüsüz taşıtların bu olayda farklı kesimlerdeki davranışlarına göre, olayın sonuçları incelenmiştir. Olayın geliştirilmesinde, öncelikle Google Earth Pro yazılımı çalıştırılarak, bir aracın İstanbul Okan Üniversitesi Akfırat Yerleşkesi’nden ayrılarak, TEM Otoyolu’na bağlanması ve Çamlıca Gişeleri’nden çıkması durumunda izleyeceği yol çizdirilmiştir. Şekil VII.1’de görülen bu yolun boykesiti de Google Earth Pro yazılımından elde edilmiştir.



Şekil 7.1. Google Earth Pro Yazılımından Elde Edilen, İstanbul Okan Üniversitesi Tuzla Yerleşkesi ve TEM Çamlıca Gişeleri Arasındaki Kesime Ait Yol Üstten Görünüşü ve Boykesiti

Belirtilen güzergahtaki yolculuğu oluşturan vaka SIDRA Trip yazılımında, birbirini takip eden olaylar (event) halinde tanımlanmıştır. Vakada, taşıtlar İstanbul Okan Üniversitesi Tuzla Yerleşkesi'nden yolculuklarına başlamaktadır. Sürücülerin taşıt kullanma biçimlerinin, özellikle de hızlanma ve yavaşlama özelliklerinin etkilerinin incelenmesi için, bu aşamada benzetim için SIDRA Trip'in ön tanımlı otomobili (Default Passenger Car) seçilmiştir. Araca ilişkin teknik özellikler Şekil VII.2'de görülmektedir. Bu olayların tanımlanmasına ilişkin SIDRA Trip ekran görüntüsü Şekil VII.3'de görülmektedir. SIDRA Trip'e tanımlanan olaylara ilişkin veriler Tablo VII.1'de verilmiştir.

Edit Profile - Event Data Method (Default Passenger Car)

Vehicle Details

Vehicle Parameters

Vehicle ID: Default Passenger Car

Class: Passenger Car

Mass (kg): 1250,0

Length (m): 4,5

Maximum Values

Max. Power (kW): 80,0

Max. Speed (km/h): 150,0

Max. Grade (%): 15,0

Max. Acceleration (m/s²): 6,0

Fuel Consumption and Emission Parameters

	Idle	A	B	beta 1	beta 2
Fuel	1300,0	20,0	0,00500	0,0900	0,0300
CO	50,0	1,0	0,00000	0,0150	0,0250
HC	8,0	0,0	0,00002	0,0000	0,0004
NOx	2,0	0,0	0,00006	0,0010	0,0002

CO2 to Fuel Consumption Rate: 2,5

These parameters are in Metric units.

Buttons: Clone Vehicle, Delete Vehicle, OK, Cancel, Help

Şekil 7.2. SIDRA Trip'in Ön Tanımlı Otomobili'nin Tanımlanmasına İlişkin Ekran Görüntüsü

Edit Profile - Event Data Method (Event 1)

Event Group Number 1
Event Number 1

Event Data

Initial Speed (km/h) 0.0
Final Speed (km/h) 50.0
Event Type Speed Change
Grade (percent) 3.40
☐ Event Duration / Distance 100.0 seconds
Distance option is not available at zero speed. Metres

Marker Data

Marker Type None
Setback Distance (m) 0.0

☐ Loop
Length (m)
Setback Distance (m)

Add Event | Insert Event | Delete Event

OK Cancel Help

Şekil 7.3. Olayların Tanımlanmasına İlişkin SIDRA Trip Ekran Görüntüsü

Tablo 7.1. SIDRA Trip’de Tanımlanan Vakaya İlişkin Olayların Yazılıma Tanımlanması

OLAY	İLK HIZ (km/sa)	SON HIZ (km/sa)	DURAKLAMA SÜRESİ (sn)	KATEDİLEN MESAFE (m)	YOLUN EĞİMİ %
1	0	50	-	-	3,4
2	50	50	-	400	-0,3
3	50	0	-	-	1,3
4	0	0	20	-	1,3
5	0	90	-	-	0,3
6	90	90	-	900	0,3
7	90	60	-	-	2,4
8	60	60	-	900	2,4
9	60	90	-	-	-2,5
10	90	90	-	600	-2,5
11	90	40	-	-	-1,5
12	40	40	-	600	-1,5
13	40	0	-	-	-1,7
14	0	60	-	-	-1,7
15	60	60	-	800	-1,7
16	60	70	-	-	2,3
17	70	70	-	850	2,3
18	70	50	-	-	5
19	50	50	-	700	5
20	50	50	-	750	5
21	50	40	-	-	1,5
22	40	40	-	600	1,5
23	40	60	-	-	-1,5
24	60	60	-	600	-1,5
25	60	60	-	750	-3,9
26	60	50	-	-	2,1
27	50	50	-	750	2,1
28	50	80	-	-	2,9
29	80	80	-	800	2,9
30	80	75	-	-	1,9
31	75	75	-	500	1,2
32	75	50	-	-	-4,4
33	50	50	-	650	3,5
34	50	40	-	-	-8,1
35	40	40	-	500	-3,1

Tablo 7.1. SIDRA Trip’de Tanımlanan Vakaya İlişkin Olayların Yazılıma Tanımlanması (Devam)

OLAY	İLK HIZ (km/sa)	SON HIZ (km/sa)	DURAKLAMA SÜRESİ (sn)	KATEDİLEN MESAFE (m)	YOLUN EĞİMİ %
36	40	75	-	-	-1,1
37	75	75	-	600	2,2
38	75	55	-	-	4,8
39	55	55	-	500	2,2
40	55	40	-	-	-2,9
41	40	40	-	600	1,4
42	40	80	-	-	1,8
43	80	80	-	550	0,2
44	80	60	-	-	0,9
45	60	60	-	600	-0,9
46	60	70	-	-	1,7
47	70	70	-	450	2,4
48	70	50	-	-	1,3
49	50	50	-	500	-1
50	50	87	-	-	-0,6
51	87	87	-	450	-0,4
52	87	70	-	-	-2,2
53	70	70	-	450	-4,2
54	70	40	-	-	0,2
55	40	40	-	560	0,5
56	40	30	-	-	1
57	30	30	-	400	1,5
58	30	70	-	-	2
59	70	70	-	600	0
60	70	80	-	-	0,5
61	80	80	-	500	0

SIDRA Trip ’e tanımlanan bu veriler sonunda çıkan hız grubuna ait veriler Tablo VII.2.’de yolculuk verileri ise Tablo VII.3.’de yer almaktadır. Bu verilere göre her sürücü farklı davranış göstermektedir.

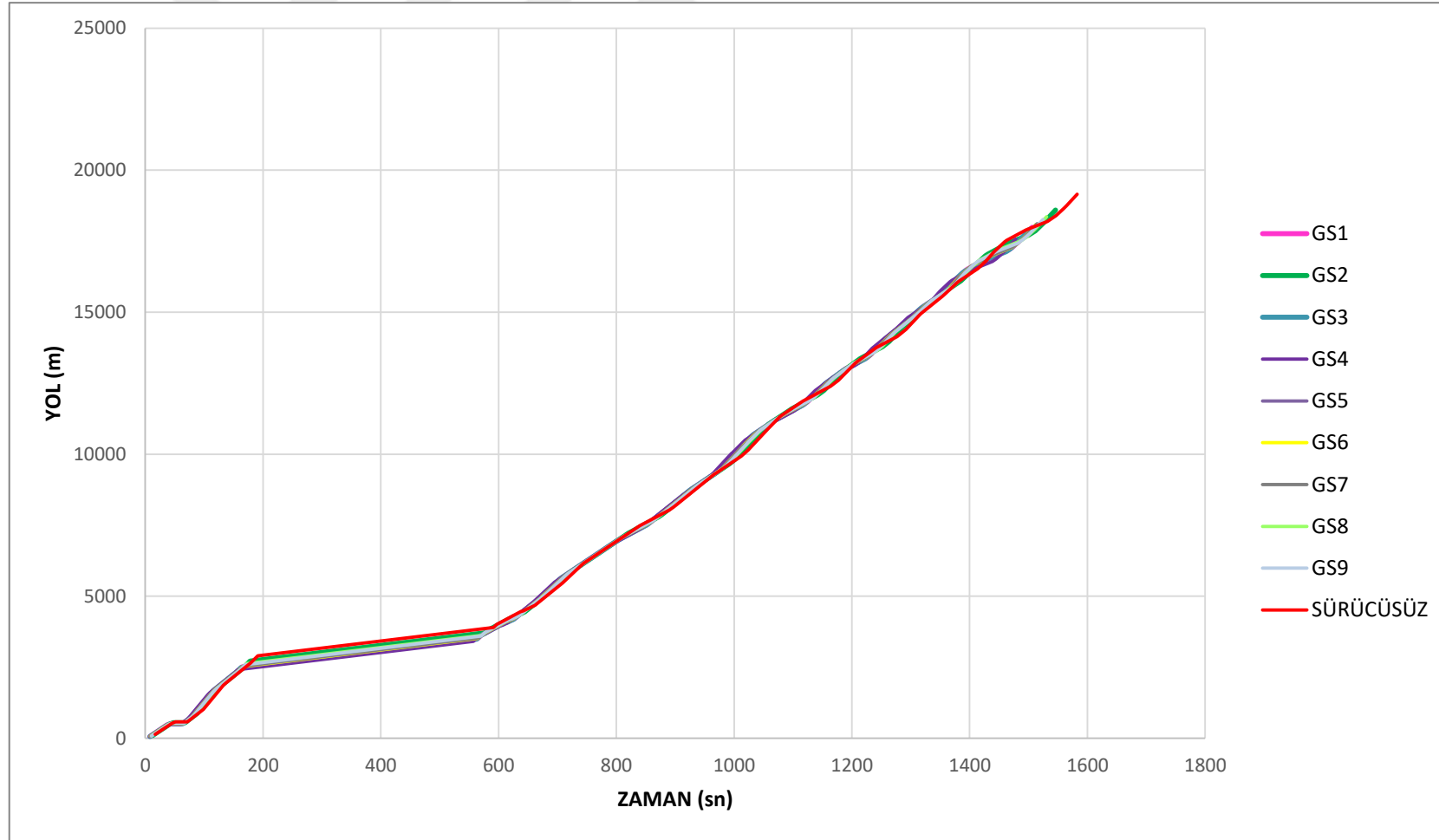
Tablo 7.2. SIDRA Trip Sürücüsüz Araç ve Gönüllü Sürücülere Ait Veriler

ARALIK	GS1			GS2			GS3			GS4			GS5			GS6			GS7			GS8			GS9			SÜRÜCÜSÜZ		
km/h	s	s/km	%	s	s/km	%	s	s/km	%	s	s/km	%	s	s/km	%	s	s/km	%	s	s/km	%	s	s/km	%	s	s/km	%	s	s/km	%
0 - 5	26,5	0,98	1,8	28,2	1	1,8	26,3	0,98	1,8	25,1	0,94	1,7	25,2	0,95	1,7	26,5	0,98	1,8	26,7	0,98	1,8	27,6	1	1,8	27,3	1	1,8	30	1,1	1,9
5 - 10	2,6	0,1	0,17	3,8	0,14	0,25	2,6	0,1	0,17	2,3	0,09	0,16	2,2	0,08	0,15	3,1	0,11	0,2	2,9	0,11	0,19	3,3	0,12	0,22	3	0,11	0,2	4,5	0,16	0,28
10 - 40	258,3	9,6	17,1	263,4	9,5	17	257,8	9,6	17,2	254,3	9,6	17,2	254,3	9,6	17,2	259,2	9,6	17,1	259,5	9,6	17,1	261,6	9,6	17,1	260,8	9,6	17,1	268,4	9,5	17
40 - 55	302,2	11,2	20,1	311,9	11,3	20,2	300,9	11,2	20	294,5	11,1	19,9	294	11,1	19,9	304,3	11,2	20,1	304,6	11,2	20,1	308,3	11,3	20,1	306,9	11,3	20,1	320,7	11,4	20,3
55 - 75	370,1	13,7	24,6	384,3	13,9	24,9	369	13,7	24,6	360,5	13,6	24,4	360,4	13,6	24,4	372,5	13,8	24,6	373,1	13,8	24,6	378,9	13,8	24,8	376,6	13,8	24,7	397	14,1	25,1
75 -	546,5	20,2	36,3	554,3	20,1	35,9	545,5	20,3	36,3	542,3	20,4	36,7	541,9	20,4	36,7	547,2	20,2	36,2	548	20,2	36,2	551,2	20,1	36	549,9	20,2	36,1	561,9	20	35,5

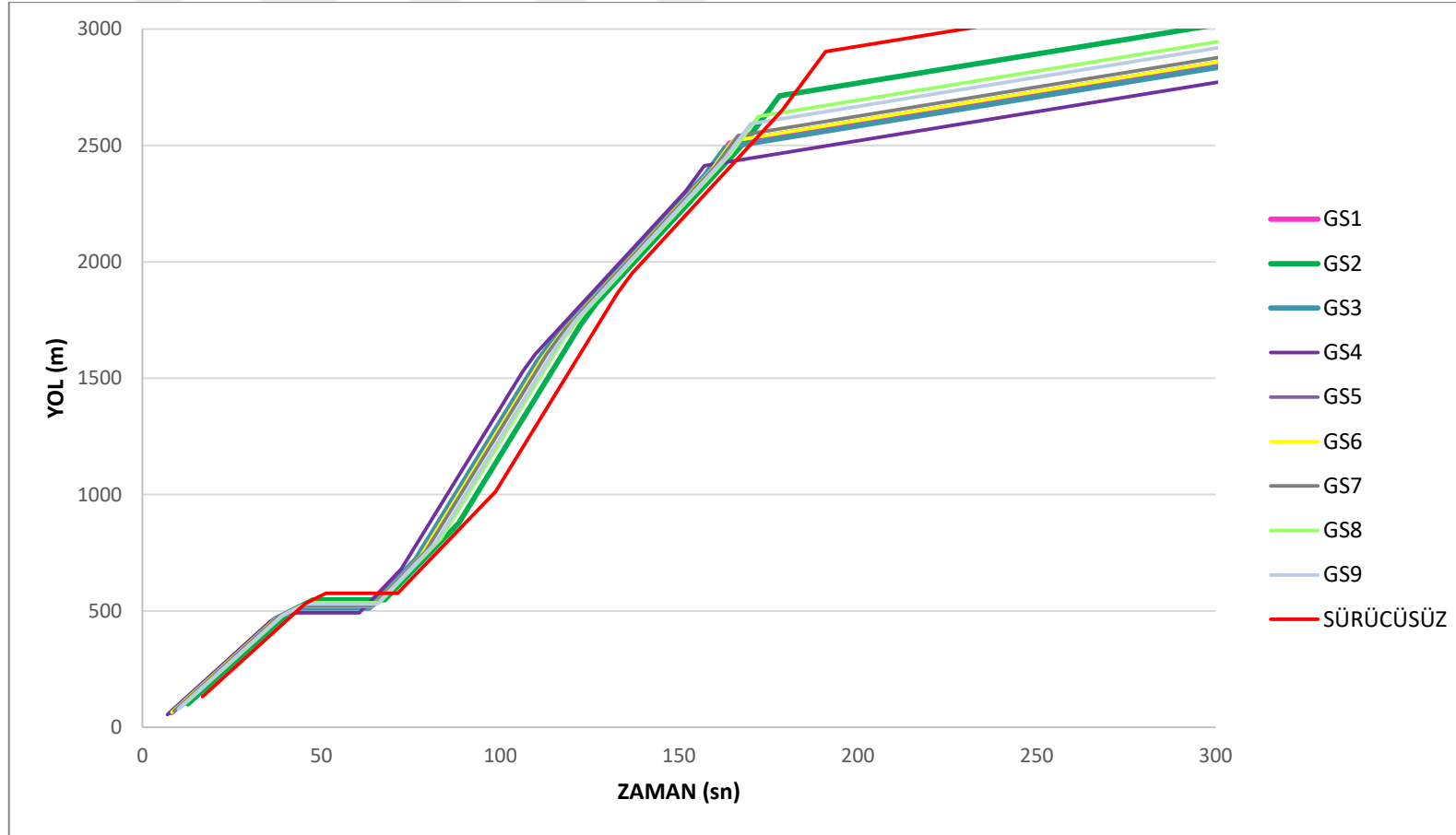
Tablo 7.3. SIDRA Trip'e Tanımlanan Sürücüsüz Araç ve Gönüllü Sürücülere Ait Veriler

		GS1	GS2	GS3	GS4	GS5	GS6	GS7	GS8	GS9	Sürücüsüz
YOLCULUK MESAFESİ	km	27	27,6	26,9	26,6	26,6	27,1	27,1	27,4	27,3	28,2
YOLCULUK SÜRESİ	s/km	1506,2	1545,9	1502,1	1479	1478	1512,8	1514,8	1530,9	1524,5	1582,5
HIZLANMA İVMESİ (EN YÜKSEK)	m/s ²	3,42	2,26	3,58	4,04	4,04	3,5	3,23	2,71	2,87	1,71
YAVAŞLAMA İVMESİ (EN YÜKSEK)	m/s ²	3,8	3,9	3,8	4,8	5,1	3,3	3,5	3,6	3,6	4,3
EN YÜKSEK SADEME (HIZLANMA)	m/s ³	6,7	6,7	6,7	9,5	12	4,8	5,7	5,7	5,7	8
EN YÜKSEK SADEME (YAVAŞLAMA)	m/s ³	5	5	5	7,4	9,5	3,6	4,2	4,2	4,2	6
EN YÜKSEK ÇEKİŞ GÜCÜ	kW	72,9	54,2	75,9	83,3	81,3	74,9	70,3	61,6	64,2	45,1
EN YÜKSEK ÇEKİŞ KUVVETİ	kN	4,6	3,1	4,8	5,4	5,4	4,7	4,4	3,7	3,9	2,5
YOLCULUK ENERJİSİ	kJ/km	562,8	562,6	563	566,6	567,3	560,7	561,8	561,6	561,8	562,7
ORTALAMA YOLCULUK HIZI	km/sa	64,5	64,3	64,5	64,7	64,7	64,5	64,4	64,3	64,4	64
ORTALAMA AKIM HIZI	km/sa	65,4	65,1	65,4	65,6	65,6	65,3	65,3	65,2	65,3	64,9

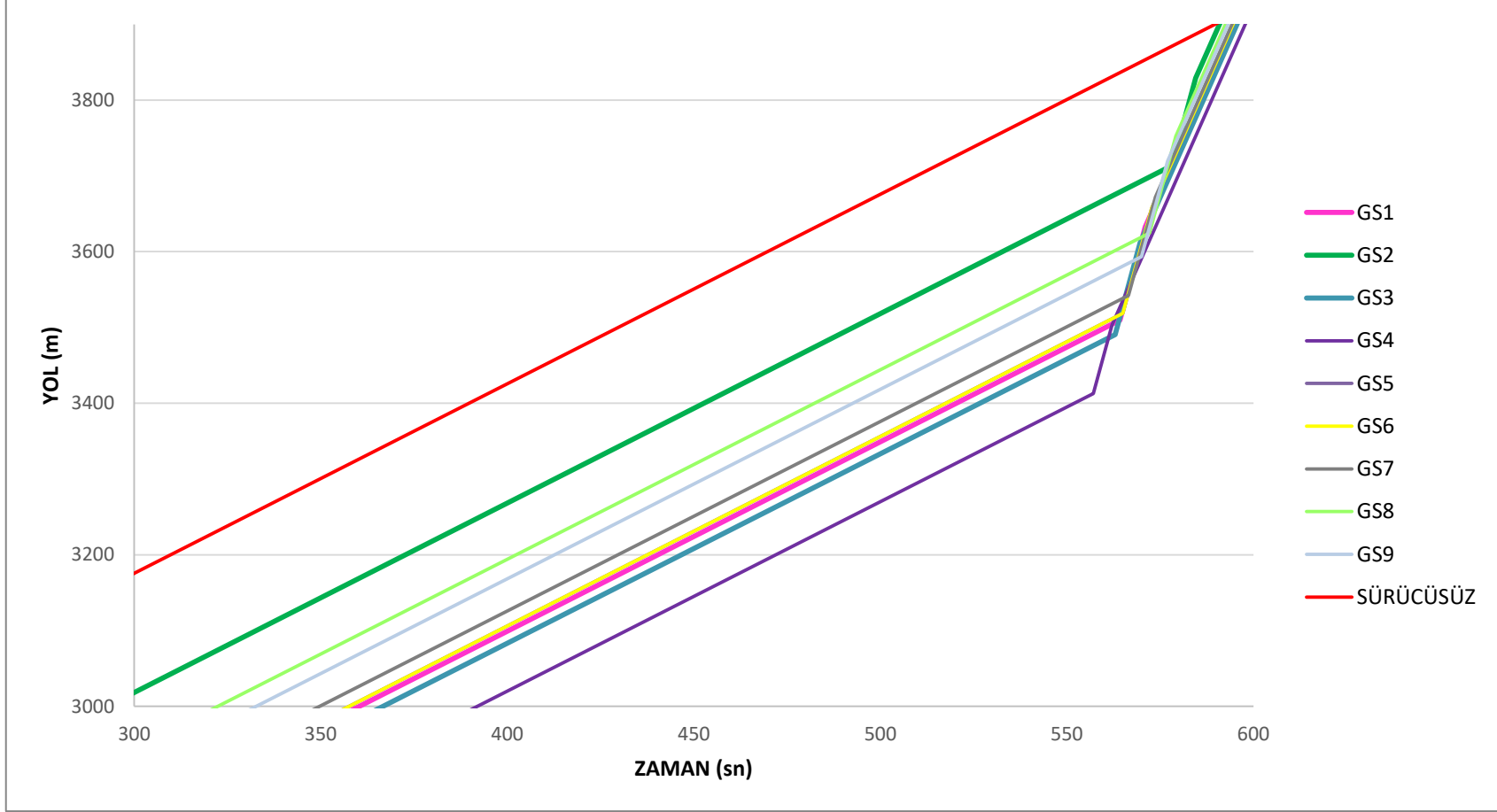
Benzetimde, 61 olay tanımlanmıştır. Sürücülerin kullanmasını istediğimiz ilk hız ve son hız girilerek bazı olaylarda katedilmesi gereken mesafe girilmiştir. Mesafenin girilmediği bölgeler yazılımda sürücü davranışlarının ölçümlemesini sağlamıştır. Benzetimden elde edilen *Sürücüsüz Araç* ve *Gönüllü Sürücüler'e* ait yol – zaman grafikleri Şekil VII.4 – Şekil VII.8’de yer almaktadır. Şekil VII.4 tanımlanan örnek olayın tamamı için yol –zaman grafiğini göstermektedir. Bu grafikte sürücü hareketlerini gösteren çizgiler arasındaki ayrım net bir biçimde belli olmadığından, yolculuğun her 5 dakikalık (600 saniye) kesimleri için çizdirilen daha detaylı grafikler Şekil VII.5 – VII.9’de verilmiştir. Benzetimde, alınan çıktılarına göre sürücüler arasında mesafe ve süre açısından çok büyük farklar olmamasına karşın ivme değerlerinde belirgin farklar görülmektedir.



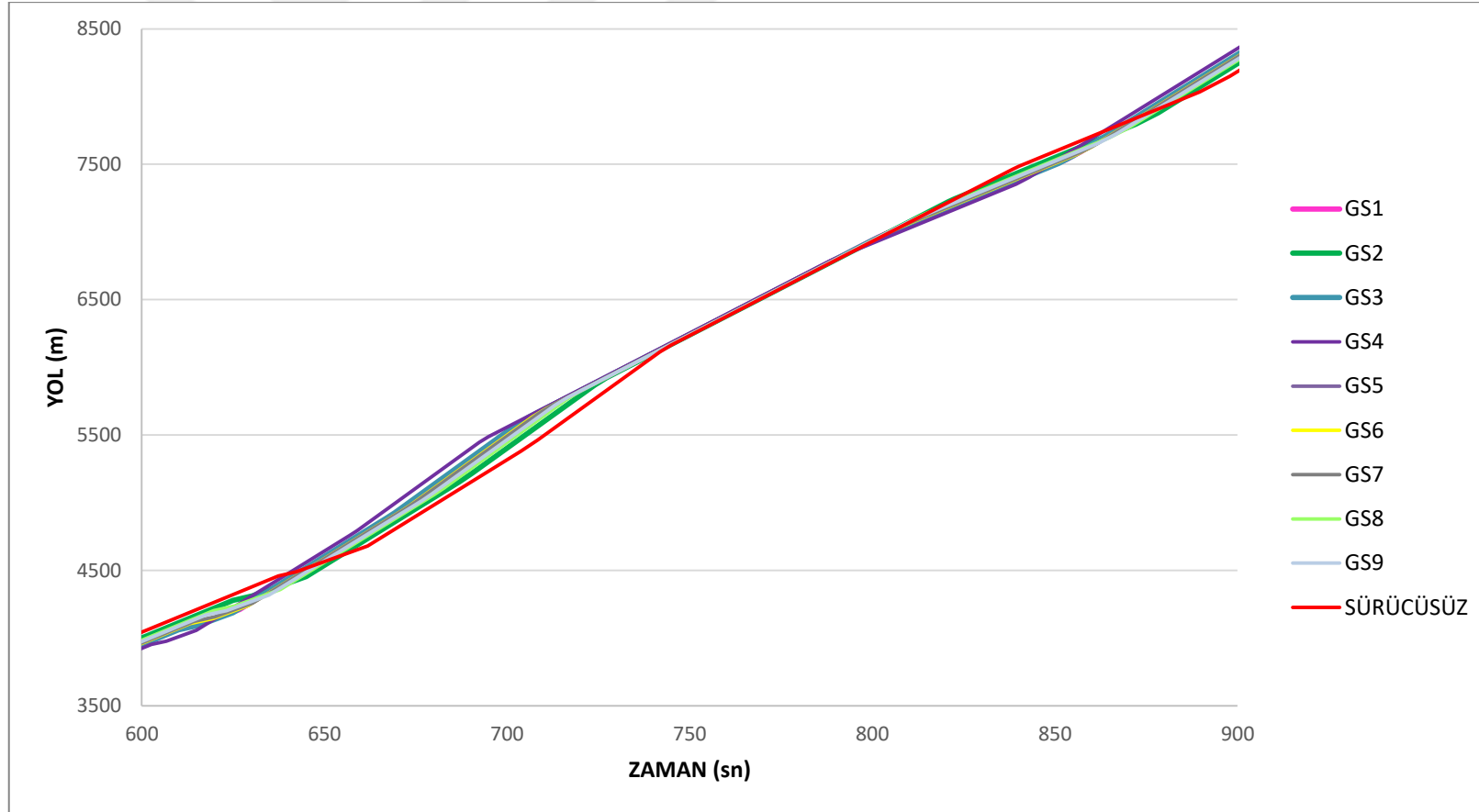
Şekil 7.4. Gönüllü Sürücülerin Yol – Zaman Grafiği



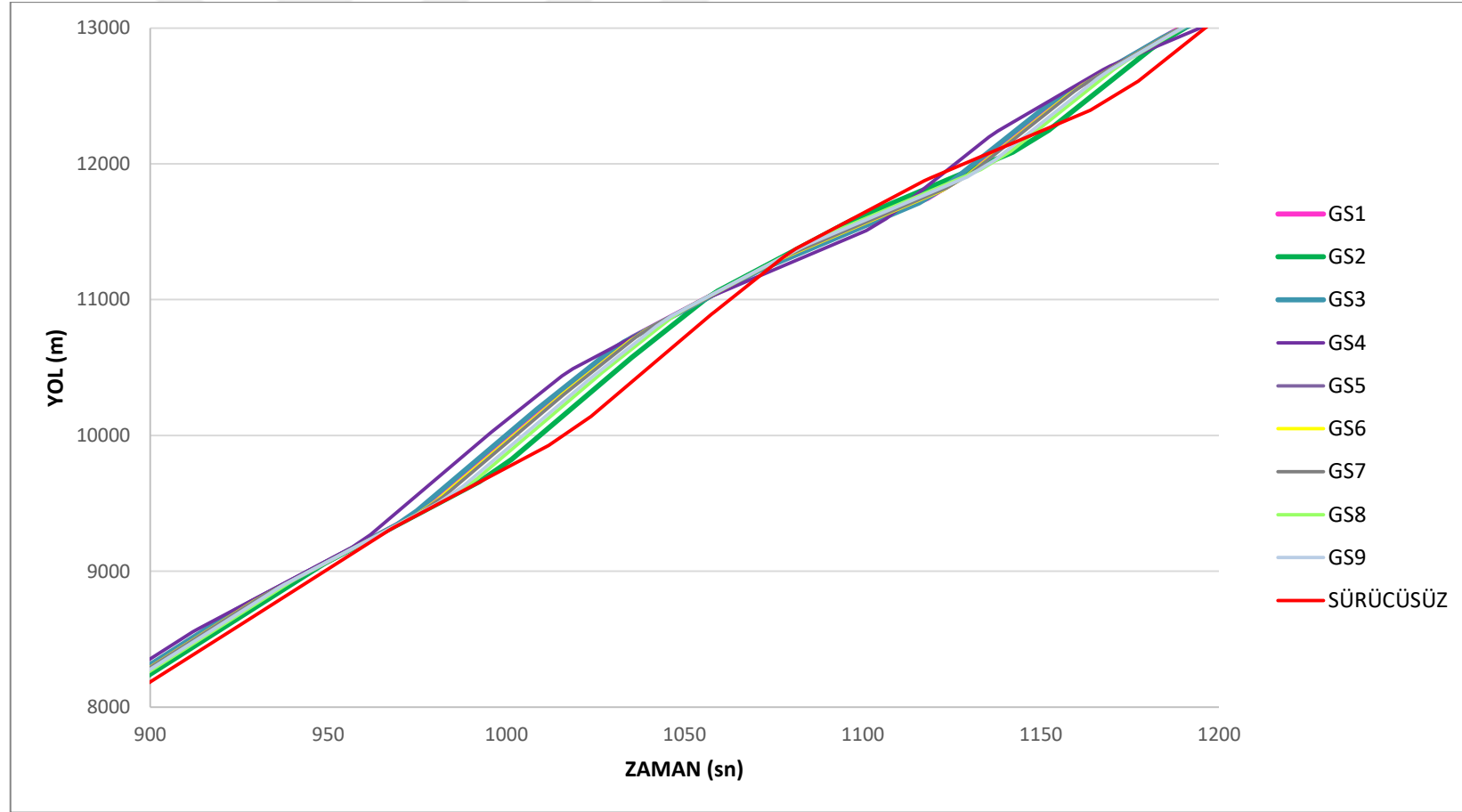
Şekil 7.5. Gönüllü Sürücülerin Yol – Zaman Grafiği (0 – 300 sn)



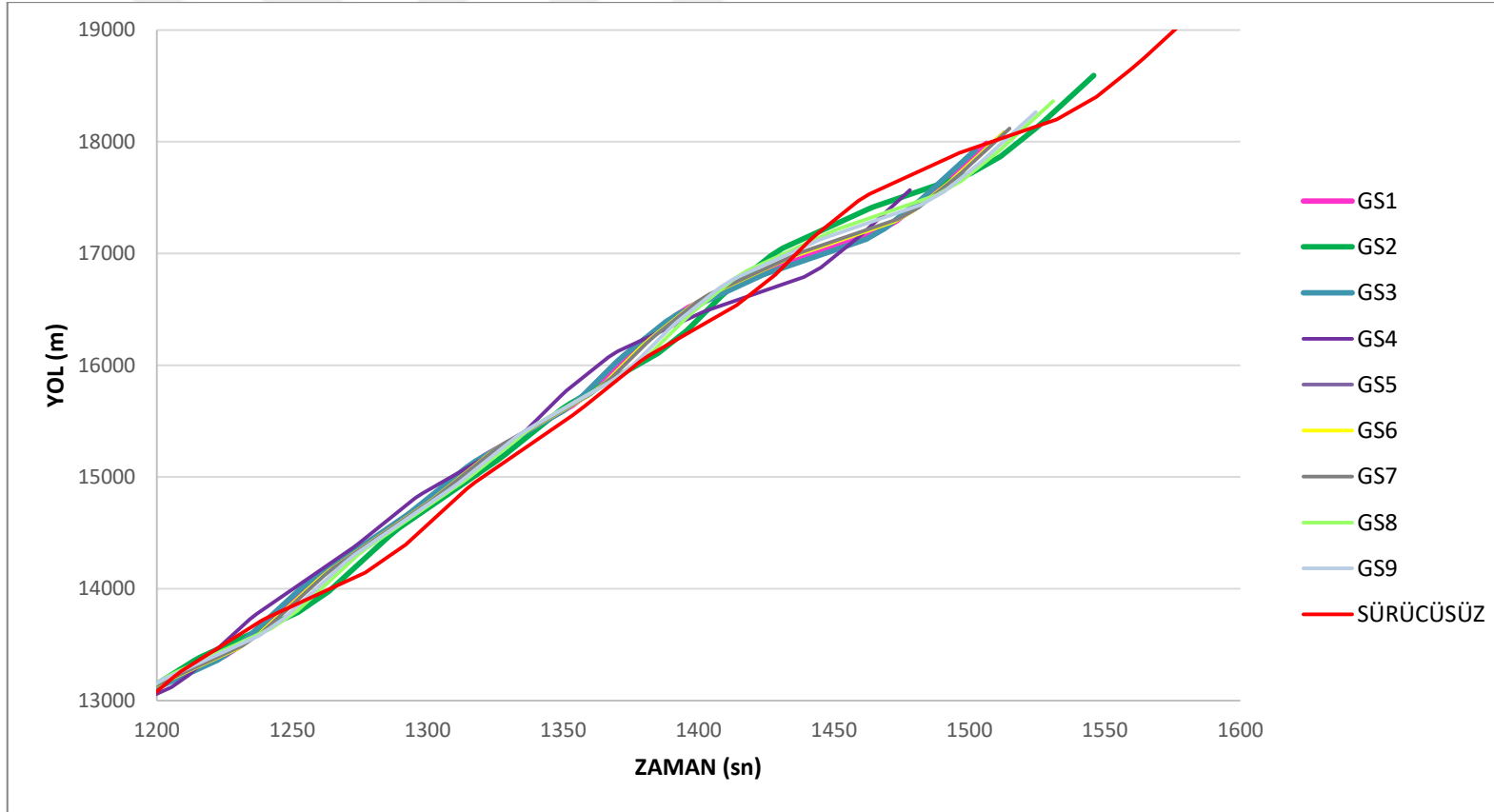
Şekil 7.6. Gönüllü Sürücülerin Yol – Zaman Grafiği (300 – 600 sn)



Şekil 7.7. Gönüllü Sürücülerin Yol – Zaman Grafiği (600 – 900 sn)

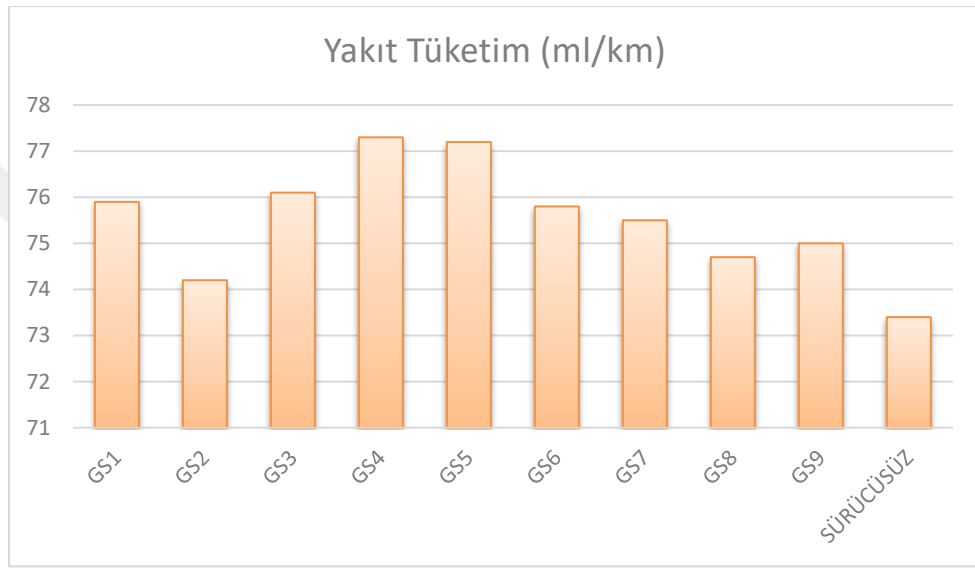


Şekil 7.8. Gönüllü Sürücülerin Yol – Zaman Grafiği (900 – 1200 sn)

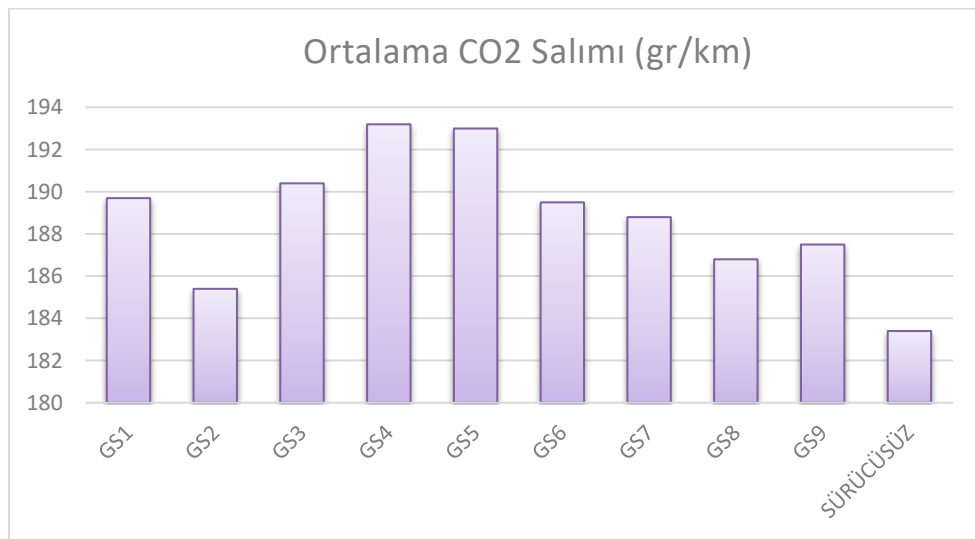


Şekil 7.9. Gönüllü Sürücülerin Yol – Zaman Grafiği (1200 – 1600 sn)

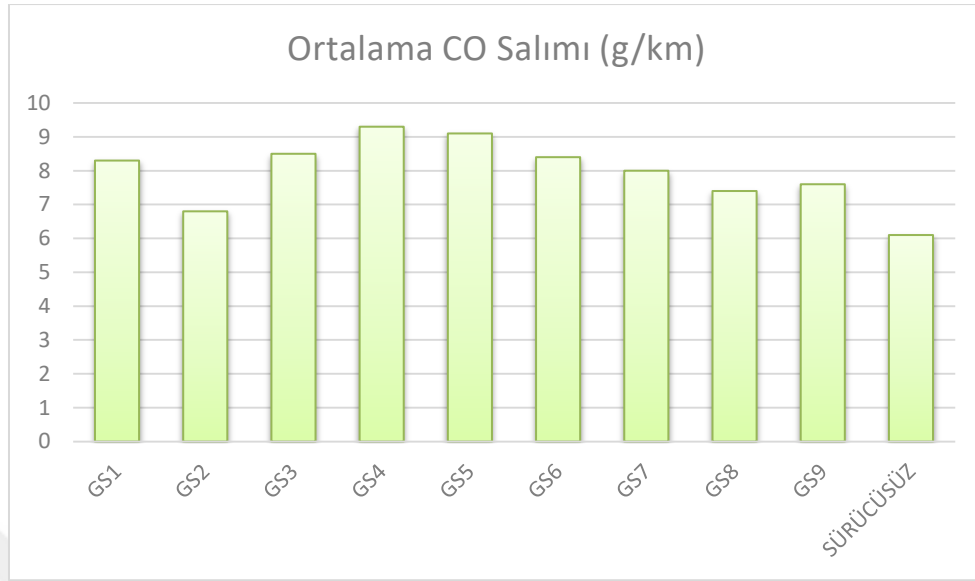
Sidra TRIP’de oluşturulan benzetimden alınan verilere göre Gönüllü Sürücücüler ve Sürücüsüz Araca ait Yakıt Tüketimi (Şekil VII.10) Ortalama Karbondioksit Salımı (CO₂) (Şekil VII.11), ortalama Karbonmonoksit (CO) (Şekil VII.12) ve ortalama Yanmamış Hidrokarbon (HC) (Şekil VII.13) miktarları elde edilmiştir.



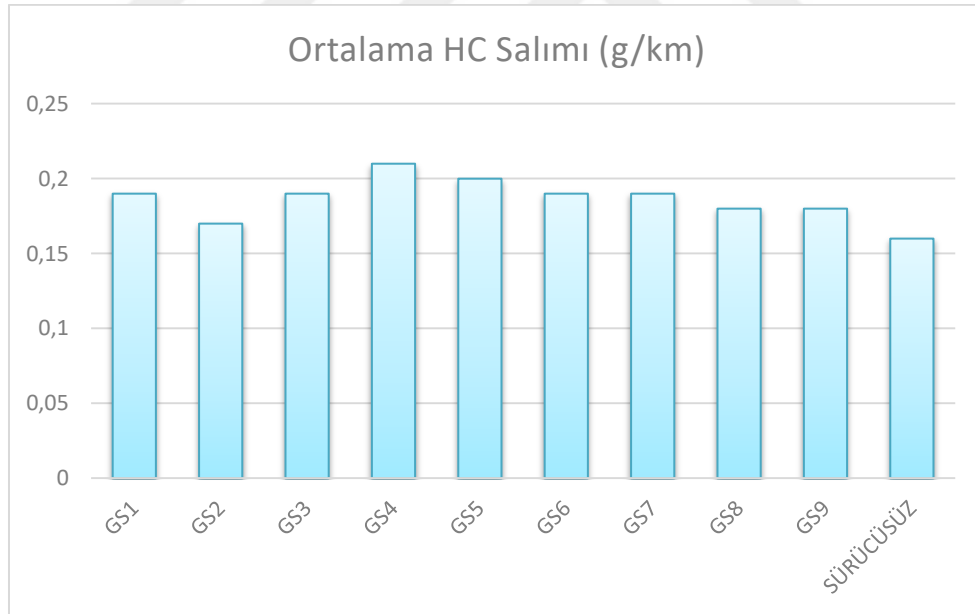
Şekil 7.10. Gönüllü Sürücücüler ve Sürücüsüz Araca Ait Yakıt Tüketimi



Şekil 7.11. Gönüllü Sürücücüler ve Sürücüsüz Araca Ait Karbondioksit Salımı



Şekil 7.12. Gönüllü Sürücüler ve Sürücüsüz Araca Ait Karbonmonoksit Salımı

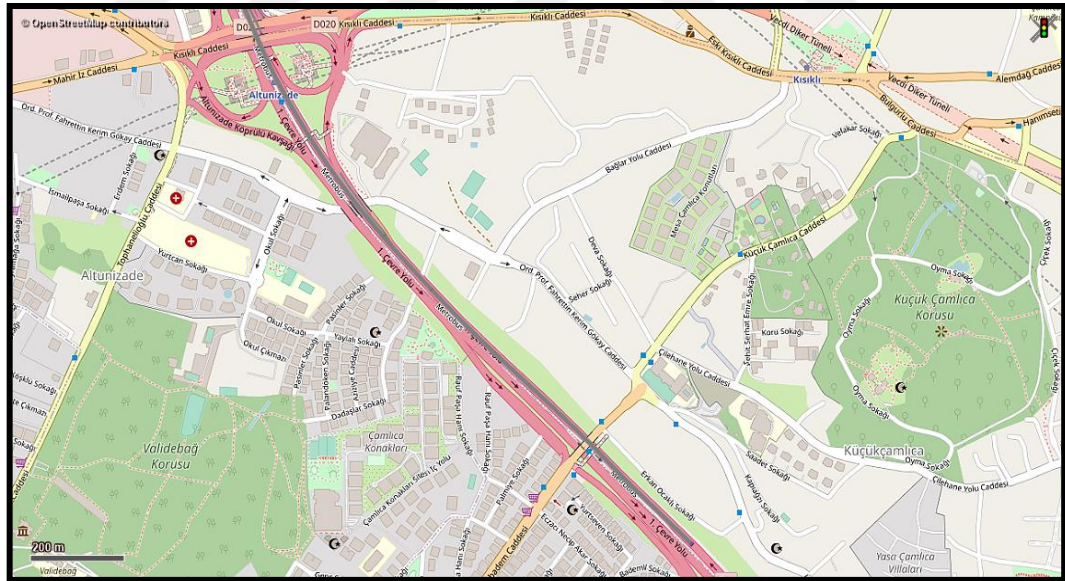


Şekil 7.13. Gönüllü Sürücüler ve Sürücüsüz Araca Ait Yanmamış Hidrokarbon Salımı

Gönüllü Sürücülere ait grafikler incelendiğinde, Yakıt Tüketimi en az olan sürücünün Sürücüsüz Araç, Yakıt Tüketimi en yüksek olan sürücünün GS4 ve GS5 olduğu görülmektedir. Yolculuk süresince Karbondioksit salım miktarlarına bakıldığında en düşük seviyenin Sürücüsüz Araca ait olduğu, en yüksek salım ise GS4 ‘de görülmektedir. Yolculuk süresince Karbonmonoksit ve Harcanan Yanmamış Hidrokarbon salımının yakın değerler olduğu görülmektedir.

7.2. PTV Vissim Kullanılarak Geliştirilen Benzetim Modeli

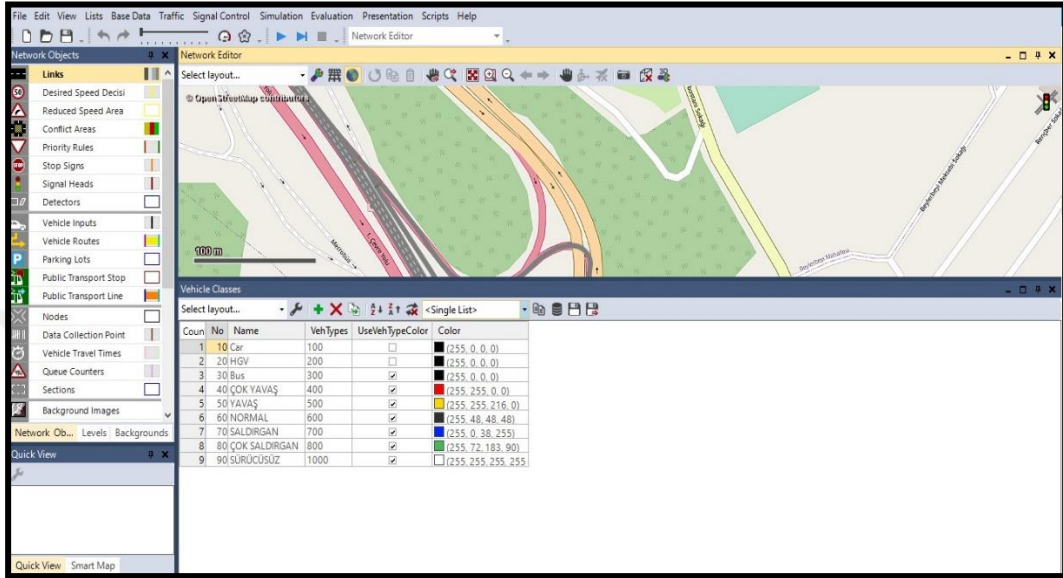
PTV Vissim programında yer alan harita yardımı ile gözlem verilerinin toplandığı alanlar belirlenmiş ve Şekil VII.14.’de yer alan yol ağları, yolun geometrik özelliklerine bağlı kalarak çizilmiştir.



Şekil 7.14. D100 Acıbadem Kesiminin PTV Vissim’e Tanımlanması

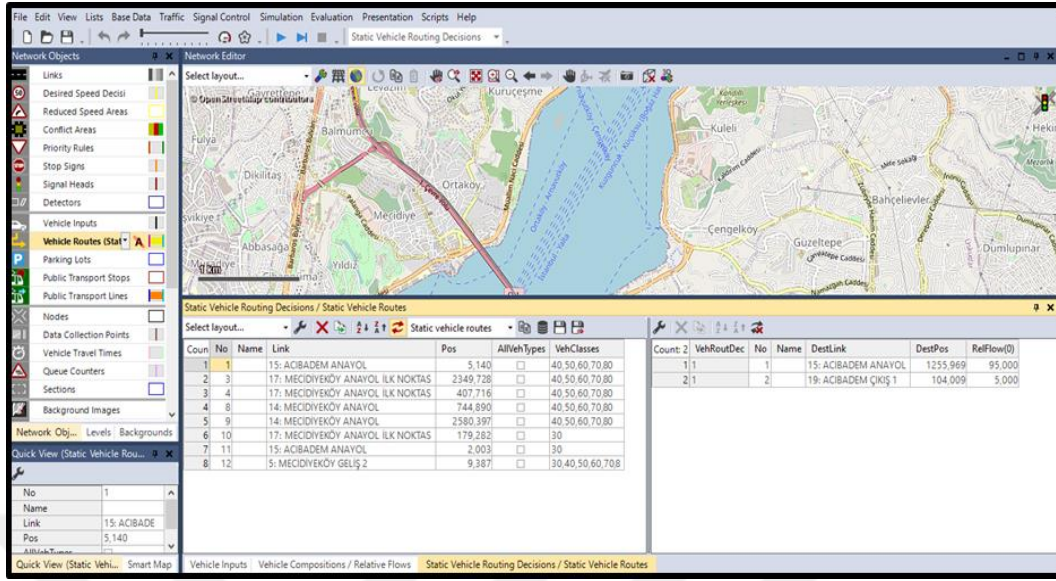
PTV Vissim programın da üst menu de yer alan *Base Data* (Temel Veri) sekmesinden *Vehicle Classes* (Araç Sınıfı) seçilerek, sistemde yer alacak araç ve her bir araç tipi için farklı renk belirlendi. SIDRA Trip programında yer alan beş sürücü

tipi sisteme araç olarak tanımlandı. Şekil VII.15’de Vehicle Classes ekranı ve araç renkleri yer almaktadır.



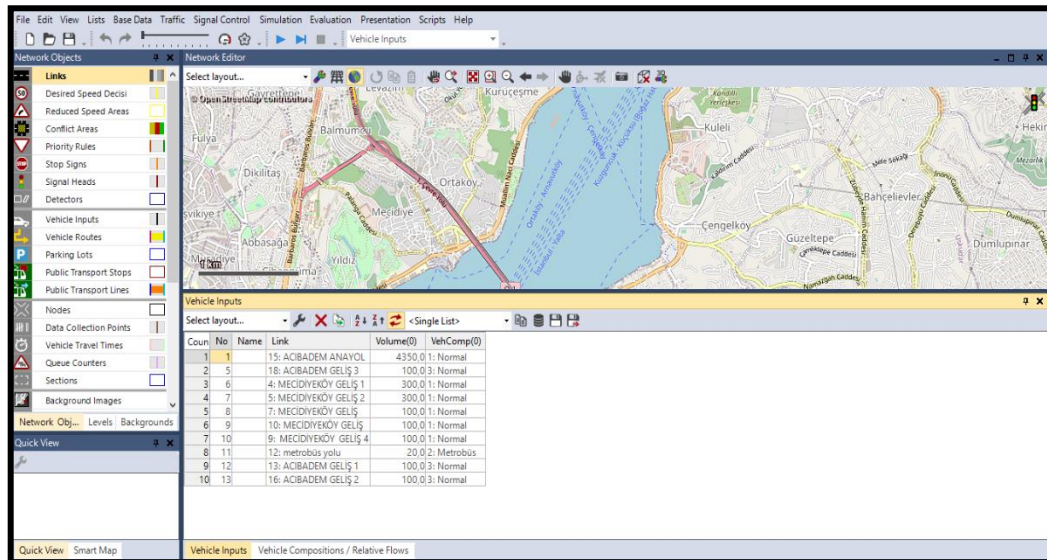
Şekil 7.15. PTV Vissim’de Araç Sınıfı Ekranına Ait Bir Ekran Görüntüsü

PTV Vissim programında, solda bulunan menüden *Vehicle Input (Araç Girişi)* seçeneğinden yola araçların hareket edeceği başlangıç noktaları yerleştirildi. Araç girişlerinin yapıldığı ekran görüntüsü Şekil VII.16’da yer almaktadır.

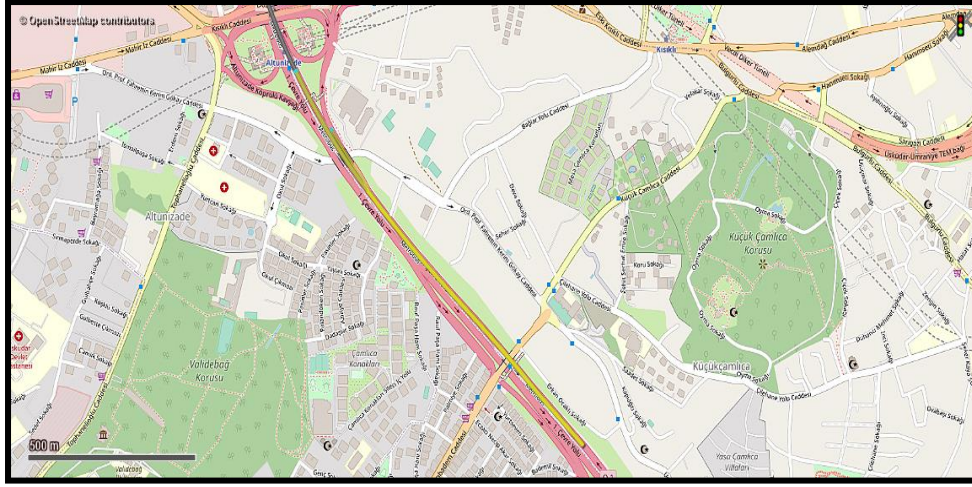


Şekil 7.16. PTV Vissim’de Araç Girişinin Tanımlanması

PTV Vissim programın da yer alan sol taraftaki menüden *Vehicles Routes* (Araç Rotası) seçeneğinden araçların rotaları belirlenmiştir. Aynı menüden Şekil VII.17.’de yer alan pencere açılarak çizilen rotalar ve o rotalarda seyahat edecek araçlar belirlenmiştir. Rotalara ilişkin ekran Görüntüsü Şekil VII.18.’de yer almaktadır.

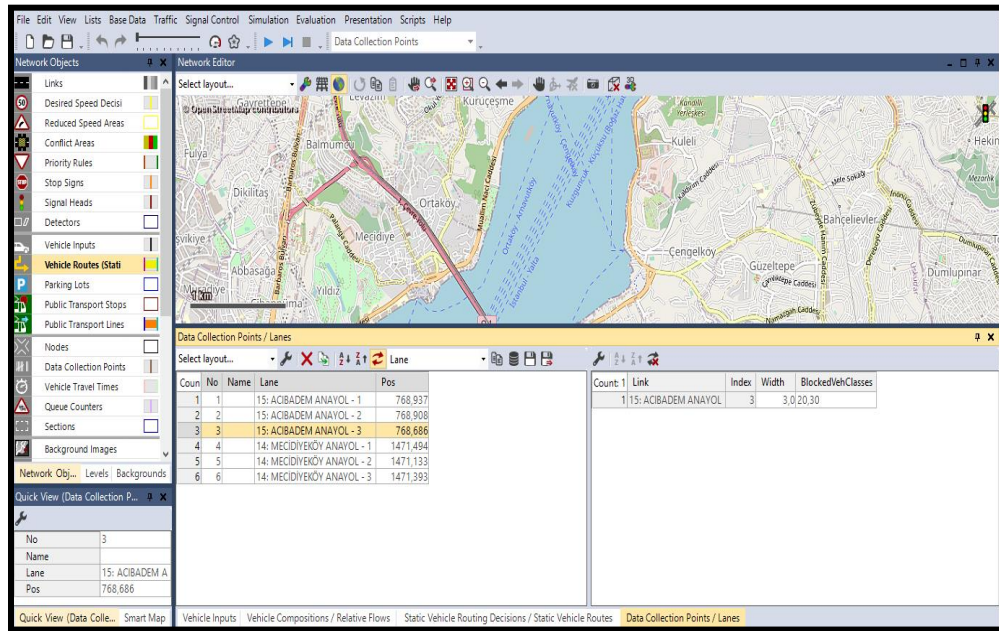


Şekil 7.17. PTV Vissim’de Araç Rotalarının Belirlenmesi

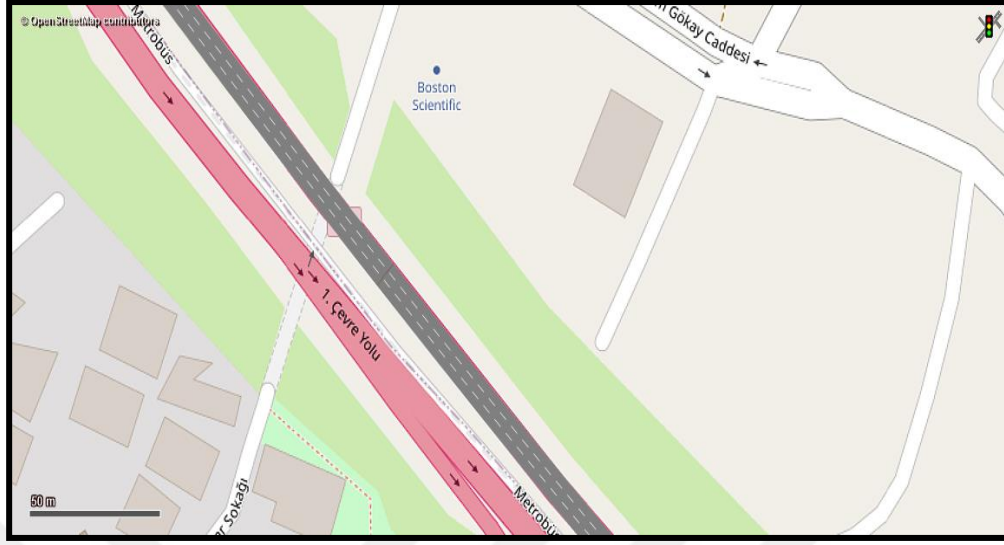


Şekil 7.18. PTV Vissim’de Araç Rotalarının Belirlenmesine İlişkin Bir Ekran Görüntüsü

PTV Vissim programında sol menu de yer alan *Data Collection Point* (Veri Toplama Noktası) seçeneği seçilerek veri toplanan gözlem noktalarına yerleştirilmiştir.. Yerleştirilen veri toplama noktası ile ilgili bilgiler, Şekil VII.19.’da ve veri toplama noktası ile ilgili görsel Şekil VII.20.’de yer almaktadır.

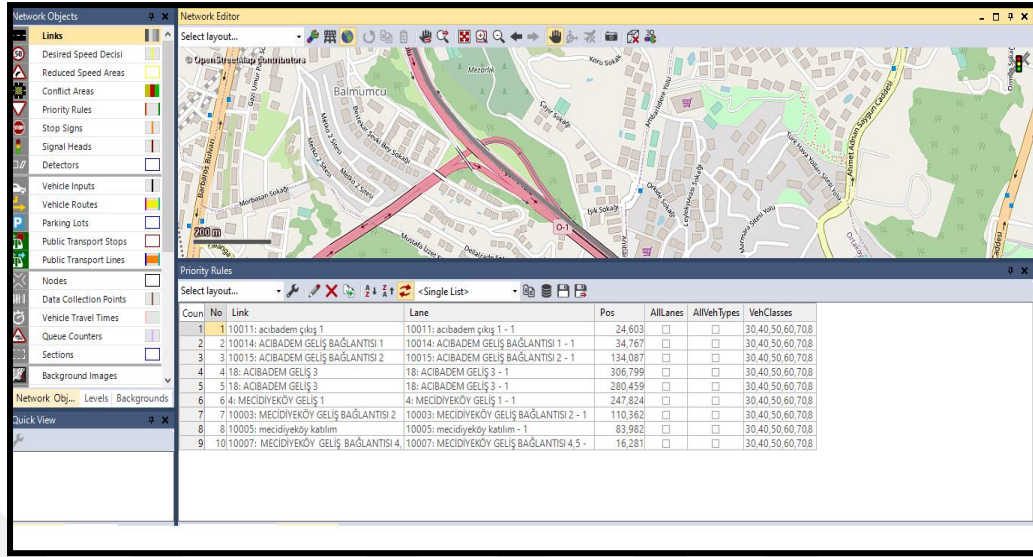


Şekil 7.19. PTV Vissim’de Veri Toplama Noktalarının Gözlem Alanlarına Yerleştirilmesi

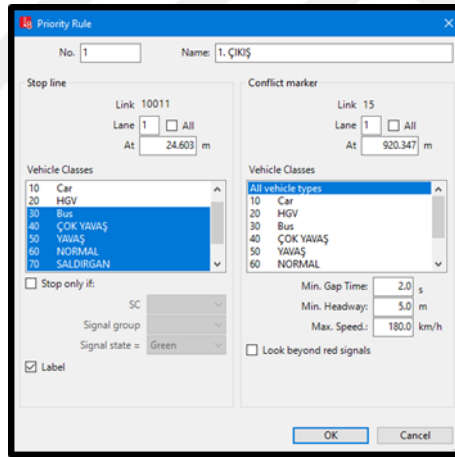


Şekil 7.20. PTV Vissim’de Veri Toplama Noktasının Yerleştirilmesine İlişkin Bir Ekran Görüntüsü

PTV Vissim programında yer alan sol menüden *Priority Rule* (Öncelik Kuralları) seçeneğinden araçların anayol ve katılımda ki öncelikleri belirlenmiştir.. Katılımdan gelen araçlar anayoldan gelen araçlara öncelik verecek şekilde düzenlenmiştir. Buna ait görsel Şekil VII.21’de verilmiştir. Öncelik Kuralları seçeneğinden açılan pencereden kurallara ait bazı bilgiler düzenlenmektedir. Değişiklik yapılması istenen linke gelerek açılan Şekil VII.22.’de pencereden, kabul edilen aralık değeri, takip mesafesi ve en yüksek hız gibi değişiklikler yapılabilmektedir.



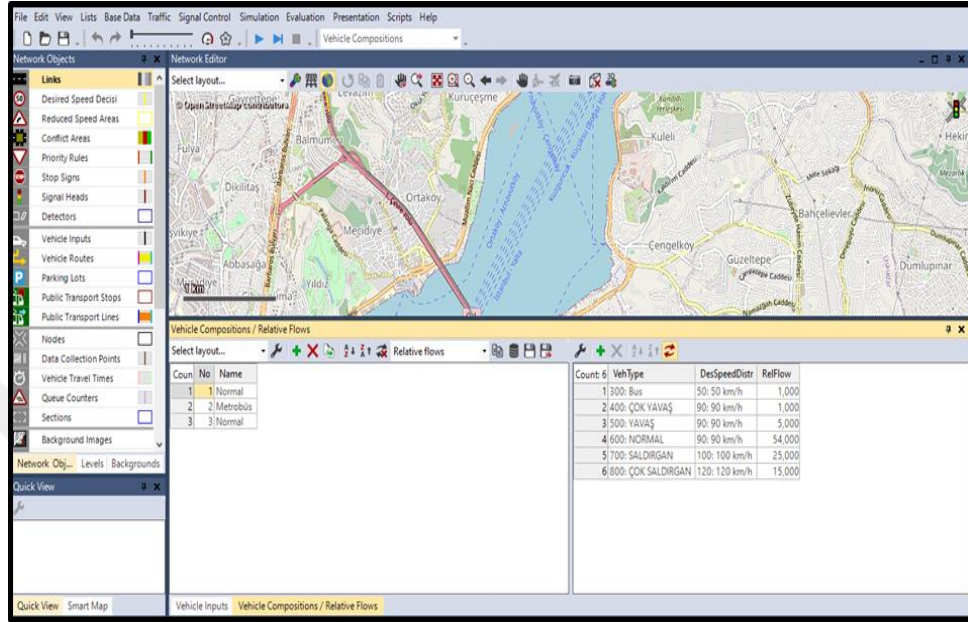
Şekil 7.21. PTV Vissim’de Öncelik Kuralları Verisinin Yerleştirilmesi



Şekil 7.22. PTV Vissim’de Öncelik Kuralları Verisinden Açılan Pencereye Ait Bir Ekran Görüntüsü

PTV Vissim programında yer alan, trafik seçeneğinden *Vehicle Composition* (Araç Bileşimleri) seçilerek belirlenen rotalarda seyahat edecek araçlar o araçların hızları, araç tipleri ve bileşimleri belirlenmiştir. Yol ağına katılan taşıtlar için 3 farklı senaryo oluşturulmuştur. Birincisi özel araçlar ile otobüsün birlikte katılabildiği yollar, ikincisi sadece metrobüsün kullanacağı yol ve üçüncüsü otobüsün yer

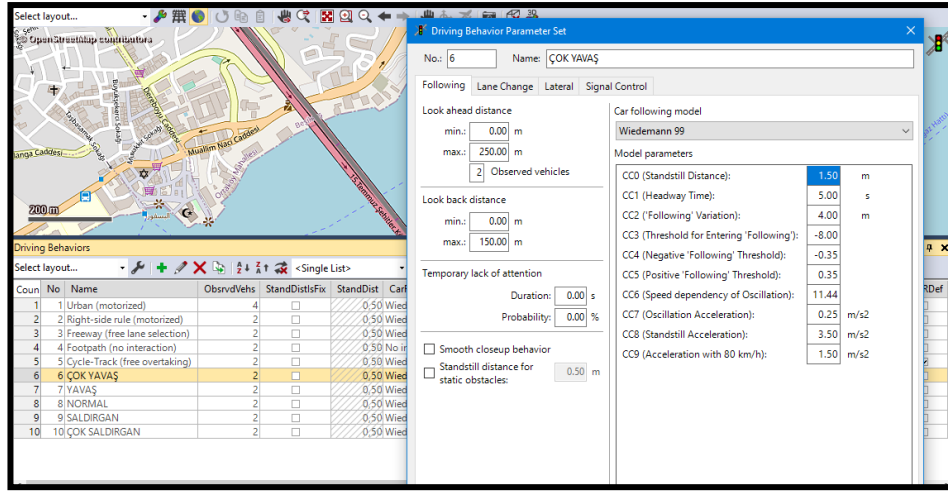
almadığı, yalnızca özel araçların katıldığı yoldur. Araç bileşimlerine dair ekran görüntüsü Şekil VII.23.'de yer almaktadır.



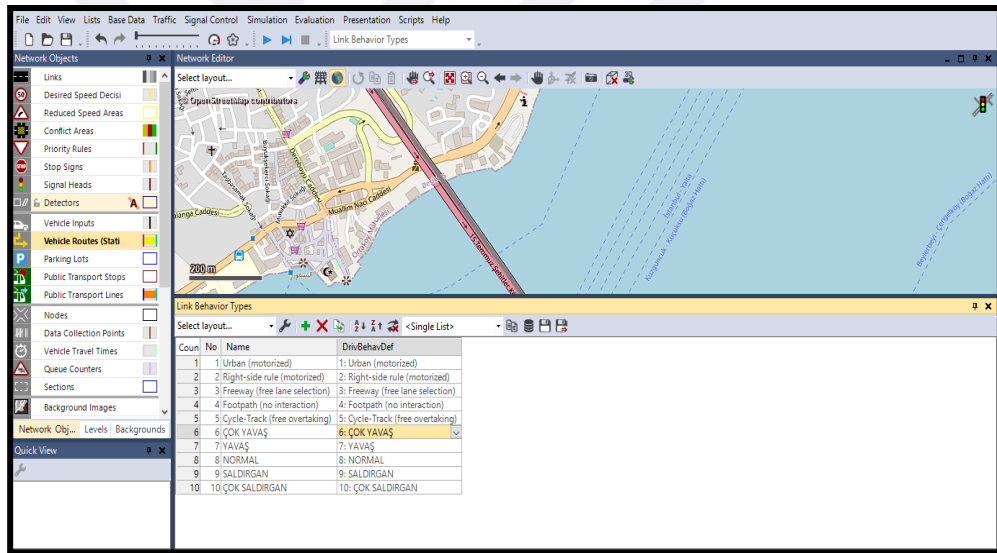
Şekil 7.23. PTV Vissim'de Araç Bileşimleri Seçeneğinden Araç Oran ve Dağılımlarının Belirlenmesi

PTV Vissim programında, üst menüde yer alan Temel Veri sekmesinden seçilen *Driving Behavior* (Sürücü Davranışı) seçeneğinden açılan pencerede sisteme tanımlı olan 5 tipin yanında çok yavaş, yavaş, normal, saldırgan ve çok saldırgan sürücü tipleri eklenmiştir ve gözlem verilerine dayanarak bu sürücülerin özellikleri düzenlendi. Buna ilişkin görsel, Şekil VII.24.'de yer almaktadır.

Temel Veri sekmesinden *Link Behavior Types* (Bağlantılı Davranış Türleri) penceresi açılarak oluşturulan sürücü davranışlarına ilişkin özellikler düzenmiştir. Buna ilişkin görsel, Şekil VII.25.'de yer almaktadır.

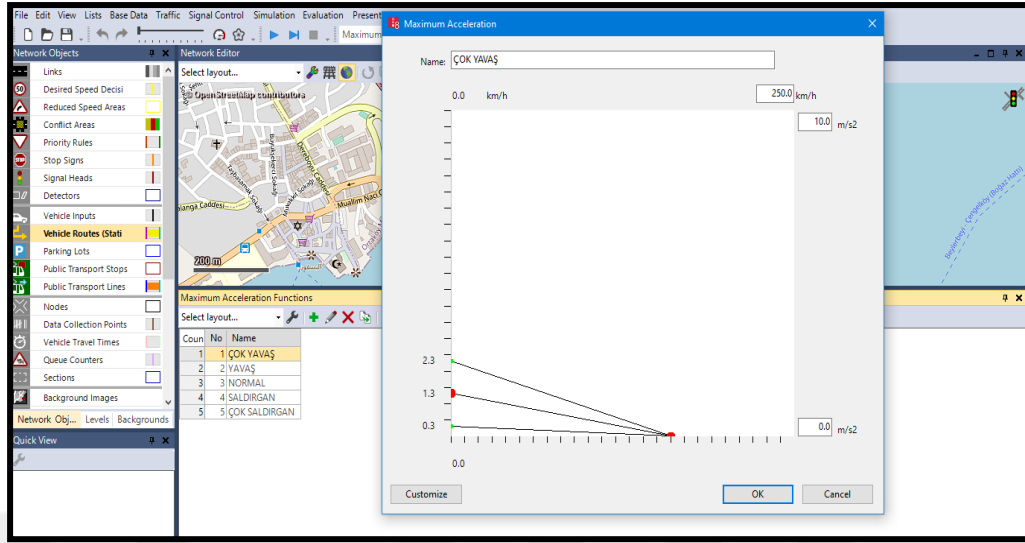


Şekil 7.24. PTV Vissim’de Sürücü Davranışı Eklenmesine Ait Bir Ekran Görüntüsü



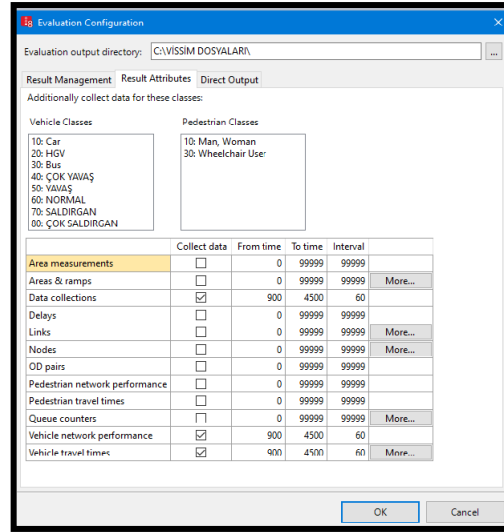
Şekil 7.25. PTV Vissim’de Bağlantılı Davranış Türleri Penceresi Açılarak Oluşturulan Sürücüler Tipleri Düzenlenmesi

PTV Vissim programında, üst menü de ter alan Temel Veri sekmesinden sürücülere ait ivmeleri düzenlemek için *Functions* (Fonksiyon) seçeneğinden hızlanma ve yavaşlama ivmeleri seçilmiştir. Fonsiyon sekmesine ait görsel, Şekil VII.26’da yer almaktadır.



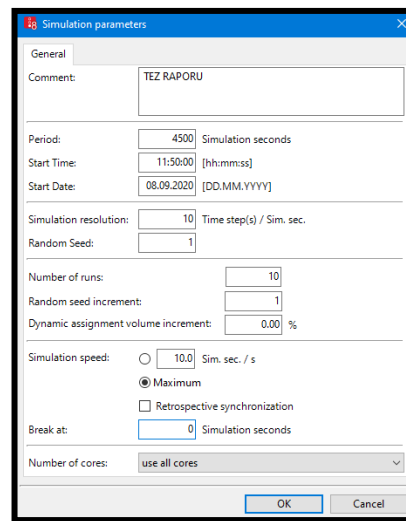
Şekil 7.26. PTV Vissim’de Sürücülere Ait Hızlanma ve Yavaşlama İvmelerinin Düzenlenmesi

PTV Vissim programında, üst menüde yer alan *Evaluation* (Değerlendirme) sekmesinden *Configuration* (Yapılandırma) dan pencere açılarak oluşturulan simulasyonda istenilen veriye ait bilgiler yer almaktadır. Süresi 1 saat 15 dakika olarak belirlenen benzetimin ilk 15 dakikasından sonra veri toplanacak şekilde ayarlandı. Şekil VII.27’de Yapılandırma’ya ait açılan pencere yer almaktadır.



Şekil 7.27. PTV Vissim’de Yapılandırma Kısımından Benzetimden İstenilen Veriye Ait Bilgiler

PTV Vissim programında, üst menüde yer alan *Simulation* (Benzetim) sekmesinden *Parmeters* seçilerek benzetim çalıştırıldı. Benzetim kurulurken 10 çalışma sayısı seçilerek ile gözlem verileri ile karşılaştırıldı. *Simulation Parmeters* (Benzetim Parametresine) penceresi Şekil VII.28.’de verilmiştir.



Şekil 7.28. PTV Vissim’de Benzetim Parametresine Ait Bilgiler

7.2 Ölçümleme ve Doğrulama İşlemleri

Ölçümleme (kalibrasyon); belirlenmiş koşullar altında, benzetim modelinden alınan çıktıların gösterdiği değerler ile gözlem verilerinden toplanan verilerin birbiri ile yaklaşık olarak örtüşmesidir. Bir trafik benzetim modelinin ölçümlemesi, bazı model parametrelerinin değiştirilmesi ve düzeltilmesi ile devam eden bir süreçtir [85]. Amaç, gözlem verilerine en uygun değeri elde edebilmektir. Doğrulama (Validasyon), oluşturulan benzetim modeli ile mevcut koşullar arasındaki farkı azaltmaya çalıştığı süreçtir.

Ölçümleme ve Doğrulama için önerilen parametreler araştırmalarda sıklıkla kullanılabilen istatistiki parametrelerdir. Bu tez çalışmasında, Ölçümleme ve doğrulama işlemleri için; 1970 yılında icat edilen, trafik mühendisliği ve trafik modelleme karşılaştırmaları için çalışan Geoffrey E. Havers'ın keddı adını verdiği [86] parametre ve Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (Root Mean Square Error - RMSE) parametresi kullanılmıştır.

GEH istatistiği trafik mühendisliğinde, tahmin ve modellemede, iki trafik hacmini karşılaştırmak için kullanılmaktadır. GEH istatistiğinde “model” ve “gözlem” olmak üzere iki adet değişken vardır. (VII.1)'de istatistiğin bağıntısı verilmiştir. [87]

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \times (Q_{model} - Q_{gözlem})^2}{(Q_{model} + Q_{gözlem})}} \quad (VII.1)$$

GEH değerlerinin genel olarak 0 ila 5 arasında olması beklenmektedir. 5-10 arasında olması daha fazla araştırma yapılarak düzeltilebileceğini öngörmektedir. Bununla beraber değerlerin belirli koşullar altında ağ üzerinde bulunan elemanların

%85'inde 5'ten az olması gerektiği belirtilmiştir [88] GEH değeri birimsiz kabul edilmesine rağmen kullanılan Q hacim değerleri araç/saat olduğu için GEH için de $(\text{araç/saat})^{0,5}$ olarak kabul edilebilir [89].

Ölçümleme ve doğrulama işlemleri için önerilen bir diğer kriter de Ekonomik Değerlendirme Kılavuzu (Economic Evaluation Manual - EEM-I) belirtilen yüzde olarak hesaplanan Root Mean Square Error (RMSE) değeridir. Hesaplanan ya da tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farkların standart sapmasını hesaplayarak RMSE değeri elde edilmektedir. Diğer bir deyişle, hesaplanan değerler ile gerçek değerler arasındaki farkların karelerinin ortalamasının kareköküdür [85]. EEM-I kriterlerine göre, RMSE %30'dan daha az olmalıdır.

$$RMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum (Q_{model} - Q_{gözlem})^2}{sayımlar - 1}}}{\frac{\sum Q_{gözlem}}{sayımlar}} \quad (VII.2)$$

Gözlem sonuçlarından elde edilen veriler ile benzetim programının sonuçları karşılaştırılarak modelin tutarlılığı ölçümleme ve doğrulama işlemleri ile değerlendirilmiştir.

7.3 Oluşturulan Benzetim Modeli için Ölçümleme ve Doğrulama İşlemlerinin Yapılması

7.3.1 Acıbadem için Tanımlanan Yollara Ait Kurallar

1. Acıbadem için gözlem verilerine uygun trafik akım koşullarını sağlayacak şekilde taşıt talebi deneme-yanılma yöntemi ile belirlenerek, PTV Vissim programına girilmiştir. Ölçümleme işlemleri sırasında, gözlenen trafik

koşullarına en uygun hacim değerlerinin elde edildiği talep değerleri Tablo VII.4'de görülmektedir.

Tablo 7.4. Gözlem Verilerine Uygun Hacim Değerleri

ACIBADEM ANAYOL	4350
ACIBADEM KATILIM 1	100
ACIBADEM KATILIM 2	100
ACIBADEM KATILIM 3	100

2. Araç rotası seçeneğinden taşıt rotaları belirlenmiştir. Ayrıca çizilen rotalara, gözlemlenen araç verilerine dayanarak anayol ve katılımda seyahat edecek araç oranları da girilmiştir. Anadolu Yakası'nda taşıtların %95'i anayoldan giderken, %5'i ayrıma sapmaktadır.
3. Araç bileşimleri seçilerek belirlenen rotalarda seyahat edecek araçlar, araçların hızları, tipleri ve yoğunlukları belirlenmiştir. 2 durum oluşturulmuştur. 1. Durum; Anadolu Yakası'nda Metrobüsün Kullanacağı Yol, 2. Durum; Anadolu Yakası'nda, diğer taşıt türleri ve sürücüsüz taşıtların kullanacağı yoldur.
4. Sürücü Davranışı penceresi açılarak oluşturulan sürücüler tipleri belirlenirken benzetime en çok etkisi olan CC1(Takip Süresi-Headway) ile ilgili değişiklik yapılmıştır [66]. Benzetim'de incelenecek sürücüsüz taşıt yola tanımlandı. Tablo VII.5.'de yer almaktadır. Bu değişiklikler SIDRA Trip programından elde edilen değerler ve sürücüsüz taşıt için [85] bağlı olarak değişmektedir.

Tablo 7.5. Tanımlanan Taşıt Türlerine İlişkin Takip Süresi (Headway) Verileri

<i>Çok yavaş</i>	5
<i>Yavaş</i>	3,56
<i>Normal</i>	2,16
<i>Saldırgan</i>	1,16
<i>Çok saldırgan</i>	0,76
<i>Sürücüsüz</i>	0,50

5. PTV Vissim programında, ivmeler düzenlenirken SIDRA Trip programından elde edilen verilerden yararlanılmıştır. PTV Vissim programında Fonksiyon sekmesinde yer alan ivmeler ve gözlem verilerine ait sisteme girilen Tablo VII.6'da yer almaktadır [85].

Tablo 7.6. PTV Vissim'de Sürücülere Ait Hızlanma ve Yavaşlama İvmeleri

Sürücü Tipi	En Büyük Hızlanma İvmesi (m/sn²)	İstenilen Hızlanma İvmesi (m/sn²)	Maksimum Yavaşlama İvmesi (m/sn²)	İstenilen Yavaşlama İvmesi (m/sn²)
Çok yavaş	1,3	1,3	2,5	1,8
Yavaş	1,6	1,6	2,9	1,8
Normal	2	2	3,2	1,8
Saldırgan	2,5	2,5	4	2
Çok saldırgan	3,8	3,8	5	3
Sürücüsüz	1	1	2,6	2,6

6. Trafik içindeki sürücü tiplerinin dağılımlarını belirlemek amacıyla deneme-yanılma yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla benzetim ölçümlenmesi sırasında, 5 farklı sürücü tipi için farklı oranlar girilerek, hız-hacim-yoğunluk

grafiklerine etkileri incelenmiştir. Ölçümleme sonucunda sürücü tiplerinin dağılımı Tablo VII.7'de sunulmaktadır.

Tablo 7.7. Sürücü Tiplerinin Dağılım Oranları

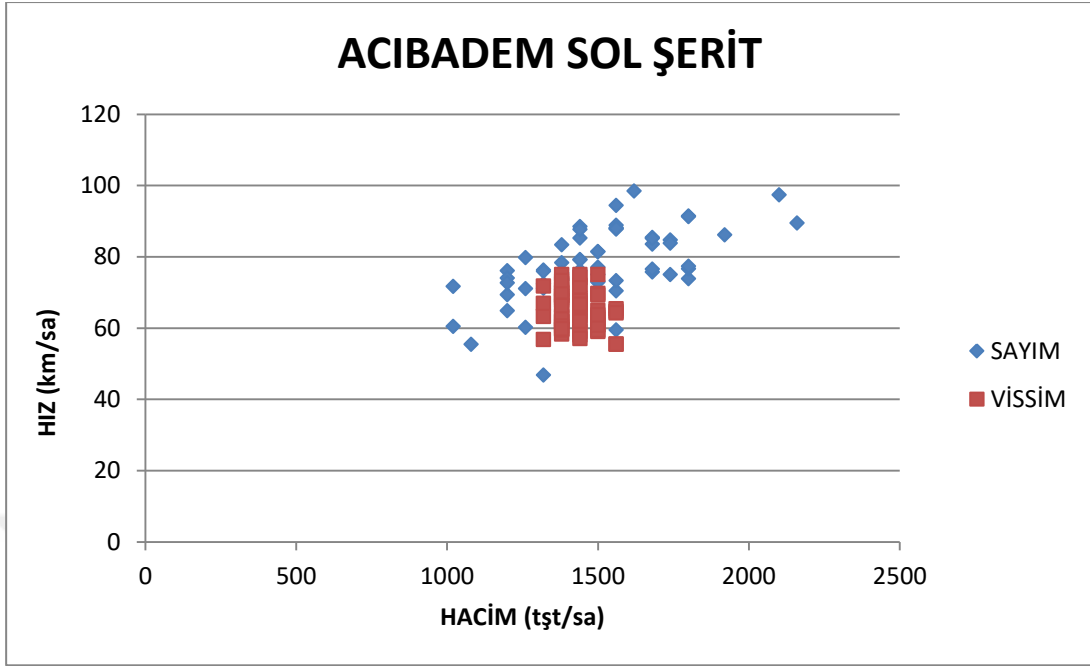
Sürücü Tipi	Oran (%)
Çok yavaş	1
Yavaş	5
Normal	54
Saldırgan	25
Çok saldırgan	15

- Katılımlarda ana akıma öncelik vermek için, katılım bölgelerinde Öncelik Kuralları (*Priority Rules*) tanımlanmıştır. Anadolu Yakası'ndaki katılımlarda sürücülerin kabul ettikleri en küçük aralık 2 sn, köprüden önceki son katılımda 1.8 sn olarak girilmiştir.

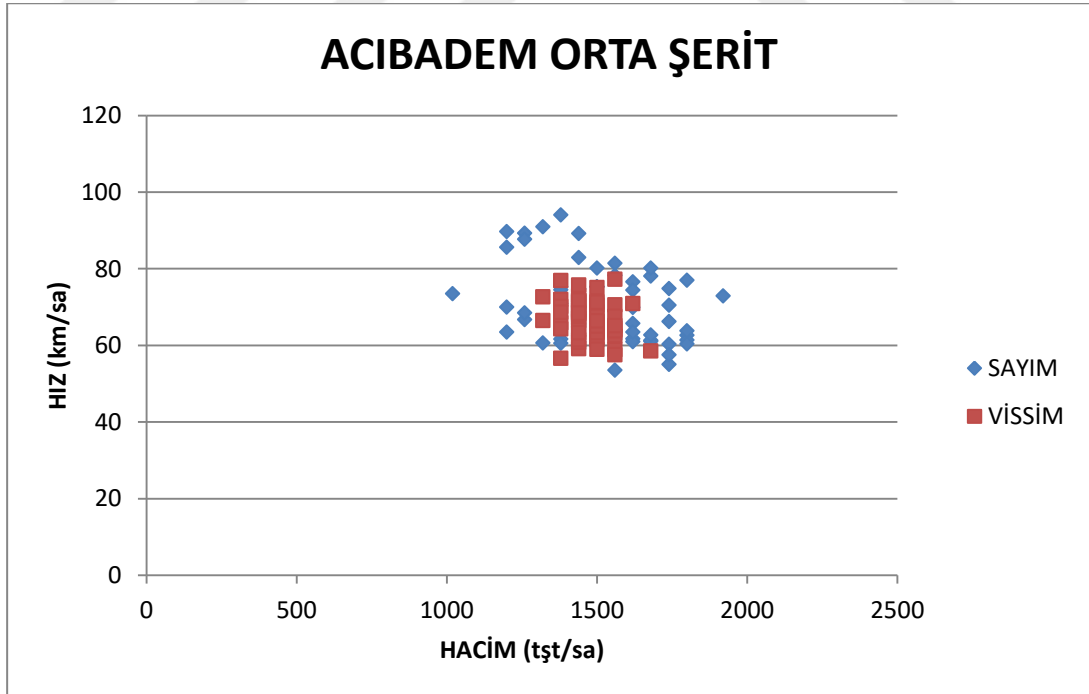
7.4 Gözlem Verilerinin PTV Vissim Modeli Ölçümleme ve Doğrulama İşlemlerine Ait Sonuçları

7.4.1 Gözlem Verilerinin PTV Vissim Modelinin Ölçümlemesi

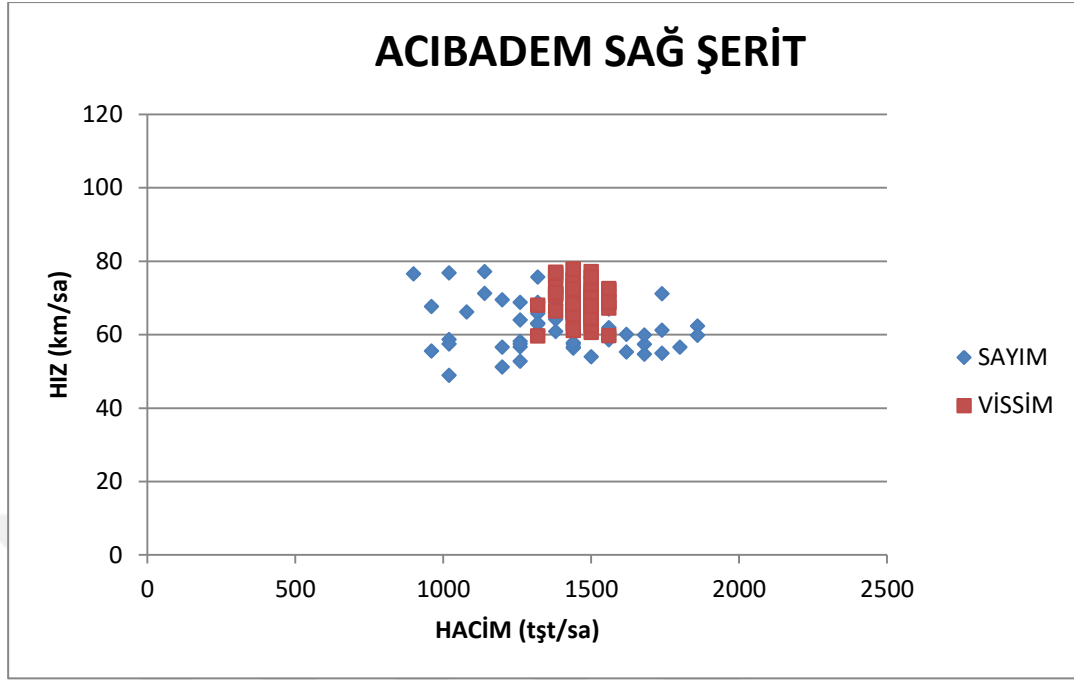
Acıbadem yol kesim elde edilen gözlem verileri ile benzetim modelimin ölçümleme işlemleri yapılmıştır. Acıbadem, Gözlem ve PTV Vissim verilerine ait grafikler Şekil VII.29 – Şekil VII.37'de verilmiştir.



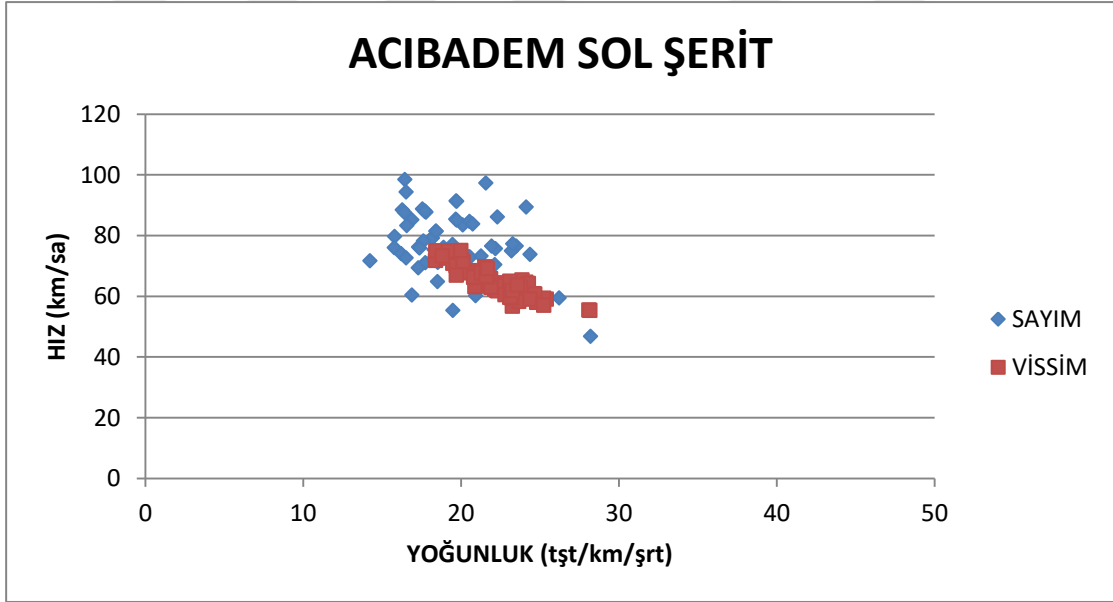
Şekil 7.29. Acıbadem Sol Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hız Hacim Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması



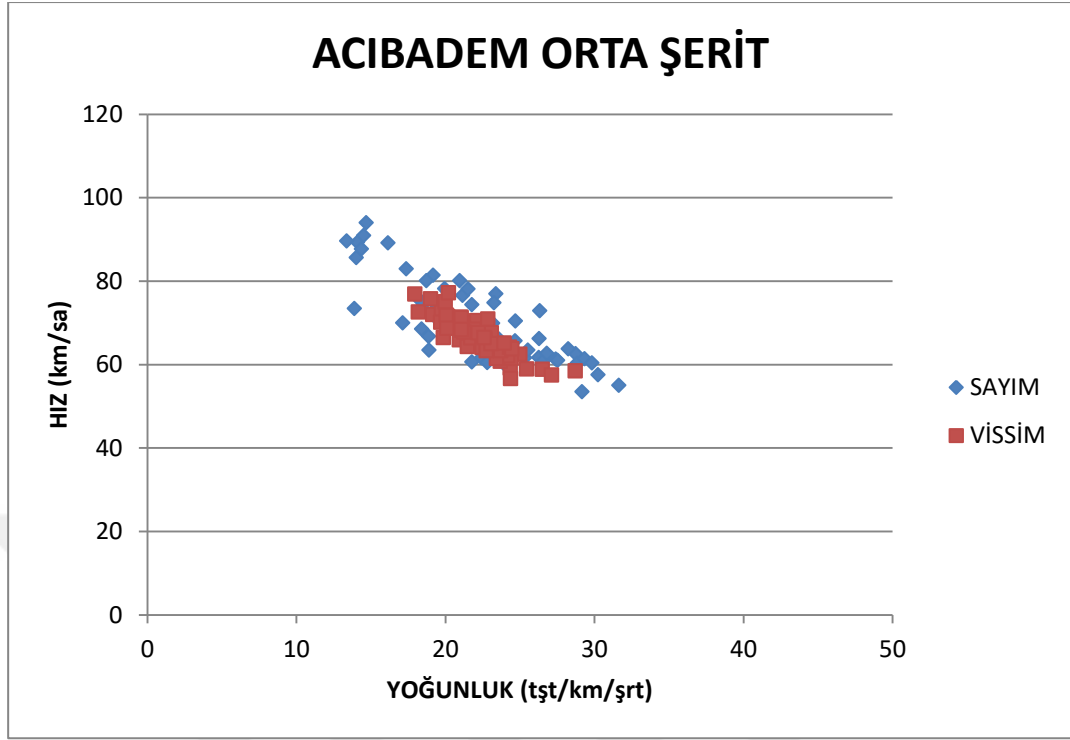
Şekil 7.30. Acıbadem Orta Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hız Hacim Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması



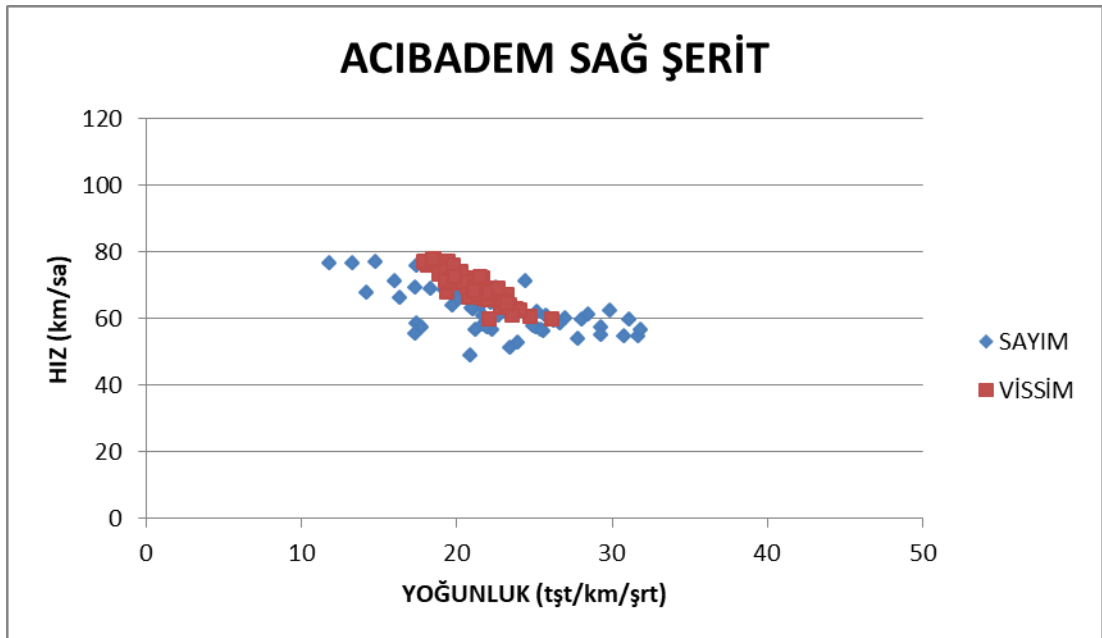
Şekil 7.31. Acıbadem Sağ Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hız Hacim Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması



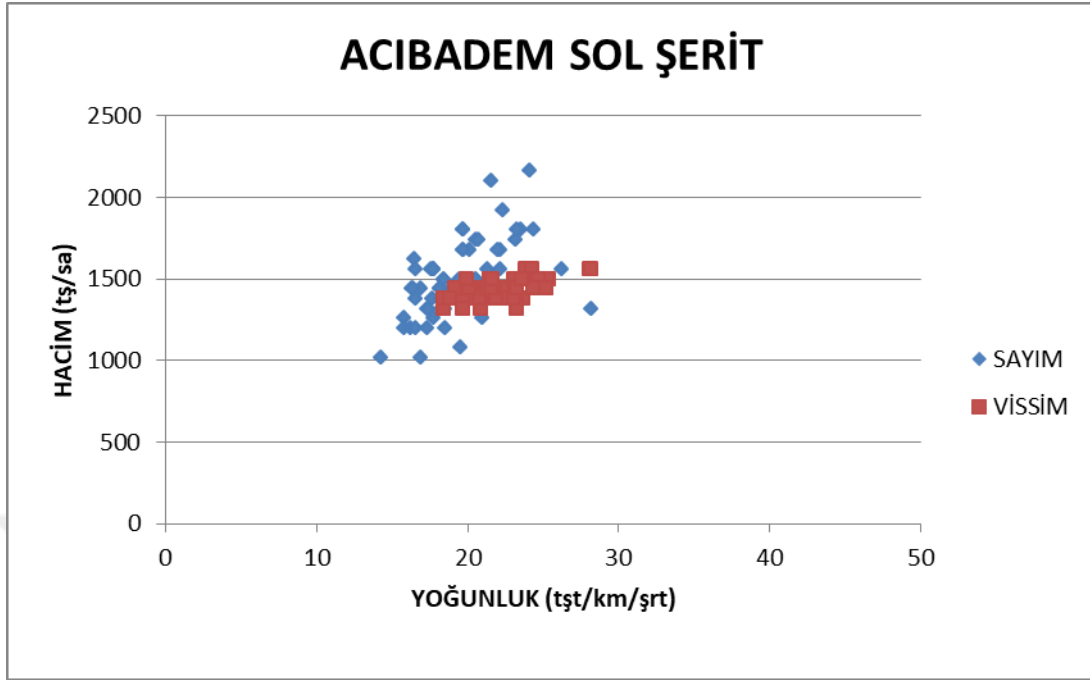
Şekil 7.32. Acıbadem Sol Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hız Yoğunluk Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması



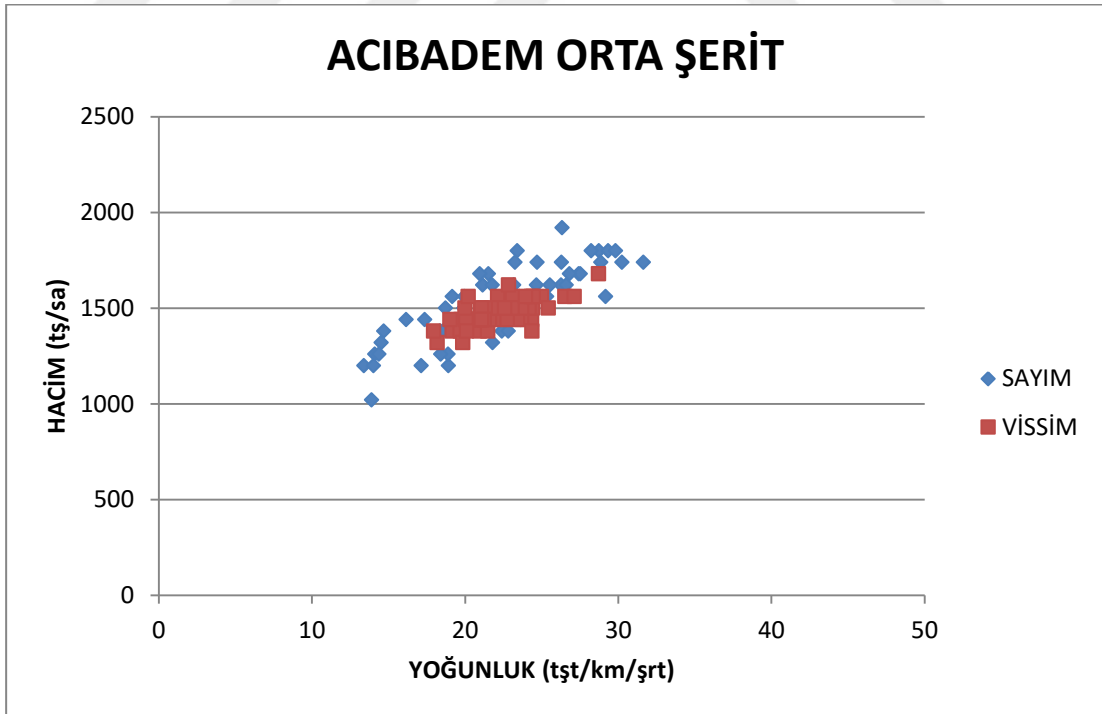
Şekil 7.33. Acıbadem Orta Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hız Yoğunluk Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması



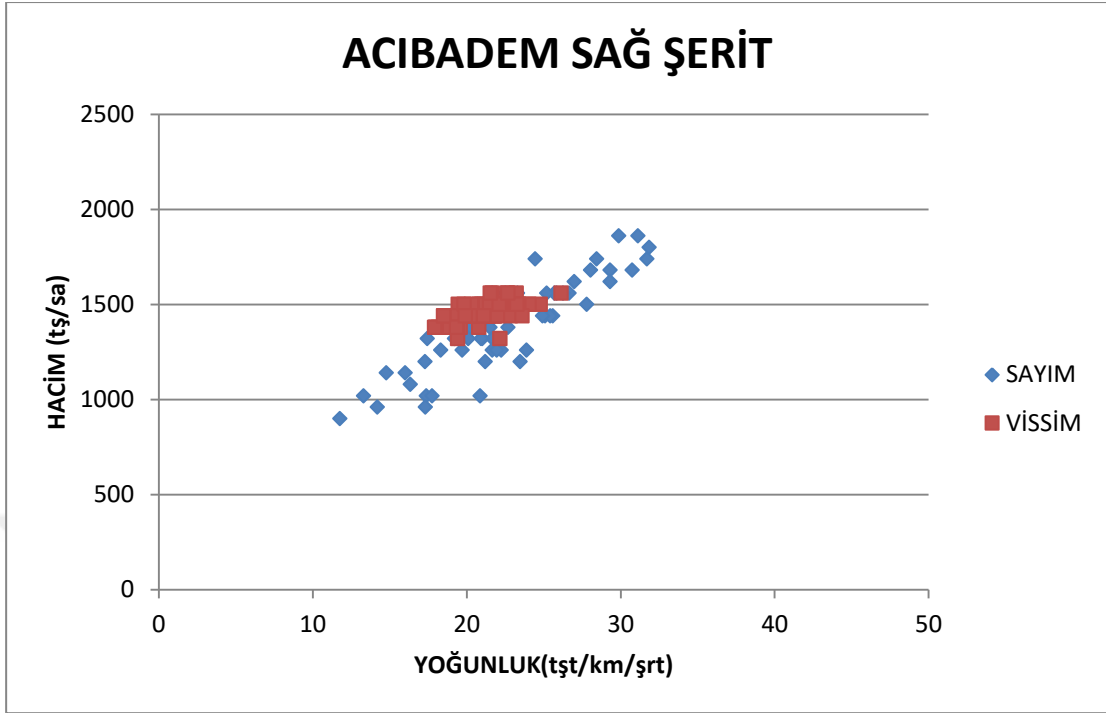
Şekil 7.34. Acıbadem Sağ Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hız Yoğunluk Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması



Şekil 7.35. Acıbadem Sol Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hacim Yoğunluk Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması

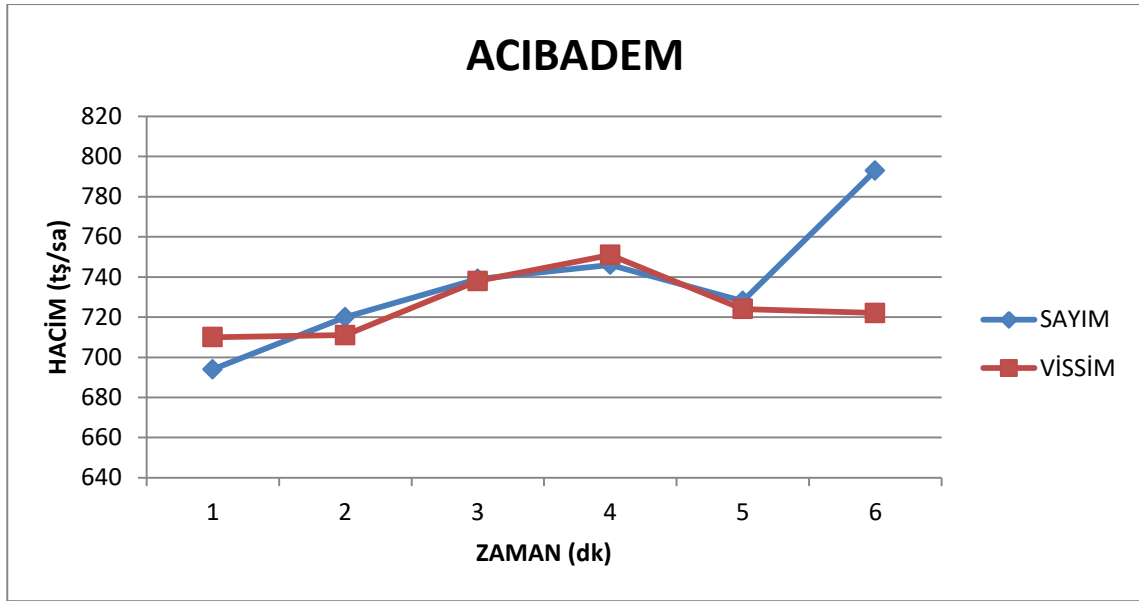


Şekil 7.36. Acıbadem Orta Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hacim Yoğunluk Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması

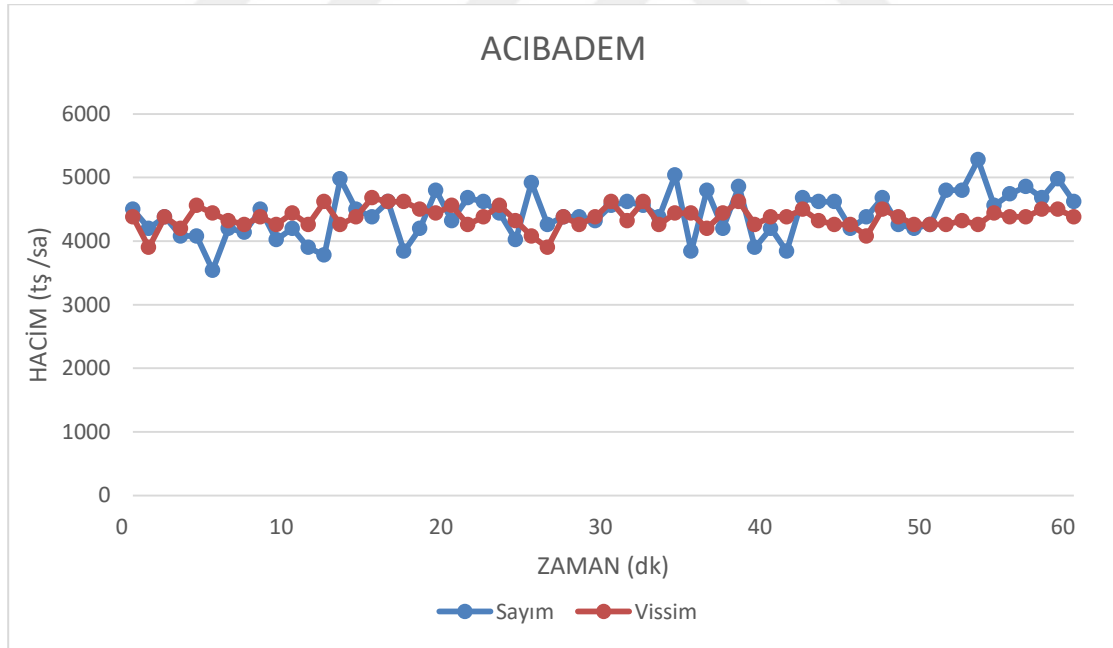


Şekil 7.37 Acıbadem Sağ Şeritte Gözlemlerden Elde Edilen Hacim Yoğunluk Verilerinin PTV Vissim Verileri ile Karşılaştırılması

Acıbadem sol, orta ve sağ şerit verileri ölçümlenmiştir. Benzetim modeli ile karşılatırılmıştır. Gözlem verileri ile oluşturulan model birbiri ile oldukça uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Şekil VII.38.'de Acıbadem'den elde edilen hacim verilerinin 10 dakikalık ortalamalarının karşılaştırılması, Şekil VII.39.'da Acıbadem'den elde edilen hacim verilerinin dakikalık olarak gözlem verileri ile karşılaştırılması karşılaştırılması verilmektedir.



Şekil 7.38. Acıbadem’den Elde Edilen Hacim Verilerinin 10 Dakikalık Ortalamalarının Gözlem Verileri İle Karşılaştırılması



Şekil 7.39. Acıbadem’den Elde Edilen Hacim Verilerinin Dakikalık Olarak Gözlem Verileri İle Karşılaştırılması

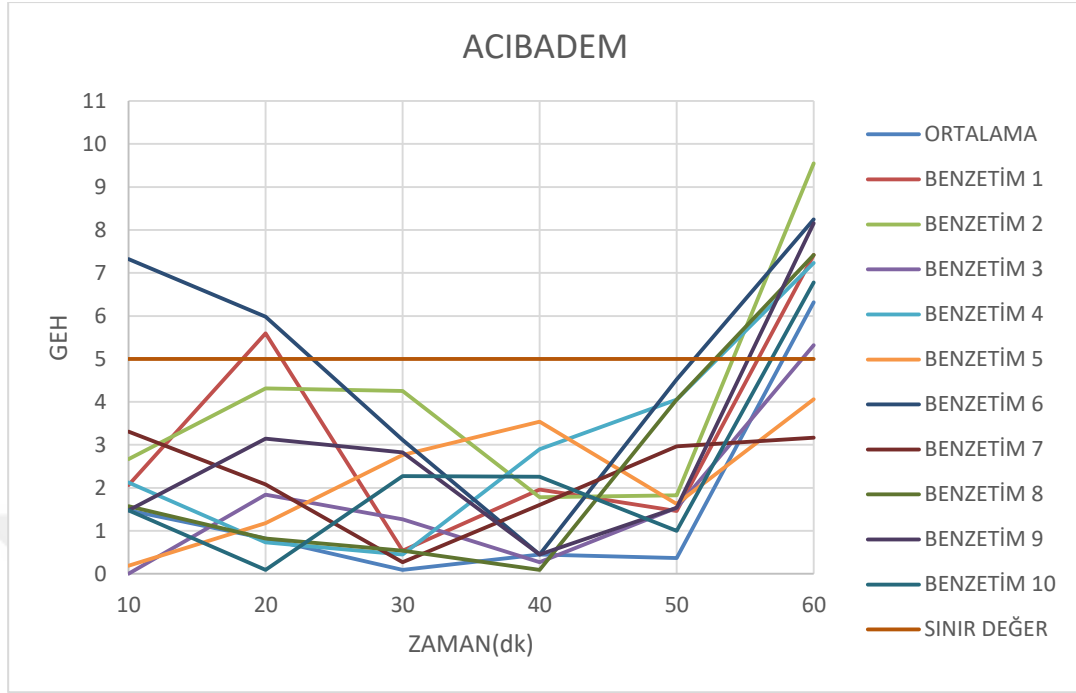
PTV Vissim programından elde edilen veriler ile gözlem verilerinden toplanan hacim değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil VII.28’ de son on dakikada öğlen zirvesinin başlamış olduğu gözlem verileri ile benzetim modelinin uyumlu olduğu görülmüştür.Şekil VII.29.’da benzetim modeli ile gözlem modelinin benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Acıbadem 10’ar dakikalık tekrarlama ortalamasının grafikleri incelendiğinde az sapma olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen verilerden hız, hacim ve yoğunluk verileri gözlem verileri ile oldukça yakın ve uyumlu olduğu saptanmıştır.

7.4.2 Gözlem Verilerinin PTV Vissim Modelinin Doğrulama İşlemleri

PTV Vissim’de yapılan benzetim modelinin tutarlılığını doğrulamak için doğrulama işlemleri yapılmıştır. Bu amaçla GEH ve RMSE değerleri hesaplanmıştır.

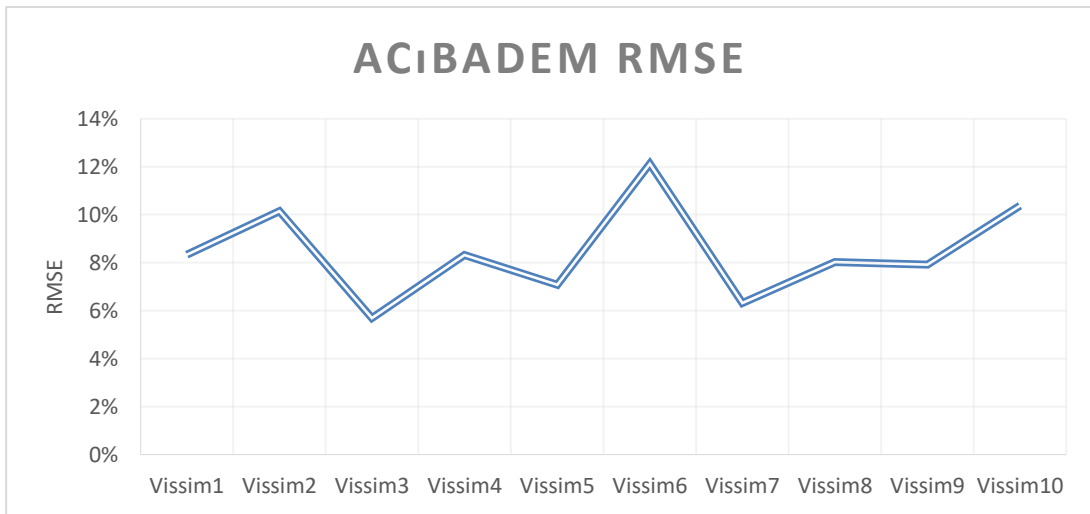
GEH değerleri için, 10’ar dakikalık tekrarlama ortalamasının alınmıştır. Tüm değerlere bakıldığında bahsedilen verilerin %85’i sınır koşulu olan 5’in altındadır. Şekil VII.40.’da Acıbadem için GEH-Zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 7.40. Acıbadem 10 Dakikalık Ortalama Olarak GEH değerleri

Acıbadem grafikleri incelendiğinde 10 dakikalık ortalamalarının sınır koşulunu sağladığı görülmektedir.

Şekil VII.41.'de verilen Acıbadem'e ait toplanan verilerden elde edilen 10'ar dakikalık RMSE değerlerini göstermektedir. Tüm değerler sınır koşullarına uygundur.



Şekil 7.41. Acıbadem 10 Dakikalık Ortalama Olarak RMSE değerleri

Benzetim modeline ait RMSE değerleri incelendiğinde tüm değerlerin sınır koşulu olan %30'un altında oldukları görülmektedir. GEH ve RMSE değerlerinden çıkan sonuçlara göre, model tutarlı ve güvenilirlerdir.

7.5 Sürücüsüz Araçların Kesintisiz Akım Koşullarında Karma Trafikteki

Etkileri

lçmlleme ve doğrulama işlemlerinin gerçekteştirilmesinden sonra, benzetime farklı oranlarda sürücüsüz taşıtlar eklenerek ve aynı oranda insan sürücülü taşıt benzetiminden eksiltilerek, sürücüsüz taşıtların mevcut trafik koşullarına etkileri incelenmiştir. Sürücüsüz taşıtlar tanımlanırken, insan sürücülerden farklı olarak, önceki taşıtı en az 0,5 saniye aralıkla takip edebileceği n görülmüştür. Benzer şekilde katılım noktalarında kabul edilen en küçük aralık değeri de 1.5 sn olarak alınmıştır. En yüksek ve istenilen hızlanma ivmeleri 1 m/sn^2 , en yüksek ve istenilen yavaşlama ivmeleri ise $2,6 \text{ m/sn}^2$ olarak sisteme tanımlanmıştır.

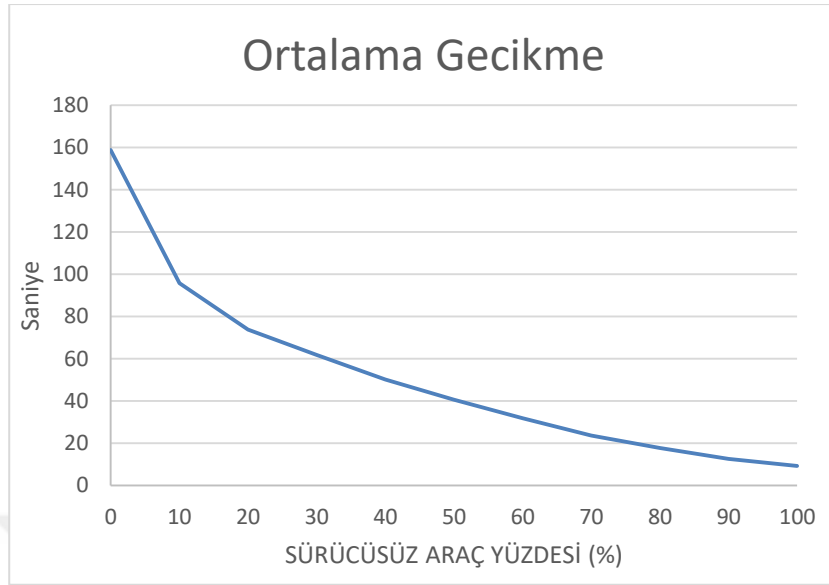
Sürücüsüz taşıtların kesintisiz akım koşullarında trafiğe etkilerini incelemek için öncelikle lçmlenmeve doğrulanması tamamlanan model 10 kez çalıştırılmış ve mevcut durumdaki trafik koşullarına ilişkin ortalama gecikme, ortalama durma, ortalama hız, ortalama gecikmeli duraklama, toplam mesafe, toplam yolculuk süresi, toplam gecikme, toplam duraklama, toplam gecikmeli duraklama, benzetim sonlandığında sistemdeki taşıt sayısı, yolculuğunu tamamlamış taşıt sayısı, gizli gecikme ve gizli talep değerlerinin ortalamaları ölçülmüştür. Daha sonra, sürücüsüz taşıtlar %10'luk artış oranlarında trafiğe katıldıklarında bu değerlerin değişimleri yine model 10 kez çalıştırılarak elde edilmiştir. Bu değerlere ilişkin tüm veriler Tablo VII.8'de, her bir ölçütün değişimine ilişkin grafikler de şekil VII.42 – şekil VII.54'de verilmiştir. Hem tablodan, hem de şekillerden görüleceği üzere, serbest akım

koşullarında, sürücüsüz taşıt oranı arttıkça, trafik özelliklerine ilişkin tüm ölçütlerde iyileşme görülmektedir.

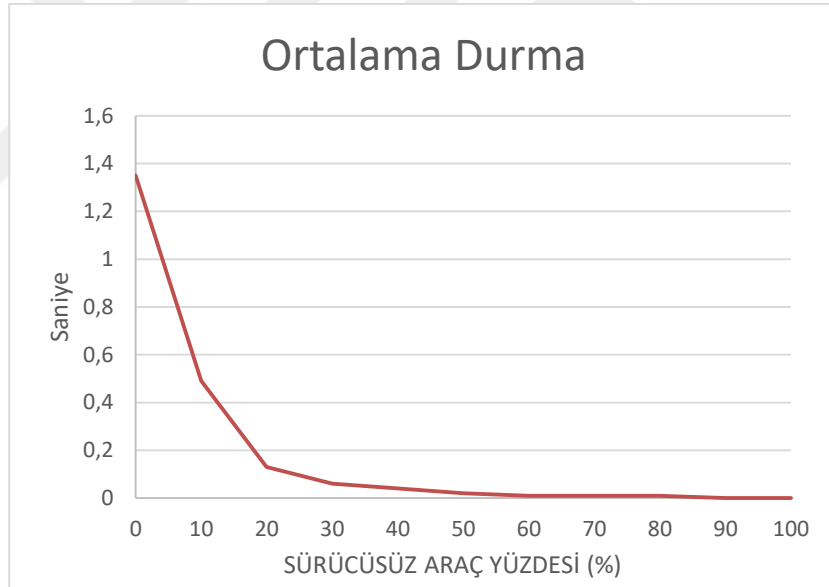


Tablo 7.8. PTV Vissim'e Tanımlanan Serbest Akım Veri Tablosu

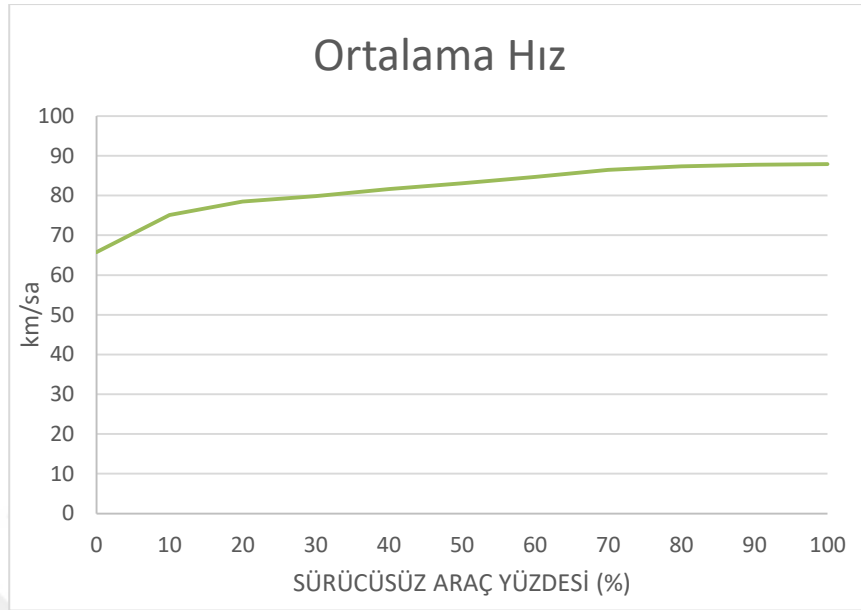
SÜRÜCÜSÜZ ARAÇ YÜZDESİ	GEÇİKME (ORTALAMA)	DURMA (ORTALAMA)	HIZ (ORTALAMA)	GEÇİKMELİ DURAKLAMA (ORTALAMA)	TOPLAM MESAFE	TOPLAM YOLCULUK SÜRESİ	TOPLAM GEÇİKME	TOPLAM DURAKLAMA	GEÇİKMELİ TOPLAM DURAKLAMA	ETKİN ARAÇ	VARAN ARAÇ	GİZLİ GEÇİKME	GİZLİ TALEP
%	sn	sn	km/sa	sn	km	sn	sn	sn	sn	tışt	tışt	sn	tışt
0	158,80	1,35	65,75	17,89	51429,37	2819244,59	974819,04	8319,00	109912,04	847,00	5289,00	122449,66	107,90
10	95,71	0,49	75,11	3,52	50055,45	2399841,80	594170,60	3021,00	21895,48	678,00	5527,00	959,61	1,40
20	73,80	0,13	78,47	0,91	48276,62	2214891,70	455676,31	814,00	5635,12	615,00	5559,00	191,81	1,00
30	61,85	0,06	79,83	0,32	46230,03	2084885,04	379568,65	341,00	1947,64	580,00	5558,00	192,48	1,00
40	50,08	0,04	81,66	0,17	44249,12	1950794,51	305635,83	218,00	1054,77	545,00	5558,00	192,72	1,00
50	40,53	0,02	83,04	0,09	42351,26	1836044,24	246450,25	132,00	520,80	510,00	5569,00	194,16	1,00
60	31,81	0,01	84,66	0,07	40286,13	1713171,84	192395,98	83,00	392,77	486,00	5562,00	195,33	1,00
70	23,62	0,01	86,42	0,01	38228,36	1592583,69	142008,89	32,00	82,98	451,00	5561,00	196,29	1,00
80	17,77	0,01	87,35	0,02	36470,82	1503048,79	106311,78	33,00	122,26	426,00	5558,00	198,49	1,00
90	12,57	0,00	87,71	0,00	34210,10	1404159,43	74831,46	5,00	12,39	392,00	5562,00	202,52	1,00
100	9,30	0,00	87,88	0,00	32242,05	1320857,21	55240,49	1,00	0,98	373,00	5568,00	205,12	1,00



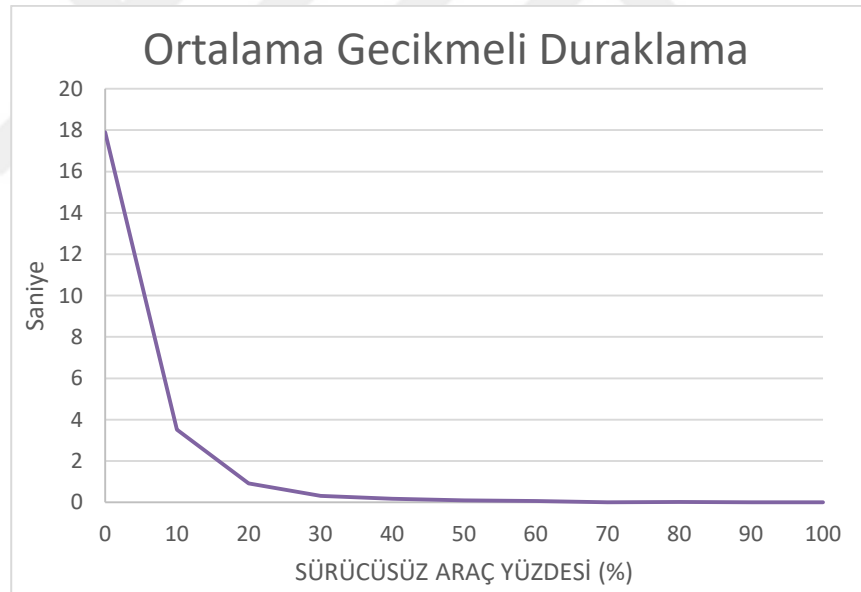
Şekil 7.42. Sürücüsüz Araç Yüzdesi Ortalama Gecikme Grafiği



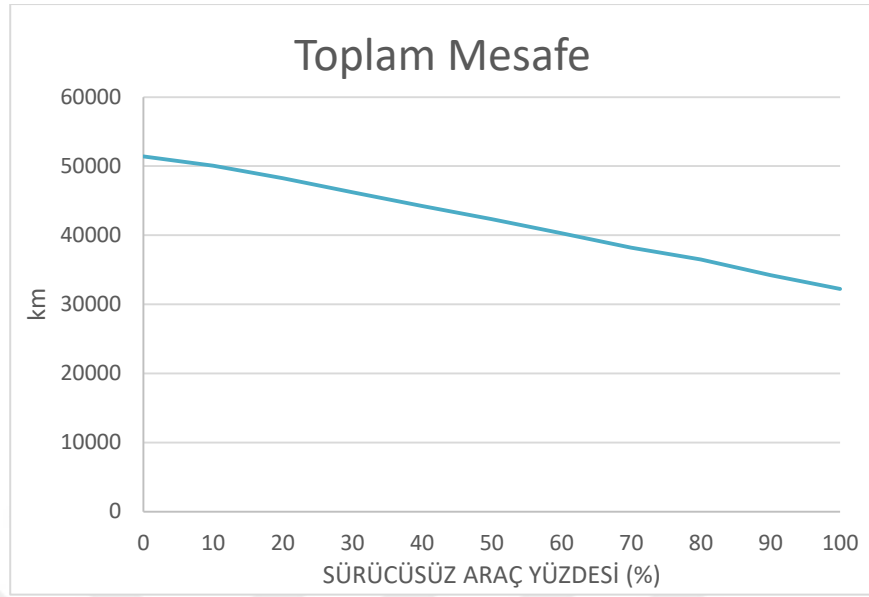
Şekil 7.43. Sürücüsüz Araç Yüzdesi Ortalama Durma Grafiği



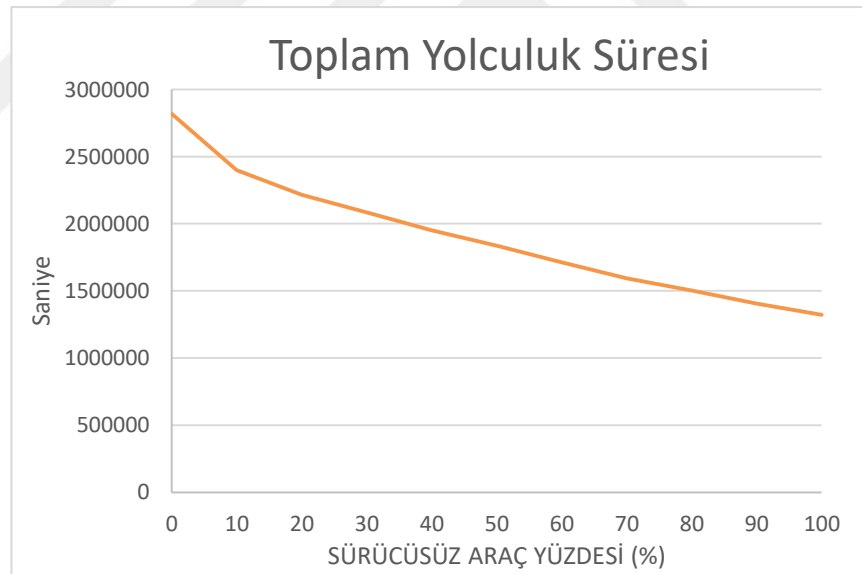
Şekil 7.44. Sürücüsüz Araç Yüzdesi Ortalama Hız Grafiği



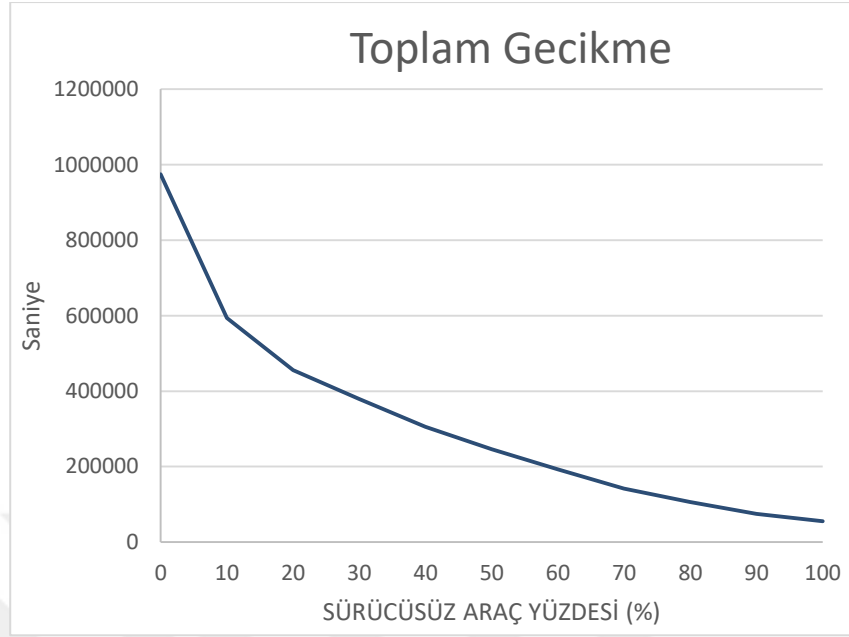
Şekil 7.45. Sürücüsüz Araç Yüzdesi Ortalama Gecikmeli Duraklama Grafiği



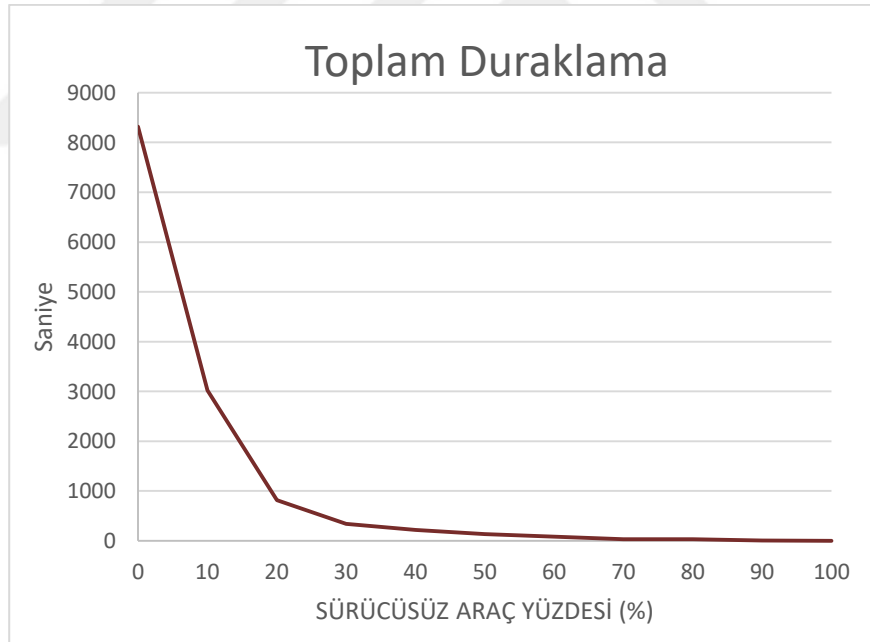
Şekil 7.46. Sürücüsüz Araç Yüzdesi Toplam Mesafe Grafiği



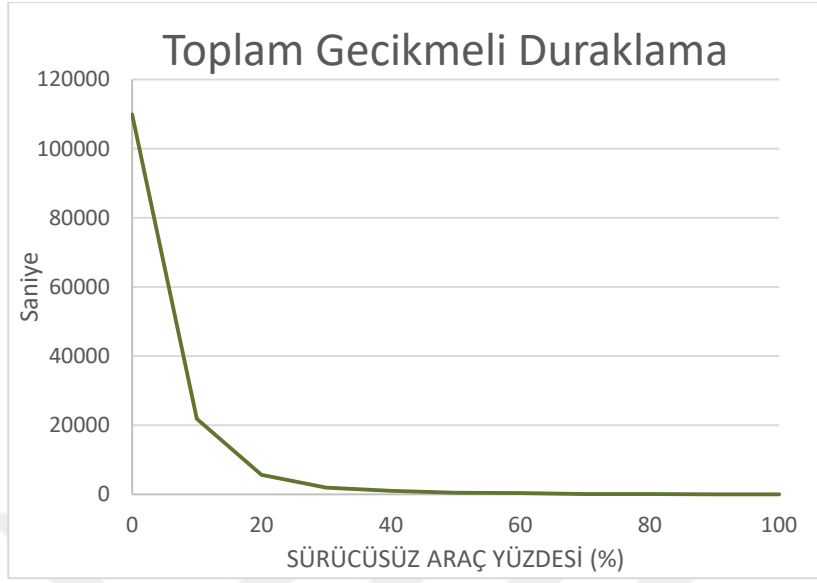
Şekil 7.47. Sürücüsüz Araç Yüzdesi Toplam Yolculuk Süresi Grafiği



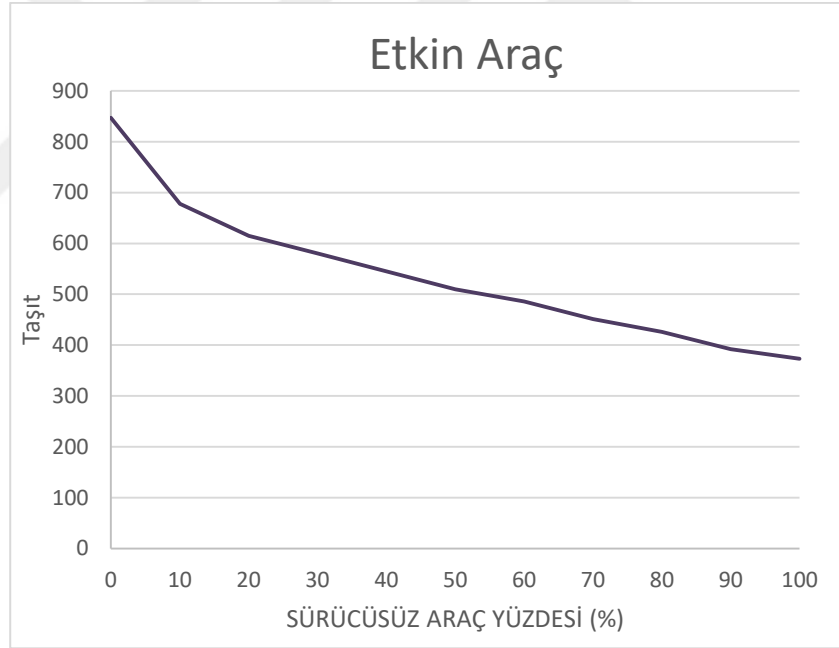
Şekil 7.48. Sürücüsüz Araç Yüzdesi Toplam Gecikme Grafiği



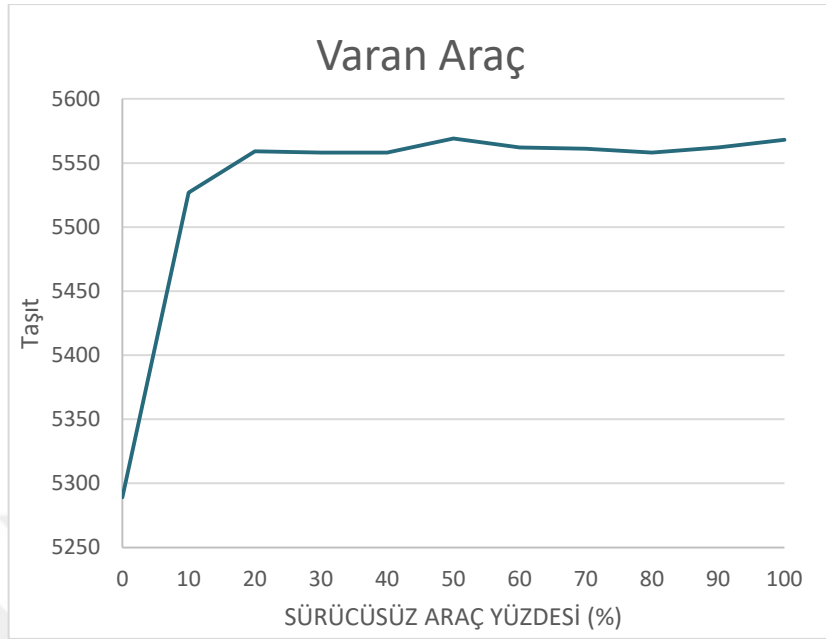
Şekil 7.49. Sürücüsüz Araç Yüzdesi Toplam Duraklama Grafiği



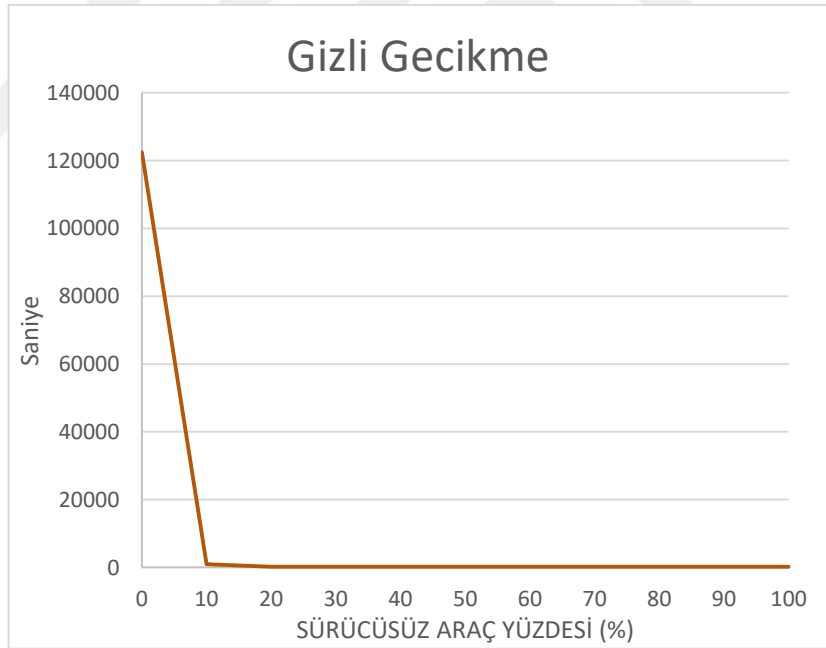
Şekil 7.50. Sürücüsüz Araç Yüzdesi Toplam Gecikmeli Duraklama Grafiği



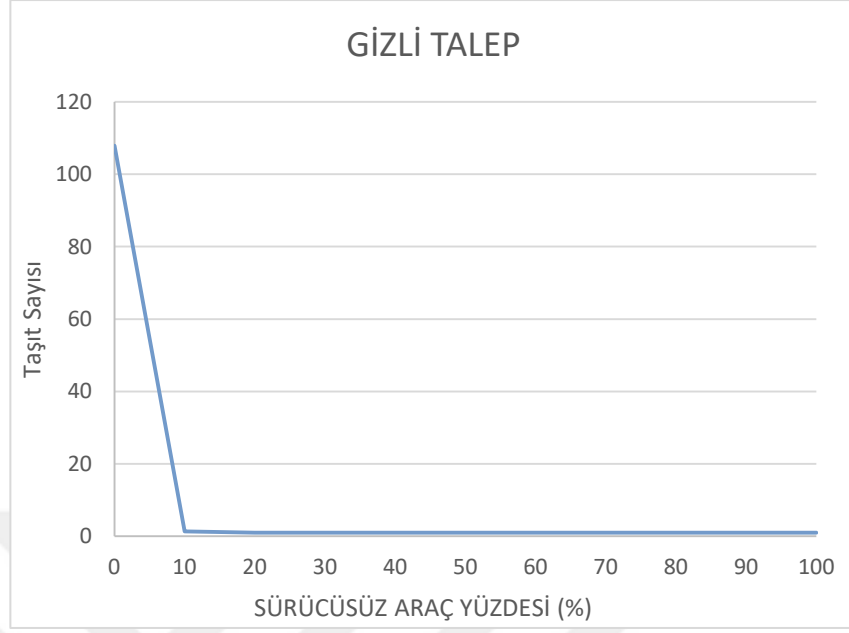
Şekil 7.51. Sürücüsüz Araç Yüzdesi Etkin Araç Grafiği



Şekil 7.52. Sürücüsüz Araç Yüzdesi Varan Araç Grafiği



Şekil 7.53. Sürücüsüz Araç Yüzdesi Gizli Gecikme Grafiği



Şekil 7.54. Sürücüsüz Araç Yüzdesi Gizli Talep Grafiği

8 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, gelecekte hayatımıza girmesi beklenen sürücüsüz araçların katılacağı karma trafik koşullarında İstanbul trafiğinde oluşabilecek olumlu ve olumsuz değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Kesintisiz akım koşullarında oluşabilecek davranışların ve trafik akım parametrelerinin yorumlanabilmesi için D100 karayolu Acıbadem kesiminden seçilen noktada serbest akım koşulları incelenmiştir.

Gönüllü sürücüler yardımı ile toplanan veriler incelenerek sürücü davranışlarının belirlenebilmesi için çözümlemeler yapılmıştır. Aynı güzergahı kullanan sürücülerin yaklaşık olarak bir aylık verisi toplanmıştır. SIDRA Trip programında kabul edilen sürücü tiplerine göre (*Çok Yavaş, Yavaş, Normal, Saldırgan ve Çok Saldırgan*) Gönüllü Sürücüler sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmalara göre; sürücülerin hızlanma ve yavaşlama davranışlarının kesintisiz akımda daha fazla saldırgan davranış gösterdiği kesintili akım koşullarında ise sürücülerin kesintisiz akıma göre daha düşük hızlanma ve yavaşlama ivmesi ile daha normal davranış gösterdiği görülmüştür.

PTV Vissim programında gözlem verilerinin toplandığı alanlar belirlenerek yolun geometrik özelliklerine bağlı kalarak bir model oluşturulmuştur. PTV Vissim’de kesintisiz akım koşullarında gözlem bölgesini içeren bir araç trafiği oluşturulmuş ve benzetim sonuçlarının gözlem verileri ile örtüşmesi sağlanmıştır.

Sürücü davranışlarının programda modellenebilmesi için SIDRA Trip programındaki çıktılar kullanılarak her taşıt sürücü tipine göre (*Çok Yavaş, Yavaş, Normal, Saldırgan, Çok Saldırgan*) sınıflandırılmış ve trafiğin yüzde kaçını oluşturacakları modellenmiştir. SIDRA Trip programından elde edilen hızlanma ve

yavaşlama ivmeleri tanımlanmıştır. Modelden alınacak olan verilerin gözlem verileri ile yaklaşık olarak örtüşmesi için oluşturulan modele, ölçümleme ve doğrulama işlemleri yapılmıştır. Ölçümleme işlemi için; GEH parametresi, doğrulama işlemi için; RMSE parametresi ile sınır koşullarını sağlayarak modelin tutarlı güvenilir olduğu doğrulanmıştır. Tüm koşullar sağlanarak benzetim programında gerçek bir trafik oluşturulmuştur.

Sürücüsüz taşıtların kesintisiz akım koşullarında karma trafikteki etkilerini incelemek için, PTV Vissim’de oluşturulan modele sürücüsüz araç belirli yüzdelere eklenerek karma bir trafik oluşturulmuştur. Benzetim programı ortamında serbest akım koşulları incelenmiştir. Serbest akım koşulları altında karma araç trafiği incelendiğinde; sürücüsüz araç oranı arttıkça trafiğe ilişkin tüm ölçütlerin iyileştiği gözlemlenmiştir. Diğer bir deyişle sürücüsüz araçlar trafiği olumlu yönde etkilemiştir.

Bu çalışma kapsamında incelenmesi gerçekleştirilemeyen bazı durumlar da bulunmaktadır. Örneğin, sürücüsüz taşıtlar trafiğe çıktığında, insan sürücülerin özellikle bu taşıtları takip ederkenki davranışlarının değişebileceği düşünülmektedir. Buna karşın sürücüsüz taşıt oranının artması da sürücü davranışlarını yine değiştirecektir. Ancak çalışma kapsamında insan sürücülerin davranışları her türlü koşul altında sabit alınmış, sürücü atılganlık tiplerine ilişkin oranların da zaman içinde değişmeyeceği kabul edilmiştir. Bu özelliklere ilişkin değerlerin değişimlerinin incelenmesi faydalı sonuçlar ortaya koyabilir. Benzer şekilde, sürücüsüz taşıtların davranışları da bu ortamlarda farklılık gösterecek şekilde tasarlanabilir. Bu sayede trafik akımına ilişkin olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi sağlanabilir. İncelenmesi gerçekleştirilemeyen diğer bir durum ise, zorlamalı akım koşullarında sürücüsüz araçların trafiğe olası etkileridir.

Sürücüsüz taşıtlara ve bu taşıtların bulunduğu trafik akım koşullarına ilişkin çalışmaların sonucunda elde edilen bilgiler, gelecekte karşılaşılabilecek olumsuzlukların önceden saptanabilmesine ve bu olumsuzluklara yeteri kadar önceden önlem alınabilmesine fayda sağlayacaktır. Bu nedenle özellikle yerel koşulların da dikkate alınarak bu planlamaların yapılması başta zaman, yakıt tüketimi, gaz salımları gibi pek çok doğrudan ve dolaylı fayda sağlayacak, ülke ekonomisine de önemli ölçüde katkıları bulunacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] TÜİK, Yıllara Göre İllerin Yıllık Nüfus Artış Hızı ve Nüfus Yoğunluğu, 2018.
http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1059. [Erişildi: 31 01 2020].
- [2] UYM,Ulaşım Yönetim Merkezi, 2019.
<http://tkm.ibb.gov.tr/AnalyzeTools/analiz.aspx>. [Erişildi: 2020 01 31].
- [3] I. Gökaşar ve S. Dünder, Sürücüsüz Taşıtların Trafik Akım Hızına Etkisinin Yapay Sinir Ağları ile İncelenmesi, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 1(2), 56 - 71, 2018.
- [4] S. Yetim, Sürücüsüz Araçlar ve Getirdiği/Getireceği Hukuki Sorunlar, Ankara Barosu Dergisi, 1/127-184, 2016.
- [5] K. Bimbrow, Autonomous Cars: Past, Present and Future - A Review of the Developments in the Last Century, the Present Scenario and the Expected Future of Autonomous Vehicle Technology, Proceedings of the 12th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, 1/191-198, 2015.
- [6] Ü. Özgüner, T. Acarman Ve K. A. Redmill, Autonomous Ground Vehicles, USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers , 2011.
- [7] M. Cranswick, Pontiac Firebird: The Auto-Biography. 2013.
- [8] P. Girovský Ve J. Fekete, Maintaining Vehicle Speed Using A Mechanical Cruise Control, Acta Electrotechnica et Informatica, 17(2), 48-52, 2017.
- [9] A. Forrest Ve M. Konca, Autonomous Cars and Society, Worcester: Worcester Polytechnic Institute, 2007.

- [10] J. Schmidhuber, Prof. Schmidhuber's Highlights of Robot Car History, 2005.
<http://www.idsia.ch/~juergen/robotcars.html>. [Erişildi: 09 02 2020].
- [11] J. Billington, Autonomous Vehicle, The Prometheus project: The story behind one of AV's greatest developments, 2018.
<https://www.autonomousvehicleinternational.com/features/the-prometheus-project.html>. [Erişildi: 09 02 2020].
- [12] DARPA, Defense Advanced Research Projects Agency, The Grand Challenge, 2004.
<https://www.darpa.mil/about-us/timeline/-grand-challenge-for-autonomous-vehicles>. [Erişildi: 09 02 2020].
- [13] DARPA, Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA Urban Challenge, 2007.
<https://www.darpa.mil/about-us/timeline/darpa-urban-challenge>
[Erişildi: 09 02 2020].
- [14] WAYMO, 2020. <https://waymo.com/>. [Erişildi: 09 02 2020].
- [15] M. M. Erdoğan Ve S. M. Akar, Dördüncü Sanayi Devrimi Döneminde Sürücüsüz Otonom Araçların Potansiyelleri Ve Geleceği: Türkiye Örneği, Current Debates in Tourism & Development Studies, (12) 2017.
- [16] Z. Abraham, Identifying the optimal highway driving conditions for the integration of manned and autonomous vehicles, Institute of Technology, Massachusetts, USA, 2015.
- [17] I. Gökaşar, Trafik Yönetiminde Şerit Kontrol Sistemlerinin Etkinliğinin İncelenmesi, İMO Teknik Dergi, 27(4), 7635-7657, 2016.

- [18] T.-H. Chang Ve I.-S. Lai, «Analysis of Characteristics of Mixed Traffic Flow of Autopilot Vehicles and Manual Vehicles,» Transportation Research Part C: Emerging Technologies., 5(6), 333-348, 1997.
- [19] Cheng-ChihChien, Y. Zhang ve P. A.Ioannouc, Traffic Density Control for Automated Highway Systems, C.C. Chien, Y. Zhang, P.A. Ioannou, Automatica 7 (33), 1273-1285, 1997.
- [20] S. Tanyel Ve E. Ş. Berktaş, Sürücüsüz Taşıtların Katıldığı Trafik Akım Koşullarının Modellenmesi, Adana: Kongre Sempozyum Bildiriler Kitabı-12. Ulaştırma Kongresi, 71-80, 2017.
- [21] Sözcü Haberler, Sözcü, 2019.
<https://www.sozcu.com.tr/2019/otomotiv/turkiyede-otonom-arac-surustestlerine-baslaniyor-5224670/>. [Erişildi: 26 02 2020].
- [22] A. Kayaduman, S. Polat, Y. Şimşek, İ. C. Dikmen, H. G. Bakir, T. Karadağ Ve T. Abbasov, Control Method Simulation and Application for Autonomous Vehicles, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018.
- [23] K. A. Şen, K. Nikbay Ve B. T. Akgün, Sürücüsüz Araç Trafığı ile Sürücü Davranışı İyileştirmeye Yönelik Bir Oyun, Elektronik Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 2014.
- [24] H. C. Sayılğan, Sürücüsüz (Otonom) Araçlar: Otonom Sürüş Seviyeleri,2017.
<https://hamitcansayilgan.blog/tag/surucusuz-araclar/>. [Erişildi: 03 02 2020].
- [25] I. Gökaşar, S. Dünder, S. Tanyel, A. A. Arisoy, H. G. İz Ve İ. M. Ulu, Sürücüsüz Araç Örneklerinin İncelenmesi ve Karşılaştırılması, TRANSİST 2018 Bildiri

Kitabı, İSTANBUL, 2018.

- [26] S. Dünder, Trafik Mühendisliği Ders Notları, İstanbul: Okan Üniversitesi- İnşaat Mühendisliği Bölümü-Trafik Mühendisliği Dersi, 2020.
- [27] Y. Şazi MURAT, Trafik Mühendisliği Ders Notları, Denizli: Pamukkale Üniversitesi- İnşaat Mühendisliği Bölümü-Trafik Mühendisliği Dersi, 2019.
- [28] B. Greenshields, J. Bibbins, W. Channing ve H. Miller, A Study of Traffic Capacity, 1935.
http://www.tft.pdx.edu/greenshields/docs/greenshields_1935_1.pdf
 [Erişildi: 12 07 2020].
- [29] F. Yavuzylmaz, Zirve Saatlerde Boğaziçi Köprüsü Avrupa-Asya Yönünde Gerçekleşen Trafik Akımı Değişkenlerinin İncelenmesi ve Gişe Sahası Üzerine Bir Uygulama, İstanbul: İstanbul Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- [30] Y. Nehir, İzmir'de Otobüs Duraklarının Etkin Kullanımları Üzerine Bir İnceleme, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [31] A. Şahin, Proceedings Book, Advances in Civil Engineering 2004 6th International Conference, İstanbul, 2004.
- [32] S. Tanyel Ve Ç. Varlıtoprak, Cowan M3 Dağılımının Trafik Akımlarının Modellenmesinde Kullanımı, Dokuz Eylül Üniveristesi- Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2(3), 35-49, 2000.
- [33] S. Tanyel, Türkiye'deki Dönel Kavşaklar için Kapasite Hesap Yöntemi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği

Anabilim Dalı, Ulaştırma Mühendisliği Doktora Tezi, 2001.

- [34] R. T. Luttinen, Statistical Analysis of Vehicle Time Headways, Finlandiya: Helsinki University of Technology, Transportation Engineering, Publication, 87, 1996.
- [35] J. Hedlund, Autonomous Vehicles Meet Human Drivers: Traffic Safety Issues for States, Spotlight on Highway Safety, 2017.
- [36] T. Litman, Autonomous Vehicle Implementataion Predictions: Implications for Transport Planning, Victoria Transport Policy Institute, 2017.
- [37] SAE International, Driver-Vehicle Interface Considerations for Lane Keeping Assistance Systems, 2016.
https://www.sae.org/standards/content/j3048_201602/. [Erişildi: 18 02 2020].
- [38] S. Tanyel, E.Ş. Berktaş, Sürücüsüz Taşıtların Katıldığı Trafik Akım Koşullarının Modellenmes,12. Ulaştırma Kongresi (Ulaştırma Politikaları) Bildiri Kitabı, 2017.
- [39] M. A. Alkan, Sürücüsüz (Otonom) Araçlar,» Türkiye'nin Endüstri 4.0 Platformu, 2019.<https://www.endustri40.com/surucusuz-otonom-araclar/>.
[Erişildi: 18 02 2020].
- [40] L. Pipes, An Operational Analysis Of Traffic Dynamics, Journal of Applied Physics, 24(3), 274-281, 1953.
- [41] Z. Wen-Xing ve Z. Li-Dong, A new car-following model for autonomous vehicles flow with mean expected velocity field, Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 492, 2154-2165, 2018.

- [42] P. A. Ioannou ve C. C. Chien, «Autonomous Intelligent Cruise Control,» IEEE Transactions on Vehicular Technology, 4(42), 657-672, 1993.
- [43] M. Bando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata ve Y. Sugiyama, Dynamical Model of Traffic Congestion and Numerical Simulation, Physical Review E, 2(51), 1035-1042, 1995.
- [44] E. N. Holland, A Generalised Stability Criterion for Motorway Traffic, Transportation Research Part B: Methodological, 2(32), 141-154, 1998.
- [45] T. Nagatani, Stabilization and Enhancement of Traffic Flow by The Next-Nearest-Neighbor Interaction, Physical Review E, 6(60), 6395-6401, 1999.
- [46] Y. Zhang, Q. Lin, J. Wang, S. Verwer ve J. Dolan, Lane-change Intention Estimation for Car-following Control in Autonomous Driving, IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 3(3), 276-286, 2018.
- [47] H. X. Ge , H. B. Zhu , S. Q. Dai , Effect of Looking Backward on Traffic Flow In A Cooperative Driving Car Following Model, The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems, 4(54), 503-507, 2006.
- [48] W. L. Jin , W. W. Recker, Instantaneous Information Propagation in a Traffic Stream Through Inter-Vehicle Communication, Transportation Research Part B: Methodological, 2(40), 230-250, 2006.
- [49] A. D. May, Traffic Flow Fundamentals, New Jersey: Prentice Hall, 1990.
- [50] P. Gipps, A Behavioural Car-Following Model For Computer Simulation, Transportation Research Part B: Methodological, 15(2), 105-111, 1981.
- [51] M. Treiber ve A. Kesting, Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation,

Physics Today, 3(67) , 54, 2014.

- [52] R. Wiedemann, Simulation des StraBenverkehrsflusses, In Schriftenreihe des Instituts fir Verkehrswesen der Universitiit Karlsruhe, 1974.
- [53] M. Brackstone , M. McDonald, Car-Following: A Historical Review, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2(4), 181-196, 1999.
- [54] F. Simonelli, G. N. Bifulco, D. Martinis, V. Punzo , Human-like adaptive cruise control systems through a learning machine approach. In Applications of Soft Computing, 2009.
- [55] F. W. Siebert, Car-Following In Self-, Assisted-, And Autonomous Driving, 25/65-73, 2017.
- [56] Y. Y. Wang, G. Chen, Z. Liu Modified Car Following and Lane Changing Simulations Model for Autonomous Vehicle on Highway, SAE Technical Paper, 1/1647, 2018.
- [57] S. J. Rao, T. Seitz, V. R. Lanka, G. Forkenbrock Analysis and Mathematical Modeling of Car-following behavior of Automated Vehicles for Safety Evaluation, 2019.
- [58] M. Zhu, Y. Wang, , J. Hu, X. Wang, R. Ke, Safe, Efficient, and Comfortable Velocity Control based on Reinforcement Learning for Autonomous Driving, Arşiv: 1902.00089, 2019.
- [59] Y. Ye, X. Zhang, J. Sun, Automated Vehicle's Behavior Decision Making Using Deep Reinforcement Learning And High-Fidelity Simulation Environment, Arşiv: 1804.06264, 2018.

- [60] M. Klawtanong, S. Limkumnerd , Dissipation of Traffic Congestion Using Agent-Based Car-Following Model With Modified Optimal Velocity, Arşiv : 1901.06058, 2019.
- [61] S. Gong , L. Du, Cooperative Platoon Control For A Mixed Traffic Flow Including Human Drive Vehicles and Connected and Autonomous Vehicles, Transportation research part B: methodological, 116/ 25-61, 2018.
- [62] G. Newell, A Simplified Car-Following Theory: A Lower Order Model, Transportation Research Part B: Methodological, 3(36) , 195-205, 2002.
- [63] U. Sparmann, Spurwechselforgänge auf Zweispurigen Babrchtungsfahrbahnen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, 263, 0-106, 1978.
- [64] P. Gipps, A Model For The Structure of Lane-Changing Decisions, Transportation Research, 20 (B), 403-414, 1986.
- [65] M. M. Aydın, Çok Şeritli Yollarda Sürücü Şerit Seçim Davranışının Modellenmesi, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [66] T. Toledo, H. Koutsopoulos ve M. Ben-Akiva, Modeling Integrated Lanechanging Behavior, Transportation Research Record, (1857), 30-38, 2003.
- [67] Q. Yang ve H. Koutsopoulos, A Microscopic Traffic Simulator Forevaluation of Dynamic Traffic Management Systems, Transportation Research, 4(C), 113-129, 1996.
- [68] K. Ahmed, Modeling Drivers' Acceleration and Lane-Changing Behavior, Massachusetts: Department of Civil and Environmental Engineering of

Massachusetts Institute of Technology, 1999.

- [69] J. Hunt , G. Lyons, Modeling Dual Carriageway Lane Changing Usingneural Networks, Transportation Research-C, 2(4), 231-245, 1994.
- [70] P. Hidas, Modeling Lane Changing and Merging in Microscopic Trafficsimulation, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 10/ 351-371, 2002.
- [71] J. Wang, R. Liu , F. Montgomery, A Simulation Laboratory For Motorwaymerging Behavior, Transportation and Traffic Theory: Flows, Dynamics andHuman Interaction, 3(5), 127-140, 2005.
- [72] T. Toledo, Integrated Driving Behavior Modeling,» Department of Civil and Environmental Engineering of Massachusetts Institute ofTechnology, 2002.
- [73] C. Choudhury, M. Ben-Akiva, T. Toledo, G. Lee ve A. Rao, Modeling Cooperative Lane-Changing And Forced Merging Behavior, Proceedings of the 86th Transportation Research Board Annual Meeting; Washington, DC, 2007.
- [74] S. Tanyel, Y. Murat, Y. Alver ve P. Çalışkanelli, Kentiçi Yol Kesimlerindeki Sürücü Davranışlarının Kapasite ve Kavşak Başarımı Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Tübitak Araştırma Projesi Gelişme Raporu 1, İzmir, 2012.
- [75] R. Akçelik, SIDRA TRIP - User Guide, Akçelik & Associates Pty. Ltd., Australia, 2011.
- [76] R. Akçelik ve M. Besley, Acceleration and Deceleration Models In: 23rd, Conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITR), University of South Australia, Adelaide, Australia, 2001.

- [77] L. Breiman, A. V. Gafarian, R. Lichtenstein ve V. K. Murthy, An Experimental Analysis of Single-Lane Time Headways in Freely Flowing Traffic. In Beitrüge zur Theorie des Verkehrsflusses (W. Leutzbach and P. Baron, eds.). Referate anlässlich, 22-29, 1968.
- [78] O. Hagring, Estimation of Parameters in Distribution of Headways in Roundabouts, Journal of Transportation Engineering, 128(5) 403-411, 2002.
- [79] S. Tanyel, T. Baran ve M. Özuysal, Applicability of capacity models for single-lane roundabouts in Turkey, Journal of Transportation Engineering, no. 133(12), 647–653, 2007.
- [80] İ. Dabanlı, Türkiye'de iklim değişikliğinin yağış-sıcaklığa etkisi ve kuraklık analizi: Akarcay örneği, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği-Doktora Tezi, 2017.
- [81] P. J. Brockwell ve R. A. Davis, Introduction to Time Series and Forecasting Springer, Colorado, 1987.
- [82] J. Griffiths ve J. G. Hunt, Vehicle Headways In Urban Areas, Traffic Engineering & Control, 32(10), 458–462, 1991.
- [83] A. Al-Ghamdi, Analysis of time headways on urban roads: Case study from riyadh. Journal of Transportation Engineering: Journal of the American Society of Civil Engineering, ASCE, 4 (127), 289-294, 2001
- [84] PTV VISSIM, Traffic Simulation Software, 2020.
<https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/areas-of-application/traffic-flow-simulation/>. [Erişildi: 07 13 2020].

- [85] M. S. Chaudhry ve P. Ranjitkar, Capacity analysis of signalised intersection using micro-simulation, Doctoral Thesis, University of Auckland, 2009.
- [86] Wikipedia, GEH istatistiği, 1970.
https://en.wikipedia.org/wiki/GEH_statistic. [Erişildi: 12 08 2020].
- [87] K. Y. Göka, Seyahat Talep Matrisinin Doğrudan Tahmininde Kalibrasyon Yöntemlerinin Sınanması, Denizli: Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 2019.
- [88] DfT, Desing Manual for Roads and Bridges, Londra: Department for Transport, 1996.
- [89] O. Feldman, The GEH Measure and Quality of The Highway Assignment Models, Association for European Transport and Contributors, 1-18, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: HİKMET GAMZE İZ

Doğum Yeri: İSTANBUL

Doğum Tarihi: 09.11.1993

EĞİTİM DURUMU

Lisans: Anadolu Üniversitesi, İşletme Bölümü, 2018/

Lisans: Okan Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul-2011/2016

Lise: Pendik Lisesi, İstanbul, 2007/2011

İŞ DENEYİMİ

İstanbul Okan Üniversitesi – Proje Bursiyeri, 06/2018 – 09/2020

İstanbul Okan Üniversitesi – Öğrenci Asistan, 02/2018 - 06/2018

İLETİŞİM

hgamze.iz@gmail.com