

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENT İÇİ OTOYOLLARIN KAVŞAKSIZ KESİMLERİNDE SERBEST AKIM
HIZI VE KAPASİTEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Mustafa TANIŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

ARALIK 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENT İÇİ OTOYOLLARIN KAVŞAKSIZ KESİMLERİNDE SERBEST AKIM
HIZI VE KAPASİTEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Mustafa TANIŞ
(501022205)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT

ARALIK 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501022205 numaralı Doktora Öğrencisi **Mustafa TANIŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KENT İÇİ OTOYOLLARIN KAVŞAKSIZ KESİMLERİNDE SERBEST AKIM HIZI VE KAPASİTEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Nadir YAYLA**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yetiş Şazi MURAT
Pamukkale Üniversitesi

Prof. Dr. Ergun GEDİZLİOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. İsmail ŞAHİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **18 Kasım 2013**
Savunma Tarihi : **26 Aralık 2013**

ÖNSÖZ

Ülkemizde, özellikle nüfusun kalabalık, taşıt sayısının ve bunların yarattığı trafiğinin fazla olduğu büyük kent merkezlerinde sürücü, yolcu veya yaya olarak trafik içerisinde bulunan hemen herkesin fark ettiği durum, aşırı taşıt ve yaya trafiği ile beraberinde gelen karmaşadır. Acele eden, sağa sola koşuşturan insan kitleleri, yoğun taşıt gürültüsü, klakson sesleri, yollarda geçirilen uzun süreler, gerilen sinirler, yükselen sesler, her an tartışmaya eğilimli bir ruh hali... Trafiğin ekonomik, sosyal ve çevresel birçok soruna neden olduğu ve bu sorunların çözülmesi gerektiği ise herkesin üzerinde birleştiği bir konudur. Trafik sorunlarının nasıl çözüleceği konusunda pek çok fikir ileri sürülse ve çeşitli uygulamalar yapılsa da henüz ciddi bir sonuç alınamadığı açıktır.

Trafik karmaşasının en belirgin olduğu kentimiz şüphesiz İstanbul'dur. Bu karmaşanın nedeni olarak; uzun yıllardan beri göç alıyor olması ve beraberinde gelen çarpık kentleşme, pek çoğu bütüncül bir planın parçası olmayan yetersiz yol ağı, gerekli toplu taşıma sistemlerinden yoksun oluş, mevcut imar durumu ve kontrolsüz büyüme, bir plan çerçevesine oturtulmadan yapılan ve çoğu kez yeni talep yaratan çeşitli uygulamaların sorunu daha da büyütmeleri, vb. etkenler sayılabilir.

İstanbul'da, taşıt trafiği içerisinde araçla dolaşırken pek çok kez tıkanan trafik içerisinde kalınmış ve sorunun parçası olan bir kentli olarak zaman zaman, ulaştırma altyapısı olan yolların istemeden "ulaştırmamak" üzere tasarlanmış olabileceği düşünülmüştür. Trafikteki aksaklıklar, kent içerisindeki sokak ve caddelerde olduğu kadar, kent içerisinden geçen otoyollarda da gözlemlenmiştir. Yüksek hızlı taşıt trafiğine hizmet etmek üzere özel olarak tasarlanan otoyollardaki akımın da tıkanıyor olması, tıkanmanın nedenleri üzerinde düşünülmesine ve önerilen tez konuları arasında olmasından ötürü doktora tez konusunun otoyol trafik özellikleri olarak seçilmesine neden olmuştur.

Konu önerisi hazırlanırken otoyollardaki trafik akımının çeşitli özelliklerinin incelendiği pek çok makale olduğu görülmüştür. Üstelik bunlardan derlenen bilgilerin A.B.D.'de yıllar önce el kitabı olarak basıldığı ve bu kitabın yıllar içerisinde birçok kez yenilendiği fark edilmiştir. Ülkemizde de buna benzer bir çalışmanın yapılması, otoyollarımızın işletme özelliklerinin tanımlanması gerektiğini düşünmüştük. Böylece otoyollarda gözlemlenen tıkanmalardan, bu tıkanmalara neden olan faktörlerin belirlenmesi ve bu faktörlere ülkemiz otoyol ve trafik özelliklerini yansıtan değerler atanması konusunda bir çalışma yapma fikri doğdu.

Otoyolu oluşturan kesimlerin farklı akım özelliklerine sahip değişik kesimlerden oluşması ve bütün bu farklılıkların birlikte incelenmesindeki zorluk nedeniyle tez çalışmasını, otoyolların çoğunluğunu oluşturan temel otoyol kesimleri üzerinde gerçekleştirmenin uygun olacağı kararlaştırıldı. Trafik verisinin toplanmasındaki kısıtlı durum nedeniyle bu çalışma İstanbul kenti otoyollarının incelenmesi kapsamında ele alınmıştır. Daha kapsamlı veri ile ülkemizdeki otoyolların işletme koşulları daha iyi yansıtılabilecektir.

Bu doktora tezi, otoyolların hizmet düzeyinin belirlenmesi ve kapasite analizinde kullanılan etkin faktörlerin aldığı ve alabileceği değerlerin, ülkemizde işletilmekte olan otoyolların bir kısmının geometrik özellikleri ile trafik akım özelliklerinden yararlanılarak tahmin edilmesi hedefine yöneltilmiş temel bir çalışmadır. Sonraki yıllarda toplanacak kapsamlı yol ve trafik verileri (hatta iklim bilgileri) yardımıyla yeni tespitler eklenerek ülkemize özgü "Otoyolların Kapasitesi" adı verilebilecek bir eserin meydana gelmesini ümit ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde en az benim kadar emeği bulunan, "ağabeyim" deme cüretini gösterdiğim sevgili hocam, değerli bilim adamı Sayın Doç. Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT'e gayreti, desteği, teşviki ve sabrı için minnet ve şükranlarımı ifade etmeyi bir teşekkür nişanı ve vazife bilirim. Cesaretinizin ve pragmatik düşünme tarzınızın kişiliğimde bir çığır açtığını bilmenizi isterim.

Ayırdıkları zaman ve katkıları için Tez İzleme Komitesi ve Savunma Sınavı Jüri Heyetinde bulunan değerli öğretim üyelerine ayrıca teşekkür ederim.

İstanbul bölgesi otoyol bilgilerinin tedarik edilmesinde aracılık eden değerli dostum Dr. Ahmet Taner HERGÜNER'e, gerekli çalışma müsaadesini veren Karayolları 17. Bölge Müdür Yardımcısı Sayın Yük. Müh. Mehmet ÇETİN'e, arşiv çalışmamda sağladıkları kolaylık ve yardımları sebebiyle başta Sayın Başmühendis Metin KÜÇÜKOĞLU olmak üzere Karayolları 17. Bölge, Otoyol Etüt Proje Şubesi'nin bütün çalışanlarına samîmî teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, Karayolları 17. Bölge Trafik Yönetim Merkezi Başmühendisliği'ne, otoyol üzerinde ve gişelerde toplanan trafik bilgilerini kullanmamda sağladıkları kolaylıklardan ötürü teşekkür ederim.

İncelenen yol ağı üzerindeki trafik verilerinin temini için başvurduğum İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Trafik Kontrol Merkezi Müdürlüğü'nden Sayın Yük. Müh. Batuhan ALTUN'a değerli yardımları için teşekkür ederim.

Dostlarım Yard. Doç. Dr. Hüseyin Onur TEZCAN ile müstakbel doktorlar Ar. Gör. Şehir Yüksek Plancısı Yaşasın ERYILMAZ ve Ar. Gör. Yüksek Mühendis Mustafa YAVUZ'a ve bu yolda birlikte yürüdüğümüz mesai arkadaşlarıma yardımları ve paylaşımları için sonsuz teşekkürler, başarılar diliyorum.

Lisansüstü öğrenimim sebebiyle 2000'li yılların başından beri aralarında olmaktan şeref duyduğum ve bilgilerinden faydalandığım İTÜ İnşaat Fakültesi'nin ve Ulaştırma Anabilim Dalı'nın eski ve yeni bütün çalışanlarına ayrıca teşekkür ediyorum.

Şuan hatırlayamadığım, ancak bir şekilde üzerimde emeği bulunan herkese minnetimi ve içten teşekkürlerimi sunarım.

Varlık sebebim sevgili aileme; sabırları, maddî ve manevî teşvikleri için sonsuz teşekkürler.

"Kent İçi Otoyolların Kavşaksız Kesimlerinde Serbest Akım Hızı ve Kapasiteyi Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi" konulu doktora çalışmamın ardıl çalışmalara küçük de olsa bir katkı sağlaması beni mutlu edecektir, yararlı olmasını dilerim.

Kasım 2013

Mustafa TANIŞ
(İnşaat Yük. Müh.)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Konu.....	2
1.2 Amaç ve Hedef.....	4
1.3 Yöntem.....	4
2. OTOYOLLAR.....	5
2.1 Otoyol Tanımları	5
2.2 Otoyol Türleri.....	7
2.3 Ülkemizdeki Otoyol Ağı.....	7
2.4 Kapasite Özelliği Bakımından Otoyol Kesimleri.....	9
3. TRAFİK AKIMININ ÖZELLİKLERİ	11
3.1 Temel Akım Değişkenlerinin Ölçümü.....	11
3.1.1 Noktada Ölçme	11
3.1.1.1 Mikrodalga radar tekniği.....	12
3.1.2 Kısa kesimde ölçme	14
3.1.3 Uzun kesimde ölçme	14
3.1.4 Trafik akımında gezinen gözlemci kullanarak ölçme	15
3.1.5 Çok sayıda taşıttan edinilen eş zamanlı veriler kullanılarak ölçme	15
3.2 Temel Akım Değişkenlerinin Tanımı ve Hesaplanması.....	15
3.2.1 Hacim, akım değeri	15
3.2.2 Akım hızı	16
3.2.3 Trafik yoğunluğu.....	17
3.3 Temel Akım Değişkenleri Arasındaki İlişkiler	20
3.3.1 Hız-yoğunluk modelleri.....	20
3.3.2 Hacim-yoğunluk modelleri	26
3.3.3 Hız-hacim modelleri.....	30
3.4 Otoyollarda Trafik Akımının Özellikleri	34
3.4.1 Akım Türleri	34
3.4.1.1 Doygun olmayan akım	35
3.4.1.2 Kuyruk dağılıma akımı	35
3.4.1.3 Aşırı doygun akım	36
3.5 Otoyolların Kapasitesi	36
3.6 Otoyolların Hizmet Düzeyi	43
4. HİZMET DÜZEYİ HESABI VE KAPASİTE ANALİZİ	49
4.1 Serbest Akım Hızının Belirlenmesi	52
4.1.1 Şerit genişliği düzeltmesi.....	54

4.1.2 Kenar açıklık düzeltmesi.....	55
4.1.3 Şerit sayısı düzeltmesi.....	56
4.1.4 Katlı kavşak sıklığı düzeltmesi.....	57
4.2 Akım Değerinin Belirlenmesi	58
4.2.1 Zirve saat faktörü	58
4.2.2 Ağır taşıt düzeltmesi	59
4.2.3 Sürücü türü düzeltmesi.....	62
4.3 Yoğunluğun Hesabı ve Hizmet Düzeyinin Belirlenmesi	63
5. ÇALIŞMA ALANI, ÖZELLİKLERİ VE VERİLERİN İŞLENMESİ	67
5.1 Temel Otoyol Kesimlerinin Belirlenmesi.....	67
5.2 Tez Çalışması Kapsamında İncelenen Otoyollar	69
5.3 Trafik Verisi.....	72
5.3.1 Trafik verisinin tez çalışmasına etkisi: Çalışma alanının sınırlandırılması	72
5.3.2 Trafik verisinin zaman dilimi	76
5.3.3 Trafik verisi için uygun gözlem (kayıt) süresinin belirlenmesi.....	76
5.3.4 Talep edilen trafik verisinin kapsamı.....	77
5.3.5 Yeni veri talebi: Zaman dilimi ve gözlem süresinin değiştirilmesi	77
5.4 Yol Geometrik Verisi	79
5.4.1 Çalışma alanındaki otoyol kesimleri için yatay geometrik veriler	79
5.4.1.1 Şerit sayısı ve şerit genişliği	79
5.4.1.2 Kenar (yan) açıklık bilgisi	80
5.4.1.3 Kavşak sıklığı bilgisi	83
5.4.2 Çalışma alanındaki otoyol kesimleri için düşey geometrik veriler	86
5.4.2.1 Boyuna eğimler ve uzunlukları	86
5.5 Trafik Verisinin Tutarlılığının İncelenmesi ve 15 Dakikalık Verinin Üretilmesi.....	90
5.5.1 Algılayıcı ölçümlerinin karşılaştırılması.....	91
5.5.2 Algılayıcı kayıtlarındaki hatalı veri satırlarının ayıklanması	96
5.5.3 Eksik veri satırlarının belirlenmesi ve boş veri satırı eklenmesi	96
5.5.4 İki dakikalık trafik verisinden on beş dakikalık verinin üretilmesi	97
5.5.5 KGM-TYM'den alınan trafik verisi	98
5.5.6 Tutarlılığı sınanmış algılayıcılar.....	99
6. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE MODELLENMESİ	101
6.1 Ağır Taşıt Oranlarının Hesaplanması.....	101
6.2 Temel Otoyol Kesimlerinde Hız-Akım Değeri İlişkisinin İncelenmesi.....	104
6.2.1 Hız-akım bilgisi saçılma şekillerinin oluşturulması	104
6.2.2 Hız-akım şekillerinde aykırı değer tespiti ve kayıtlardan çıkarılması	105
6.2.3 Optimum hızların (kapasite hızlarının) belirlenmesi	108
6.2.4 Kapasite değerine eriştiği düşünülen temel otoyol kesimlerinin tespiti ...	109
6.3 Otomobil Eşdeğerliklerinin Tahmini.....	113
6.3.1 Otomobil eşdeğerliğinin belirlenmesi için korelasyon yöntemi.....	115
6.3.2 Otomobil eşdeğerliklerinin hesaplanması	121
6.3.3 Boyuna eğim ile otomobil eşdeğerliği arasındaki ilişki.....	127
6.4 Hız-Akım Fonksiyonlarının Tahmini.....	130
6.4.1 Serbest akım hızlarının tahmin edilmesi	131
6.4.2 Serbest akım hızının geometrik değişkenler ve ağır taşıt oranıyla ilişkisi	136
6.4.3 Serbest akım hızının azalmaya başladığı akım değerinin belirlenmesi	141
6.4.4 Kapasitenin belirlenmesi	143
6.4.5 Hizmet düzeyi ile ilgili değerlendirme.....	145
7. SONUÇLAR.....	147

KAYNAKLAR.....	153
ÖZGEÇMİŞ.....	159

KISALTMALAR

AADT	: Annual Average Daily Traffic (Yıllık Ortalama Günlük Trafik-YOGT)
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials (Amerikan Devlet Karayolları ve Ulaştırma Çalışanları Birliği)
AKUS	: Akıllı Ulaşım Sistemi (Intelligent Transportation System-ITS)
BFFS	: Base Free Flow Speed (Temel Serbest Akım Hızı-TSAH)
BFS	: Basic Freeway Segment (Temel Otoyol Kesimi-TOK)
bo	: Birim Otomobil (otomobil, passenger car)
bo/km/şrt	: Birim Otomobil/Kilometre/Şerit (yoğunluk birimi)
bo/sa/şrt	: Birim Otomobil/Saat/Şerit (eşdeğer trafik akımı veya kapasite birimi)
EBHA	: En Büyük Hizmet Akımı (Maximum Service Flow-MSF)
FFS	: Free Flow Speed (Serbest Akım Hızı-SAH)
HCM	: Highway Capacity Manual (Karayolları Kapasite El Kitabı)
HD	: Hizmet Düzeyi (Level of Service-LOS)
HOV	: High-Occupancy Vehicle (Yüksek Dolulukta Taşıt-YDT)
ITS	: Intelligent Transportation System (Akıllı Ulaşım Sistemi-AKUS)
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İBB-TKM	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Kontrol Merkezi
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KGM-TYM	: Karayolları Genel Müdürlüğü Trafik Yönetim Merkezi
LOS	: Level of Service (Hizmet Düzeyi-HD)
MSF	: Maximum Service Flow (En Büyük Hizmet Akımı-EBHA)
PHF	: Peak Hour Factor (Zirve Saat Faktörü-ZSF)
RTMS	: Remote Traffic Microwave Sensor (Trafik Algılayıcısı-TA)
sa	: Saat
SAH	: Serbest Akım Hızı (Free Flow Speed-FFS)
SS	: Şerit Sayısı
şrt	: Şerit
TA	: Trafik Algılayıcısı (Remote Traffic Microwave Sensor-RTMS)
TEM	: Trans European Motorway (E80) (Avrupa Geçiş Otoyolu)
TKM	: Trafik Kontrol Merkezi
TOK	: Temel Otoyol Kesimi (Basic Freeway Segment-BFS)
TRB	: Transportation Research Board (Ulaştırma Araştırmaları Kurumu)
TSAH	: Temel Serbest Akım Hızı (Base Free Flow Speed-BFFS)
tşrt	: Taşıt
tşrt/sa	: Taşıt/Saat (trafik hacmi birimi)
TYM	: Trafik Yönetim Merkezi
YDT	: Yüksek Dolulukta Taşıt (High-Occupancy Vehicle-HOV)
YOGT	: Yıllık Ortalama Günlük Trafik (Annual Average Daily Traffic-AADT)
ZSF	: Zirve Saat Faktörü (Peak Hour Factor-PHF)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1: Hız-yoğunluk modellerinden türetilen hacim-yoğunluk modelleri.	26
Çizelge 3.2: Temel otoyol kesimlerinde çeşitli SAH değerleri için kapasiteler.	40
Çizelge 3.3: TOK kesimi için hizmet düzeyi sınırlarının değişimi.	45
Çizelge 4.1: Otoyolların TOK bölgelerinde trafik şeridi genişliği için önerilen SAH düzeltmeleri.	55
Çizelge 4.2: Otoyolların TOK bölgelerinde sağ banket kenar açıklığı için önerilen SAH düzeltmeleri.	55
Çizelge 4.3: Otoyolların TOK bölgelerinde şerit sayısı için önerilen SAH düzeltmeleri.	56
Çizelge 4.4: Otoyolların TOK bölgelerinde katlı kavşak sıklığı için önerilen SAH düzeltmeleri.	57
Çizelge 4.5: Genelleştirilmiş boyuna eğimli otoyol kesimlerinde ağır taşıtlar için birim otomobil eşdeğerlikleri.	61
Çizelge 4.6: Çıkış eğimli otoyol kesimlerinde kamyon ve otobüsler için birim otomobil eşdeğerlikleri.	62
Çizelge 4.7: İniş eğimli otoyol kesimlerinde kamyon ve otobüsler için birim otomobil eşdeğerlikleri.	62
Çizelge 4.8: Temel otoyol kesimleri için hizmet düzeyi ölçütleri.	65
Çizelge 5.1: Tez çalışmasında incelenen İstanbul ilindeki otoyol kesimleri.	69
Çizelge 5.2: Trafik akım verilerine bir örnek: 61 numaralı algılayıcı raporundan bir parça.	73
Çizelge 5.3: Doğu batı eksenli otoyollar için algılayıcı bulunan TOK kesimleri (Ankara yönü).	74
Çizelge 5.4: Doğu batı eksenli otoyollar için algılayıcı bulunan TOK kesimleri (Edirne yönü).	75
Çizelge 5.5: O3 otoyolunun Mahmutbey Doğu Kavşağı ile Çatalca Kavşağı arası kesiminin Edirne yönü için kavşak bilgisi ham verisi.	85
Çizelge 5.6: Tez çalışma alanındaki doğu-batı eksenli otoyollar üzerinde algılayıcı bulunan bazı kesimler için hesaplanan kavşak sıklığı bilgisi.	86
Çizelge 5.7: O3 otoyolu düşey geometrik bilgileri.	88
Çizelge 5.8: Tez çalışma alanındaki doğu-batı eksenli otoyollarda algılayıcıların bulunduğu nokta için hesaplanan etkili ortalama boyuna eğimler.	90
Çizelge 5.9: Sınamalardan geçmiş algılayıcılar ve verisi kullanılan haftalar.	100
Çizelge 6.1: Tez çalışma alanındaki otoyollarda ücret toplama gişeleri verilerinden hesaplanan ağır taşıt oranları.	103
Çizelge 6.2: Tez çalışma alanındaki otoyollarda İBB-TKM algılayıcı verilerinden hesaplanan ağır taşıt oranları.	104
Çizelge 6.3: En büyük akım değeri gözlemlenen kesimler için optimum hızlar.	109
Çizelge 6.4: Kapasite değerlerine eriştiği düşünülen kesimler ve en büyük akım değerleri.	110

Çizelge 6.5: Hafta içi ve hafta sonu günlerde tıkanan kesimler ve en büyük akım değerleri.	113
Çizelge 6.6: Otomobil sayısı ve ağır taşıt sayısı değişkenleri arasındaki korelasyon katsayısı (327-2 algılayıcısı).	119
Çizelge 6.7: Kapasite değerlerinde işletildiği öngörülen kesimler için otomobil eşdeğerliği hesabında kullanılacak en büyük akım değeri sayıları.	120
Çizelge 6.8: Eşdeğerlik hesabının doğrulanması için üretilmiş yapay veri dizisi. ..	123
Çizelge 6.9: Kapasitesine yakın değerlerde işletilen otoyol kesimleri için boyuna eğim, otomobil eşdeğerliği ve en büyük eşdeğer akım değeri.	126
Çizelge 6.10: Tez çalışmasında hesaplanan otomobil eşdeğerliği ile HCM tarafından önerilen değerlerin çıkış eğimli kesimler için karşılaştırılması.	129
Çizelge 6.11: Tutarlılık değerlendirmesinden geçen kesimler için serbest akım hızları ve hız-akım değeri model denklemleri.	135
Çizelge 6.12: İncelenen kesimler için serbest akım hızları ve değişkenler.	136
Çizelge 6.13: SAH ve etkili değişkenler arasındaki korelasyonlar.	137
Çizelge 6.14: SAH için geliştirilen çok değişkenli regresyon modelinde bağımsız değişkenler ve karşılık değişkeni ile olan ilişkilerinin kuvveti.	138
Çizelge 6.15: Çok değişkenli model değişkenleri, model katsayıları ve tanımlayıcı istatistikler.	139
Çizelge 6.16: Serbest akım hızını etkilemeye başlayan akım değerinin belirlenmesi için gruplama ve grup bilgileri.	141
Çizelge 6.17: Serbest akım hızlarını etkileyen akım değerleri.	142
Çizelge 6.18: Kapasitenin belirlenmesi için serbest akım hızlarına göre algılayıcı verilerinin gruplanması.	143
Çizelge 6.19: Üç farklı serbest akım hızı için kapasite değerleri.	144
Çizelge 6.20: Kapasite değerlerinin karşılaştırılması.	144

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Ülkemizdeki otoyol ağı.	8
Şekil 2.2: Otoyolların TOK bölgelerinin yol ağı içerisindeki durumu.	9
Şekil 2.3: Bir otoyolu oluşturan kesimler.	10
Şekil 3.1: Kesintisiz akımlarda temel akım değişkenleri arasındaki ilişkiler.	22
Şekil 3.2: İstatistik parametreler açısından karşılaştırılan hız-yoğunluk modelleri.	25
Şekil 3.3: Hacim-yoğunluk modelleri.	28
Şekil 3.4: Temel otoyol kesimlerinde farklı serbest akım hızları için akım yoğunluk eğrileri.	29
Şekil 3.5: Tek rejimli Greenshields hız-akım değeri modeli.	30
Şekil 3.6: Otoyollarda hız-hacim modeli.	32
Şekil 3.7: Temel otoyol kesimlerinde hız-akım değeri ilişkileri.	33
Şekil 4.1: TOK bölgesi hizmet düzeyi hesabı için gereken veriler ve hesap akışı. ...	52
Şekil 4.2: Temel otoyol kesimleri için hız-akım eğrileri ve hizmet düzeyleri.	64
Şekil 5.1: Ayrılma (solda) ve katılma (sağda) kesimlerinin ana otoyol trafiği üzerinde etkili olduğu uzunluklar.	68
Şekil 5.2: İncelenen kesimlerin (kuzeyden geçen ve koyu renk çizilmiş olan) İstanbul ili karayolu ağı içerisindeki konumu.	70
Şekil 5.3: İncelenen kesimlerin İstanbul ili otoyol-ekspresyol ağı içerisindeki konumu.	71
Şekil 5.4: Tez konusu kapsamındaki otoyol kesimleri boyunca algılayıcı adları ve yerleri.	77
Şekil 5.5: O3 otoyolu Kınalı Kavşağı (Km 80+650) ile Hadımköy Kavşağı (Km 28+816) arası tip enkesidi.	81
Şekil 5.6: O3 otoyolu Hadımköy Kavşağı (Km 28+816) ile Mahmutbey Kavşağı (Km 8+678) arası tip enkesidi.	81
Şekil 5.7: O2 otoyolu Mahmutbey Kavşağı (Km 0+000) ile Metris Kavşağı (Km 3+500) arası tip enkesidi.	81
Şekil 5.8: O2 otoyolu Metris Kavşağı (Km 3+500) ile Kozyatağı Kavşağı (Km 36+020) arası tip enkesidi.	82
Şekil 5.9: O4 otoyolu Anadolu Otoyolu Kavşağı (Km 4+000) ile Gebze Kavşağı (Km 44+300) arası tip enkesidi.	82
Şekil 5.10: Trafik verisinin işlenmesi aşamaları.	91
Şekil 5.11: TOK bölgesinde bir tek algılayıcı olması.	94
Şekil 5.12: TOK bölgesinde iki algılayıcının olması.	94
Şekil 5.13: TOK bölgesinde üç ve daha fazla algılayıcının olması.	95
Şekil 5.14: İncelenen otoyol kesimleri üzerinde bulunan ve tutarlılığı sınanan algılayıcılar ve elenme aşamaları.	99
Şekil 6.1: İBB-TKM algılayıcı kayıtlarında görülen saçılma örnekleri.	106
Şekil 6.2: Zaman ekseninde 346-1 numaralı algılayıcıda kaydedilen hız bilgisinin günlük değişimi.	108
Şekil 6.3: Örnek bir kesitteki hız-akım değeri şekli ve optimum hız kararı.	109

Şekil 6.4: 280-1 numaralı algılayıcı trafik verisinin hafta içi günler (üstte) ile Cumartesi günlerinde (altta) saçılma şekli.	112
Şekil 6.5: Otomobil sayısı ve ağır taşıt sayısı değişkenleri arasındaki korelasyon katsayılarının dizideki veri sayısına bağlı olarak değişimi (327-2 numaralı algılayıcı verisinin tamamı).	118
Şekil 6.6: Otomobil sayısı ve ağır taşıt sayısı değişkenleri arasındaki korelasyon katsayılarının dizideki veri sayısına bağlı olarak değişimi (ilk 100 veri).	120
Şekil 6.7: Aykırı değerleri atılan otomobil-ağır taşıt sayısı çiftlerinin saçılma şekli, regresyon doğrusu, regresyon denklemi ve belirlilik katsayısı.	122
Şekil 6.8: Yapay veri üzerinde regresyon ilişkisi, otomobil eşdeğerliği ve gözlemlenen en büyük akım değeri.	124
Şekil 6.9: Yapay veri üzerinde regresyon ilişkisi, otomobil eşdeğerliği ve gözlemlenen en büyük akım değeri (aykırı değerli durum).	125
Şekil 6.10: Otoyolun iniş (solda) ve çıkış (sağda) kesimleri için hesaplanan otomobil eşdeğerliği ile boyuna eğim değişkenleri arasındaki doğrusal ilişki.	127
Şekil 6.11: Otoyol kesimleri için hesaplanan otomobil eşdeğerliği ile boyuna eğim değişkenleri arasındaki doğrusal olmayan ilişki.	128
Şekil 6.12: Otomobil biriminde akım için tıkanma olayının görüldüğü (üstte) ve görülmediği (altta) örnek iki kesim.	131
Şekil 6.13: Korelasyon eğrisi (üstte), saçılma şekli ve regresyon denklemleri (altta).	133
Şekil 6.14: Hız-akım fonksiyonları ve serbest akım hızının belirlenme şekli.	134
Şekil 6.15: Çok değişkenli regresyon modelinde boyuna eğimin SAH'a etkisi.	140
Şekil 6.16: Hızın akımdan etkilenmeye başladığı akım değerlerinin regresyon tekniği ile tahmin edilmesi.	142
Şekil 6.17: Geliştirilen akım değeri-hız modelleri.	145

KENT İÇİ OTOYOLLARIN KAVŞAKSIZ KESİMLERİNDE SERBEST AKIM HIZI VE KAPASİTEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, bir kısmı İstanbul ili içerisinde yer alan TEM Otoyolu'nun yaklaşık 100 km uzunluğundaki kesimi, her iki trafik yönü için ayrı ayrı olmak üzere gerçekleşen serbest akım hızlarının tahmini ve kapasite özellikleri açısından incelenmiştir. İnceleme; otoyolun bütününde değil, Temel Otoyol Kesimi adı verilen kavşaksız kesimleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Böyle bir inceleme için gerekli olan trafik verisi ve yol geometrik verisi iki farklı kurumdan alınmıştır. İncelenen kesimdeki taşıt trafiğini yansıtan veriler, RTMS® (remote traffic microwave sensor) adı verilen algılayıcılar kullanılarak İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nce toplanmakta olan toplam taşıt sayıları, ağır taşıt sayıları, akım hızları ve işgal oranları verileridir. Otoyolların inşa özelliklerini gösteren geometrik veriler ise Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü'nden alınan yatay ve düşey tasarım bilgileridir.

Serbest akım hızı ve kapasiteyi etkileyen; şerit sayısı, şerit genişliği, katlı kavşak sıklığı, yanal açıklıklar, boyuna eğim, ağır taşıt oranı ve sürücü türü faktörleri incelenmiştir.

Temel otoyol kesimleri, anayol akımının katılma ve ayrılma hareketlerinin akım özellikleri üzerindeki olumsuz etkilerinden uzak kesimlerdir. Katılma ve ayrılma hareketlerinin akım üzerinde etkili oldukları mesafenin sınır değeri olarak HCM-2000'de verilen 450 m değeri kullanılmıştır. Giriş ve çıkış rampalarına 450 m veya daha az uzaklıkta bulunan algılayıcıların topladığı trafik verisi çalışmada kullanılmamıştır.

Algılayıcılar, 2 dakika zaman aralığı içerisinde her bir şeritten geçen toplam taşıt sayısı, uzun taşıt sayısı, taşıtların ortalama hızı ve işgal oranı bilgilerini ölçmektedir.

İstanbul ili geneli için havanın yağışsız ve görüşün açık olduğu ve yaz mevsimi günlerine karşı gelen 6-13 Temmuz 2010 (8 günlük süre) ile 28 Temmuz -3 Ağustos 2010 (7 günlük süre) olmak üzere toplam 15 günlük veri kaydı kullanılmıştır.

Tezdeki bulguların literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılabilmesi için algılayıcıların kaydettiği 2 dakikalık veriden 15 dakikalık veri dizileri üretilmiş; bu işlem taşıt sayısı, akım hızı ve işgal değerleri için gerçekleştirilmiştir.

Otoyolların ilgilenilen kesimlerine ait geometrik bilgiler, 19 Mart - 5 Mayıs 2010 tarihleri arasında gerçekleştirilen arşiv araştırması ile İstanbul'daki otoyollar ve karayolu boğaz geçişlerinin işletilmesinden sorumlu KGM 17. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Otoyolların üzerinde çalışılan kesimi, tek yönde 2, 3 ve 4 şerit olan farklı bölgelerden oluşmaktadır. Ancak tek yönde 2 şeridin olduğu kesimler, kent çeperlerinde olduğundan kapasite değerlerine ulaşmamış dolayısıyla bazı faktörlerin hesabında kullanılmamıştır.

İncelenen bölgedeki otoyolların tamamı 3,75 m şerit genişliğine sahiptir. Bu nedenle şerit genişliği değişimlerin kapasite üzerindeki etkisinin incelenmesi mümkün olmamıştır.

Çalışmada, sürücülere en yakın nesne olan çelik bariyerlere kadarki uzaklık, yani "emniyet şeridi genişliği", kenar açıklık değeri olarak alınmıştır. O2 ile O3 otoyollarında emniyet şeridi genişliği 3,0 m ve O4 otoyolunda ise 3,2 m genişliğindedir.

Kavşak sıklığı hesabında HCM-2000'de önerilenden farklı olarak hem giriş hem de çıkış rampaları kavşak olarak değerlendirilmiştir. İncelenen otoyolların önemli bir kesiminin kent içinde kalması nedeniyle çıkış rampaları mahallelere bağlanmış durumdadır. Mahalle içerisindeki yollarda oluşan kuyrukların zaman zaman otoyol akımını etkileyecek şekilde otoyola kadar uzaması nedeniyle çıkış rampaları da kavşak olarak değerlendirilmiştir. Ancak otoyol kenarlarında yer alan polis kontrol cepleri, dinlenme tesisleri, park ve bekleme alanları, kimyasal madde kontrol alanları, ağır taşıtların yasal hareket zamanının gelmesi için bekletildiği alanlar gibi bölgelerden otoyola yapılacak giriş ve çıkışların önemli bir trafik yaratmayacağı düşünülmüş ve bu kesimler kavşak sıklığı hesabında kullanılmamıştır.

İncelenen otoyol kesimleri içerisindeki bölgelerden olan O2 otoyolunda en büyük boyuna eğim %3,0 ve uzunluğu 1239 metre, O3 otoyolunda en büyük boyuna eğim %4,679 ve uzunluğu 1283 metre ve O4 otoyolunda en büyük boyuna eğim %3,376 ve uzunluğu 550 metre olduğu görülmüştür. Ancak bütün kesimlerde trafik talebi kapasiteye erişmediğinden, boyuna eğime bağlı değerlendirmelerde bu değerlerin bazıları kullanılamamıştır.

Trafik verisinin doğruluğunun sınanması amacıyla temel otoyol kesimleri üzerinde bulunan ve verisi temin edilen algılayıcı kayıtları incelenmiş; aynı akımı ölçen algılayıcıların kayıtları karşılaştırılmış, hatalı veriler ayıklanmış, eksik veri satırları belirlenip verilerin zaman kaymasına uğramaması için boş satırlar eklenmiştir.

Trafik verilerinde, kullanılan algılayıcının teknolojisi gereği, ağır taşıtlar; ortalama taşıt boyunun belirli bir katı sınır değeri olarak kabul edilip bu değerin üzerinde bir uzunluğa sahip olan taşıtlar olarak sınıflandırılmaktadır. Hem taşıt sınıflarını belirleyen sınır değerinin bilinmiyor olması hem de uzunluğun ağır taşıt tanımını tam olarak karşılamaması nedeniyle ağır taşıt oranlarının belirlenmesinde KGM gişe verilerinden de faydalanılmıştır. Gişe verilerine göre motosiklet ve otomobil dışında kalan ve dingilleri arasındaki açıklık 3,2 metre veya daha fazla olan iki dingilli taşıtlar ile üç ve daha fazla dingile sahip taşıtların trafik içerisindeki oranı % 19-22 arasında değişmektedir. Bu verilerle uyumlu uzun taşıt bilgisine sahip olan algılayıcıların kayıtları kullanılmıştır. Bu yöntem kullanılarak bazı algılayıcıların bulunduğu kesimler çalışma dışında tutulmuş ve eleme yapıldıktan sonra kalan veriler içerisinde ağır taşıt oranı değerlerinin yaklaşık %15 ile %23 arasında değiştiği görülmüştür.

Kent içi otoyolların kavşaksız kesimlerinin serbest akım hızı ve kapasiteyi etkileyen faktörlere ülkemiz yol ve trafik özelliklerini temsil eden değerler tahmin edilmesine yönelik bu tez çalışmasında, incelenen kesimlerin özellikleri çerçevesinde çeşitli sonuçlara ulaşılmıştır.

Şişeboynu etkisinde olmayan ve kapasitesine eriştiği belirlenen hız-akım fonksiyonlarının gözlemlendiği kesimlerde, hafta içi ve gündüz saatlerinde en büyük akım değerinin 1882-2287 tş/sa/şrt değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Hafta

sonu için en büyük akım değeri ise 1814-2069 tş/sa/şrt değerleri arasında gerçekleşmiştir. Bu değerlerin literatürde verilen değerlerden düşük olduğu, bu durumun sürücülerimizin otoyolları etkin bir düzeyde kullanmadığının bir göstergesi olabileceği düşünülmüştür. Sürücülerimizde sıkça gördüğümüz şerit takip etmeme, sık şerit değiştirme, ortalama akım hızından çok yüksek seyrederek daha kısa sürede yolculuğunu tamamlama isteği gibi davranışların akımda düzensizliklere ve dalgalanmalara yol açarak kapasite kaybına sebep olduğu düşünülmektedir.

Hafta sonu ve hafta içi aynı kesimde gözlemlenen en büyük akım değerlerinin birbirine oranları hesaplandığında, bu oranın 0,82-0,97 arasında değerler aldığı görülmüştür. Zorunlu yolculukları gerçekleştiren sürücüler ile zorunlu olmayan yolculukları gerçekleştiren sürücülerin kapasiteyi etkin kullanma konusunda farklılık gösterdiği literatürde belirtilmiştir. Temel otoyol kesimlerinin hizmet düzeyi hesabı ve kapasite analizinde ülkemiz yol ve trafik özelliklerini yansıtmak için sürücü türü değişkenine 0,82-0,97 arasındaki değerlerin atanabileceği düşünülmektedir.

İstanbul ili kent geçiş otoyollarında toplam taşıt trafiği içerisinde ağır taşıt oranlarının payının % 15-23 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu aralıkta değişen ağır taşıt oranlarının serbest akım hızını etkilediğine dair anlamlı istatistiksel bir ilişki bulunamamıştır.

İncelenen kesimlere ait trafik verisinin hız – akım değeri ilişkisini gösteren saçılma şekilleri değerlendirilmiştir. Bu şekiller yardımıyla kapasite hızları belirlenmiş ve bu hızların 70-100 km/sa değerleri arasında değiştiği görülmüştür.

İncelenen otoyollar üzerindeki her bir temel otoyol kesimi için ağır taşıtların otomobil eşdeğerlikleri hesaplanmıştır. Bulunan otomobil eşdeğerlikleri kullanılarak otoyolun boyuna eğimi ile eşdeğerlikler arasında genel bir bağıntının var olup olmadığını incelemiştir.

İncelenen kesimler tek tek ele alındığında serbest akım hızlarının, 85-114 km/sa değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Akım değeri ile SAH arasındaki ilişki, veriler 5 km/sa genişliğindeki kümelerle ayrılarak incelenmiştir.

Temel otoyol kesimlerinde 90, 100 ve 110 km/sa değerindeki serbest akım hızları için hızın azalmaya başladığı akım değeri olarak sırasıyla 1430, 1350 ve 1290 bo/sa/şrt değerleri önerilmiştir.

Serbest akım hızını etkileyen faktörlerin (şerit sayısı, SS; boyuna eğim, BE; katlı kavşak sıklığı, KKS; ağır taşıt oranı) korelasyon matrisi incelenmiş ve SAH bağımlı değişkeni için çok değişkenli regresyon modeli geliştirilmiştir.

Banket genişliğinin sürüş özelliklerini etkileyecek kadar küçük olmadığı görüldüğünden SAH'ı etkileyen geometrik değişkenler arasında yer almamıştır.

Hesaplanan korelasyon matrisinde SAH ile ağır taşıt oranı arasında çok zayıf bir ilişki olduğu görülmüştür. Bu nedenle ağır taşıt oranı değişkeni SAH değerini etkileyen değişkenler arasında yer almamıştır.

Bulunan çok değişkenli regresyon modeli, Denklem 1'de verilmiştir. Model boyuna eğimin %3'ten küçük ve şerit sayısının 3 veya 4 olduğu otoyol kesimleri için daha uygundur.

$$SAH = -0,604BE^2 - 0,742BE - 17,624KKS + 4,152SS + 97,167 \quad (1)$$

Temel otoyol kesimlerinde kapasiteler, Denklem 2'de verilen hız (U) - akım değeri (Q) fonksiyonlarında, hız yerine kapasite hızının (optimum hızın) konulmasıyla elde edilmiştir. Bu fonksiyonlar farklı serbest akım hızı (SAH) değerleri için farklı formlarda hesaplanmıştır.

$$\text{SAH} = 90 \text{ km/sa ve } Q \geq 1430 \text{ bo/sa/şrt için } U = -0,0000106Q^2 + 0,0190157Q + 83,5$$

$$\text{SAH} = 100 \text{ km/sa ve } Q \geq 1350 \text{ bo/sa/şrt için } U = -0,0000154Q^2 + 0,0324018Q + 84,7 \quad (2)$$

$$\text{SAH} = 110 \text{ km/sa ve } Q \geq 1290 \text{ bo/sa/şrt için } U = -0,0000183Q^2 + 0,0423365Q + 85,4$$

Temel otoyol kesimlerinde 90, 100 ve 110 km/sa değerindeki serbest akım hızları için bulunan kapasite hızları (70, 80, 90 km/sa) ve Denklem 2'deki bağıntılar yardımıyla hesaplanan kapasite değerleri sırasıyla 2340, 2240 ve 2200 bo/sa/şrt değerleri önerilmektedir. Bu kapasite değerlerine karşılık gelen optimum yoğunluklar ise sırasıyla 33, 28 ve 24 bo/km/şrt şeklinde hesaplanmıştır. HCM'nin farklı SAH'lar için tek bir optimum yoğunluk değeri (28 bo/sa/şrt) verdiği bilinmektedir. İstanbul ili genelindeki otoyollar için optimum yoğunluğunun tek bir değer olmadığı, farklı SAH'lar için farklı değerlerde olduğu görülmüştür.

AN INVESTIGATION OF THE FACTORS AFFECTING THE FREE FLOW SPEED AND CAPACITY FOR BASIC FREEWAY SEGMENTS OF URBAN FREEWAYS

SUMMARY

This study analyses various attributes of the capacity of a 100 km-segment of the TEM (Trans European Motorway) for both traffic directions. The investigation is held only for the non-interchanged segments, referred as Basic Freeway Segments, of the freeway rather than the others like weaving, on-ramp and off-ramp segments. The data employed to represent the traffic conditions are determined as total number of vehicles and number of heavy-vehicles travelling, travel speeds and occupancy obtained from the RTMS[®] (remote traffic microwave sensor) devices installed by the Municipality of Istanbul in order to observe and record various information about the traffic. Moreover, the geometrical data that represent the design attributes of the freeways were selected as the horizontal and vertical alignment data acquired from 17th District Department of the General Directorate of Highways.

This thesis is organized at seven different sections. The problem solved, the methods solving the problem and the aim of study are introduced at the first section. The definitions of freeway, types of freeway and the freeway facilities at the different capacity characteristics (i.e., basic freeway segment, merge segment, diverge segment) are given at the second section. The characteristics of vehicular flow and their measurement methods, and the models between the characteristics are collected at the third section. The method about the level of service and capacity analysis explaining in HCM-2000 is presented at the fourth section. The geometric properties of freeway segments studied are given and the methods of eliminating of traffic data are introduced at the fifth section. The values of the factors affecting free flow speed and capacity at a basic freeway segment of urban freeways in Turkey are estimated at the sixth section. The results founded and some offers are given and future studies are called to mind at the last section.

The factors, that is, the number of lane, lane width, interchange density, lateral clearance, grade, heavy vehicle percentage and driver population, affecting the free flow speed and capacity for basic freeway segments were investigated.

Basic freeway segment is a section not affected by merge, diverge and weaving movements. The influence area length of merge and diverge movements on the freeway flow were taken as 450 meters suggested at Highway Capacity Manual-2000.

The RTMS sensor records the number of total vehicle count, the number of long vehicle count, average speed of vehicle passing and percent occupancy in a two-minute time interval.

The traffic data were collected at 15-day periods of summer season on the weeks of July 6-13 and July 28 – August 3 of 2010 because the weather wasn't rainy and sight distance was clear.

The 15-minute time interval data including the number of vehicle, flow speed and percent occupancy were produced with 2-minute time interval data in order to compare the findings of the study with the results in the literature.

The geometric data about the freeway segments concerned were obtained from 17th District Department of the General Directorate of Highways on the days of March 19-May 5, 2010.

The freeways investigated have two, three or four lanes on each direction. But, the two-lane segments were not taken into account some calculations of factors affecting the free flow speed and capacity because they were not congested.

The all freeway segments investigated have a 3.75 meters lane width. Because of this reason, the influence of lane width changes on the capacity of segments is not estimated.

In the study, the shoulder width was taken as a value of lateral clearance. The shoulder has a 3-meter width for O2-freeway, and also O3-freeway and a 3.2-meter width for O4-freeway.

Either entrance ramps or exit ramps are taken into account of calculating interchange density opposing the suggestion in HCM-2000.

The maximum grade is a 3.0% with a 1239 meters length for on the O2-freeway, a 4.679% with a 1283 meters length for on the O3-freeway and also a 3.376% with a 550 meters length for on the O4-freeway. But, some of these values were not taken into account some calculations related to grades because all segments are not near at capacity.

For testing consistency of traffic data, the records of sensors on the basic freeway segment and also their data obtained were investigated and compared. The misleading data on the records are cleared.

The maximum flow rate has the values between 1882 and 2287 pc/h/ln on the segments not influenced by a bottleneck and near at their capacity on a weekdays. On the other hand, on a weekend, the maximum flow rate has the values between 1814 and 2069 pc/h/ln.

The ratio of heavy vehicles to total vehicle count was found at a value of 15-23% on the freeway investigated in İstanbul.

The passenger car equivalents of heavy vehicles were estimated in every basic freeway segment of freeway investigated. By using the equivalents found, the relation in general between grades and equivalents was examined.

The free flow speeds changing between 85 and 114 km/h were produced at the different segments of freeway focused. Also, the relation between flow rates and the free flow speed of the segments was obtained.

The flow rates causing decrease at the speeds were calculated as a values of 1430, 1350, and 1290 pc/h/ln at a basic freeway segment for the free flow speeds of 90, 100, and 110 km/h respectively.

The correlation matrix was obtained for the factors affecting the free flow speed (i.e., grade, G; interchange density, ID; number of lane, N) of a segment and then, multi-variable regression model was estimated for dependent variable of free flow speed.

The shoulder width variable has not influence on free flow speed because it is too large to affect the driver comfort.

According to correlation matrix, the relation between free flow speed (FFS) and heavy vehicle percentage factor was found too weak and meaningless, so the heavy vehicle factor was extracted among the effective factor affecting free flow speed.

The multi-variable regression model obtained is given Equation 1. The model is useful for the segments have a 3% grade and 3 or 4 lane each direction.

$$FFS = -0,604G^2 - 0,742G - 17,624ID + 4,152N + 97,167 \quad (1)$$

The capacity of a basic freeway segment was calculated by putting the estimated speed at capacity instead of speed on the speed (U) - flow rate (Q) function given Equation 2. These functions were generated at different forms for the free flow speed each.

$$\text{For FFS} = 90 \text{ km/h and } Q \geq 1430 \text{ pc/h/ln, } U = -0,0000106Q^2 + 0,0190157Q + 83,5$$

$$\text{For FFS} = 100 \text{ km/h and } Q \geq 1350 \text{ pc/h/ln, } U = -0,0000154Q^2 + 0,0324018Q + 84,7 \quad (2)$$

$$\text{For FFS} = 110 \text{ km/h and } Q \geq 1290 \text{ pc/h/ln, } U = -0,0000183Q^2 + 0,0423365Q + 85,4$$

By using the speeds at capacity (70, 80, and 90 km/h) and the relation in Equation 2, the capacity values of a 2340, 2240, and 2200 pc/h/ln at a basic freeway segment were calculated for the free flow speed of a 90, 100, and 110 km/h respectively. Corresponding optimum densities for these capacities were calculated as a value of 33, 28, and 24 pc/km/ln respectively.

1. GİRİŞ

Tez, yedi bölüm üzerine kurgulanmıştır. İlk bölümde; çözülmeye çalışılan sorun, bu sorunun çözümünde kullanılacak yöntem ve ulaşılmaya çalışılan hedef belirtilmiştir. Otoyol tanımları, türleri ve kapasite özelliği açısından otoyol kesimleri ikinci bölümde verilmiştir. Üçüncü bölümde; trafik akım özellikleri, ölçüm yöntemleri, trafik akım değişkenleri ve aralarındaki ilişkiler, otoyollardaki akım türleri, hizmet düzeyi ve kapasite kavramları açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, temel otoyol kesimlerinde hizmet düzeyi ve kapasite analizinin nasıl yapıldığı, HCM'de anlatıldığı şekliyle verilmiştir. Beşinci bölümde, çalışılan otoyol kesimlerinin geometrik özellikleri verilmiş ve bu kesimlerde elde edilen trafik verisinin işlenmesi açıklanmıştır. Serbest akım hızı ve kapasite üzerinde etkili olan faktörlerin alabileceği ülkemize özgü değerlerin hesabı, tahmini ve değerlendirilmesi altıncı bölümde sunulmuştur. Son bölümde ise tez çalışmasından elde edilen sonuçlar bir arada verilmiş, bazı önerilerde bulunulmuş ve çalışılan konunun genişletilmesi için yapılması gereken çalışmalara yer verilmiştir.

Otoyol, devlet yolu ve il yolu olarak sınıflandırılmış toplam 65.382 km uzunluğunda karayolu ağı ile hızlı ve geleneksel hatlardan oluşan 12.000 km uzunluğunda demiryolu ağı, ülkemizde kara ulaştırması altyapısı olarak hizmet etmektedir (Url-1; Url-2).

Ekonomik ve sosyal gelişmeler ile gelişen yolculuk ihtiyaçları mevcut yolların hizmet niteliklerinin gözden geçirilmesini ve yeni yolların inşasını gerektirmektedir. Bu ihtiyaçların hangi altyapı türüne yatırım yapılarak giderilebileceği öngörüsü; seçeneklerin maliyet ve teknik yapılabilirliklerine bakılmasını gerektiren idari bir karardır. Ancak yeni yolların inşa kararı, bu yolların yolculuk ihtiyaçlarını karşılamada en temel özellikleri olan hizmet hacimlerinin bilinmesini gerektirmektedir. Hizmet hacimlerinin hangi faktörlere bağlı olarak değiştiğinin bilinmesi, ihtiyaca uygun yol altyapısının planlanmasında, inşa edilecek yolun geometrik özelliklerinin belirlenmesinde ve mevcut bir yolun verdiği hizmetin yeterliliğinin tespitinde etkilidir.

Otoyolların hizmet hacimlerinin bilinmesi, plânlama sırasında göz önünde tutulursa etkili bir yol ağı oluşturulmasını beraberinde getirecektir. Mevcut otoyolların hizmet düzeylerinin ne olduğu, mevcut yolda bir süre sonra talep artışına bağlı olarak kapasite (arz) arttırılmasının gerekip gerekmediği, yeni yapılacak bir otoyolun belirli bir hizmet düzeyinde işletilmesi için gereken şerit sayısının saptanması gibi soruların cevaplanması gerekmektedir. Yolun kapasitesinin ve buna etkiyen faktörlerin bilinmesi, bu sorulara doğru cevaplar verilebilmesini sağlayacaktır.

Bir bölgede otoyol ihtiyacının olup olmadığının araştırılması ve tespiti ayrı bir süreçtir. Ancak ihtiyacın var olduğu sonucuna ulaşıldığında, diğer bütün mühendislik yapıları gibi, bu otoyolun planlanması gerekecektir. Planlama aşamasında topografyaya bağlı olarak tasarım hızı, dönemeç yarıçapı ve boyuna eğim değerlerine karar verilecek, bu değerlerle yapılan tasarım sonunda otoyola ait bütün geometrik özellikler belirlenmiş olacaktır.

1.1 Konu

Ülkemizde otoyolların yatırım ve yapım kararı hükümetlerce alınmakta; planlaması ve genel tasarım standartları Karayolları Genel Müdürlüğü merkez teşkilatınca belirlenmekte; tasarım ayrıntıları, inşa ve imalatı ise açılan ihaleyi kazanan özel sektör yüklenicileri tarafından gerçekleştirilmektedir. Planlama ve tasarım sırasında gerek idarenin gerekse yüklenicinin teknik elemanlarının başvuracağı ve tasarımın ana çizgilerini ortaya koyacağı (kaynak olabilecek) el kitapları, genellikle Amerika Birleşik Devletleri kurum veya kuruluşları tarafından yayımlanmış eserlerin orijinal metinleri veya bunların Türkçeye çevirileri olmaktadır. Bu eserlerden en yaygın olanları, TRB (Transportation Research Board) tarafından yayınlanan Karayolları Kapasite El Kitabı (Highway Capacity Manual-HCM) ile AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) tarafından yayınlanan Yolların Geometrik Tasarım İlkeleri (A Policy on Geometric Design of Highways and Streets – "Greenbook") kitaplarıdır. Her iki kaynakta da yol ve trafik şartları ile sürücü (insan) davranışı açısından (tavsiye edilen bilgilerin hesabında) Kuzey Amerika'daki özelliklerin dikkate alındığı belirtilmektedir (TRB, 2000; AASHTO, 2001). Bu kaynaklarda, farklı türden yolların planlanma ve tasarımında dikkat edilecek hususlar yer almaktadır. Dolayısıyla aynı kaynaklar, otoyollar için de

geometrik tasarım, kapasite ve kapasiteyi etkileyen faktörler gibi konularda; çeşitli çizelgelerden, bağıntılardan ve ifadelerden yararlanarak bilgiler vermektedir.

Otoyolların planlaması ve tasarımı aşamasında kaynak olarak kullanılan bu kitaplarda belirtilen şartların, ülkemizdeki yol ve trafik şartları ile sürücü davranışlarından farklı özellik gösterebileceği ihtimali akla gelmektedir. Doktora tezi olarak sunulan bu çalışma, söz konusu ihtimalin ne derece gerçekleşmiş olabileceği sorusuna cevap bulmayı hedeflemektedir. Özetle bu tezde, otoyolların kapasitesine etkileyen faktörler ve bunların ülkemiz özelliklerini yansıtan değerleri konu edilmiştir.

Bir otoyolun kavşaklar arasındaki kısmı, Temel Otoyol Kesimi (TOK) veya kesimleridir. Giriş ve Çıkış Kesimleri; otoyolun, karayolu altyapısını oluşturan diğer tesisler ile taşıt trafiği alışverişini sağlar. Bütün bu kesimlerin kapasiteleri, etkin değişkenler ve hesap adımları açısından, farklı özellikler gösterirler. TOK bölgelerinin kapasitesi, diğer kesimlerce kısıtlansa dahi, otoyolun bütününün kapasitesinin ne olduğunu ifade etmede birer "anma" (nominal) değeridir. Hem bu özelliği hem de bir otoyolu oluşturan bütün kesimlerin kapasitesinin tek bir tez kapsamında incelenmesi zorluğu sebebiyle tez konusu, otoyolların TOK olarak adlandırılan bölgeleri ile sınırlandırılmıştır.

Bu tez kapsamında incelenen yol kesimi, ülke otoyol ağı içerisinde TEM Otoyolu (Trans European Motorway-Avrupa Geçiş Otoyolu) olarak bilinen ve Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından (batıdan doğuya doğru) O3, O2 ve O4 olarak adlandırılmış olan, Avrupa yol ağı içerisindeki adı ile E80 yolunun (İstanbul ili içerisinde kalan) belirli bir kısmıdır.

Bir otoyolun işletme koşullarını etkileyen faktörlerin incelenebilmesi için iki ana veriye ihtiyaç duyulur. İlki, yola ait geometrik veriler; ikincisi ise, yolu kullanan taşıtların tür ve sayısı ile trafik akımının özelliklerini gösteren trafik verileridir. İnceleme alanının sınırlandırılmış olmasının sebebi, ihtiyaç duyulan ikinci veri türü olan trafik verisinin ülkemizin bütün otoyolları için temin edilememiş olmasıdır. Böylece tezin inceleme sahası, otoyolların kent geçen bölümlerindeki TOK bölgelerinin (kavşaksız kesimlerinin) akım özelliklerinin incelenmesi, şeklinde sınırlandırılmıştır.

1.2 Amaç ve Hedef

Ülkemizde planlanan, tasarlanan ve işletilmekte olan otoyolların kapasitelerinin analizinde ve hizmet düzeylerinin hesabında kullanılan değişkenlerin (faktörlerin) ülkemiz şartlarını yansıtan değerlerinin elde edilmesi amaçlanmıştır.

Tezde, incelenen TOK kesimlerinin analizinden elde edilen sonuçların, otoyolların diğer kesimleri üzerinde yapılacak sonraki çalışmaların sonuçlarıyla birleştirilerek, ülkemiz otoyollarına özgü, "Otoyolların Kapasitesi" adı verilebilecek bir çalışmaya, temel teşkil etmesi hedeflenmiştir.

1.3 Yöntem

Açıklanan amaca yönelik olarak, konu kapsamına giren kesimlerden toplanan otoyol geometrik verileri ile trafik akım verileri temelde sayısal bir değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Verilerin olasılık ve istatistik yöntemler kullanılarak süzülmesi, incelenmesi ve sınanmasından sonra çeşitli analiz ve testlerde kullanılması yoluna gidilmiştir. Böylelikle, incelenen kesim şartlarını göz ardı etmeden ülkemiz otoyollarının planlama, tasarım ve işletilmesinde kullanılabilecek bazı bilgiler elde edilmiş ve tez sonunda sunulmuştur.

2. OTOYOLLAR

Taşıt ve yaya trafiğinin kullanımı için oluşturulmuş kamuya açık alanlar olarak tanımlanan karayolu; daha yüksek seyir hızı, iyileştirilmiş güvenlik düzeyi ve yüksek trafik hacmi istendiği durumlarda, çeşitli düzenlemelerle bölünmüş yol, ekspres yol ve otoyol olarak adlandırılan, belirli nitelikleri olan, özelleşmiş yol türleri şeklini alır. Belirtilen iyi niteliklerin sağlanabilmesi için karayoluna geometrik düzenlemeler yanında, "erişim kontrolü" uygulamasının yapılması gerekir.

2.1 Otoyol Tanımları

Erişim kontrolü; bir karayoluna, yol dışından veya diğer yollardan ulaşılmasına çeşitli düzenlemeler getirerek önceliğin anayol trafiğine verilmesi demektir. Erişim kontrolü kısmen veya tamamen uygulanabilir. Karayollarına erişim kontrolünün kısmen uygulanması, niteliği iyileştirilmiş "ekspresyol" (expressway) adı verilen yol türünün, tamamen uygulanması ise "otoyol" (freeway, motorway) adı verilen yol türünün tanımlanıp geliştirilmesine neden olmuştur (HRB, 1965; TRB, 2000).

AASHTO (2001), tam erişim kontrolünü; karayoluna erişimi sağlayan giriş ve çıkış rampalarının seçilmiş bazı yollara uygulanması, diğer yollar ile eşdüzey kesişmelere ve karayoluna komşu özel mülkiyet alanlarından yola doğrudan erişilmesine izin verilmemesi olarak tanımlamıştır. Kısmî erişim kontrolünde ise giriş-çıkış rampaları seçilmiş bazı yollara uygulanırken, bazı durumlarda, eşdüzey kesişmelere ve özel mülkiyet alanlarından yola erişilmesine izin verilir (Normann ve Walker, 1949; Umar, 1951; Yalgın, 1975; AASHTO, 2001).

11 Haziran 1972 tarih ve 14212 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan 1593 sayılı Erişme Kontrollü Karayolu Kanunu (Url-3) ile 18 Ekim 1983 tarih ve 18915 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu’nda (Url-4) erişme kontrollü karayolu tanımı yapılmıştır.

İlgili kanunlara göre erişme kontrollü karayolu (otoyol-ekspresyol); özellikle transit trafiğe tahsis edilen; belirli yerler ve şartlar dışında giriş ve çıkışın yasaklandığı;

yaya, hayvan ve motorsuz taşıtların giremediği; ancak izin verilen motorlu taşıtların yararlandığı ve trafiğin özel kontrole tabi tutulduğu karayolu olarak tanımlanmıştır.

TRB (2000) otoyolu, belirli tip taşıt trafiğinin kullanımına her bir yönde iki veya daha fazla şeridin tahsis edildiği, tam erişim kontrollü bölünmüş karayolları olarak tanımlanmıştır. Bu tür yollar, kesintisiz trafik akımına sahiptir. Sinyalli kavşakların ve denetimli eşdüzey kavşakların bulunmadığı, kendisine doğrudan erişimin olmadığı, kendisinden de karayolu ağına geçişin denetimsiz olarak yapılamadığı karayollarıdır. Otoyola katılma ve otoyoldan ayrılma hareketlerinin yalnızca giriş ve çıkış rampalarından gerçekleştirildiği yollardır.

Tarım traktörleri, bisiklet, moped, motor hacmi 50 cm³'den daha küçük olan motosikletler, vb. gibi bazı taşıt türlerinin bu tür yollar üzerindeki hareketi kesinlikle yasaklanmıştır. Otoyol alanına giren arazi parçası tel örgülerle sınırlanarak bu yasak fizikî engelle de desteklenmiştir. Otoyola girmesine izin verilen trafiğin bu yola giriş ve çıkışları, ana trafiği hiçbir şekilde kesmeyecek şekilde yalnızca ayrılma ve katılma hareketleri ile düzenlenmiştir. Otoyolun diğer yollara bağlanması durumunda bu bağlantılar alt ve üst geçitler şeklinde farklı düzeyde kavşaklarla sağlanmaktadır. İki yönlü trafik birbirinden orta ayırıcı (refüj) ile otoyol boyunca bütünüyle ayrılmıştır. Otoyolun geometrik özellikleri, yüksek hız ve kapasite sağlayacak şekilde belirlenmiştir.

Farklı tanımlar da yapılabilir. Yapılacak tanımlarda; erişimin sınırlandırılmış olması, yolu kullanacak taşıt sınıflarının sınırlandırılmış olması, eşdüzey kavşakların bulunmaması, vb. nitelikler, öne çıkacak önemli özellikler olacaktır.

Otoyollardaki işletme şartları esası itibarıyla, trafik akımı içerisindeki taşıtların ve sürücülerin birbirleri ile etkileşimlerinin ve bu öğelerin otoyolun geometrik özellikleri ile etkileşimlerinin sonucudur. Bunun dışında işletme; aydınlatma ve hava durumu gibi çevre şartlarından, kaplama durumundan, ücret toplama yerlerinden ve akımı etkileyecek aksaklıkların varlığından da etkilenir. Otoyollar birbiriyle ve diğer karayolu altyapısı ile etkileşir. Etkileştiği yollardan otoyola giren akımın bir şekilde kısılması (girişte aşırı talebinin oluşması veya otoyola giriş kontrolünün uygulanması) otoyol performansını etkileyecektir. Öte yandan, otoyoldan ayrılan trafiğin mevcut karayolu tarafından taşınamayacak kadar fazla olduğu durumlarda oluşan kuyruğun otoyola kadar uzaması da otoyol performansı etkilenir (TRB, 2000).

2.2 Otoyol Türleri

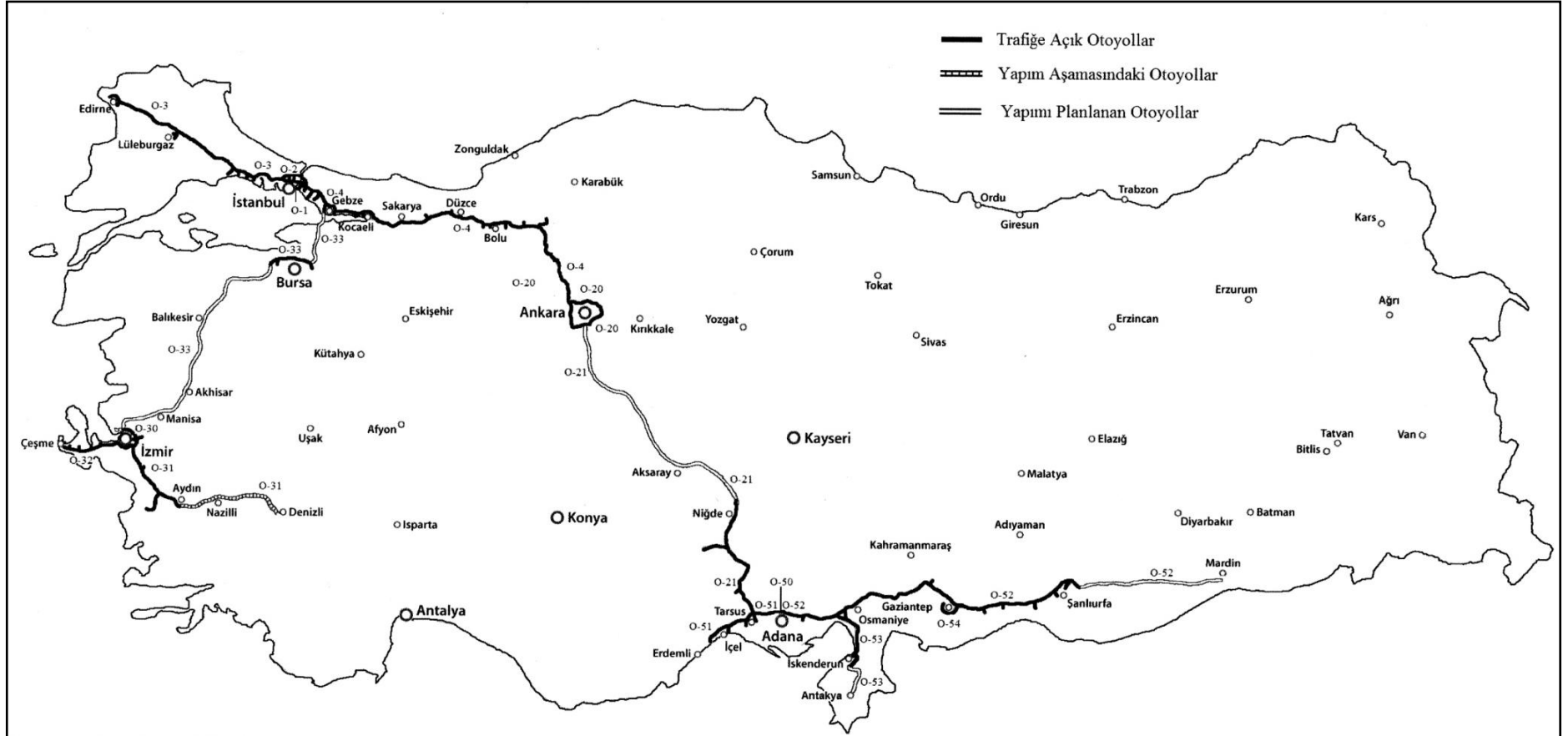
Otoyolların geçtiği bölgelerden; imar faaliyetlerinin seyrek görüldüğü, düşük yoğunluklu iskân (konut) ve istihdam (işyeri) alanları "kırsal" (rural); iskân ve istihdam alanlarının iç içe geçtiği ve işyerlerinin yalnızca kendi bölgelerine hizmet için tasarlandığı alanlar "banliyö" (suburban) ve yüksek istihdam imkânı sunan yoğun nüfusa sahip alanlarsa "kent" (urban) olarak adlandırılır (TRB, 2000).

Otoyollar; yerleşim bölgelerinden geçişte "kent içi otoyol" (urban freeway), yerleşim bölgelerine yaklaşma ve uzaklaşmalarda "kent dışı otoyol" (suburban freeway) ve yerleşim bölgeleri dışında "kırsal otoyol" (rural freeway) olarak adlandırılmaktadır (TRB, 2000). Bunlara ek olarak KGM, yerleşim bölgelerini otoyola bağlayan veya anayolları otoyola bağlayan kısa otoyol kesimlerine "bağlantı otoyolu" adını vermektedir.

2.3 Ülkemizdeki Otoyol Ağı

Ülkemizde KGM'nin sorumluluğunda bulunan; otoyol, devlet yolu ve il yolu toplamı 65.382 km uzunluğundaki karayolu ağının, 2.127 km ile yaklaşık %3'ünü otoyollar oluşturmaktadır (Url-1). Bu otoyolların 406 km olan bölümü İstanbul ili sınırları içerisindedir. İstanbul ili sınırları içerisindeki otoyolların 117 km uzunluğundaki kısmının işletme sorumluluğu, 8 Kasım 2004 tarihli protokol ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne devredilmiştir. Geri kalan 289 km uzunluğundaki bölüm ise KGM tarafından işletilmektedir. KGM tarafından işletilen otoyolların, yaklaşık, 152 km'si anayol, 33 km'si bağlantı yolu ve 104 km'si kavşak koludur (KGM, 2009).

Şekil 2.1'de, 2013 yılı itibariyle ülkemizde işletilmekte olan, inşa halinde bulunan ve yapılması planlanan otoyollar görülmektedir (Url-5). 15 Mart 2013 tarihi itibariyle ülkemizde KGM tarafından işletilmekte olan toplam otoyol miktarı 2127 km uzunluğa erişmiştir (Url-6).

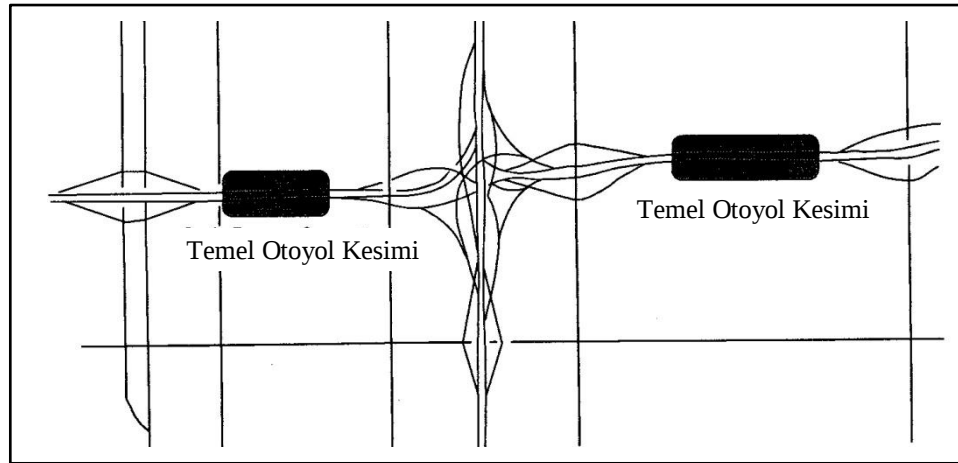


Şekil 2.1: Ülkemizdeki otoyol ağı (Ur1-5).

2.4 Kapasite Özelliği Bakımından Otoyol Kesimleri

Bir otoyol, farklı geometrik özellikler gösteren üç ayrı kesimin, birbirini izleyen farklı dizilimlerinden meydana gelebilir. Geometrik özelliği farklı olan bu kesimler; "Temel Otoyol Kesimi-TOK" (basic freeway segment), "Giriş Kesimi" (entrance, on-ramp segment) ve "Çıkış Kesimi" (exit, off-ramp segment) olarak adlandırılmaktadır. Söz konusu kesimler, otoyolun görünen şeklini oluşturan birer fizikî unsur ve tesislerdir.

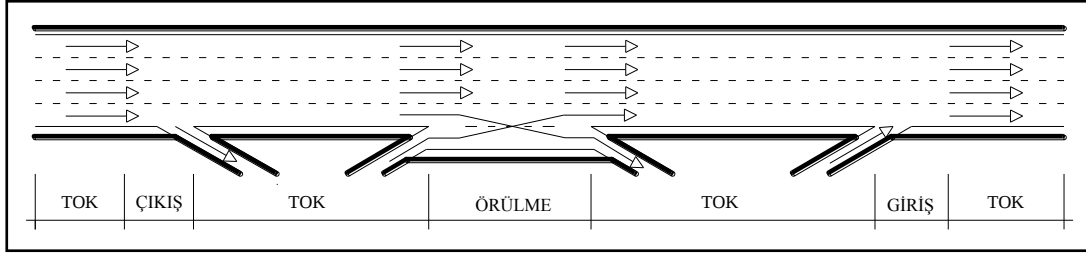
Temel Otoyol Kesimi; trafik akımı üzerinde giriş ve çıkış kesimlerinin etkilerinin söz konusu olmadığı kesimlerdir. Şekil 2.2'de, TOK bölgesinin karayolu ağı içerisindeki durumu şematik olarak verilmiştir. Şekilden, ayrılma ve katılma hareketlerinin etkilerinden uzak olan bir bölgenin temel otoyol kesimi olarak nitelendirildiği gözlemlenebilir.



Şekil 2.2: Otoyolların TOK bölgelerinin yol ağı içerisindeki durumu (TRB, 2000, p. 13-2).

Öte yandan, otoyolu oluşturan kesimler üzerinde gözlemlenen "trafik hareketlerine" farklı adlar verilmektedir. Giriş kesimini kullanarak ana yol akımına erişmeye çalışan taşıt trafiği hareketine "katılma" (merge); ana yol akımından uzaklaşmaya çalışan taşıt trafiği hareketine "ayrılma" (diverge) adı verilir. Bir giriş kesiminden sonra gelen ve bu kesimin etkili derecede yakınında bulunan bir çıkış kesiminin bulunması ve bu iki kesimin bir yardımcı şeritle birbirine bağlanması durumunda, farklı yönlere gitmek isteyen taşıt trafiği akımlarının birbirleri içerisinde geçmeleri ile oluşan harekete ise "örülme" (weaving) adı verilmektedir. Örülme hareketinin görüldüğü kesime de "örülme kesimi" (weaving segment) adı verilir. Örülme kesimi, fizikî bir unsur olmamakla beraber farklı kapasite özelliği sebebiyle diğer otoyol

kesimlerinden ayrı değerdendirilen bir kesimdir. Şekil 2.3'te bir otoyolu oluşturan kesimler görölmektedir (TRB, 2000).



Şekil 2.3: Bir otoyolu oluşturan kesimler (TRB, 2000, p. 13-26).

HCM, gerek çıkış kesimindeki ayrılma hareketinin gerekse giriş kesimindeki katılma hareketinin ana yol trafiğı üzerindeki etkilerinin görölebileceğı uzunluklar için çeşitli değerdler önermiştir.

3. TRAFİK AKIMININ ÖZELLİKLERİ

Makroskobik trafik çözümlemesinde; temel akım değişkenleri olan akım değeri (trafik hacmi), akım hızı ve yoğunluk (işgal oranı) değişkenlerinin belirlenmesi için trafik akım ölçümleri olan yol, zaman ve taşıt sayısının gözlemlenmesi gerekir. Bu gözlemler sonucunda yol-zaman şekilleri çizilerek temel akım değişkenleri olan akım değeri, akım hızı ve yoğunluk bilgisi elde edilir.

Temel akım değişkenlerinin tanımı ve değerlendirmesi, değişkenin ölçüm yöntemleri ile yakından ilişkilidir (Gerlough ve Huber, 1975). Bu nedenle değişkenlerin neler olduğu belirtilmeden ölçüm yöntemlerinin verilmesi yararlı olacaktır.

3.1 Temel Akım Değişkenlerinin Ölçümü

Gerlough ve Huber (1975), temel akım değişkenlerinin ölçüm yöntemlerini, "bir noktada yapılan ölçümler, bir uzunluk boyunca yapılan ölçümler ve hareketli gözlemci kullanılarak yapılan ölçümler" olarak vermiştir. Gartner ve diğ. (2001) ise temel akım değişkenlerinin ölçüm yöntemlerini; "noktada ölçme, kısa kesimde ölçme, uzun kesimde ölçme, trafik akımında gezinen gözlemci kullanarak ölçme ve çok sayıda taşıttan eş zamanlı gelen kapsamlı veriler kullanılarak ölçme" olarak vermektedir. Konunun alt başlıklarında, belirtilen yöntemler, Gartner ve diğ. (2001) tarafından verilen şekliyle kısaca açıklanmıştır.

3.1.1 Noktada Ölçme

Noktada ölçme şekli (measurement at a point), trafik verilerini toplamada kullanılan ilk yöntemdir. Geçen taşıtların elle çizelgelere kaydedildiği ve hava basınçlı hortumların kullanıldığı iki tür tekniği vardır.

Noktada ölçme yöntemi kullanılarak, trafik hacmi dolayısıyla akım değerleri kolayca belirlenebilmektedir. Noktaya geliş sürelerinin kaydı tutulduğunda, zaman türünden aralığı (headway) da ölçmek mümkündür. 1960'larda nokta algılayıcıların (point detectors) kullanılmaya başlanması nedeniyle zamanla hava basınçlı hortumların kullanımı terk edilmiştir.

Nokta algılayıcılarının en yaygın kullanılan şekli indüksiyon halkası (inductive loop) olmakla birlikte mikrodalga (microwave), radar (radio detecting and ranging), fotosel (photocell), ultrason (ultrasonic), kapalı devre izleme sistemi (closed circuit television camera) gibi teknikler de bu yöntemin uygulanması sırasında kullanılmaktadır.

Hızın (dx/dt) ölçülmesi için küçükte olsa yol farkına (dx) ihtiyaç olduğundan, noktada ölçüm teknikleri içerisinde hızı ölçebilen teknikler ancak radar ve mikrodalga teknikleridir. Bu yöntemlerin işletilme frekansları, hızın ölçümü sırasında küçük de olsa (1 cm kadar) bir harekete ihtiyaç duyduğundan, duran taşıtlar dışındaki taşıtların hızlarını elde etmeye imkân sağlar. Bu iki teknikten herhangi biri yoksa hızın ölçülebilmesi için ikinci bir noktaya ihtiyaç vardır.

Kısaca bu yöntemde verilen tekniklerle akım değeri, zaman türünden aralık ve işgal oranı ile (yalnızca radar ve mikrodalga teknikleri kullanılarak) taşıt hızı ölçülebilmektedir.

3.1.1.1 Mikrodalga radar tekniği

Tez çalışmasında kullanılan trafik verisinin ölçülmesinde uygulanan teknik olduğundan, bu aşamada bu teknikten kısaca bahsedilmesinin uygun olacağı düşünülmüştür.

Radar (RADio Detection And Ranging), kapsama alanı içerisindeki cisimlere elektromanyetik sinyal gönderen ve bu cisimlerden yansıyan sinyalleri (ekoları) toplayan gereç olarak tanımlanmaktadır. Mikrodalga terimi ise gönderilen enerjinin dalga boyunun bir ölçüsü olup 1 ile 30 cm arasında değişen dalga boylarına verilen genel isimdir. Belirtilen dalga boylarına karşı gelen frekans aralığı ise 1-30 GHz (gigahertz) olarak verilmektedir. Radar anteninin verici kısmının yaydığı enerji, yol üzerinde bir taşıt geçmekteyken, bu taşıta çarparak kısmen antenin alıcı kısmına geri döner. Alıcı tarafından değerlendirilen bu dönüş enerjisi, taşıtın varlığının tespitini ve trafik değişkenlerinin hesaplanmasını sağlar (FHWA, 2006).

Mikrodalga radarları, "sürekli dalga yayan (a continuous wave, CW) Doppler dalga formu radar" ve "frekans ayarlamalı sürekli dalga yayan (a frequency modulated continuous wave, FMCW) radar" olmak üzere iki türdür. İlki, yalnızca hareketli taşıtları algılayabilen ve taşıt sayısı ile taşıt hızını ölçebilen özelliktedir. İkincisi hem duran hem de hareketli taşıtları algılayabilen; işgal oranı, taşıt sayısı, taşıt hızı, taşıt

uzunluğu ölçebilen ve taşıt sınıflaması yapabilen özelliktedir (Edde, 1993; Lawrence, 1997; FHWA, 2006). Tez çalışmasında kullanılan verileri ölçen RTMS mikrodalga radarı bu ikinci tür radarlardandır (EIS, 2003). İBB, 2004 yılından itibaren, İstanbul kenti yol ağı üzerine, üretici tarafından farklı nesiller olarak adlandırılmış olan, çok sayıda RTMS radarı yerleştirmiştir. Bu radarlar, sayısal gereksinimi azaltmak için yol kenarlarına tesis edilmiş direklere bağlanmış, böylece gerecin kapasitesine bağlı olarak bütün bir yola hâkim olacak şekilde ayarlanmıştır.

Kullanılan radarın yatay (15 derece) ve düşey (40 derece) sinyal yayma açısından dolayı radarın yol üzerinde ölçüm yapabildiği alan, eliptik bir geometriye sahiptir. Radarın algılama alanı boyu, yol enkesiti boyunca 2 m uzunlukta bölgeciklere ayrılabilen ve 8 farklı şeridi temsil edebilen 60 m uzunluğunda bir bölgedir. Bu bölgeciklerin hangilerinin ilgilenilen yol şeridini ölçeceği ise gerecin kurulumu sırasında belirlenmektedir. Radarın yol eksenine boyunca olan algılama genişliği ise eliptik geometri nedeniyle değişkendir. Bu nedenle her bir şerit için hız ölçümü yapılırken bu genişliğin etkisi bir katsayı ile hesap algoritmasını işletecek olan işlemciye tanıtılmaktadır (EIS, 2003).

Bu tür radarların çalışma prensibi kabaca şöyle açıklanabilir. Radar, taşıt yokken yol yüzeyine gönderdiği sinyalden aldığı yansıma ile algılama alanının doğal şeklini tespit etmekte ve yansıma sinyali için bir "eşik değeri" oluşturmaktadır. Yol üzerinde taşıtlar işlemekte iken yansıyan sinyal ile bu eşik değeri karşılaştırarak taşıt varlığını algılamaktadır. Algılama alanı genişliği, taşıtın bu alandan 10 milisaniye duyarlılıkla ölçülebilen geçiş süresi ve her bir şerit için algılama genişliği ve ortalama taşıt boyundan yola çıkılarak hesaplanan hız çarpanı (zone speed coefficient) kullanılarak taşıtın hızı hesaplanmaktadır. Taşıt sınıflarının belirlenmesinde kullanılacak taşıt uzunluğu sınırlarının belirlenmesi, kullanıcıya bırakılmış olup ortalama taşıt boyunun tam veya buçuklu katları şeklinde sınırlar verilebilmektedir. Ölçülen hız için ortalama taşıt uzunluğuna sahip bir taşıtın algılayıcı önünden geçiş süresi bilindiğinden bu değeri sonraki taşıt sınıfı eşiğini geçecek şekilde aşan geçiş süresine sahip taşıtlar "uzun taşıt" olarak adlandırılmaktadır. İşgal oranı ise taşıtların algılanma sürelerinin toplam süreye oranı olarak belirlenmektedir (EIS, 2003).

3.1.2 Kısa kesimde ölçme

Kısa (10 metreden küçük) kesimde ölçme yöntemleri (measurement over a short section) uygulanırken ilk trafik mühendisliği çalışmalarında hızın bulunması için öncekinin çok yakınına yerleştirilmiş ikinci bir hava basınçlı hortum kullanılmıştır. Günümüzde hızın ölçülmesinde, 5-6 m aralıklı olarak yerleştirilmiş çift indüksiyon halkası kullanılmaktadır. Aralarındaki uzaklık bilinen iki çizgi görüntüde belirlenebilirse kamera tekniği ile de hızın ölçülmesi mümkün olabilmektedir. Bu yöntemde, kullanılabilecek bütün tespit teknikleri (presence detectors) ile hacim ve aralığın ölçülmesi, bir çift algılayıcının kullanılması durumunda ise hızın ölçülmesi mümkün olmaktadır.

İndüksiyon halkaları ve mikrodalga algılayıcılar gibi nokta algılayıcılar, yol üzerinde belirli bir alanı kapsadıkları için kısa kesimde ölçme yöntemi için de birer teknik olarak değerlendirilebilirler. Bu tekniklerle işgal oranı da (occupancy) ölçülebilmektedir. İşgal oranı, kullanılan gerecin algılama alanı genişliğine bağlı olduğundan, ölçülen işgaller gereç türüne ve bu gerecin kurulma şartlarına bağlı olarak aynı trafik için kesimden kesime değişkenlik gösterebilmektedir.

Kısaca bu yöntemde verilen tekniklerle akım değeri, zaman türünden aralık, taşıt hızı ve işgal oranı ölçülebilmektedir.

3.1.3 Uzun kesimde ölçme

Uzun (en az 500 metre) kesimde ölçme yöntemleri (measurement along a length of road), hava fotoğraflarından ya da yüksek binalar veya direkler üzerindeki kamera görüntülerinden faydalanılarak uygulanır. Tek bir fotoğraf karesi ile yalnızca yoğunluk (density) ölçülebilir. Tek karede zaman kavramı olmayacağından hacim ve hız ölçülemez. Bir video görüntüsünden alınmış birkaç kare fotoğraf veya belirli bir zaman aralığı ile ardışık ve aralıklı çekim yapabilen fotoğraf makinesi mevcutsa hacim ve hız da bulunabilir.

Kapalı devre izleme tekniği, yolculuk süresini doğru olarak tespit etme üstünlüğüne rağmen, alınan görüntüyü işleyerek, uzunluğu bilinen bir kesime giren ve çıkan aynı taşıtı tanıyabilecek bir bilgisayar programına ihtiyaç duyduğundan, uzun kesimde yapılan ölçmelerde pek kullanılmamaktadır. Yolculuk süresini elde etmede, uzunca bir kesimde halka algılayıcılar kullanılarak ve taşıt veya taşıt grubunu işaretleyerek

takip etmek gibi teknikler kullanılsa da bu tür uygulamalar yaygın olarak kullanılmamaktadır.

3.1.4 Trafik akımında gezinen gözlemci kullanarak ölçme

Trafik içerisinde seyir ile ölçme yöntemi (the use an observer moving in the traffic stream) ilk çalışmalarda kullanılsa da diğer tekniklerin hâkimiyeti nedeniyle günümüzde öncelikli olarak tercih edilen bir yöntem değildir.

Ortalama araç (the floating car procedure) gezinen gözlemci ölçme tekniğinde kullanılan en yaygın yöntemdir. Bu yöntemde, trafik içerisinde seyreden bir taşıtın hızı ve yolculuk süresi bilgileri yol boyunca zamana ve konuma göre kaydedilmektedir. Burada amaç, trafiğe karışan taşıtın trafik içerisindeki taşıtlar gibi hareket etmesiye de bu yöntem ile doğru (hassas) bir ortalama hız bilgisi elde edilemez. Ancak otoyollardaki işletmenin niteliğini belirlemede karmaşık gereçler ve yöntemler gerektirmeyen etkili bir yöntemdir. Yöntemde, taşıt içerisindeki ikinci bir kişi tarafından hız ve yolculuk sürelerinin kaydedildiği bir çizelge ile ağır taşıtlarında kullanılanlara benzer bir hızölçerle (takometre, speedometer) düzeltilmiş hız kaydı tutulur. Yöntemin zayıf tarafı, hacim bilgisinden çok daha az sayıda hız bilgisi elde ediliyor olmasıdır.

3.1.5 Çok sayıda taşıttan edinilen eş zamanlı veriler kullanılarak ölçme

Çok sayıda taşıttan eş zamanlı verilerin elde edilmesi yöntemi (wide-area samples obtained simultaneously from a number of vehicles), trafik akımında gezinen gözlemci yöntemine benzemektedir. Trafik akımı içerisinde pek çok taşıtın bulunması ve bu taşıtlardan yol ağında bulunan pek çok nokta için farklı zamanlarda alınan oldukça fazla verinin temin edilmesi söz konusudur.

3.2 Temel Akım Değişkenlerinin Tanımı ve Hesaplanması

3.2.1 Hacim, akım değeri

Trafik hacmi (veya akım değeri), yolun bir noktasından veya bir kesitinden belirli bir sürede geçen taşıt sayısı olarak tanımlanır. Süre olarak genelde 1 saat alınır. Akım değeri, trafik akımının önemli makroskobik özelliklerindendir. Akımın zamana bağlı değişen özelliği nedeniyle hem bu özelliğinin vurgulanması hem de akımın

ölçüldüğü zaman aralığının belirtilebilmesi için "trafik hacmi" terimi zamanla yerini "akım" (flow) veya "akım değeri" (flow rate) ifadesine bırakmıştır (May, 1990).

TRB (2000), trafik hacmi ile akım değeri arasında, gözlem süresine dayanan bir farkın olduğunu belirtmiştir. Trafik hacminde, ilgilenilen kesimden geçen taşıt sayısı gözlemlenen (veya tahmin edilen) süre belirtilerek (yıllık, günlük, saatlik veya daha küçük süreler) verilirken; akım değeri, 1 saatten küçük sürelerde gözlemlenen hacmin saatlik değeridir ve bu nedenle birimi her zaman taşıt/saattir. Örneğin 15 dakikalık sürede 200 taşıt geçmiş ise akım değeri $[200/(15/60)] = 800$ tş/sa olarak bulunur.

Öte yandan, bir yol üzerinde seyreden taşıtların gözlem noktasına varış zamanları arasındaki süre farkları "zaman türünden aralık" (headway) olarak tanımlanır. Aralık değeri, akımın önemli mikroskobik özelliklerindendir ve bir ulaştırma sisteminin güvenliğini, hizmet düzeyini, sistemi kullanan sürücülerin davranış özelliklerini ve sistemin kapasitesini etkiler (May, 1990). Bu süre farklarının ortalaması ile trafik hacmi arasında Denklem 3.1'de verilen bir ilişki söz konusudur. Denklemden verilen 3600 sayısı, bir saatlik gözlem süresinin saniye türünde karşılığıdır. Gözlem süresi değişirse bu değer de değişecektir.

$$q_{60} = \frac{3600}{\bar{h}} \quad (3.1)$$

q_{60} : Saatlik trafik hacmi veya akım değeri, tş/sa

3600: Bir saatlik sürenin saniye olarak değeri

$\bar{h}$: Taşıtlar arası zaman türünden ortalama aralık, saniye

3.2.2 Akım hızı

Hız, yer değiştirmenin ortalama değeri olarak tanımlanır ve bir taşıtın hızı, belirli bir sürede yolun bir noktasından veya kısa bir kesiminden geçebilme yeteneğinin ölçüsüdür. Ancak trafik akım hızı söz konusu olduğunda, taşıtların tekil olarak hızları çok farklı değerler alabildiğinden akımı temsil edecek ortalama bir hızın hesaplanması gerekecektir. Bu anlamda değişik hız tanımları yapılmıştır.

Ortalama nokta hızı (average spot speed), yolun bir noktasından geçen taşıtların gözlemlenen hızlarının (aritmetik) ortalamasıdır. Bu hız, aynı zamanda, "zaman

ortalamalı hız" (time mean speed) olarak adlandırılır (TRB, 2000). Denklem 3.2'de zaman ortalamalı hızın hesap bağıntısı verilmiştir (Gerlough ve Huber, 1975; May, 1990).

$$u_{TMS} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad (3.2)$$

u_{TMS} : Zaman ortalamalı hız (time mean speed), km/sa

V_i : "i" numaralı taşıtın hızı, km/sa

n : Gözlem sayısı

Ortalama yolculuk hızı (average travel speed), yolun uzunluğu bilinen bir kısmını, taşıtların geçme sürelerinin gözlemlenmesine dayanır ve bu uzunluğun taşıtların seyir süreleri ortalamasına bölünmesi ile bulunur. Bu hız, aynı zamanda, "uzunluk ortalamalı hız" (space mean speed) olarak adlandırılır (TRB, 2000). Denklem 3.3'te uzunluk ortalamalı hızın hesap bağıntısı verilmiştir (May, 1990).

$$u_{SMS} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{V_i}} \quad (3.3)$$

u_{SMS} : Uzunluk ortalamalı hız (space mean speed), km/sa

V_i : "i" numaralı taşıtın hızı, km/sa

n: Gözlem sayısı

Uzunluk ortalamalı hız, akım hızı olarak alınmaktadır. Trafik akımındaki bütün taşıtların hızlarının aynı olması durumunda, zaman ortalamalı hız uzunluk ortalamalı hıza eşit olacaktır. Bunun dışındaki her türlü durumda, zaman ortalamalı hız, uzunluk ortalamalı hızdan daha büyük değerde olacaktır (May, 1990).

3.2.3 Trafik yoğunluğu

Trafik yoğunluğu, yolun belli bir uzunluğunu işgal eden taşıt sayısı olarak tanımlanır. Uzunluk olarak genelde tek bir şeridin 1 km uzunluğu değerlendirilir. Trafik yoğunluğu, trafik akımının temel makroskobik özelliklerindendir. Yoğunluğun belirlenmesi için genelde, yolun ilgilenilen kesimi için havadan çekilmiş bir fotoğraftaki taşıtların sayılması gerekir. Yoğunluk, ilgilenilen kesimde hiç taşıtın olmadığı durumu yansıtan değerden (sıfır yoğunluk) taşıtların tampon tampona

dizildiği ve durmuş olduğu duruma kadar çeşitli değerler alabilir. En sıkışık durumda, taşıt uzunluğuna ve taşıtlar arasındaki uzaklığa bağlı olarak trafik yoğunluğunun 115-155¹ tş/km/şrt arasında değerler alabildiği belirtilmiştir. Bu durum "tıkanıklık yoğunluğu" olarak adlandırılır. Bu durumda iki ardışık taşıtın ön tamponları arasındaki uzaklığın ortalama değeri 6,5 ile 8,7 metre arasında değişen değerler alıyor demektir. Yolda taşıt trafiğinin kapasite değerlerinde ve seyir halinde olduğu yoğunluk ise "optimum yoğunluk" adını alır ve 26-42¹ tş/km/şrt değerlerindedir ((May, 1990).

Bir yol üzerinde seyreden ardışık taşıtlardan öndeki taşıtın bilinen bir noktasından takip eden taşıtın aynı noktasına kadar olan uzaklık "uzunluk türünden aralık" (distance headway, spacing) olarak tanımlanır. Uzunluk türünden aralık değeri, trafik yoğunluğunu temsil eder ve akımın önemli mikroskobik özelliklerindendir. Trafik akımındaki aralık değeri; akımın güvenlik, hizmet düzeyi ve kapasite özellikleri düşünüldüğünde önemli bir ölçüdür. Uzunluk türünden aralık, yüksek değerlerde olduğunda, yolu kullanan sürücülere hareket serbestliği ve konfor sağlayarak yüksek hizmet düzeyinin bir göstergesi olurken kritik bir değerin altına düştüğünde, yolun kapasitesinde azalmaya neden olan bir büyüklüktür (May, 1990).

Denklem 3.4'te yoğunluk ile taşıtlar arasındaki uzunluk türünden aralığın ortalama değeri arasındaki ilişki verilmiştir (May, 1990).

$$k = \frac{1000}{\bar{d}} \quad (3.4)$$

k: Trafik yoğunluğu, tş/km/şrt

1000: Bir kilometre uzunluğun metre türünden değeri

$\bar{d}$: Taşıtlar arası uzunluk türünden aralığın ortalaması, metre

Yoğunluğun ölçülmesi ilk defa 1928 yılında, hava fotoğraflarının değerlendirilmesi ile yapılmıştır. Aralarında Greenshields'in 1934 yılında yaptığı çalışma da olmak üzere bu teknik, 1960'ların sonuna kadar uygulanmıştır. 1960'lı yıllarla beraber yoğunluk, 3 farklı teknik ile belirlenmeye başlamıştır. Bunlar sahada ölçülen hız ve akım bilgilerinden yoğunluğun $k=q/u$ denklemiyle hesaplanması, giren ve çıkan taşıt

¹ Kaynakta, bu değerler 1 mil (5280 fit) için verilmişti. Burada, 1 fit=0,3048 metre birim çevrimi yapılarak aynı değerlerin 1 km eşdeğerleri verilmiştir.

sayılarından yoğunluğun hesaplanması ve işgal oranının ölçülmesi teknikleridir. Özellikle taşıt varlığını algılayan gereçlerin geliştirilmesi ve sinyal işleme yöntemlerindeki ilerlemeler sayesinde, 1960'ların başında, yüzde olarak işgal oranının hesaplanması mümkün olabilmıştır. İşgal oranı (İÖ), yoğunluğa göre kolay ölçüldüğünden ve yol izleme ve denetim sistemlerine uygulanabildiğinden zamanla yaygınlaşmış ve yoğunluk ölçümlerinin yerini almıştır (May, 1990).

İşgal oranı kavramı, ilk kez 1961 yılında yapılan bir araştırmada, yoğunluk kavramı ile karşılaştırmak üzere kullanılmıştır (May ve diğ., 1963). Bu araştırma ekibi içerisinde yer alan Athol (1965) işgal oranını, "bir taşıtın algılayıcı önünde bulunduğu sürenin toplam gözlem süresine oranı" olarak tanımlamıştır. Örneğin 60 saniyelik gözlem süresince bir grup taşıtın algılayıcıyı meşgul ettiği (algılayıcının önünden geçtiği) toplam süre 15 sn ise işgal oranı $15/60=\%25$ bulunur. İşgal oranı, trafik akım değişkenleri arasında "noktada ölçümü yapılabilen" değişkenlerdendir.

Athol (1965), belirli bir gözlem süresinde (T), algılayıcı önünden geçen taşıt sayısı (N), taşıtların hızı (V_i) ve taşıtların uzunluğu (l_i) bilindiğinde işgal oranını Denklem 3.5'deki şekliyle vermiştir.

$$\text{İÖ} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{l_i}{V_i}}{T} \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'de, farklı taşıt uzunlukları yerine ortalama taşıt uzunluğu ($\bar{l}$) konursa ifade Denklem 3.6'daki şekle dönüşür.

$$\text{İÖ} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{\bar{l}}{V_i}}{T} = \frac{\bar{l}}{T} \sum_{i=1}^N \frac{1}{V_i} \quad (3.6)$$

Denklem 3.6'daki ifade de çeşitli cebir düzenlemeleri yapılırsa Denklem 3.7'deki şekle dönüşecektir.

$$\text{İÖ} = \frac{\bar{l}}{T} \left(\frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{V_i}}{N} \right) \cdot N = \bar{l} \frac{N}{T} \left(\frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{V_i}}{N} \right) \quad (3.7)$$

Denklem 3.7'deki ifadede parantez içindeki kısım, uzunluk ortalamalı hızın tersidir. N/T ifadesi ise trafik hacmidir. Bu ifadeler yerine, karşılıkları denklemde yerini alırsa denklem, Denklem 3.8'de verilen şeklini alacaktır.

$$iO = \bar{I} \frac{\text{hacim}}{\text{akım hızı}} \quad (3.8)$$

Bir taşıtın algılayıcı önünde bulunduğu sürenin toplam gözlem süresine oranı olarak tanımlanan işgal oranı, tek bir şerit dikkate alındığında, şerit üzerinde ilgilenilen noktadan hiçbir taşıtın geçmediği durumu gösteren "0" (sıfır) değeri ile ilgilenilen nokta veya kesimde taşıtların tamamen durmuş ve tampon tampona olduğu durumu gösteren "100" (yüz) değeri arasında değişebilen değerler alır (May, 1990).

3.3 Temel Akım Değişkenleri Arasındaki İlişkiler

Temel akım değişkenleri olan hız, yoğunluk ve hacim arasındaki ilişkiler "trafik akım modelleri" olarak adlandırılırlar. (Gerlough ve Huber, 1975). Hız-hacim-yoğunluk arasındaki ilişkilerin tespiti için yapılan ilk çalışmalarda ilişkiler, trafik akımının tek bir fonksiyonla ifade edilebilecek özellikte olduğu (single-regime model) öngörüsü ile açıklanmaya çalışılmıştır (TRB, 1985). Tek fonksiyonlu modellerin saha gözlemlerine uymadaki zorluğu, araştırmacıları; bu fonksiyonların iyileştirilmesine ve trafik akımının davranışını birden fazla fonksiyonla ifade etmeye itmiştir. Böylelikle ikili, üçlü ve daha fazla parçalı (rejimli) fonksiyonlarla hız-hacim-yoğunluk ilişkileri açıklanmaya çalışılmıştır (May, 1990). Temel akım değişkenleri arasındaki ikili ilişkileri ifade eden modeller (bivariate models) ilk çalışmalarda matematik modeller olarak geliştirilmiş, sonraki çalışmalarda saha gözlemlerine dayanan (ampirik) modeller önerilmiştir. Gözlemlere dayanan modellerin bir kısmı ilgilenilen sahaya özgü olarak kalmış, bir kısmı ise her türlü yol için önerilen "genelleştirilmiş" şekle dönüştürülmüştür (Drake ve diğ., 1967; Gartner ve diğ., 2001). Trafik akım modelleri, aralarında ilişki kurduğu değişkenlere göre, alt başlıklarda özetlenmiştir.

3.3.1 Hız-yoğunluk modelleri

Trafik akımı içerisindeki sürücülerin, kendilerini çevreleyen akım içerisindeki taşıt sayısının artmasıyla hızlarını azalttıklarının gözlemlenmesi, temel akım değişkenleri

arasındaki ilişkileri ortaya koymaya çalışan ilk çalışmaların hız-yoğunluk ilişkisi üzerine odaklanmasına neden olmuştur. Bu tür çalışmalar arasında, 1935 yılında Bruce D. Greenshields tarafından önerilen ve hız ile yoğunluk arasında tek rejimli ve doğrusal (ters) bir ilişkinin söz konusu olduğunu ifade eden çalışma ilk modeller arasında sayılır. Greenshields, hız ve yoğunluk arasında, Denklem 3.9'da eşitliği verilen bir ilişkinin var olduğunu belirtmiştir (Gerlough ve Huber, 1975).

$$u = u_f(1 - k/k_j) \quad (3.9)$$

u : Akım hızı (uzunluk ortalamalı hız), km/sa

u_f : Serbest akım hızı, km/sa

k : Yoğunluk, tş/km/şrt

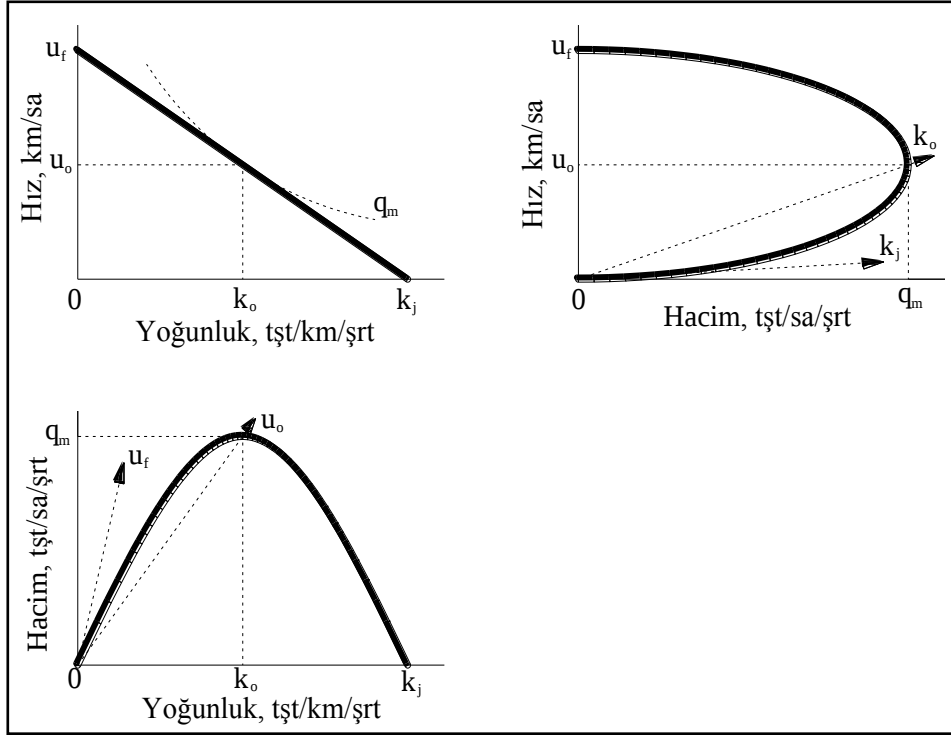
k_j : Tıkanıklık yoğunluğu, tş/km/şrt

Hız ile yoğunluk arasındaki ilişkinin sayılarla ifade edilebilmesi için serbest akım hızının ve tıkanıklık yoğunluğunun belirlenmesi/bilinmesi gerekmektedir. Serbest akım hızının sahada belirlenmesi, yolun tasarım hızı ile yasal hız sınırı arasında değerler aldığından, kolay olsa da tıkanıklık yoğunluğunun sahada belirlenmesi oldukça zordur (May, 1990).

Greenshields'in verdiği hız-yoğunluk ilişkisi ve $q=u.k$ denklemi kullanılarak hacim-yoğunluk ve hız-hacim ifadeleri türetilmiştir. Bu şekilde bulunan hız-akım-yoğunluk ilişkileri Şekil 3.1'de verilmiştir.

Şekil 3.1'de hız-yoğunluk arasında doğrusal olarak gösterilmiş basitleştirilmiş ilişkide, yoğunluk sıfıra yaklaşırken hız, serbest akım hızı (u_f) değerine yaklaşır. Yoğunluğun artışı hızda düşüğe neden olur ve akımın en büyük olduğu bir değere erişildiğinde (q_m), hız ve yoğunluk optimum değerlerine (u_o , k_o) ulaşılır. Yoğunluk daha da artınca hız ve hacim düşecek, tıkanıklık yoğunluğuna (k_j) erişilirken ise hız ve hacim de sıfıra yaklaşacaklardır (May, 1990).

Optimum hız (kapasite hızı), akım değerinin kapasiteye eriştiği andaki hız değeri olarak tanımlanmaktadır (May, 1990). Bu tanım, hızın yoğunluğun bir fonksiyonu olarak ifade edildiği makroskobik akım modeli olan Greenberg modelinde ilk kez kullanılmıştır. Benzer şekilde, optimum yoğunluk ise bir şeritteki trafik akımının kapasite değerine eriştiği andaki yoğunluk değeri olarak tanımlanır (May, 1990).



Şekil 3.1: Kesintisiz akımlarda temel akım değişkenleri arasındaki ilişkiler (Gerlough ve Huber, 1975, p. 51; May, 1990, p. 284; TRB, 2000, p. 7-5).

Bu ilişkinin basitliği ve saha gözlemlerine çoğu kez uyması üstün tarafları olmuştur (TRB, 1985). Öte yandan, verilen doğrusal hız-yoğunluk ilişkisi ile bu ilişki kullanılarak türetilen hız-hacim ve hacim-yoğunluk ilişkilerinin gözlenmiş saha verilerine uymadığını düşünenler de olmuş, böylece farklı ve saha verilerine daha uygun çalışmalar yapılmıştır.

1959 yılında H. Greenberg, tek rejimli ancak doğrusal olmayan hız-yoğunluk modeli önermiştir. Hidrodinamik benzerlik kurarak hareket ve süreklilik denklemlerini birleştirmiş ve tek boyutlu sıkıştırılabilir akımlarda geçerli olan eşitliği Denklem 3.10'da ifade edildiği şekliyle vermiştir (May, 1990).

$$u = u_o \ln(k_j/k) \quad (3.10)$$

u : Akım hızı, km/sa

u_o : Kapasite hızı (optimum hız), km/sa

k : Yoğunluk, tışt/km/şrt

k_j : Tıkanıklık yoğunluğu, tışt/km/şrt

Denklem 3.10'da verilen Greenberg'in hız-yoğunluk modeli, tıkanık akım şartlarında saha verilerine uygun düşse de yoğunluğun sıfıra yaklaştığı düşük akım şartlarında yanlış sonuçlar üretmektedir (Gerlough ve Huber, 1975). Greenberg modelinin bir diğer zayıf tarafı serbest akım hızını "sonsuz" olarak tahmin etmesidir. 1961 yılında Edie, Greenberg modelini tıkalı akım şartları için kullanılabilecek "iki rejimli" forma sokmuştur (May, 1990).

Tek rejimli hız-yoğunluk modellerinden bir diğeri, 1961 yılında Underwood tarafından önerilmiştir. Trafik akımının düşük yoğunluklu olan serbest akım bölgesinde yapılan bir çalışmadır ve Greenberg modelinde serbest akım hızının sonsuz çıkması sorununu çözen bu model Denklem 3.11'de verilmiştir (May, 1990).

$$u = u_f e^{-k/k_o} \quad (3.11)$$

u : Akım hızı, km/sa

u_f : Serbest akım hızı, km/sa

k : Yoğunluk, tş/km/şrt

k_o : Optimum yoğunluk, tş/km/şrt

Bir başka model, Northwestern Üniversitesi'nden Joseph S. Drake, Joseph L. Schofer ve Adolf D. May tarafından 1967 yılında geliştirilen S-eğrisi (belli/çan eğrisi veya normal dağılım eğrisi) adı verilen modeldir ve Denklem 3.12'de verilmiştir (May, 1990).

$$u = u_f e^{-1/2(k/k_o)^2} \quad (3.12)$$

u : Akım hızı, km/sa

u_f : Serbest akım hızı, km/sa

k : Yoğunluk, tş/km/şrt

k_o : Optimum yoğunluk, tş/km/şrt

Tek rejimli hız-yoğunluk modellerinin bir kısmı sonraki yıllarda geliştirilmiştir. Bunlardan Greenshields'in modeli, Donald R. Drew tarafından 1968 yılında geliştirilip Denklem 3.13'te verilen şekle getirilmiştir.

$$u = u_f[1 - (k/k_j)^{(n+1)/2}] \quad (3.13)$$

u : Akım hızı, km/sa

u_f : Serbest akım hızı, km/sa

k : Yoğunluk, tş/km/şrt

k_j : Tıkanıklık yoğunluğu, tş/km/şrt

n : Model parametresi (-1, 0 veya 1 değerlerini alır)

Denklem 3.13'te, n parametresinin değeri "1" olarak alındığında ifade, Greenshileds modeline dönüşmekte ve "doğrusal (linear) model" olarak adlandırılmaktadır. Aynı ifade, $n=0$ için "parabolik (parabolic) model", $n=-1$ için "üstel (exponential) model" adını almaktadır (May, 1990).

Pipes-Munjal, tek rejimli modellerin genelleştirilmesi için Denklem 3.14'te verilen ifadeyi önermiştir. Burada da $n=1$ için eşitlik, Greenshileds modeline dönüşmektedir (May, 1990).

$$u = u_f[1 - (k/k_j)^n] \quad (3.14)$$

u : Akım hızı, km/sa

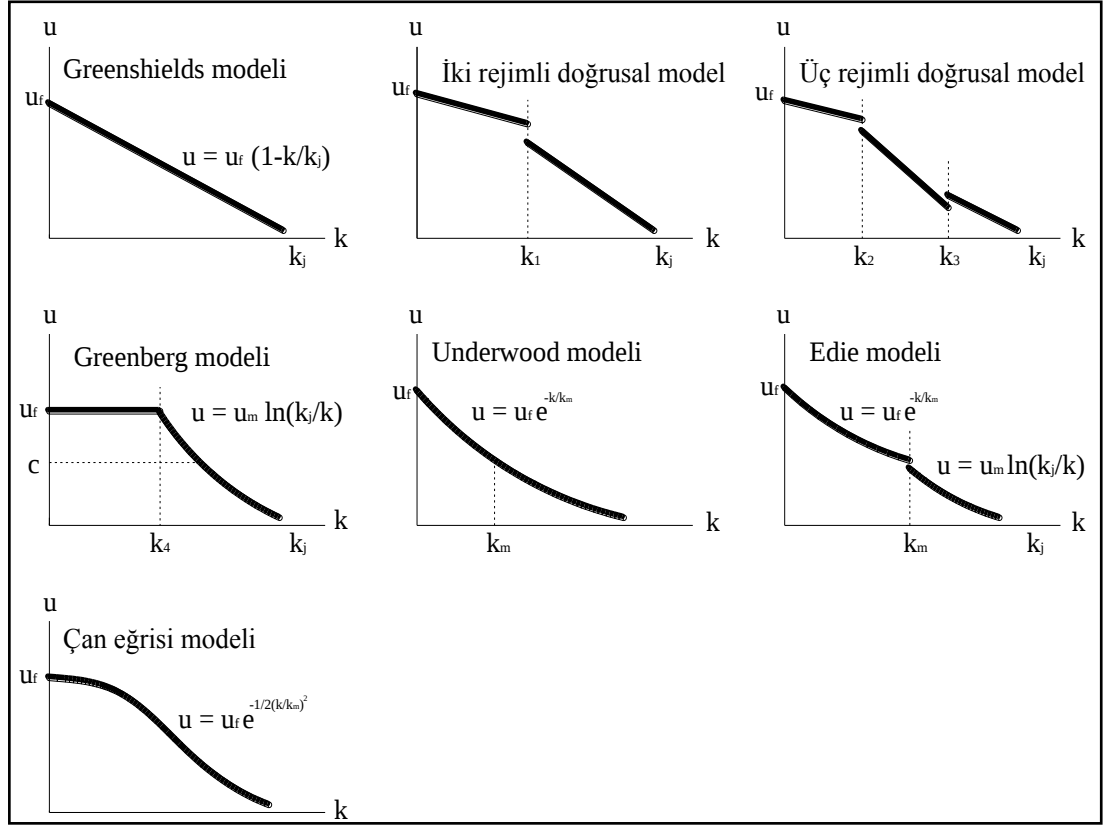
u_f : Serbest akım hızı, km/sa

k : Yoğunluk, tş/km/şrt

k_j : Tıkanıklık yoğunluğu, tş/km/şrt

n : Model parametresi (sıfırdan büyük olmak üzere "reel" sayılardır)

Drake ve diğ. (1967), üçü Denklem 3.9, Denklem 3.10 ve Denklem 3.11'de verilen modeller olmak üzere yedi farklı modeli kullanarak otoyol verisi üzerinden karşılaştırmalı istatistiksel bir değerlendirme yapmış ve modellerin üstün ve zayıf yönlerini ortaya koymuştur. Bu çalışmada istatistiksel parametreler açısından değerlendirilen modeller, Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekilden bu başlık altında söz edilen tek rejimli hız-yoğunluk modelleri de gözlemlenebilir.



Şekil 3.2: İstatistik parametreler açısından karşılaştırılan hız-yoğunluk modelleri (Drake ve diğ., 1967).

İncelenen modeller içerisinde iyi sonuçlar verdiği gözlemlenen Edie modeli ve üç rejimli doğrusal modelin gelecek çalışmalarda ayrıntılı araştırılması önerilmiştir. Bu iki modelin, ortalama serbest akım hızını düşük (u_f sırasıyla 88 km/sa ve 80 km/sa) tahmin etmiş olsalar da en büyük hacmi (q_m sırasıyla 2025 tş/sa ve 1815 tş/sa) ve en büyük tıkanıklık yoğunluğunu (k_j sırasıyla 101 tş/km ve 94 tş/km) tahmin ettikleri ve en küçük standart hataya sahip oldukları belirtilmiştir (Drake ve diğ., 1967).

Tek rejimli modellerin her birinin, yoğunluğun bir kısım değerleri için hatalı sonuçlar verdiği ve bütün modellerin kapasiteye yakın şartların hâkim olduğu durum için sahadan ölçülen verinin eğilimini takip edemediklerini belirtmiştir. Bu durum araştırmacıları, serbest akım ve tıkalı akım şartlarının ayrı ayrı ifade edildiği iki rejimli modellere yöneltmiştir (May, 1990).

Serbest akım şartlarında Underwood modelinin, tıkanık akım şartlarında Greenberg modelinin kullanılması önerisinde bulunan L. C. Edie, 1961 yılında iki rejimli model öneren ilk araştırmacı olmuştur. Drake ve diğ. (1967), Edie modeli ile birlikte iki ve üç parçalı modeller önermiş ve bu modellerin denklemleri ile süreksizlik noktalarını

(breakpoints) belirlemiştir. Bu çalışma, çok rejimli hız-yoğunluk modellerinin tek rejimlilere göre saha verilerine daha uygun olduğunu göstermiştir (May, 1990).

3.3.2 Hacim-yoğunluk modelleri

Hacim-yoğunluk modellerinin pek çoğu hız-yoğunluk modellerinden elde edilmiştir. Dolayısıyla, doğrudan hacim-yoğunluk verisinden elde edilen model oldukça az sayıdadır (Gartner ve diğ., 2001).

Gerlough ve Huber (1975), hız-yoğunluk modellerinin genel özelliklerini, aşağıda maddeler halinde belirtildiği şekliyle vermiştir.

- Akım yokken yoğunluk sıfırdır. Bu durumda hacim-yoğunluk eğrisi orijinden geçer. Uzunluk ortalamalı hızın " $u=q/k$ " şeklinde olduğu düşünülürse, eğrinin orijindeki eğimi, serbest akım hızı olacaktır.
- Gözlemler, çok yüksek yoğunluk değerlerinde taşıtların durmaya zorlandığını, bunun da akım değerini sıfır yaptığını göstermiştir. Bu durumda hacim-yoğunluk eğrisi, en büyük yoğunluk değerinde hacmin sıfır olduğu bir noktadan da geçecektir.
- Yoğunluğun sıfır olduğu nokta ile en büyük değer aldığı nokta arasında hacim-yoğunluk eğrisi, bir veya daha fazla sayıda olabilen ve en büyük akıma karşı gelen noktadan/noktalardan geçecektir. Bu durumda hacim-yoğunluk eğrisinin süreksiz olması söz konusudur.

Önceki başlıkta verilen hız-yoğunluk modelleri ve $q=k.u$ denklemi kullanılarak türetilen hacim-yoğunluk modelleri ile özellikli noktalarının aldığı değerler Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çizelgede verilen sembollerden; q_m , en büyük hacmi; k_m , en büyük hacimdeki yoğunluğu; u_m , en büyük akımdaki hızı; u_f , serbest akım hızını; k_j , tıkanıklık yoğunluğunu göstermektedir.

Çizelge 3.1: Hız-yoğunluk modellerinden türetilen hacim-yoğunluk modelleri (Gerlough ve Huber, 1975, pp. 56-58).

Hacim-Yoğunluk Modeli	Model Denklemi	Özellikli Noktalar
Greenshields	$q=u_f k - (u_f^2 k^2/k_j)$	$k_m=k_j/2$; $u_m=u_f/2$; $q_m=u_f k_j/4$
Greenberg	$q=k u_m \ln(k_j/k)$	$k_m=k_j/e$; $u_m=u_m$; $q_m=u_m k_j/e$
Underwood	$q=k u_f e^{(-k/k_m)}$	$k_m=k_m$; $u_m=u_f/e$; $q_m=k_m u_f/e$

Doğrudan hacim-yoğunluk verisinden üretilen ilk model 1961 yılında sunulan Edie modelidir. Çalışma, trafik akımının yüksek yoğunlukta ve düşük yoğunlukta farklı

davranış özelliğinde olduğu, dolayısıyla hız-yoğunluk ve hacim-yoğunluk modelinin iki parçalı olması gerektiği fikri üzerine yoğunlaşmıştır. Sonraki yıllarda hacim-yoğunluk verisi üzerinden üretilen iki rejimli modellerde temel sorun, modelin kapasite civarında saha verilerine tam olarak uygun düşmemesi ve model parametrelerinin kesimden kesime sürekli değişmesi ve aynı kesimden alınan farklı günlere ait veriler için farklı model parametrelerinin oluşması, tutarlılığının zayıf düzeyde kalmasıdır (Gerlough ve Huber, 1975; Gartner ve diğ., 2001).

Hacim-yoğunluk verisinden üretilen bir diğer model, 1983 yılında Koshi, Iwasaki ve Ohkura tarafından önerilen "ters lamda veya lamda yansıması" modelidir. Çalışmalarında bir şişboynunun yaklaşan akım yönünde yakınında (0,4 km) ve uzağında (5,7 km) olan iki kesimden toplanan veriler kullanılmış ve hacim-yoğunluk verilerinin saçılma diyagramında tıkalı akım bölgesi ile serbest akım bölgesi arasında bir süreksizlik olduğu, modelin iki parçalı olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca önerdikleri modelin (ters lamda) kısa üst kolunun yalnızca sol şeritlere ait hacim-yoğunluk verisinde gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Modellerinde kullandıkları yoğunluk değerleri; ölçülen işgal oranı bilgisi ve $k=q/u$ denkleminde hesapladıkları yoğunluk bilgisi arasında oluşturulan regresyon ilişkisinden elde edilmiştir (Hall ve diğ., 1986; Gartner ve diğ., 2001).

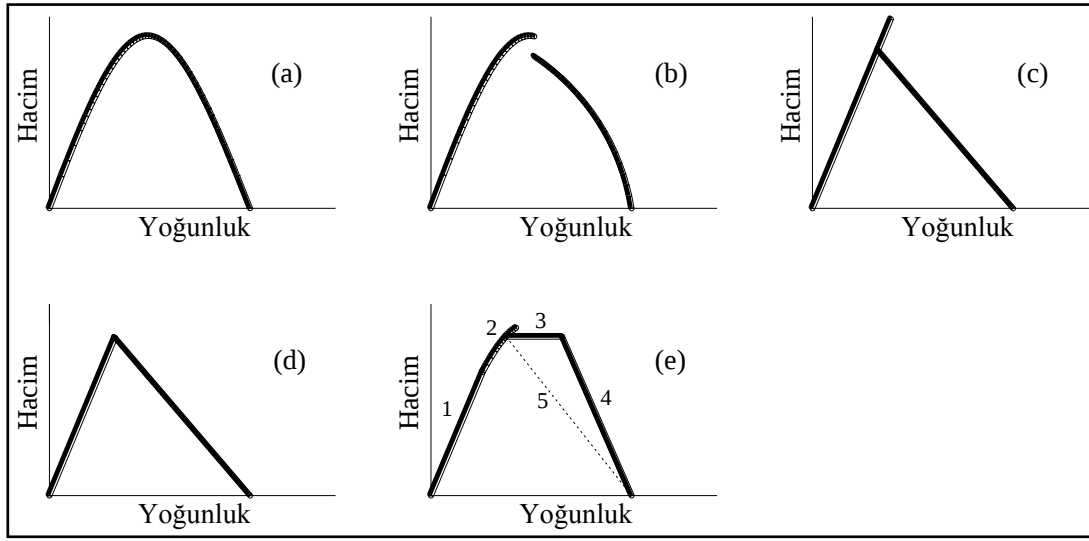
Hall ve diğ. (1986), trafik akım değişkenleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde, verinin toplandığı yerin (özellikle şişboynuna olan yakınlığının) önemli olduğunu; toplanan bütün verinin saçılma diyagramında gözlemlenmesi yerine, her bir günün ayrı ayrı gözlemlenmesinin (tıkalı akım şartlarından tıkalı olmayan akım şartlarına geçiş noktasının belirlenmesi açısından) daha uygun olduğunu; hacim-işgal oranı (veya yoğunluk) diyagramında süreksizlik olmadığını ve ilişkinin "ters-V" şeklinde bir forma sahip olduğunu belirtmiştir.

Banks (1989), ters-V şeklinde verilen hacim-yoğunluk modelini, San Diego bölgesi katılım kontrolü sisteminden topladığı veriler ile sınadığını ve model formunun saha verilerine oldukça uygun düştüğünü bildirmiştir.

Hall ve diğ. (1992), literatüre geçmiş çok sayıdaki çalışmadan elde edilen bilgilerden hareketle trafik akımını serbest akım bölgesi, tıkalı akım (kuyruk içerisindeki akım) bölgesi ve kuyruk çözülme akım bölgesi olmak üzere üç farklı rejimle açıklanabileceğini belirtmiş ve hacim-yoğunluk ilişkisini (işgal oranının yoğunluğu

temsil edebileceğini belirterek) üç parçalı olarak vermiştir. Serbest akım bölgesini temsil eden kısmının hemen bütün çalışmalarda aynı olduğu, kuyruk çözülme akım bölgesinin var olup olmadığına dair bazı şüpheler bulunduğunu, dolayısıyla kuyruktaki akımın iki seçenekli çizilebileceğini ve kuyruktaki akımın doğrusal veya biraz eğrisel (convexity) şekilde olabileceğini belirtmiştir.

Hall ve diğ. (1986), Banks (1989) ile Hall ve diğ. (1992) tarafından önceki çalışmalardan özetlenerek verilen hacim-yoğunluk modelleri, Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

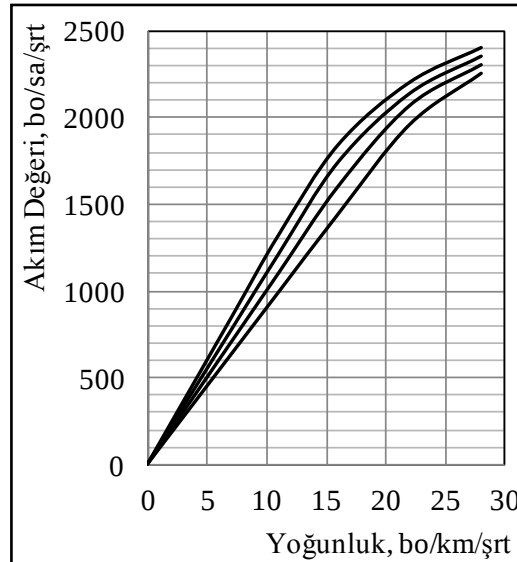


Şekil 3.3: Hacim-yoğunluk modelleri (Banks, 1989, p. 54; Hall ve diğ., 1992, p. 14).

Şekil 3.3'te, ters-U biçimine sahip olan ve "a" kısmında verilen model; Greenshields, Greenberg ve Underwood modellerinde var olan "sürekli ve türetilbilir" hacim-yoğunluk modelinin genel şeklini göstermektedir. İki parçalı olarak verilen "b" kısmındaki model ise süreksiz (parçalı) bir yapıya sahip olması yönünden Edie modeline benzerdir. Ancak Edie modelinde tıkanık ve tıkanık olmayan şartlar altında elde edilen denklemler girişim yapmaktadır (Gerlough ve Huber, 1975). Burada ise Easa (1983) modelinin formu baskındır (Hall ve diğ., 1986). Ters-lambda olarak "c" kısmında verilen form, Koshi ve diğ. (1983) tarafından önerilen modeldir. Ancak sağ kısmının az da olsa eğrisel olduğunu belirtmiştir (Hall ve diğ., 1992). Ters-V olarak "d" kısmında verilen form, Hall ve diğ. (1986) tarafından önerilen ve Banks (1989) tarafından doğrulanan modeldir. Şekilde "e" kısmında verilen son model ise Hall ve diğ. (1992) tarafından literatürdeki çalışmaların gözden geçirilmesi ile derlenen modeller bütünüdür. Burada "1" ve "2" numaralı olarak verilen model formu, tıkalı olmayan akım şartlarını göstermektedir ve yaklaşık olarak kapasitenin %75'ine kadar

olan akımlarda doğrusal, bu noktadan itibaren kapasiteye kadar olan akımlarda eğrisel (sağa hafifçe yatmış) bir biçimde olduğu belirtilmiştir (Hall ve diğ., 1992). "3" numaralı doğru kısım, kuyruk çözülme akımını göstermektedir. Bu kısmın sol ucu, taşıtlar şişboynunu geçtikten sonra yeniden arzu ettikleri hıza ulaşacaklarından serbest akım şartlarına kadar uzanmaktadır. Öte yandan sağ uç, kuyruk çözülme akımındaki işgal oranı değeri, kuyruğun baş kısmındaki değeri geçemeyeceği mantığından hareketle tıkalı akım kısmına yakın olarak sonlandırılmıştır. Tıkalı akım şartlarını temsil eden "4" ve "5" numaralı formlar, farklı araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Koshi ve diğ. (1983) ile Banks (1989), akımın en büyük değerinin hemen öncesine kadar tıkalı akım şartlarının söz konusu olduğunu belirterek "5" numaralı formu önermişlerdir. Diğer yandan, May ve diğ. (1963), tıkalı akımın kuyruk çözülme akımının hemen sağından başlaması gerektiğini belirterek "4" numaralı formu önermişlerdir.

HCM-2000 temel otoyol kesimlerinde, hem ideal şartlarda hem de hâkim şartlarda geçerli olan, yoğunluk-hacim ilişkisini farklı serbest akım hızları için Şekil 3.4'te görüldüğü haliyle vermiştir (TRB, 2000). Şekildeki hacim-yoğunluk eğrilerinin (HCM-2000'de verilen biçiminin aksine) yatay eksen yoğunluk değişkenini, dikey eksen akım değerini göstermek üzere, literatürde verilen modellere uygun biçimde gösterildiğine dikkat edilmelidir.



Şekil 3.4: Temel otoyol kesimlerinde farklı serbest akım hızları için akım-yoğunluk eğrileri (TRB, 2000, p. 13-4).

Şekil 3.4'teki eğriler, trafik yoğunluğun E hizmet düzeyine (28 bo/km/şrt) kadar olan ve doymuş olmayan akım bölgesi içerisinde kalan değerleri için akım değişkeninin aldığı değerleri gösterilmiş, aşırı doymuş akım (tıkalı akım) bölgesi gösterilmemiştir. Burada verilen bütün eğrilerin doğrusal biçimde olmadığı gözlemlenebilir. Soldaki eğri, serbest akım hızının 120 km/sa değerindeki akım değeri-yoğunluk ilişkisini gösterirken, diğer eğriler sağa doğru sırasıyla 110, 100 ve 90 km/sa değerlerindeki ilişkilerdir. Aralıktaki diğer SAH değerleri için (enterpolasyon ile) ara eğriler üretilebileceği belirtilmiştir (TRB, 2000).

3.3.3 Hız-hacim modelleri

Hız-hacim ilişkisini ortaya koyan literatüre geçmiş en eski ve önemli çalışma, 1935 yılında Bruce D. Greenshields tarafından yapılmıştır. Bu çalışma, hacim-hız-yoğunluk arasındaki bağıntı ($q=u.k$) ile aynı araştırmacı tarafından önerilmiş olan hacim-yoğunluk arasındaki doğrusal ilişkinin [$u = u_f(1-k/k_j)$] birlikte çözülmesinden türetilmiştir. Hız-hacim arasındaki ilişkiyi veren bu model Denklem 3.15'de ve Şekil 3.5'de verilmiştir (Gartner ve diğ., 2001).

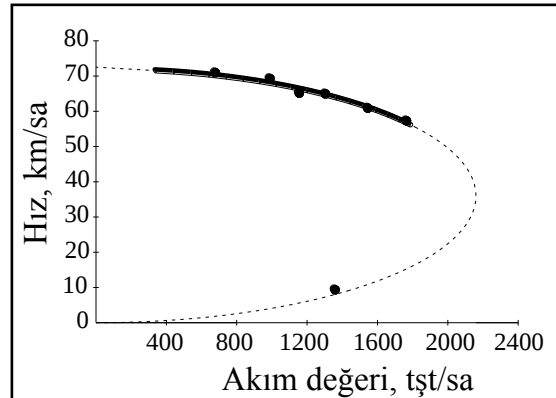
$$q = k_j(u - \frac{u^2}{u_f}) \quad (3.15)$$

q : Trafik hacmi, tşrt/sa

k_j : Tıkanıklık yoğunluğu, tşrt/km/şrt

u : Akım hızı, km/sa

u_f : Serbest akım hızı, km/sa



Şekil 3.5: Tek rejimli Greenshields hız-akım değeri modeli (Greenshields, 1935, p. 470; Gartner ve diğ., 2001, p. 2-20).

Denklem 3.15'de verilen bu model, aynı trafik hacmi için iki farklı akım hızı veren tam ve düzgün bir parabol olarak uzun yıllar trafik akım teorisi çalışmalarında kullanılmış ve farklı şekilleriyle HCM-1965 ve HCM-1985'te yer almışsa da modelin üretilme şeklinin doğru olmadığı ve sahadan alınan verilere uygun olmadığı konusunda çeşitli eleştiriler yapılmıştır (Gartner ve diğ., 2001). Ayrıca sonraki araştırmalar, hız-akım modelinin kritik hız üzerinde kalan parçasının, akım belirli değer alınca kadar, sabit bir değerde olduğunu, akımdan etkilenmediğini göstermiştir.

Duncan (1976), trafik mühendisliği alanında gerçekleştirilen pek çok çalışmada yaygın olarak kullanılan " $q=u.k$ " bağıntısının yanlış kullanımı üzerinde durmuştur. Sentetik olarak ürettiği, birbiri ile anlamlı bir ilişki olmaksızın uniform dağılan bir grup hız-hacim verisinden ilgili bağıntı ($q=u.k$) yardımıyla (dönüşüm yoluyla) "yoğunluk değerleri" üretmiş, hem orijinal hız-hacim verilerinin hem de üretilmiş hız-yoğunluk verilerinin dağılımını ve değişkenler arasındaki korelasyonu incelemiştir. Üretilen verilerin orijinal veriden "farklı dağılım gösterdiği" ve orijinal verideki değişkenler (hız ve hacim) arasında bir ilişki olmadığı halde, üretilen verideki değişkenler (hız ve yoğunluk) arasında eğilimi belli olan yapay bir ilişki oluşturulduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, aynı veriler ve ters dönüşüm kullanılarak bulunan kapasite değerlerinin birbirinden farklı olduğunu da göstermiştir. Sonuç olarak; yaptığı çalışma, $akım=hız*yoğunluk$ bağıntısında bulunan değişkenlerden herhangi iki değişkenin sahada ölçülüp diğerinin bunlar yardımıyla hesap edilmesinin doğru bir yaklaşım olmadığını ve gerçekleşmeyecek kapasite değerleri üretebildiğini ortaya koymuştur.

Duncan (1979), öncekine benzer bir çalışmayı bu defa sahada ölçülmüş gerçek veriler üzerinden yürütmüştür. Ölçülen hız-yoğunluk verisinden dönüşüm yoluyla hız-hacim verisi elde etmiştir. Uygulamada, trafik verilerinin analizinde sıkça kullanılan iki özellik olmalarına rağmen, hem hız-hacim-yoğunluk ilişkisinin bütün verileri temsil edecek tek bir bağıntı ile açıklanmasının, hem de hız-yoğunluk ilişkisinin hız-akım şekline dönüştürülmesinin yanlış olduğu, yanlış kapasite değerleri ürettiği sonucuna ulaşmıştır.

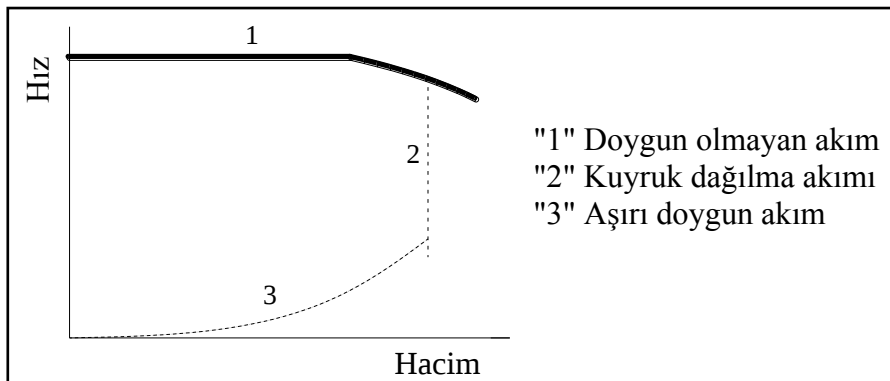
Drake ve diğ. (1967), üç rejimli doğrusal hız-yoğunluk modelinden türetilen hız-hacim modelinin kapasite hızı ve en büyük hacim konusunda iyi tahminlerde

bulunduğunu belirtmiştir. Genel olarak bu çalışmada, çok rejimli modellerin tek rejimli modellere göre daha iyi performansa sahip olduğu belirtilmiştir.

Adolf D. May ve öğrencilerinin sahadan toplanan veriye uygun düşen genelleştirilmiş trafik akım modelleri bulma gayretleri olmuşsa da her bir veri dizisi için farklı parametrelerin girilmesini gerektiren ve kapasite dolaylarındaki durumu yansıtamayan modeller geliştirilmiştir (Hall ve diğ., 1992).

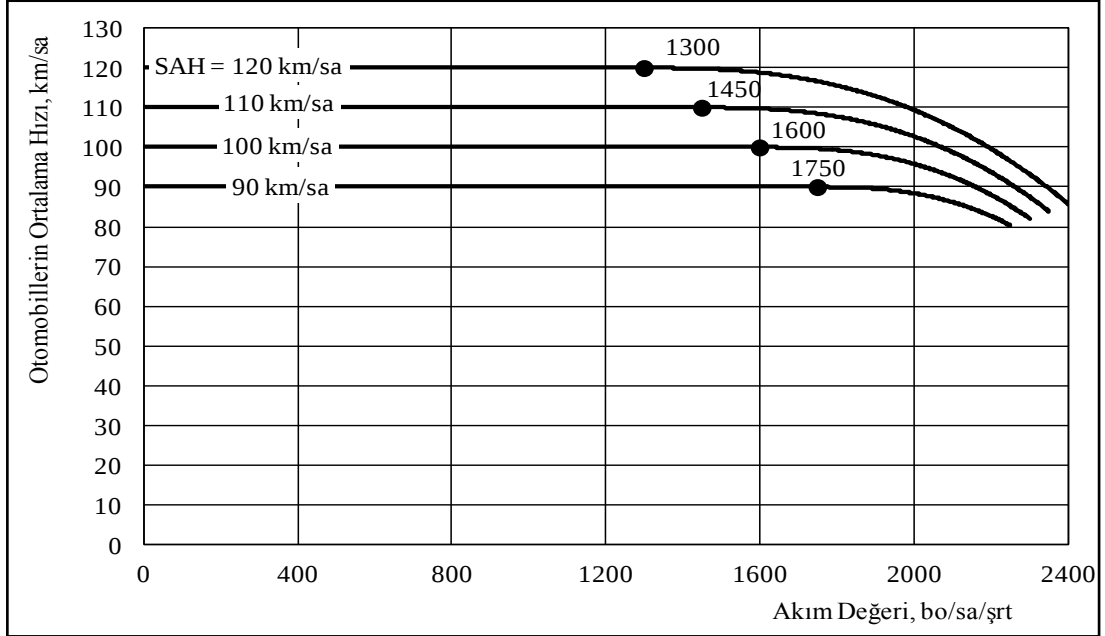
Hall ve diğ. (1992), Greenshields modellerinin dayandığı veri dizisinin yetersiz ve otoyol akımının davranışını açıklamaktan uzak olduğunu belirtmiştir. Buna göre, veriler iki yönlü ve her bir yön için birer şeridin tahsis edildiği kırsal bir yol üzerinde elde edilmiş olduğu halde, otoyollardaki akımın özelliklerini açıklamada kullanılmış olması fazla iddialı bulunmuştur. Üstelik yalnızca bir tanesi tıkalı akım bölgesinde olan toplam yedi veri kullanılarak üretilmiş ve bu bir adet yüksek yoğunluklu veri, farklı bir yol kesiminden alınmıştır. Ayrıca düşük yoğunluk değerine sahip altı veri ile yedincisi arasında hiçbir veri olmamasına karşın hız-akım arasında parabolik bir ilişkinin olduğunun iddia edilmiş olması eleştirilmiştir. Bu eleştiriler sonunda, tek rejimli hız-hacim modellerinin sahada ölçülen verilerin dağılımını doğru bir şekilde temsil etmediği, bu modellerin birden fazla rejim bölgesine ayrılmasının (parçalı olarak ifade edilmesinin) daha doğru olacağı savunulmuştur.

Böylece otoyollardaki trafik akımını temsil eden çok parçalı hız-hacim modellerinden biri Hall ve diğ. (1992) tarafından önerilmiştir. Önerilen bu model, Shoen ve diğ. (1995) katkısıyla HCM-1997 ve sonraki baskılarında hız-hacim arasındaki ilişki formunun açıklanmasında kullanılmıştır. Model, Şekil 3.6'da verilmiştir. Şekil 3.6'da hız, hacmin belirli bir değerine kadar hacimden etkilenmemekte, hacim kapasiteye eriştiğinde ise akım hızı biraz düşmektedir.



Şekil 3.6: Otoyollarda hız-hacim modeli (Hall ve diğ., 1992).

Bu modelden hareketle HCM-2000; temel otoyol kesimlerinde, hem temel şartlarda hem de hâkim şartlarda geçerli olan ve hacmin kapasiteye erişinceye kadar olan değerlerinde hız-hacim ilişkisini farklı serbest akım hızları için Şekil 3.7'de görüldüğü haliyle vermiştir.



Şekil 3.7: Temel otoyol kesimlerinde hız-akım değeri ilişkileri (TRB, 2000, p. 13-3).

Şekil 3.7'deki her bir eğrinin bir doğru (sabit) ve bir eğriden oluştukları ve birbirlerine benzerlikleri gözlemlenebilir. Farklılık, doğru kısımlarının eğriye dönüştüğü yer (bu noktalardaki akım değeri) ile eğri kesimlerinin sonlandığı yer (bu noktalardaki akım değeri ve hız) bilgisindedir. Tez çalışmasında ülkemiz otoyolları için bu eğrilerin ne şekilde değiştiği incelenmiştir.

Otoyollarda görülen hızların, akım değerinin düşük ve orta değerlerinde, akım değerinden etkilenmediği araştırmalarda görülmüştür. Şekil 3.7'de, SAH'ın 120 km/sa olduğu bir otoyolda, akımın 1300 bo/sa/şrt değerine kadar hızın sabit olduğu; daha düşük SAH'lar için hızın sabit olduğu bu akım değerinin (1450, 1600 ve 1750 şeklinde) daha da arttığı görülmektedir. Bu nedenle HCM-2000, serbest akım hızının, 1300 bo/sa/şrt değerinden daha düşük olan akımlarda araziden otomobillerin hızlarının ortalaması olarak ölçülerek bulunabileceğini belirtmiştir. Serbest akım hızının arazide ölçümü, düşük akım ve yoğunluk değerlerinin görüldüğü zaman aralıklarında, yolculuk sürelerinin tespiti veya anlık (spot) hızın ölçümü teknikleri ile belirlenebilmektedir. (TRB, 2000).

Şekil 3.7'de da gözlemleneceği gibi, temel trafik ve geometrik şartlar altında otoyollar, 2400 bo/sa/şrt değerinde bir kapasite üretecek şekilde işletilebilir. Bu kapasite değerine 120 km/sa veya daha yüksek hızlarda erişilmektedir. SAH değeri azaldığında kapasitede küçük azalmalar görülmektedir. Örneğin otoyoldaki serbest akım hızının 90 km/sa olması halinde bu kapasite yaklaşık 2250 bo/sa/şrt değerine düşmektedir. Kapasiteyi temsil eden akım değerlerinde, otomobillerin ortalama hızının, serbest akım hızının 120 km/sa veya daha büyük değerleri için 86 km/sa değerinde; serbest akım hızının 90 km/sa olduğu kesimlerdeyse 80 km/sa değerinde gerçekleşmesi beklenmektedir (TRB, 2000).

Ülkemizde, kesintili akım koşullarında; hız-akım-yoğunluk arasındaki ilişkilerin belirlenmesi ve modellenmesi konusunda bazı çalışmalar yapılmıştır (Murat, 1998; Ögüt, 1998). Ancak otoyollar gibi kesintisiz akım koşullarının hâkim olduğu karayollarında pek az çalışma yapılmıştır.

Gedizlioğlu ve Akad (1992), 2x3 şeritli enkesite haiz İstanbul Boğaziçi Köprüsü'nün Mecidiyeköy yaklaşımı için trafik akımını modellemişlerdir. Bu çalışmada, akım hızı (u), akım değeri (q) ve yoğunluk (k) arasında Denklem 3.16'da verilen iki değişkenli modeller elde edilmiştir.

$$u = 70,22 - 0,21k ; q = 70,22k - 0,21 k^2 ; q = 334,38u - 4,76 u^2 \quad (3.16)$$

Çalışmada, ilgili kesim için serbest akım hızı 70 km/sa, kapasite hızı 35 km/sa olarak hesaplanmıştır.

3.4 Otoyollarda Trafik Akımının Özellikleri

3.4.1 Akım Türleri

Trafik talebinin kapasiteyi aştığı yol kesimlerine "şişeboynu" veya "darboğaz" adı verilir. Şişeboynu etkisi, aşağıda verilen durumlarda görülebilir (TRB, 2000).

- Katılma kesimlerinde
- Örülme kesimlerinde
- Şerit sayısının azaldığı yerlerde
- Bakım ve inşaa çalışmalarının yapıldığı yerlerde
- Trafik kazasının gerçekleştiği yerlerde

- Yol üzerinde arızalı bir taşıtın, herhangi bir cismin bulunabildiği olaylarda

Temel otoyol kesimlerindeki trafik akım özelliklerinin iyi anlaşılması; otoyolun akım yukarı ve akım aşağı yönlerindeki şişeyi kesimlerinin akımı kısıtlayıcı etkilerinin iyi anlaşılmasını gerektirir.

Temel otoyol kesimindeki trafik akımı üç tür akıma ayrılarak değerlendirilebilir. Bunlar "doğru olmayan akım", "kuyruk dağılma akımı" ve "aşırı doğru akım" olarak tanımlanmıştır (TRB, 1997; TRB, 2000; TRB, 2010). Şekil 3.6'da, bu akım türleri görülmektedir. Her bir akım türü, hız-hacim-yoğunluk değerleri kullanılarak tarif edilebilen, farklı durumları temsil ederler (TRB, 2000).

3.4.1.1 Doğru olmayan akım

HCM'nin 1965 ve sonraki baskılarında hizmet düzeyleri tanımlanırken A hizmet düzeyindeki akım, serbest akım (free-flow) olarak ifade edilmiştir. Bu akım, Hall ve diğ. (1992) tarafından "tıkantı olmayan akım" (uncongested flow) ve HCM-2000 tarafından "doğru olmayan akım" (undersaturated flow) olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.6'da, "1" ile numaralanmış "doğru ve eğri" özelliğindedir. Doğru olmayan akım; yaklaşan akım ve uzaklaşan akım yönündeki akım koşullarından etkilenmeyen trafik akımını temsil eder. Doğru olmayan akım; trafik hacminin düşük ve orta değerler aldığı durumlarda 90-120 km/sa hız aralığında, yüksek akım değerinde ise 70-100 km/sa hız aralığında tanımlanır (TRB, 2000).

3.4.1.2 Kuyruk dağılma akımı

Bu akımı, Hall ve diğ. (1992) "kuyruk dağılma akımı" (queue discharge flow) olarak adlandırmıştır ve HCM-2000'e de bu adla geçmiştir. Şekil 3.6'da, "2" ile numaralanmış "doğru" özelliğindedir.

Kuyruk dağılma akımı veya kuyruk çözülme akımı, şişeyi kesiminden henüz kurtulmuş ve otoyoldaki serbest akım hızına ulaşmak için hızlanan akımı temsil eder. Bu akım türü, (uzaklaşan akım yönünde başka bir şişeyi kesimi yoksa) kısmen kararlı akım özelliği gösterir. Bu akım türü, 2000-2300 bo/sa/şrt akım değerlerinde ve ilgili kesim için 55 km/sa ile serbest akım hızı aralığında tanımlanır. Ancak şişeyi kesiminin hemen sonrasında, akım aşağı yönde daha düşük hızlar da gözlemlenebilir. Kuyruk dağılma akımı (yatay ve düşey tasarıma bağlı olarak) serbest akım hızına, 1-2 km içerisinde erişir. Çalışmalar, şişeyi kesiminin neden olduğu kuyruk dağılma akımı değerlerinin tıkanıklık (şişeyi kesimi etkisi) öncesinde

gözlemlenen en büyük akım değerlerinden daha düşük olduğunu göstermiştir. Akım değerindeki bu düşüklük yaklaşık % 5 mertebesinde (TRB, 2000).

3.4.1.3 Aşırı doymun akım

HCM'nin 1965 ve sonraki baskılarında hizmet düzeyleri tanımlanırken F hizmet düzeyindeki akım, "zorlamalı akım" (forced flow) veya "tikanık akım" (breakdown flow) olarak ifade edilmiştir. Bu akım, Hall ve diğ. (1992) tarafından "kuyruk içerisindeki akım" (flow within the queue) ve HCM-2000 tarafından "aşırı doymun akım" (oversaturated flow) olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.6'da, "3" ile numaralanmış "eğri" özelliğindedir.

Aşırı doymun akım, akım aşağı yönde oluşan bir şişeyboynunun etkisiyle oluşan akımı temsil eder. Tıkanıklık halindeki trafik akımı, (şişeyboynu etkisinin şiddetine bağlı olarak) geniş bir aralıkta değişebilen akım ve hız değerleri verebilir. Kuyruk boyları (akım yukarı yönde) kilometrelerce uzunluğa erişebilir. Otoyollardaki kuyruklar, kavşaklarda oluşan (devamlı olmayan) kuyruklardan farklıdır. Otoyollardaki bu tip kuyruklarda taşıtlar (periyodik durma-ilerleme hareketleri ile) yavaş ilerleyebilirler (TRB, 2000).

3.5 Otoyolların Kapasitesi

Genel olarak karayollarının, özelde ise otoyolların kapasitesi üzerine A.B.D.'deki çalışmalar, münferit araştırmacılar tarafından gerçekleştirildiği kadar, Bureau of Public Roads (Federal Highway Administration) ve Highway Research Board (Transportation Research Board) kurumları tarafından da uzun yıllar araştırma konusu olmuştur. İlgili araştırmacılar ve bu kurumlarca yapılan araştırmaların sonuçları, Yolların Kapasitesi El Kitabı (Highway Capacity Manual, HCM) adıyla 1950 yılında basılmıştır. Bu tür çalışmalarda geline durumu yansıtmak için 1950 yılında ilk baskısı yapılan Kapasite El Kitabı'nın 1965, 1985, 2000 ve 2010 yıllarında beş farklı baskısı; 1994 ve 1997 yıllarında ise iki farklı güncellemesi yapılarak yayınlanmıştır.

Yolların Kapasitesi El Kitabı'nın 1950 yılında yapılan ilk baskısında otoyollar, ayrı bir başlık altında incelenmemiştir. Ancak "Sürekli Akım Halinde Yolların Kapasitesi" (Roadway Capacities for Uninterrupted Flow) başlığı altında

otoyollardan da bahsedilmiş, çok şeritli kırsal otoyolların eşdüzey kavşak etkisinin olmadığı kesimlerinde "sürekli akımın" görülebileceği öngörülmüştür.

HCM-1950'de, yolun trafiğe hizmet etme yeteneğinin bir ölçüsü olarak "kapasite" kavramı kullanılmıştır. O yıla kadar kapasite teriminin farklı araştırmacılar tarafından farklı şekillerde kullanılmasından doğan karmaşayı ortadan kaldırmak amacıyla kapasite, "temel kapasite" (basic capacity), "muhtemel/mümkün kapasite" (possible capacity) ve "pratik kapasite" (practical capacity) olmak üzere üç farklı şekilde tanımlanmıştır.

İdeal şartlara çok yakın özelliklerin elde edilebildiği bir şeritten veya yoldan, bir saat süresince geçebilen otomobil sayılarının en büyük değeri "temel kapasite" (basic capacity) olarak tanımlanmıştır. Temel kapasitenin elde edilebileceği ideal şartlar ise aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Böyle bir yolun bir şeridinin kapasitesinin ideal şartlara çok yaklaşıldığında 2000 otomobil/saat olduğu öngörüsü hâkimdir (Normann ve Walker, 1949; Umar, 1951).

- Her bir yön için en az 2 trafik şeridinin bulunması
- Taşıtların birbirlerine yakın hızlarda hareket ediyor olması ve seyir hızının da 48-64 km/sa (30-40 mil/sa) civarında olması
- Trafik içerisinde ticari taşıtların bulunmaması
- Şerit genişliğinin, banket genişliğinin ve kenar açıklıkların yeterli olması
- Kapasiteyi azaltan sınırlı görüş mesafesi, boyuna eğim, deveri hatalı dönemeç, diğer trafik kesişmeler, vb. unsurların bulunmaması

Temel kapasite tanımında, "şartların ideal olması" ve akımın "otomobil" türünden ifade ediliyor olması bu tanımın ayırt edici özellikleridir. Böylece fizikî özellikleri aynı olan iki farklı yol, hâkim özellikler temel kapasite tanımında göz önünde bulundurulmadığından, aynı temel kapasite değerine sahip olacaktır.

Hâkim şartlardaki bir şeritten veya yoldan bir saat süresince geçebilen taşıt sayılarının en büyük değeri ise "muhtemel kapasite" (possible capacity) olarak tanımlanmıştır (Normann ve Walker, 1949; Umar, 1951). "Hâkim/varolan şartlar" altında ve akımın "taşıt sayısı" türünden ifade ediliyor olması ise bu tanımdaki ayırt edici özelliklerdir. Ancak muhtemel kapasitenin değeri verilirken bu değer hangi hâkim şartlarda gerçekleştiği (arazi türü; doğrudan veya eğride oluş; şerit genişliği;

kenar açıklık; kavşak durumu, vb.) belirtilmek zorundadır. Tek başına bir sayı verilmesi (2000 tş/sa gibi) anlamsız olacaktır.

Hâkim şartlardaki bir şeritten veya yoldan, gecikmelere kısıtlamalara neden olmayan düşük yoğunlukta, bir saatlik sürede geçebilen taşıt sayılarının en büyük değeri de "pratik kapasite" (practical capacity) olarak tanımlanmıştır (Normann ve Walker, 1949; Umar, 1951). "Hâkim şartların" bulunması ve akımın "taşıt sayısı" türünden ifade ediliyor olması, bu tanımdaki ayırt edici özelliklerdir. Bu özellikleriyle de muhtemel kapasiteye çok fazla benzerdir. Ancak burada pratik kapasitenin ölçülmesinde kullanılacak bir saatlik sürenin "düşük yoğunluklu" bir zaman dilimi olması gibi bir ön şart söz konusudur. Bu ise, tanımın kesinliğinin kaybolmasına ve uygulayıcıya göre bir öznellik (sübjektiflik) kazanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle HCM-1950'de, çeşitli şartlar için farklı pratik kapasiteler önerilmiştir.

Pratik kapasite, işletilmekte olan bir yol için kullanılırken henüz tasarım aşamasında olan bir yol için aynı sayı değeri, "tasarım kapasitesi" (design capacity) olarak da anılmaktadır. Ayrıca HCM-1950'ye gelinceye kadar yapılan münferit araştırmalarda, değer olarak mümkün kapasite ile pratik kapasite aralığına düşen "kâfi-yeterli kapasite" (satisfactory capacity), "kabul olunabilir kapasite" (tolerable capacity) ve "kabul olunamaz kapasite" (intolerable capacity) gibi başkaca tanımlar da yapılmıştır. Bütün bu tanımlara bakıldığında HCM-1950'de karmaşanın devam ettiği görülür.

Öte yandan HCM-1950'de temel, muhtemel (mümkün) ve pratik kapasite olarak farklı şekillerde tanımlanan kapasite kavramları HCM-1965'te terk edilmiştir. HCM-1965'te tek bir "kapasite" kavramı söz konusudur (Yalgın, 1975).

HCM-1965'te kapasite; hâkim yol ve trafik şartlarında, verilen bir zaman süresi içinde (genelde bir saat) belirli bir platform elemanından (bir şerit veya yolun tamamı) makul derecede geçirmesi beklenen en büyük taşıt sayısı olarak tanımlanmıştır. Bu tanım, HCM-1950'deki "muhtemel (mümkün) kapasite" tanımıdır ve onun yerini almıştır (Yalgın, 1975). Kapasite, "hâkim şartlarda" ve "taşıt sayısı" biriminde tanımlanmış ve yolun taşıyabileceği en büyük trafiği temsil eden, mümkün olan bir sayıyı ifade etmektedir.

HCM-1950'deki "temel kapasite" tanımı yerine "ideal şartlarda kapasite" ifadesi kullanılmakta ve ideal şartlar aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Yalgın, 1975).

- Kesintisiz akımın var olması; taşıt veya yaya müdahalesinin bulunmaması
- Trafik akımının yalnızca otomobillerden oluşması
- Şerit genişliğinin 3,65 m; banket genişliğinin yeterli ve kaplama kenarından itibaren 1,8 m mesafede herhangi bir engel olmaması
- 110 km/sa veya daha fazla hızı sağlayacak geçkinin yatay ve düşeyde sağlanmış olması

HCM-1950'deki "pratik kapasite" tanımı yerine işletme özelliklerinin hizmet düzeyi kavramı ile tarif edildiği belirli hacimleri temsil eden "hizmet hacmi" (service volume) tanımı getirilmiştir.

HCM-1985'te otoyollar ve TOK bölgeleri ayrı başlıklar altında ilk kez incelenmiştir. Bu baskıda otoyolun kapasitesi; "otoyolun bir kesitinden ya da niteliği değişmeyen bir bölümünden; hâkim yol ve trafik şartları altında, belirli bir zaman boyunca değişmez kalarak geçebilen en büyük akım değeri" olarak tanımlanmıştır (TRB, 1985). Kapasite tek bir yön için tanımlanır ve birimi taşıt/saat olarak ifade edilir. Öte yandan bu tanım, hedeflenen hizmet düzeyi için yapılırsa "hizmet akım değeri" (service flow rate) adını alır (TRB, 1985). Pek çok kez, akımın değişmez (stabil) kaldığı en küçük zaman aralığı olarak 15 dakika alınır. Ayrıca verilen kapasite tanımı, hava ve kaplama durumunun iyi olduğunu ve trafik kaza ve olaylarının olmadığını peşinen kabul ederek yapılmıştır (TRB, 1985). Kapasite tanımı, bu şekliyle sonraki HCM-1994'te tekrarlanacaktır. HCM-1997'de ise tanım aynı kalmakla beraber birimin taşıt/saat değil otomobil/saat/şerit olacağı belirtilmiştir.

HCM-2000 otoyol kapasitesini; hâkim trafik ve yol şartlarında, tek yönde, uniform otoyol kesimince taşınabilen kesintisiz (sürdürülebilir) en büyük 15-dakikalık akım değeri olarak tanımlayıp birimini otomobil/saat/şerit olarak vermiştir (TRB, 2000).

TOK bölgelerinde kapasiteyi, hâkim yol ve trafik şartları belirler. Bu şartlar, kapasite tahmini yapılacak yol kesimi için tek bir özellik gösteren durumda (üniform) olmalıdır. Şartların herhangi birindeki bir değişiklik, aynı nokta için dahi, kapasiteyi değiştirir. Ayrıca; bölgeden bölgeye olan farklılıklara, sürücülerin davranış farklılıklarına ve günün saatlerine göre kapasitenin değişmesi mümkündür (TRB, 2000).

Otoyolun kapasitesi denildiğinde tek bir kapasite değeri akla gelmez. Otoyolu oluşturan her bir kesimin kapasitesi farklı değerlerde olacaktır. Kapasite tahmini, şartlar

aynı olmak üzere, yol üzerindeki tek bir noktaya göre veya yolun belirli bir kesimi için yapılabilir. Bir ulaştırma tesisinin kapasitesi, üzerinde seyreden taşıt hareketini temin etme yeteneğini yansıtır.

Çizelge 3.2'de temel (ideal) şartlara sahip TOK kesimlerinde, çeşitli SAH (serbest akım hızı) değerleri için kapasiteler verilmiştir. Ayrıca kapasite değerinde SAH'ın alacağı en küçük değerler de belirtilmiştir. Burada SAH, otomobillerin hızları ortalaması olup akımın niteliğini belirten bir ölçüttür ve tanım olarak SAH hâkim yol ve trafik şartları altındaki uniform otoyol kesimindeki düşük-orta seviyede akım değerlerine sahip trafikteki otomobillerin ortalama hızıdır (TRB, 2000). Çizelgedeki değerler, Amerika'da kent içi ve kent dışı otoyollarda yapılan gözlemler sonucu elde edilmiş yaklaşık değerlerdir, kentler arası otoyollardaki gözlemleri kapsamamaktadır (TRB, 2000).

Çizelge 3.2: Temel otoyol kesimlerinde çeşitli SAH değerleri için kapasiteler (TRB, 2000, p. 23-3; TRB, 2010, p. 11-3).

SAH, km/sa		Kapasite bo/sa/şrt
Düşük Hacimde	Kapasitede	
≥120	86	2400
110	84	2350
100	82	2300
90	80	2250

Ülkemizde kesintili akım koşullarında işletilen karayollarındaki akımın incelenmesi, kapasitesinin belirlenmesi ve modellenmesi konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır (Murat, 1998; Ögüt, 1998; Murat, 2001; Ögüt, 2004; Günay, 2004; Çalışkanelli ve diğ., 2005; Ergun, 2007; Akçelik, 2011; Tanyel ve diğ., 2013). Ancak otoyollar gibi kesintisiz akım koşullarının hâkim olduğu karayollarında pek az çalışma yapılmıştır.

Gedizlioğlu (1988), 2x3 şeritli Boğaziçi Köprüsünün gişe bölgesine yaklaşan akımda gözlemlenen en büyük akım değerini 6663 tş/sa (3 şerit toplamı) ve zirve saat yönündeki akıma karşı yön trafik şeritlerinden birinin daha tahsis edilmesi durumundaki en büyük akım değerini ise 7454 tş/sa (3+1 şerit toplamı) olarak vermiştir.

Gedizlioğlu ve Akad (1992), 2x3 şeritli enkesite haiz İstanbul Boğaziçi Köprüsü'nün Mecidiyeköy yaklaşımı için kapasiteyi 5900 tş/sa (1967 tş/sa/şrt) olarak vermektedirler.

Şahin (2001), 2x3 şerit enkesite haiz Boğaziçi Köprüsü'nün Asya-Avrupa yönündeki trafik akımı üzerinde yaptığı gözlemlerde kesitin kapasitesinin 6055 tş/sa (2018 tş/sa/şrt) olduğunu belirtmiştir. Ancak bu çalışmada gözlem yapılan enkesitin katılma hareketinin etkisi altında bir şişboynu olduğunu belirtmek gerekir. Ayrıca Şahin ve diğ. (2004), aynı kesitte yaptıkları başka bir çalışmada kapasitenin 6204 tş/sa (2068 tş/sa/şrt) olduğunu belirtmişlerdir.

Ozan (2009), 2x3 şerit enkesite haiz İzmir-Aydın Otoyolu'nun kapasite çözümlemesini yapmıştır. Bu çalışmada, otoyolda ölçülmüş YOGT değerlerinden otoyoldaki trafik artışının eğilimi ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, 2009 yılı başı itibariyle otoyol enkesitinden bir yönde geçen geçen taşıt sayısının 2487 tş/sa değerine ulaştığı, şerit kapasitesi olarak 2200 tş/sa/şrt değerinin kullanılması durumunda kapasite kullanım oranının (v/c) %38'e ulaşmış olduğu ve otoyolun B hizmet düzeyinde işletilmekte olduğunu belirtmiştir. Mevcut taşıt trafiği artış eğilimi devam ederse otoyolun en erken 2016 yılında kapasitesine ulaşacağını tahmin etmiştir.

Elefteriadou ve diğ. (1995), otoyol trafik akımındaki tıkanmanın her zaman aynı talep değerinde gerçekleşmediğini, geleneksel kapasite olarak kabul edilen sayı değerinin altında veya üzerinde olabilen bir hacim değerinde gerçekleşebildiğini belirtmiştir.

Lorenz ve Elefteriadou (2001), otoyolun şişboynu özelliği olan iki farklı kesiminde 20 gün boyunca 40'ı aşkın tıkanma olayını gözlemlemiştir. Gözlemlerin sonucu olarak; tıkanmanın, otoyoldaki bütün şeritlerin ortalaması alınarak hesaplanan hız değerinin, en az 5 dakika boyunca 90 km/sa değerinin altında seyretmesi durumunda oluşacağını belirtmişlerdir. Tıkanmanın hemen 1 dakika öncesinde gerçekleşen akım değerini de "tıkanma akım değeri" olarak tanımlamışlardır. Akım değerleri birbirinden farklı olan çok sayıda tıkanma olayını gözlemleyerek akım değeri arttıkça tıkanma olayının gözlemlenme olasılığının arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca, HCM'nin verdiği kapasite tanımının tıkanma olayının stokastik (rastgelelik özelliği olan) doğasını içermediğini de ifade etmişlerdir.

Lorenz ve Elefteriadou (2001) yaptıkları çalışmanın sonuç bölümünde; tıkanmanın oluş ihtimali içeren (probabilistik) bir olay olduğu, bu ihtimalin akım oranının artmasıyla arttığı ve her zaman aynı talep değerinde gerçekleşmediği, geleneksel

olarak bir otoyolun kapasitesi olarak düşünölen değeri altında veya üstünde olabileceğini ifade etmiştir. Otoyol kapasitesini, tıkanma olayının görölme olasılığını da içerecek şekilde, "uniform bir otoyol kesiminin belirtilen yönü için hâkim trafik ve yol şartlarında, makul varsayılabilir bir tıkanma olasılığına karşı gelen akım değeri" olarak tanımlamışlardır. Makul tıkanma olasılığının otoyolu tasarlayanlarca başlangıçta belirlenebileceğini ve sonradan idarelerce veya işletme şartlarından edinilecek bilgilerle değıştirilebileceğini belirtmişlerdir.

Bir yolun kapasitenin "o yolda erişilmiş, sürdürölebilen en büyük taşıt/saat türünden akım değeri" olarak tanımlanması gerektiğı, kapasitenin aynı geometriye sahip olsa dahi farklı yollar için farklı değerler aldığı ve aynı yol için dahi günden güne farklı değerler gösterebileceğini belirtilmiştir (Elefteriadou ve Lertworawanich, 2003).

Thenoux ve Lastra (2005), HCM'ye davranış özelliklerinin yansıdığı Kuzey Amerika'daki sürücöler ile Şili'deki sürücölerin otoyol üzerindeki seyir davranışının aynı olup olmadığını test etmişlerdir. Otoyoldan (Autopista del Sol'den) alınan hız-akım verisinden regresyon tekniğı ile serbest akım hızı elde edilmiş ve $q= u.k$ bağıntısı kullanılarak yoğunluk değeri hesaplanmıştır. Hacim-yoğunluk verilerinin tersleri alınarak sonuçlar HCM-1985 ve HCM-2000'de verilen değerler ile karşılaştırılmış ve regresyon bağıntısı elde edilmiştir. Sonuç olarak; otoyoldan toplanan verinin HCM-1985 ve HCM-2000 verilerinin arasında değerler aldığı gözlemlenerek Şili'li sürücölerin davranışının Kuzey Amerika sürücölerine uyduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bir yolun kapasitesinin ne olduğı araştırılırken göz önünde tutulması gereken çeşitli faktörler vardır. Bunlardan ilki doğru hız-akım fonksiyonunun kullanıldığından emin olunmasıdır. Hız-akım verilerinin toplandığı konum, bu verilerin saçılma diyagramında oluşturduğu dağılımın şeklini etkiler.

Hall ve Hall (1990), bir darboğazın yaklaşan akım yönünde bulunan bir noktadan alınan hız-akım verisinin, darboğaz kesim kapasitesinin akımı sınırlamasından ötürü, otoyolun kapasitesini gözlemlemede doğru bir yer olmayacağını, böyle bir kesimden alınan verinin saçılma şeklinde, şeklin kapasiteye uzanan bölümünün gözlemlenemeyeceğini belirtmiştir. Benzer bir durum darboğazın uzaklaşan akım yönündeki bir noktadan alınan veri için de söz konusudur (Chin ve May, 1991). Hız-akım verisinin toplandığı noktanın şekil formuna olan etkisi ve bu verinin

toplanacağı yerin tespit edilmesindeki zorluklar farklı kaynaklarda yer almıştır (Banks, 1989; Hall ve Hall, 1990).

Öte yandan; kapasitenin nasıl hesaplanacağı konusunda farklı yöntemler önerilmiştir. Persaud ve Hurdle (1991), kapasitenin hesaplanmasında en büyük akım, ortalama akım ve beklenen en büyük akım değeri bilgisine dayanan üç farklı yöntemin uygulanabileceğini belirtmiştir. Gözlemlenen en büyük akım değerinin alınması, gözlemlenen en büyük 90'ıncı akım değerinin alınması (yani gözlemlenen akımlardan %90'ının altında kaldığı akım değeri), çok sayıda gün için gözlemlenmiş belli gözlem aralıklı en büyük değerlerin ortalamasının alınması, günlük en büyük değerlerin ortalamasının alınması, 15 dakika boyunca sürdürülebilen en büyük akımın alınması, vb. yöntemlerin uygulanabildiği belirtilmiştir.

3.6 Otoyolların Hizmet Düzeyi

Bir yolda verilen hizmetin niteliğini ifade edebilmek için trafik akımı içerisindeki işletme şartlarını gösterebilecek "ölçülebilir" değerlerin tarif edilmesi gerekir. Trafik akımı içerisindeki işletme şartlarını tarif etmede nitelik ölçüsü olarak "hizmet düzeyi" kavramı kullanılır.

HCM'de hizmet düzeyi kavramı ilk kez 1965 yılı basımında yer almıştır. Burada hizmet düzeyi, bir şerit veya platformun değişik trafik hacimlerini taşıırken işletme koşullarının alabileceği birbirinden farklı, çok sayıdaki eşleşmelerinden herhangi biri olarak tanımlanmıştır. Hizmet düzeyi, trafik akımı içerisindeki işletme özelliklerinin; hız, yolculuk süresi, taşıtların manevra serbestliği, trafik akımındaki kesiklikler ve kısıtlamalar, sürüş konfor ve kolaylığı, işletme maliyeti ve güvenlik gibi faktörler yönünden niteliksel bir ölçü olarak belirtilmiştir (Yalın, 1975). Hizmet düzeyleri, A, B, C, D, E ve F harfleri ile tanımlanan 6 gruba ayrılmış ve ayırmada "işletme hızları" (operating speed) ve "talep veya hizmet hacmi/kapasite oranı (v/c) olmak üzere iki ölçü birlikte kullanılmıştır. Kararın her iki ölçünün birlikte sağlanması ile verilmesi gereği belirtilmiştir. A hizmet düzeyi "serbest akım" olarak nitelendirilirken B, C ve D düzeyleri, gittikçe kötüleşmekle beraber, "kararlı akım", E düzeyi "zorlamalı akım" ve F düzeyi "kararsız akım" olarak nitelendirilmiştir. (Yalın, 1975). Yoğunluk değerleri kullanılarak hizmet düzeylerinin ayrımı HCM-1965'te söz konusu değildir.

HCM-1985'te, karayolu dışındaki tesisler ayrı birer başlık altında ilk kez ele alınmış ve hizmet düzeyi kavramı berraklaştırılmıştır. Otoyollar ve otoyolu oluşturan kısımlar, ayrı ayrı bölümler halinde incelenmiş, TOK (basic freeway segment) kesimi tarif edilip bu kesime ait hizmet düzeyi hesabı ve kapasite analizinde izlenecek yöntem ayrıca verilmiştir.

TOK kesimlerinde, hizmet düzeyinin değerlendirme ölçütü "yoğunluk" olarak verilmiş (May, 1990) ve her bir düzey için ilgili yoğunluk değerinin sağlanması gerektiği belirtilmiştir. Değişik tasarım hızları için en büyük hizmet akımı (maximum service flow, MSF) ve v/c oranı değerleri de önerilmiştir. HCM-1965'te de yer aldığı gibi hizmet düzeylerinin, diğer pek çok nitelik yanında, ilgili kesimin "güvenlik" yönünden özelliğini de ölçtüğü belirtilmiştir (TRB, 1985). Hizmet düzeyinin, işletme koşullarının güvenlik niteliğini de ölçtüğü bilgisi HCM-1994 ve sonrakilerde yer almayacaktır (TRB, 1994; TRB, 2000).

Hizmet düzeyleri tanımlanırken her bir hizmet düzeyi için; trafik akımının mikroskobik özelliklerinden olan taşıtlar arasındaki "uzunluk türünden aralık" (spacing) göstergesi de (metre ve otomobil birimlerinde) verilmektedir (TRB, 1985). Uzunluk türünden aralık değeri, HCM-1994 ve HCM-1997'de de yer almış, ancak HCM-2000'de terk edilmiştir. Ancak uzunluk türünden aralığın yoğunlukla ters orantılı olduğu düşünüldüğünde, bu değer bilmesinin yoğunluğun belirlenmesinde, buradan da hizmet düzeyinin ne ölçüde olduğunun tahmin edilmesinde kullanılabileceği açıktır.

HCM-1997'de, TOK kesimlerinin hizmet düzeyinin belirlenmesi ve kapasite analizinde "yoğunluk" bilgisine bağlı yöntemin kullanılmasına devam edilmiştir. Yoğunluk bilgisinin değerlendirme ölçütü olarak kullanılma nedeni; bir yolda hizmetin kalitesini ölçmede hızın yanında manevra serbestliği ve taşıtların birbirine yakınlığının değerlendirilmede kullanılan birer özellik olması ve bu iki özelliğin yoğunluk ile ilişkili olması olarak verilmiştir. Esasen HCM-2000'de hizmet düzeyi için verilen değerlendirmeler ilk kez HCM-1997'de açıklanmış, küçük farklarla HCM-2000'de tekrarlanmıştır.

Herhangi bir yol veya tesis için hizmet düzeyini belirleyen bir veya daha fazla sayıda birincil performans göstergesi olabilir. Hizmet düzeyini tanımlayan bu performans göstergeleri, "hizmet ölçüsü" veya "etkinlik ölçüsü" olarak da adlandırılırlar. TOK

bölgesinde işletmenin niteliğini tanımlayan yoğunluk, hız ve v/c oranı şeklinde üç farklı ölçü söz konusudur. Ancak hizmet düzeyleri, yoğunluk kavramına göre tanımlanır. Hız, akım değeri (ya da hacim) ve yoğunluk değerlerinin birbiri ile ilişkisi bilindiğinden bunlardan ikisinin bilinmesi üçüncüsünün hesaplanmasını sağlayacaktır (TRB, 2000).

Hizmet düzeyleri; hız, yoğunluk ve akım değeri gibi trafik akımının üç önemli özelliğini temsil edebilecek şekilde A, B, C, D, E ve F harfleriyle tarif edilen altı farklı tür olarak tanımlanır. İşletme şartları açısından en iyi olan A hizmet düzeyi, en kötü olanı ise F hizmet düzeyidir. Her bir hizmet düzeyi, işletme şartlarını ve bu şartların sürücüler tarafından algılanma durumunu temsil eder. Birçok tasarımda veya planlamada, yol veya tesisin C veya D hizmet düzeyinde işletilebiliyor olması istenir (TRB, 2000). Çizelge 3.3'te temel otoyol kesimleri için HCM-1985, HCM-1994, HCM-1997 ve HCM-2000'de verilmiş olan hizmet düzeyi yoğunluk sınır değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.3'te HCM-2000 için verilmiş olan A-D aralığındaki hizmet düzeylerine karşılık gelen en büyük yoğunluk değerleri, TRB'nin Karayolu Kapasitesi ve Hizmet Kalitesi Komitesi üyelerinin görüşleri doğrultusunda oluşturulmuştur. Ancak E hizmet düzeyi için verilen üst sınır değeri (28 bo/km/şrt), kapasite değerine erişmiş, sürdürülebilir bir akım için gerçekleşmesi beklenen en büyük yoğunluk değeridir (TRB, 2000).

Çizelge 3.3: TOK kesimi için hizmet düzeyi sınırlarının değişimi (TRB, 1985, p. 3-8; TRB, 1994, p. 3-9; TRB, 1997, p. 3-9; TRB, 2000, p. 23-3).

Hizmet Düzeyi	Yoğunluk, bo/km/şrt		
	HCM-1985 ²	HCM-1994 ² / HCM-1997 ²	HCM-2000
A	0-8	0-6	0-7
B	8-13	6-10	>7-11
C	13-19	10-15	>11-16
D	19-26	15-20	>16-22
E	26-42	20-28	>22-28
F	>42	Değişken / >28	>28

Hizmet düzeyi, işletmenin durumunu pek çok özelliğe bağlı olarak tanımlandığı için hizmet düzeyi sınırlarını ifade etmede daha ayırıcı (tanımlayıcı) değerlere ihtiyaç duyulmuştur. Böylece, her bir hizmet düzeyi için "geçebilen taşıt sayısını" ifade eden

² Kaynaklarda, İngiliz birimler sisteminde "bo/mil/şrt" olarak verilmiş olan yoğunluk değerleri, tez yazarı tarafından, HCM-2000'de TRB tarafından yapıldığı gibi, karşılaştırmalarda kullanabilmek amacıyla 1,6'ya bölünüp yuvarlatılarak Metrik Sisteme "bo/km/şrt" olarak çevrilmiştir.

bir diğer etkinlik ölçüsü olarak "hizmet akım değeri" (service flow rate) tanımlanmıştır. HCM-2000 bu ölçüyü, kapasiteye benzer bir ifadeyle; otoyolun bütününün veya bir şeridinin üniform bir kesiminden hâkim trafik, yol ve kontrol şartları altında, belirli bir zamanda ve istenen hizmet düzeyinde geçmesi beklenen en büyük saatlik değer olarak tanımlamaktadır. Hizmet akım değerleri genelde 15-dakikalık ölçümlere dayanır ve bir saatlik akım değeri, 15-dakikalık akım değeri dört katı olarak tarif edilir. Böylece akım değerleri, her bir hizmet düzeyi için hesaplanmış ve önerilmiştir. Ancak F hizmet düzeyinde, taşıtların "ilerleme-durma hareketleri" nedeniyle akım değerinin tahmini çok zordur (TRB, 2000).

HCM-2000, öncekiler HCM'ler gibi, altı farklı hizmet düzeyi tanımlı vermiştir. Ancak bu aşamada, tarif edilecek hizmet düzeylerinin anlaşılabilmesi için "serbest akım hızı" teriminin anlamının verilmesi gerekmektedir. Serbest akım hızı; düşük veya orta seviyede bir trafiğin işlediği üniform bir otoyol kesiminde, hâkim yol ve trafik şartları altında otomobillerce yapılabilen hızların ortalamasıdır (TRB, 2000). Bu tanımda bazı şartların öne sürülmüş olduğunun fark edilmesi gerekmektedir. Bu şartlardan ilki, söz konusu hızın trafikteki bütün taşıtları içermediği, sadece otomobillere özgü bir hız olduğu; ikincisi ise yoldaki akım değerinin (miktarının) düşük denilebilecek kadar az olması gerektiğidir.

Trafik akımının özellikleri kullanılarak otoyollarda hizmet düzeyleri Karayolları Kapasite El Kitabı'nda aşağıda verilen şekliyle tanımlanmaktadır (TRB, 2000).

A hizmet düzeyi, serbest akım halindeki işletme şartlarını tanımlar. Serbest akım hızları hâkimdir. Taşıtlar, trafik akımı içerisinde kendi manevra yetenekleri çerçevesinde neredeyse bütünüyle serbesttir. Trafik akımındaki olayların (incidents) veya nokta tıkanıklıkların (point breakdowns) etkileri kolayca giderilebilir (TRB, 2000).

B hizmet düzeyinde, makul derecede serbest kabul edilebilecek akım hızını temsil eden ve serbest akım hızlarının korunabildiği (sürdürülebildiği) durum söz konusudur. Trafik akımı içerisinde taşıtların manevra yapma serbestlikleri çok az kısıtlanmıştır. Akımın sürücülere sağladığı fizikî ve psikolojik konfor yeterince yüksektir. Trafik akımındaki basit olayların ve nokta tıkanıklıkların etkileri, hâlâ kolayca giderilebilecek durumdadır (TRB, 2000).

C hizmet düzeyinde, ilgili otoyolun serbest akım hızında veya buna çok yakın değerlerde trafik akım hızı sağlanmaktadır. Trafik akımı içerisinde taşıtların manevra yapma serbestlikleri fark edilebilecek kadar kısıtlanmıştır. Şerit değiştirme daha dikkatli ve ihtiyatlı (tetik) olmayı gerektirir. Basit aksaklıklar (olaylar) hâlâ giderilebilse de verilen hizmette bölgesel sıkıntılar oluşacaktır. Ciddî bir tıkanıklığın ardında taşıtların kuyruk oluşturması beklenebilir (TRB, 2000).

D hizmet düzeyi, akımın artması ve yoğunluğun hızlı bir şekilde artmaya başlamasıyla hızın yavaş yavaş azalma eğilimi gösterdiği bir düzeyi ifade eder. Trafik akımı içerisinde taşıtların manevra yapma serbestlikleri daha fazla kısıtlanmıştır. Sürücüler fizikî ve psikolojik konfor düzeyinin azaldığını hissederler. Akımdaki aksaklıkları onaracak çok az alan kaldığı için basit aksaklık halleri dahi kuyruklanma yaratabilir (TRB, 2000).

E hizmet düzeyinin en büyük yoğunluk değeri, "kapasitedeki" işletme koşullarını tanımlar. Trafik akımı içerisinde kullanılabilecek boşluklar olmadığından bu düzeyde bir işletme "kararsız" özellik gösterir, istikrarsızdır. Hızın 80 km/sa değerini aşmış olması söz konusuysa da trafik akımı içerisinde taşıtların hareket edebileceği çok az alan vardır ve akım içerisinde seyir, çok yakın (yanaşık) halde yapılmaktadır. Giriş rampasından trafiğe katılma veya bir taşıtın şerit değiştirmesi gibi trafik akımına yapılabilecek herhangi bir müdahale, yaklaşan akım yönündeki trafiğe de yayılabilecek bir dalga oluşmasına neden olabilir. Kapasite durumunda trafik akımı, olabilecek en küçük aksaklıkları onaracak duruma sahip değildir ve herhangi bir trafik olayının trafik akımında ciddi tıkanıklıklara ve uzun taşıt kuyruklarına neden olması beklenebilir. Trafik akımı içerisindeki taşıtların manevra serbestlikleri aşırı derecede kısıtlanmış ve sürücülere sağlanan fizikî ve psikolojik konfor düzeyi iyice azalmıştır (TRB, 2000).

F hizmet düzeyi, taşıt trafiği akımındaki tıkanmayı, bozulmayı, kesintiyi tanımlar. Trafik akımındaki aksaklığın gerisinde oluşan kuyruk içerisinde var olan akımın özelliklerini gösterir. Trafik akımındaki tıkanıklıklar pek çok nedenden ötürü oluşabilir.

- Trafik olayları: Aksaklığın yer aldığı kesime gelen taşıt sayısı bu bölgeyi geçen taşıt sayısından daha fazla olduğundan trafik olayları, yolun kısa bir kesiminde kapasitesinde geçici azalmalara neden olabilir.

- Katılma ve örölme hareketleri ile şerit sayısının azaldığı kesimler: Katılma veya örölme hareketlerinin olduğu kesimler ile şerit sayısının azaldığı kalıcı (yinelenen) tıkanıklık noktalarında, gelen akımın bu noktalardan uzaklaşan akımdan daha fazla olduğu aşırı talep durumu gözlemlenir.
- İsabetsiz trafik tahmini: Herhangi bir bölge için, ileriye yönelik olarak tahmin edilen zirve saat akım değerinin hesaplanan kapasite değerini aşması durumunda tıkanıklıklar oluşur.

Mevcut talebin (existing demand) gerçekleşen kapasiteye (actual capacity) oranının ya da tahmin edilen talebin (forecast demand) hesaplanan kapasiteye (estimated capacity) oranının bir (1,0) değerini aştığı her türlü durumda trafik akımında tıkanmalar, aksamalar (breakdown) oluşacaktır. Buna rağmen bu tür noktaların hemen sonrasında akım aşağı yönde akım değeri, genelde kapasitesinde veya kapasitesine çok yakın olarak gerçekleşir ve yeni bir şişeyi yoksa bu tür noktalardan akım aşağı yönde uzaklaştıkça işletme özellikleri (hız gibi) iyileşecektir. Bir kuyruktaki F hizmet düzeyinde gerçekleşen işletme koşulları, akım aşağı yönde oluşmuş bir tıkanmanın veya şişeyinin ürünüdür (TRB, 2000).

F hizmet düzeyi aşağıda verilmiş olan nokta veya kesimlerdeki işletme şartlarını temsil eder (TRB, 2000).

- Tıkanma veya şişeyi noktasındaki işletme şartlarını
- Hızın E hizmet düzeyi için verilmiş en düşük hızın altında seyrettiği kuyruk dağılımı akımlarındaki durumu
- Gelen akım yönünde oluşan kuyruk içerisindeki akım koşullarını

Hizmet düzeyi tariflerinin genel özelliklerini özetlersek; A hizmet düzeyi serbest akımda düzgün işletme koşullarını, C hizmet düzeyi trafik olaylarının kuyruk oluşturmaya başladığı işletme koşullarını, E hizmet düzeyi karasız işletme koşullarını ve F hizmet düzeyi ise aşırı talep nedeniyle tıkanıklığın olduğu işletme koşullarını tarif ederler.

4. HİZMET DÜZEYİ HESABI VE KAPASİTE ANALİZİ

Bu bölümde; kapasiteyi etkileyen faktörler, hizmet düzeyi hesabı ve kapasite analizi çalışmalarının gelişimi ve hizmet düzeyi hesabının yapılış aşamaları birleştirilerek verilmiştir. Hizmet düzeyi hesabı ve kapasite analizi çalışmalarına Kapasite El Kitabının (HCM'nin) yaklaşım tarzı, kronolojik olarak verilmişse de hesap adımları HCM-2000'e dayanmaktadır.

Kutlu (1993), kent içi bir karayolunun kapasitesine etkileyen faktörleri; yol genişliği, şerit sayısı, yol üzerindeki kavşaklar arasındaki uzaklık, trafiği oluşturan taşıtların türü ve hızları, dönüş yapan araçların varlığı, park imkânları, yakın durak yerleri, ticari taşıtların miktarı, kaplama cinsi, yol eğimi, sinyalizasyon özelliği, vb. olarak vermiştir. Ancak bir otoyolun kapasitesini etkileyen faktörler düşünüldüğünde bunların bir kısmı etken olmaktan çıkar ve yeni bazıları listeye eklenebilir.

Genelde otoyolun, özelde ise TOK bölgesinin kapasitesinin analizi ve hizmet düzeyinin hesaplanmasında etkili olan faktörler, trafik akımını ve yol geometrisini tanımlayan özelliklerdir. Bu özellikler, ya olması gereken (düzeltme gerektirmeyen) durumu ya da olan (mevcut) durumu gösterirler. Olması gereken durum "temel şartlar" adıyla anılırken mevcut durum "hâkim şartlar" adını alır.

TRB (2000), yapılacak iyileştirmelerin kapasitede bir artış sağlamayacağı, bir ulaştırma altyapı tesisinin muhtemel en iyi özelliklerini ifade eden durumu, "temel şartlar" (base conditions, ideal conditions, standard conditions) olarak tanımlamıştır.

Temel şartlar, kapasite analizi ve hizmet düzeyi hesabında başlangıç koşulu (varsayılan koşul) olarak kullanılan, trafik akımı ve yol geometrisi ile ilgili olabilen özelliklerinin bir bütünüdür. Kapasiteyi, serbest akım hızını veya işletmeyi etkileyen trafik akım özellikleri; taşıt türleri, taşıtların akım içerisindeki oranları, yolu kullanacak sürücülerin yolu bilip bilmemesi gibi özellikler olarak sıralanırken şerit sayısı, şerit genişliği, sağ banket genişliği (kenar açıklık), kavşaklar arası mesafe, düşey ve yatay tasarım gibi özellikler birer yol geometrik özellikleridir.

TRB (2000), kesintisiz trafik akımının olduğu yollarda olması gereken temel şartları, aşağıda maddeler halinde sunulduğu şekliyle, vermiştir.

- Şerit genişliği en az 3,6 m olmalıdır.
- Sağ şerit dış kenarından en yakın engele olan uzaklık en az 1,8 m olmalıdır.
- Sol şerit dış kenarından en yakın engele olan uzaklık en az 0,6 m olmalıdır.
- Kent içi otoyol kesimlerinde tek yönde en az 5 veya daha fazla şerit bulunmalıdır.
- Kavşaklar arasındaki uzaklık en az 3 km olmalıdır.
- Topografya düz (yani boyuna eğimler % 2 den küçük) olmalıdır.
- Trafik akımı tamamen otomobilden oluşmalıdır.
- Yolu kullanmakta olan sürücüler, o yolu düzenli olarak kullanan sürücülerden oluşmalıdır.

Sıralanan şartlar, serbest akım hızının 110 km/sa veya daha fazla olduğu iyi işletme koşullarına karşı gelmektedir (TRB, 2000).

Temel şartlara sahip olan bir yolun, kapasitesinde hizmet verebilmesi için bir ön koşul söz konusudur. TRB (2000), bu ön koşulu "hava şartlarının iyi, görüş mesafesinin yeterli ve yol üzerinde kaza veya ilgi çekecek bir olayın olmadığı durum" olarak tanımlamıştır. Bu özelliklerin henüz analize başlarken var olduğu varsayılır. Eğer koşullardan biri oluşmazsa taşıt hızı ve kapasitede azalma, hizmet düzeyinde kötüleşme görülecektir. Dolayısıyla bu özellikler aslında birer etkin faktör olmasına rağmen, var oldukları öngörüsüyle, hizmet düzeyi hesabı ve kapasite analizi çalışmalarında etken olmaktan çıkarılmıştır. Aksi halde bu hesapların yapılması hayli güçleşecektir.

Yol veya tesisin hizmet ettiği şartlar, hemen her zaman temel şartlar dışındadır. Yolda temel şartlara uymayan durumu gösteren şartlara hâkim şartlar (prevailing conditions) adı verilmiştir. Hâkim şartlar bir yolun incelenmesi sırasında (analiz süresi içerisinde) var olan, mevcut durumu gösteren şartlardır. Bu şartlar da hem trafik akımı hem de yol geometrisi ile ilgili olabilmektedirler. Yolda hâkim olan şartlar söz konusuysa hizmet düzeyi hesabı ve kapasite analizi çalışmalarının yapılabilmesi için, temel şartlar için geçerli olan değerlerin veya değerlendirmelerin düzeltilmesine gerek duyulmaktadır.

Bu bölümün alt başlıklarında hizmet düzeyi hesabı ve kapasite analizi çalışmaları yapılırken incelenen otoyol kesimi üzerinde olması gereken temel şartlar verilecek, yolun sahip olduğu akım ve geometrinin bu şartlardan farklı olması durumunda

yapılması gereken düzeltmeler açıklanacak, takip edilmesi gereken hesap adımları ve yapılacak işlemler tanıtılacaktır.

Burada Karayolları Kapasite El Kitabı 2000 yılı basımındaki bilgilere dayanılarak parametreleri, değerleri ve hesap adımları verilecek olan yöntem, TOK bölgelerinde, aşağıda verilen işlemler için de kullanılabilecektir.

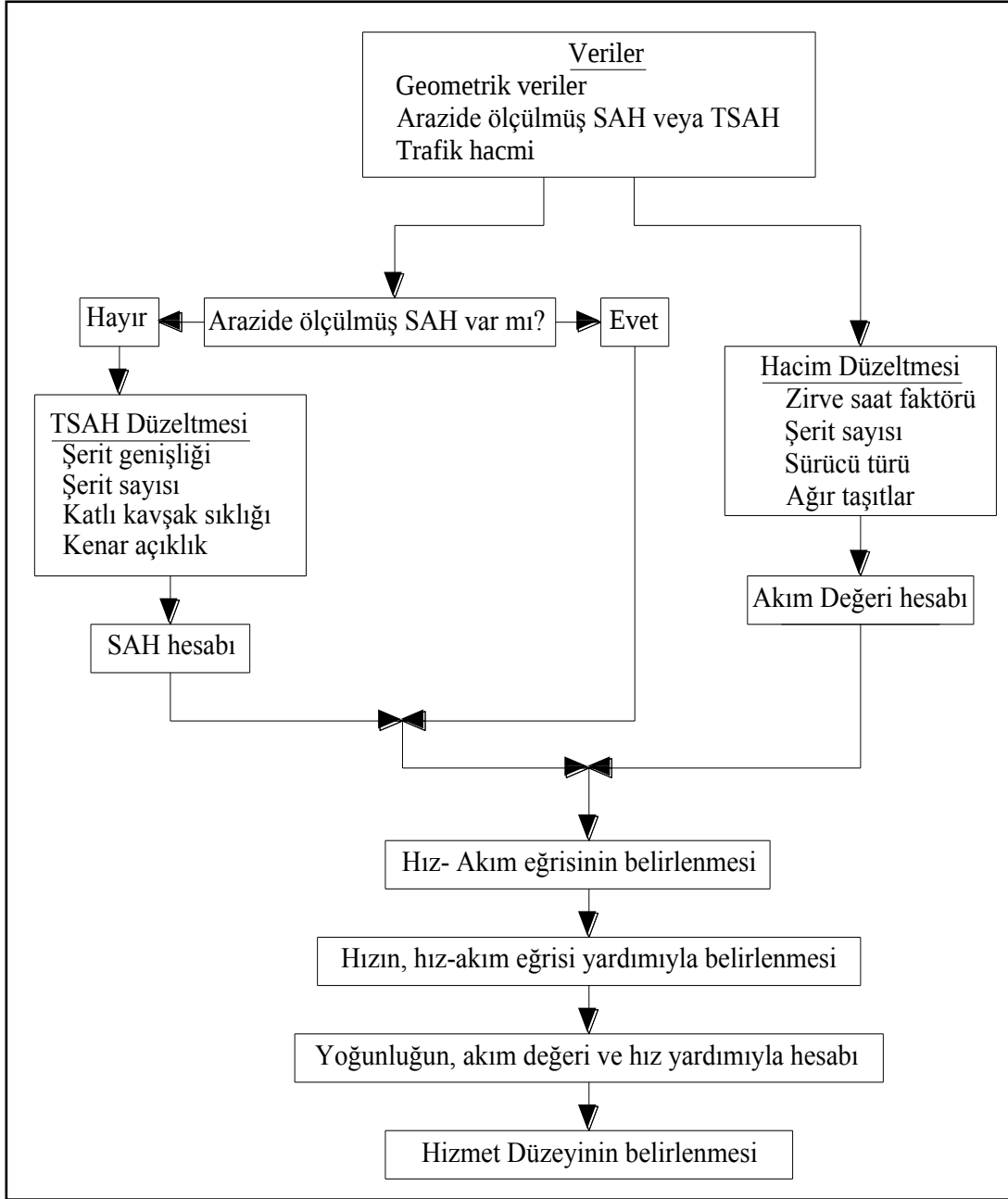
- Trafik akım ve geometrik özelliklerinin kapasite üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi (kapasite analizi)
- Otoyolun taşıyabileceği akım değerinin tespiti
- İşletilmekte olan bir otoyolun hizmet düzeyinin hesabı
- İşletilmekte olan bir otoyolun belirli bir hizmet düzeyi için yeterliğinin sorgulanması ve yeni trafik şeridi ihtiyacı olup olmadığının belirlenmesi

Şekil 4.1'de, TOK bölgelerinde yukarıda sıralanan işlemlerin uygulanabilmesi için kullanılacak veri ve hesabın akış şeması verilmiştir. Şekilde, hesap için gereken verinin; trafik verisi, yol geometrisi ve SAH ile ilgili veriler olduğu görülebilir. SAH değerinin araziden ölçülebildiği durumlarda geometrik verinin büyük bir kısmına ihtiyaç olmadığı da görülmektedir. SAH değerinin yolda yapılacak ölçümlerden elde edilmesinin mümkün olmadığı durumlarda Temel Serbest Akım Hızı (TSAH) adı verilen bir başlangıç değerinin kullanılması söz konusudur.

TRB (2000), temel otoyol kesimlerinin performansının üç farklı ölçü ile değerlendirilebileceğini belirtmiş ve bu ölçüleri "yoğunluk" (bo/km/şrt), "hız" (otomobillerin hızları ortalaması) ve "hacim/kapasite oranı" olarak vermiştir. Ancak hizmet düzeylerinin tespitinde ölçü olarak "yoğunluk" değerini kullanılmış, diğer ölçüler ile "en büyük hizmet akım değerini" ek göstergeler olarak sunmuştur.

Otoyolların "temel otoyol kesimi" olarak adlandırılan kesimlerinde, hizmet düzeyinin tespiti ve kapasitenin analizinde kullanılmak üzere HCM-2000'de önerilen yöntem üç ana aşamadan oluşmaktadır.

- Serbest akım hızının, hâkim yol geometrik özelliklerinin etkileri göz önüne alınarak hesabı
- Akım değerinin, hâkim yol ve trafik özellikleri göz önüne alınarak hesabı
- Yoğunluğun hesaplanıp hizmet düzeyinin tespiti



Şekil 4.1: TOK bölgesi hizmet düzeyi hesabı için gereken veriler ve hesap akışı (TRB, 2000, p. 23-2).

4.1 Serbest Akım Hızının Belirlenmesi

Serbest akım hızı (SAH); TOK bölgesinde düşük trafik hacimlerinde, hâkim yol ve trafik şartları altında otomobillerin hızlarının ortalamasıdır (TRB, 2000). SAH, yasal hız sınırı değildir.

SAH, trafik hacminin düşük olduğu durumda yolda ölçülerek veya temel bir hız değerinden yol geometrik özelliklerinin hız azaltıcı etkilerinin çıkarılmasıyla olmak üzere iki şekilde belirlenebilir.

Yolda ölçmek şeklinde SAH tespit edilecekse, trafik hacminin 1300 bo/sa/şrt değerinde veya daha az olması önerilmektedir. Bu sınır değer taşıt sürücülerinin birbirlerinden etkilenmeden hızlarını seçebilecekleri trafik hacim değeri olarak değerlendirilmektedir. Otomobiller ile ağır taşıtların birlikte seyrettiği otoyollarda arazi ölçümüyle elde edilen SAH değerleri, hıza etkiyen bütün faktörlerin hız üzerindeki etkilerini yansıtır. Ancak bu değerler, düz veya hafif engebeli iniş eğimli kesimler için doğrudan kullanılabilmesine rağmen engebeli ve dağlık arazilerdeki yollarda kullanılması tavsiye edilmemektedir (TRB, 2000).

Yol geometrik özelliklerinin hız azaltıcı etkilerinin temel bir hız değerinden çıkarılmasıyla SAH bilgisine ulaşmada, bu yol özelliklerinin neler olduğunun ve hızı azaltan etkilerinin mertebesinin bilinmesine ihtiyaç vardır.

Yol özellikleri, yol şartları veya yolun durumu (roadway conditions) olarak adlandırılabilir bu özellikler, yolun geometrik ve fizikî durumunu tanımlar. Bunlar bazı hallerde kapasiteyi etkilerken diğer bazı hallerde kapasiteyi etkilemeyip hız, yolculuk süresi gibi performans ölçütlerini etkilerler (TRB, 1985; TRB, 1997; TRB, 2000). Yol özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yol türü ve yapıldığı çevre
- Tasarım hızı
- Şerit sayısı
- Şerit genişliği
- Banket genişliği veya kenar serbest açıklıklar
- Yatay ve düşey geometrik tasarım (dönemeçler ve boyuna eğimler)
- Kavşaklar arası uzaklık

Yol şartları içerisinde en önemli etken, "yol türü ve yapıldığı çevre" değişkenidir. Ancak tez konusu, "otoyol" türü karayollarını konu edindiğinden bu etken, bir ölçüde önemini kaybetmiştir. Öte yandan, bir yolun "yatay ve düşey tasarımı"; "tasarım hızı" ile inşa edileceği bölgenin "topografyasına" bağlıdır. Aşırı engebeli topografya, kapasite ve hizmet akım değerini düşürür. Topografyanın etkisi, ağır seyreden taşıtları geçme imkânının kısıtlandığı ve trafik akımı içerisinde taşıtların serbest hareketinin olmadığı iki şeritli karayollarında daha belirgindir.

Serbest akım hızının araziden ölçülmesinin mümkün olmadığı durumlarda SAH, Temel Serbest Akım Hızı (TSAH) bilgisinden yararlanılarak bulunabilir. TOK

bölgesinde TSAH değerinden SAH değerinin hesabı ile ilgili bağıntı, Denklem 4.1'de verilmiştir.

$$SAH = TSAH - f_{SG} - f_{KA} - f_{SS} - f_{KKS} \quad (4.1)$$

SAH : Serbest akım hızı, km/sa

TSAH : Temel serbest akım hızı (başlangıç değeri), km/sa

f_{SG} : Şerit genişliği düzeltmesi, km/sa

f_{KA} : Kenar açıklık (sağ banket) düzeltmesi, km/sa

f_{SS} : Şerit sayısı düzeltmesi, km/sa

f_{KKS} : Katlı kavşak sıklığı düzeltmesi, km/sa

Şerit genişliği, sağ banket genişliği (kenar açıklık), şerit sayısı ve katlı kavşak sıklığı faktörlerinin hız azaltıcı etkileri TSAH başlangıç değerinden düşülerek SAH değeri elde edilir. Burada önemli olan başlangıç değerinin (TSAH) ne alınacağıdır. TSAH, kırsal otoyollarda 120 km/sa, kent içi ve kent dışı otoyollarda ise 110 km/sa olarak tavsiye edilmektedir (TRB, 2000).

4.1.1 Şerit genişliği düzeltmesi

Yol geometrik özelliklerinden hesaplara olan etkisinin sayısal değerler olarak verildiği faktörlerden ilki şerit genişliğidir. Şerit genişliğinin 3,6 m değerinden daha az olduğu durumlarda sürücüler arzu ettiklerinden daha yanaşık olarak seyretmeye zorlanmaktadırlar. Bu durum seyahat hızlarını düşürmelerine sebep olmaktadır (TRB, 2000). Bu durum şerit genişliğinin, hem hizmet düzeyi hem de kapasite değeri üzerinde, azalan hız nedeniyle etkili olmasına neden olmaktadır.

Otoyolun TOK özelliği gösteren herhangi bir kesimdeki trafik şeritlerinin genişliği veya genişliklerinin ortalaması bilindiğinde, Çizelge 4.1'deki bilgi yardımıyla, şerit genişliğinden ötürü SAH değerinde oluşabilecek azalma tespit edilir.

Ortalama genişlik 3,6 m ve daha fazla ise SAH değerinin (şerit genişliği bilgisinden ötürü) düzeltilmesine gerek yoktur. Başka bir ifadeyle şerit genişliği, hizmet düzeyi, kapasite değeri, vb. için etkin faktör olmaktan çıkmaktadır.

Çizelge 4.1: Otoyolların TOK bölgelerinde trafik şeridi genişliği için önerilen SAH düzeltmeleri (TRB, 2000, p. 23-5).

Şerit Genişliği (m)	SAH Değerinde Yapılması Gereken Azaltma f_{SG} (km/sa)
3,6	0,0
3,5	1,0
3,4	2,1
3,3	3,1
3,2	5,6
3,1	8,1
3,0	10,6

4.1.2 Kenar açıklık düzeltmesi

Yol geometrik özelliklerinden olan ve hesaplarda etkisi verilen diğer bir değişken kenar açıklık (serbest aydınlık, sağ banket genişliği) değeridir.

Kenar açıklık, kaplamalı banketin dış kenarından en yakın trafik şeridinin dış kenarına kadar olan uzunluktur; hem sağ banket, hem de sol (ayırıcıya yakın olan) banket için tanımlanır. Ancak düzeltme değerleri HCM'lerde sadece sağ banket için verilmiştir. Bu sebeple sağ banket genişliği (right-shoulder lateral clearance) olarak da adlandırılır. Kenar açıklığın sağ banket için 1,8 m ve daha fazla, sol banket için 0,6 m ve daha fazla olması standart (düzeltme önerilmeyen) değerlerdir (TRB, 2000).

Sağ banket kenar açıklığının 1,8 m değerinden küçük olduğu durumlarda Çizelge 4.2'deki bilgi yardımıyla SAH değerinde oluşabilecek azalma değeri tespit edilir (TRB, 2000).

Çizelge 4.2: Otoyolların TOK bölgelerinde sağ banket kenar açıklığı için önerilen SAH düzeltmeleri (TRB, 2000, p. 23-6).

Sağ Banket Kenar Açıklığı (m)	Serbest Akım Hızındaki Azalma f_{KA} (km/sa)			
	Tek Yöndeki Şerit Sayısı			
	2	3	4	≥ 5
$\geq 1,8$	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	1,0	0,7	0,3	0,2
1,2	1,9	1,3	0,7	0,4
0,9	2,9	1,9	1,0	0,6
0,6	3,9	2,6	1,3	0,8
0,3	4,8	3,2	1,6	1,1
0,0	5,8	3,9	1,9	1,3

Kenar açıklığın kısıtlayıcı etkisi, şerit genişliği etkisine benzerdir. Düşey işaretleme levhaları, korkuluklar gibi nesnelerin iç veya dış bankete çok yakın yerleştirilmesi, sürücülerin bunlardan sakınarak daha uzaktan seyretmelerine dolayısıyla birbirlerine yaklaşmalarına neden olmaktadır. Birbirine yaklaşan taşıtların durumuna sürücü

tepkisi de yine hızını azaltmak şeklinde olmaktadır. Yol kenarına fazlaca yakın tesis edilmiş nesnelerin en sağdaki şeritte seyreden sürücüler üzerinde refüje yakın seyredenlere nazaran daha etkili olduğu gözlemlenmiştir (TRB, 2000).

4.1.3 Şerit sayısı düzeltilmesi

Yol geometrik özelliklerinden hesaplara olan etkisinin sayısal değerler olarak verildiği faktörlerden bir diğeri de şerit sayısıdır.

Bir otoyolda beklenen sürüş davranışı, şeritlerin hızlara göre seçilmesidir. Yani, hızlı taşıtlar solda, yavaş taşıtlar sağda yer alan şeritlerde seyredeceklerdir. Yavaş seyreden taşıtlardan sakınmak için fırsat yaratması nedeniyle şerit sayısı, serbest akım hızını etkilemektedir. Tek yöne daha az sayıda şeridin ayrıldığı, geçme imkânı az olan otoyollarda taşıtların ortalama hızı düşecektir (TRB, 2000). Böylece şerit sayısı, hem hizmet düzeyi hem de kapasite değeri üzerinde, azalan hız nedeniyle etkili olacaktır.

TRB (2000), şerit sayısının hesap üzerinde etkisinin göz ardı edilebileceği temel durumu, tek yönde 5 ve daha fazla şeridin bulunduğu durum olarak vermiştir. Şerit sayısının tek yön için 5'ten küçük olduğu durumlarda HCM-2000 tarafından verilmiş Çizelge 4.3'teki bilgi yardımıyla SAH değerinde oluşabilecek azalma değeri tespit edilir.

Çizelge 4.3: Otoyolların TOK bölgelerinde şerit sayısı için önerilen SAH düzeltilmeleri (TRB, 2000, p. 23-6).

Şerit Sayısı (tek yöndeki)	Serbest Akım Hızındaki Azalma f_{ss} (km/sa)
≥ 5	0,0
4	2,4
3	4,8
2	7,3

Hesaba konu kesimde, tek yöndeki trafik şeridi sayısı tespit edilirken (varsa) YDT (HOV) şeritleri şerit sayısına dâhil edilmezler. HCM tarafından Çizelge 4.3'te verilen bilgi; kent içi ve kent dışı otoyollardan elde edilen veriye dayanılarak üretildiğinden kentler arası (kırsal) otoyollar için herhangi bir şerit sayısı düzeltilmesi önerilmemektedir. Bu nedenle kırsal otoyollarda, şerit sayısının 5'in altında olduğu hallerde bu değişkenden ötürü düzeltme değeri "sıfır" alınır (TRB, 2000).

4.1.4 Katlı kavşak sıklığı düzeltmesi

Yol geometrik özelliklerinden katlı kavşak sıklığı (interchange density), kapasite hesaplarında değerlendirilmesi gereken diğer bir faktördür.

TRB (2000) katlı kavşağı, en az bir adet "giriş rampasının" bulunduğu kavşak olarak tanımlamaktadır. Yalnızca bir "çıkış rampasının" olduğu kesim katlı kavşak olarak nitelendirilmez ve katlı kavşak sıklığı hesabında kullanılmaz. Ayrıca katlı kavşak olarak düşünülecek kavşaklar, ilgilenilen otoyol ile başka bir otoyolun, karayolunun veya kent içi ana arterin kesişmesinden oluşmalıdır. Bunun dışındaki giriş rampaları kavşak olarak düşünülmezler ve katlı kavşak sıklığı hesabında kullanılmazlar (TRB, 2000).

Katlı kavşak sıklığı, kilometrede 0,3 adet ve daha düşük sayıda ise bu faktörden ötürü SAH değerini düzeltmeye gerek yoktur. Bu sıklık, kavşaklar arası mesafenin 3,3 km ve daha uzun olduğu temel (ideal, standart) durumu göstermektedir (TRB, 2000). Eğer bu mesafe daha düşük değerlerde gerçekleşmişse HCM-2000 tarafından verilmiş Çizelge 4.4'teki bilgi yardımıyla SAH değerinde oluşabilecek azalma değeri tespit edilir.

Çizelge 4.4: Otoyolların TOK bölgelerinde katlı kavşak sıklığı için önerilen SAH düzeltmeleri (TRB, 2000, p. 23-7).

Kilometredeki Katlı Kavşak Sayısı	Serbest Akım Hızındaki Azalma f_{KKS} (km/sa)
$\leq 0,3$	0,0
0,4	1,1
0,5	2,1
0,6	3,9
0,7	5,0
0,8	6,0
0,9	8,1
1,0	9,2
1,1	10,2
1,2	12,1

Katlı kavşak sıklığı hesabı, ilgilenilen otoyol kesiminin 5 km akım yukarı ve 5 km akım aşağı yönde olmak üzere 10 km uzunluğundaki kesimi için yapılır (TRB, 2000). Bu uzunluğa düşen katlı kavşak sayısı, uzunluğa bölünerek düzeltmede esas alınacak sıklık değeri bulunmuş olur.

4.2 Akım Değerinin Belirlenmesi

Hizmet düzeyi hesabı ve kapasite analizi çalışmalarında, serbest akım hızı arazide ölçülerek veya bir başlangıç değerinden yol geometrisinin hız azaltıcı etkilerinin çıkarılmasıyla elde edildikten sonra ikinci aşama akım değerinin belirlenmesidir. Akım değerinin belirlenmesinde hem yol geometrik özellikleri hem de trafik akım özellikleri etkilidir.

Trafik özellikleri veya şartları, yolu kullanan taşıt trafiğinin özellikleridir. Bu aşamada etkili olan trafik akım özellikleri arasında; trafiğin miktarı (taşıt sayısı), taşıt türlerinin dağılımı (ağır taşıtların varlığı), trafiğin yönler göre ve mevcut şeritler arasındaki dağılımı ile sürücü davranış özellikleri verilmiştir (TRB, 1985; TRB, 2000).

Hizmet düzeyinin belirleneceği otoyol kesimi için hesaplanacak saatlik akım değerinin; trafik akımı üzerinde ağır taşıtların, trafik akımındaki bir saatlik süre içerisinde oluşan geçici dalgalanmaların ve yolu kullanan sürücülerin davranışlarının etkilerini göstermesi gerekir. Bu sebeple taşıt/saat birimindeki trafik hacmi, birim otomobil/saat birimi elde edilecek şekilde, eşdeğer birim otomobil akım değerine çevrilir. Ayrıca ağır taşıt ve zirve saat düzeltme faktörlerinin kullanılmasıyla şerit başına birim otomobil eşdeğeri türünden akım değeri, saatlik trafik hacminden Denklem 4.2 kullanılarak hesaplanır (TRB, 2000).

$$v_p = \frac{V}{ZSF \cdot SS \cdot f_{AT} \cdot f_{ST}} \quad (4.2)$$

v_p : 15 dakikalık birim otomobil eşdeğeri türünden akım değeri, bo/sa/şrt

V : Saatlik trafik hacmi, tş/sa

ZSF : Zirve saat faktörü

SS : Şerit sayısı

f_{AT} : Ağır taşıt düzeltmesi

f_{ST} : Sürücü türü düzeltmesi

4.2.1 Zirve saat faktörü

Akım değerinin belirlenmesi için kullanılan Denklem 4.2'de bilinmesi gereken etkenlerden ilki zirve saat faktörüdür. Trafik akımının bir saatlik süre içerisindeki dalgalanmalarının büyüklüğü zirve saat faktörü ile gösterilir. Çalışmalarda, 15

dakikalık bir zaman dilimi içerisinde ölçülen akım değerinin bütün bir saat boyunca devam etmediği görülmüştür. Zirve saat faktörü, bütün bir saat boyunca geçen taşıt sayısının, 15 dakikalık gözlemlerin en büyüğünden elde edilen saatlik değere bölünmesi ile bulunur (TRB, 2000).

Otoyollar için trafik bilgisi mevcut ise bu bilgi kullanılarak zirve saat faktörü hesaplanır. Bu mümkün olamıyorsa HCM-2000, Denklem 4.2'deki zirve saat faktörü için kentler arası otoyollarda veya herhangi bir otoyol türünün zirve olmayan saatlerinde 0,80-0,88 değerini; kent içi ve kent dışı otoyolların zirve saatlerinde ise 0,92-0,95 değerini tavsiye etmiştir (TRB, 2000).

4.2.2 Ağır taşıt düzeltmesi

Herhangi bir karayolu üzerinde seyreden trafik, boyutları ve manevra kabiliyetleri farklı olan taşıtların bir araya gelmesiyle oluşur. Bu farklılığın karşılaştırmalarda kullanılabilecek bir birime çevrilerek giderilmesi gerekmektedir. Benzer birçok trafik mühendisliği çalışmalarında olduğu gibi hizmet düzeyi hesabı ve kapasite analizi çalışmalarında da, trafikte seyreden taşıtların etkilerinin işletmeye yansıtılması ve taşıtların tek tipleştirilmesi (birim otomobile çevrilmesi) gerekmektedir.

Akım değerinin belirlenmesinde etkili olan ve trafik akım özellikleri arasında bulunan bir diğer özellik taşıt türlerinin dağılımıdır. Taşıt türlerinin dağılımı (kompozisyonu) açısından trafik akımındaki temel (standart) durum, taşıt trafiğinin yalnızca otomobillerden oluşmasıdır. Trafikte ağır taşıtların varlığı, bu standart durumdan uzaklaşılarak, durumun kötüleşmesine neden olmaktadır.

Taşıt türü (vehicle type), trafik akımındaki otomobil dışında kalan taşıtların varlığını ve miktarını ifade etmede kullanılır. Trafik akımında otomobil dışında kalan (kamyonet ve minibüs dâhil) taşıtların tamamı yolun hizmet verdiği taşıt sayısını etkilemeleri nedeniyle ağır taşıt olarak nitelenebilir. Ancak ağır taşıtlar; kullanımları sırasında kaplamaya dörtten fazla tekerlek bandajının temas ettiği taşıtlar, olarak tanımlanmıştır (TRB, 2000).

HCM-2000, A.B.D.'deki taşıt trafiğini otomobil (passenger car), karavan (recreational vehicle) ve kamyonlar-otobüsler (trucks-buses) olarak üç farklı sınıfa ayırmış ve ilki dışında kalan diğer iki taşıt sınıfını "ağır taşıt" olarak nitelendirerek otomobil türünden eşdeğerliklerini vermiştir. Ancak birim otomobil eşdeğerlikleri

önerilirken otobüs ve kamyonların yaklaşık aynı manevra özelliği göstermeleri nedeniyle birlikte değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Karavan tipi taşıtların trafik içerisindeki payının kamyon-otobüs sınıfının beşte birinden az olduğu durumlarda, bütün ağır taşıtların kamyon-otobüs sınıfı sayılması da önermektedir (TRB, 2000).

Trafiği oluşturan taşıtların toplam içerisindeki payı ve her bir taşıt türünün birim otomobil türünden eşdeğerliği bilinmek şartıyla HCM-2000, taşıt trafiğini tek bir birim altında ifade etmek ve farklı taşıt türlerinin işletmeye olan etkilerini yansıtmak için Denklem 4.3'ü önermektedir (TRB, 2000). Denklem incelendiğinde, trafikteki ağır taşıtların iki farklı türden oluşmuş gibi düşünüldüğü görülebilir.

$$f_{AT} = \frac{1}{1 + P_{KO}(E_{KO} - 1) + P_K(E_K - 1)} \quad (4.3)$$

f_{AT} : Ağır taşıt düzeltmesi

P_{KO} : Kamyon ve otobüslerin trafikteki payı

P_K : Karavanların trafikteki payı

E_{KO} : Kamyon ve otobüs için birim otomobil eşdeğerliği

E_K : Karavan için birim otomobil eşdeğerliği

Eşdeğerlikler, hâkim trafik ve yol şartlarında otoyol kapasitesinin ilgili taşıt sınıfı tarafından kullanılan kısmının kaç yolcu otomobili tarafından kullanılabileceğini gösteren sayılardır.

Henüz inşa edilmemiş otoyolların analizinde ağır taşıtların oranı, benzer çevre (düz, engebeli, dağlık) ve talep şartlarında olan diğer karayollarından elde edilebilir. Eğer ağır taşıt oranı bilgisi elde edilemiyorsa kent içi otoyollar için %5, kırsal otoyollar için %10 değerleri varsayılan değerler olarak kullanılabilir (TRB, 2000).

Kapasite üzerinde etkili trafik akım özellikleri arasında yer alan taşıt türü değişkeninde, ağır taşıtların birim otomobil eşdeğerliklerinin bulunabilmesi için öncelikle bir veya birden fazla eğimli kesimden oluşabilen analiz bölgesinin eşdeğer eğim değeri ve uzunluğunun bulunması gerekir. Eğimli kesimler; genelleştirilmiş boyuna eğimli kesimler, iniş eğimli kesim ve çıkış eğimli kesim olarak değerlendirilebilir. Eşdeğerlikler, boyuna eğimin üç farklı değerlendirilme şekli için ayrı değerler olarak önerilmektedir.

Genelleştirilmiş boyuna eğimli kesim; çok sayıda iniş eğimli, çıkış eğimli ve düz kesimin tek bir eğimden oluşmuş gibi düşünülmesinin uygun olduğu kesimlerdir. Bu kesimi oluşturacak olan kısımlar işletmeyi etkilemeyecek kadar kısa ve yatık (az eğimli) olmalıdır. HCM-2000 tarafından aşağıda verilen özellikte olan kesimler, genelleştirilmiş boyuna eğimli kesim olarak nitelendirilmektedir (TRB, 2000).

- Boyuna eğim değeri $< \%3$ ve uzunluğu < 1 km olan kesimler
- Boyuna eğim değeri $\geq \%3$ ve uzunluğu $< 0,5$ km olan kesimler

Hizmet düzeyi veya kapasite analizi yapılacak yol kesimi, genelleştirilmiş boyuna eğimli kesim olabilecek nitelikteyse, bu kesimin inşa edildiği araziye genel olarak; "düz", "engebeli" veya "dağlık" arazi olarak nitelendirilerek incelemek gerekmektedir.

Genelleştirilmiş boyuna eğimli otoyol kesimlerinin genel özelliğinin düz, engebeli veya dağlık olduğu kararı verildikten sonra, HCM-2000 tarafından Çizelge 4.5'de önerilen eşdeğerlikler, ağır taşıt düzeltmesi hesabında kullanılabilirler. Burada önemli olan genelleştirilmiş boyuna eğimli otoyol kesimleri için başlangıçta verilmiş olan ön şarta uyulmasıdır. Verilen ön şart, özellikle dağlık tip arazilerde sağlanamamaktadır. Yine de bu tür bir yaklaşımın, henüz planlama aşamasında olan ve geometrik özellikleri (boyuna eğimleri) tam olarak belirlenmemiş bir otoyolun kapasite analizinde, kılavuz olarak kullanılması mümkündür.

Çizelge 4.5: Genelleştirilmiş boyuna eğimli otoyol kesimlerinde ağır taşıtlar için birim otomobil eşdeğerlikleri (TRB, 2000, p. 23-9).

Eşdeğerlik Türü	Arazi Türü		
	Düz	Engeli	Dağlık
E_{KO} (kamyon ve otobüs)	1,5	2,5	4,5
E_K (karavan)	1,2	2,0	4,0

Otomobil eşdeğerliği ile ilgili daha ayrıntılı bir değerlendirme ise çıkış ve iniş eğimlerine ve bu eğimli kesimlerin uzunluklarına göre yapılmıştır (TRB, 2000). Kamyon ve otobüslerin otomobil eşdeğerlikleri, çıkış eğimli otoyol kesimleri için Çizelge 4.6'da, iniş eğimli otoyol kesimleri için ise Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.6: Çıkış eğimli otoyol kesimlerinde kamyon ve otobüsler için birim otomobil eşdeğerlikleri (TRB, 2000, p. 23-10).

Çıkış Eğimi (%)	Uzunluk (km)	E _{KO}								
		Kamyon ve Otobüslerin Trafikteki Payı (%)								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
< 2	Hepsi	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	0,0-0,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,4-0,8	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
≥ 2-3	>0,8-1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>1,2-1,6	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>1,6-2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>2,4	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	0,0-0,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,4-0,8	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
> 3-4	>0,8-1,2	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>1,2-1,6	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
	>1,6-2,4	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
	>2,4	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
	0,0-0,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,4-0,8	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
> 4-5	>0,8-1,2	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	>1,2-1,6	4,0	3,5	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0
	>1,6	5,0	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0
	0,0-0,4	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,4-0,5	4,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>0,5-0,8	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
> 5-6	>0,8-1,2	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>1,2-1,6	5,5	5,0	4,5	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>1,6	6,0	5,0	5,0	4,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
	0,0-0,4	4,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
	>0,4-0,5	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5
	>0,5-0,8	5,0	4,5	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5
> 6	>0,8-1,2	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0
	>1,2-1,6	6,0	5,5	5,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5
	>1,6	7,0	6,0	5,5	5,5	5,0	4,5	4,0	4,0	4,0

Çizelge 4.7: İniş eğimli otoyol kesimlerinde kamyon ve otobüsler için birim otomobil eşdeğerlikleri (TRB, 2000, p. 23-11).

İniş Eğimi (%)	Uzunluk (km)	E _{KO}			
		Kamyonların Trafikteki Payı (%)			
		5	10	15	20
< 4	Hepsi	1,5	1,5	1,5	1,5
4-5	≤ 6,4	1,5	1,5	1,5	1,5
4-5	> 6,4	2,0	2,0	2,0	1,5
5-6	≤ 6,4	1,5	1,5	1,5	1,5
5-6	> 6,4	5,5	4,0	4,0	3,0
> 6	≤ 6,4	1,5	1,5	1,5	1,5
> 6	> 6,4	7,5	6,0	5,5	4,5

4.2.3 Sürücü türü düzeltmesi

Trafik akım özellikleri arasında akım değerine etkiyen bir başka faktör, sürücü davranış özelliği (sürücü türü, driver population) değişkenidir. Bu değişkenden kastedilen, yolu kullanan sürücülerin yolculuk amaçlarıdır. Zorunlu yolculuk yapan

sürücüler, farklı etkinlik amaçlı yolculuk yapan sürücülere göre değişik davranış özelliği göstermekte ve yol kapasitesini daha iyi kullanabilmektedir. Sürücülerin kullanmakta oldukları yolu trafik ve geometrik özellikleri itibariyle biliyor olması, yolculuklarını kısa sürede tamamlamak istekleri, vb. nedenler yolu daha etkin kullanmaları sonucunu doğurmaktadır.

Sürücü özelliği ile ilgili verilen değer, ilgilenilen yoldaki trafik akım özelliğinin; sürekli o yolu kullanan sürücülerin, büyük ölçüde zorunlu yolculuklardan oluşmuş bir trafik içerisinde seyretmelerine benzer bir özellik göstermesi veya büyük çoğunluğu o yolu tanıyan sürücülerden oluşan bir trafik akımı olması varsayımına dayanmaktadır. Hafta sonu trafiğinde olduğu gibi, ilgili yolu sürekli kullanmayan sürücülerin varlığı, bu temel varsayımı değiştirmektedir.

Bir yol kesiminin tatil trafiği kapasitesinin, zorunlu yolculuk yapan trafik kapasitesinden %10-15 oranında daha düşük olduğu, ancak serbest akım hızının aynı oranda azalmadığı belirtilmektedir. İlgilenilen otoyol kesiminde sürücülerin kapasite azaltıcı bu etkisinin ortadan kaldırılması için ilgili kesimde elde edilmiş saha verilerinin kullanılması gerekir (TRB, 2000).

Sürücü davranışlarındaki bu farklılığı akım değerine yansıtmak için sürücü türü düzeltmesi yapılır. Sürücü türü düzeltmesi, kullandığı otoyola yabancı olan sürücülerin etkisini hesaba katmak için akım değerini artırmada kullanılmaktadır. Değer olarak, 0,85 ile 1,00 arasında değerler alır. Sürücü türü düzeltmesinde temel durum için 1,00 alınsa da hafta sonu trafiğini çeken alanlardaki hizmet düzeyi hesabı ve kapasite analizlerinde 0,85 değerine düşürülebilir (TRB, 2000).

Sürücü türü etkisinin tam olarak ne kadar olduğu önemli ise, yolu tanıyan ve yola yabancı olan sürücülerin oluşturduğu trafik akım değerlerin ve seyahat hızlarının karşılaştırıldığı bir saha çalışması yapılabilir (TRB, 2000).

4.3 Yoğunluğun Hesabı ve Hizmet Düzeyinin Belirlenmesi

HCM-2000'de temel otoyol kesimlerinin hizmet düzeyinin hesabı ve kapasite analizinde son aşama, hizmet düzeyleri bu ölçüte göre tanımlandığından, "yoğunluk" değerinin hesaplanmasıdır. Bu amaçla Denklem 4.4 verilmiştir (TRB, 2000).

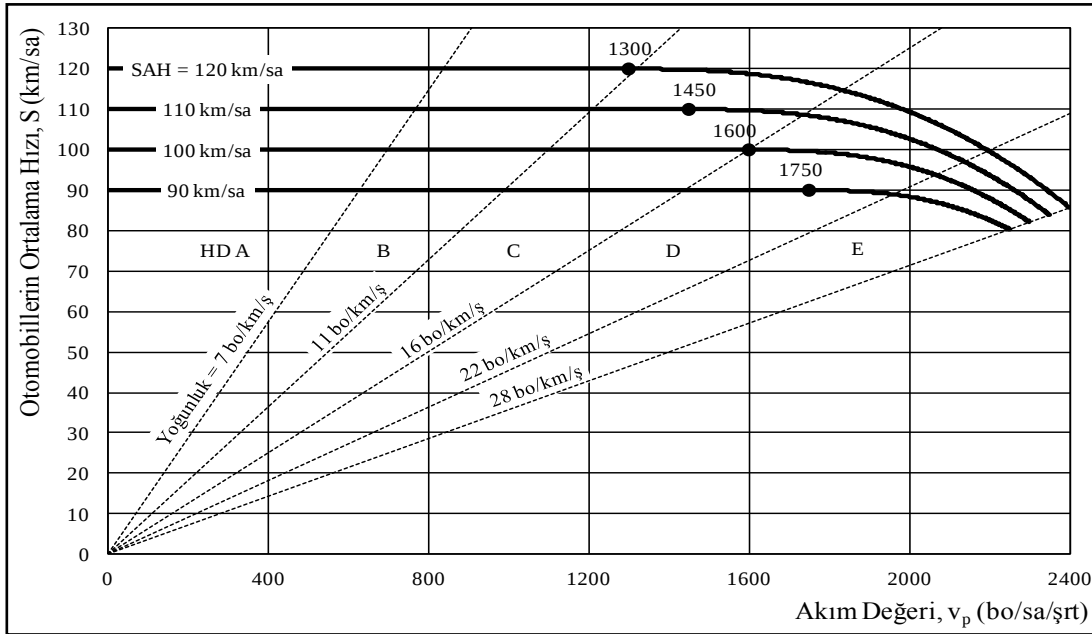
$$D = \frac{v_p}{S} \quad (4.4)$$

D : Yoğunluk, bo/km/şrt

v_p : Akım değeri, bo/sa/şrt

S : Otomobillerin ortalama hızı, km/sa

Ancak Denklem 4.4'ten yoğunluğun bulunması için "otomobillerin ortalama hızının" bulunması gerekmektedir. Bu amaçla, bu aşamadan önce hesaplanmış (veya arazide ölçülmüş) olan SAH değeri ve akım değeri (v_p) kullanılır. Bu iki değer bilindikten sonra, HCM-2000'de verilmiş olan Şekil 4.2 yardımıyla veya bu şeklin matematik ifadesi olan bağıntılar kullanılarak, otomobillerin ortalama hızı bulunabilir.



Şekil 4.2: Temel otoyol kesimleri için hız-akım eğrileri ve hizmet düzeyleri (TRB, 2000, p. 23-4).

Önceden hesaplanmış olan SAH değeri için otomobillerin ortalama hızı Şekil 4.2 kullanılarak bulunmak istenirse, SAH değeri kullanılarak, şekildeki eğrilerin arasında kalacak ve bu eğrilere benzeyecek formda bir eğri çizilir. Akım değeri, yatay eksende işaretlenerek çizilmiş olan eğri kestirilir. Bulunan nokta, hizmet düzeyini gösterirken noktanın düşey eksendeki izdüşümü, otomobillerin ortalama hızı olarak tayin edilmiş olur.

Otomobillerinin ortalama hızı (S); serbest akım hızı (SAH) ve akım değeri (v_p) önceden hesaplanmış olmak kaydıyla, Denklem 4.5 ve Denklem 4.6'daki bağıntılar kullanılarak da hesaplanabilir.

$$90 \leq \text{SAH} \leq 120 \text{ ve } (3100 - 15\text{SAH}) < v_p \leq (1800 + 5\text{SAH}) \text{ ise} \quad (4.5)$$

$$S = \text{SAH} - \left[\frac{1}{28} (23\text{SAH} - 1800) \left(\frac{v_p + 15\text{SAH} - 3100}{20\text{SAH} - 1300} \right)^{2,6} \right]$$

$$90 \leq \text{SAH} \leq 120 \text{ ve } v_p \leq (3100 - 15\text{SAH}) \text{ ise} \quad (4.6)$$

$$S = \text{SAH}$$

SAH : Serbest akım hızı, km/sa

v_p : Akım değeri, bo/sa/şrt

S : Yolcu otomobillerinin hızları ortalaması, km/sa

HCM-2000'de verilmiş olan ve TOK kesimlerinin hizmet düzeyini belirlemede kullanılan Çizelge 4.8'deki yoğunluk değerleri ile hesaplanan yoğunluk değeri karşılaştırılarak ilgilenilen kesimdeki hizmet düzeyi belirlenir.

Çizelge 4.8: Temel otoyol kesimleri için hizmet düzeyi ölçütleri³ (TRB, 2000, p. 23-3).

Ölçütler	Hizmet Düzeyi				
	A	B	C	D	E
SAH=120 km/sa					
En büyük yoğunluk (bo/km/şrt)	7	11	16	22	28
En küçük hız (km/sa)	120,0	120,0	114,6	99,6	85,7
En büyük hacim/kapasite oranı (v/c)	0,35	0,55	0,77	0,92	1,00
En büyük hizmet akım değeri (bo/sa/şrt)	840	1320	1840	2200	2400
SAH=110 km/sa					
En büyük yoğunluk (bo/km/şrt)	7	11	16	22	28
En küçük hız (km/sa)	110,0	110,0	108,5	97,2	83,9
En büyük hacim/kapasite oranı (v/c)	0,33	0,51	0,74	0,91	1,00
En büyük hizmet akım değeri (bo/sa/şrt)	770	1210	1740	2135	2350
SAH=100 km/sa					
En büyük yoğunluk (bo/km/şrt)	7	11	16	22	28
En küçük hız (km/sa)	100,0	100,0	100,0	93,8	82,1
En büyük hacim/kapasite oranı (v/c)	0,30	0,48	0,70	0,90	1,00
En büyük hizmet akım değeri (bo/sa/şrt)	700	1100	1600	2065	2300
SAH=90 km/sa					
En büyük yoğunluk (bo/km/şrt)	7	11	16	22	28
En küçük hız (km/sa)	90,0	90,0	90,0	89,1	80,4
En büyük hacim/kapasite oranı (v/c)	0,28	0,44	0,64	0,87	1,00
En büyük hizmet akım değeri (bo/sa/şrt)	630	990	1440	1955	2250

³ Çizelgede yuvarlatılmış değerler kullanıldığından "yoğunluk" ile "hacim/kapasite oranı" arasında var olan gerçek matematik ilişki, her zaman hizmet düzeyi sınırları içerisinde kalmaz. Yoğunluk, hizmet düzeyinin tespitinde öncelikli belirleyici ölçüttür. Verilen bir hizmet düzeyi için "hız ölçütü", en büyük yoğunluktaki hızı göstermektedir (TRB, 2000, p. 23-3).

Çizelge 4.8'de, TOK bölgelerinde değişik SAH değerlerine karşı gelen hizmet düzeyinin farklı ölçüleri de verilmiştir. Çizelgede verilenler, temel şartlarda, her bir hizmet düzeyi için ilgili yoğunluk değerlerinde gerçekleşmesi beklenen hız ve akım değerleridir. Ancak sürücü davranışındaki yerel farklar, Çizelge 4.8'de verilmiş olan bu değerleri değiştirebilir.

Böylece, serbest akım hızı (SAH), akım değeri (v_p), yolcu otomobillerinin ortalama hızı (S) ve yoğunluk (D) hesaplanmış bulunmaktadır.

Kapasite analizinde yol ve trafik şartlarını doğrudan kullanmak söz konusu değildir. Yapılması gereken (yukarıdaki başlıklarda ayrıntıları verildiği gibi) mevcut şartların SAH ve trafik talebine (hacmine) olan etkisini tahmin edip bu değerleri düzeltmek şeklindedir. Ancak hizmet düzeyi hesabında yoğunluğun arazide (yolda) ölçümü yapılabiliyorsa, bu veri kullanılarak hizmet düzeyinin doğrudan tespiti yapılabilir (TRB, 2000).

5. ÇALIŞMA ALANI, ÖZELLİKLERİ VE VERİLERİN İŞLENMESİ

5.1 Temel Otoyol Kesimlerinin Belirlenmesi

Tez çalışması, otoyolu oluşturan kesimlerden biri olan ve toplam uzunluğun çok büyük kısmını oluşturan TOK (Temel Otoyol Kesimi) bölgelerinin hizmet düzeyi ve kapasitesini etkileyen faktörlerin, ülkemiz yol ve trafik özellikleri altında alabileceği değerlerin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

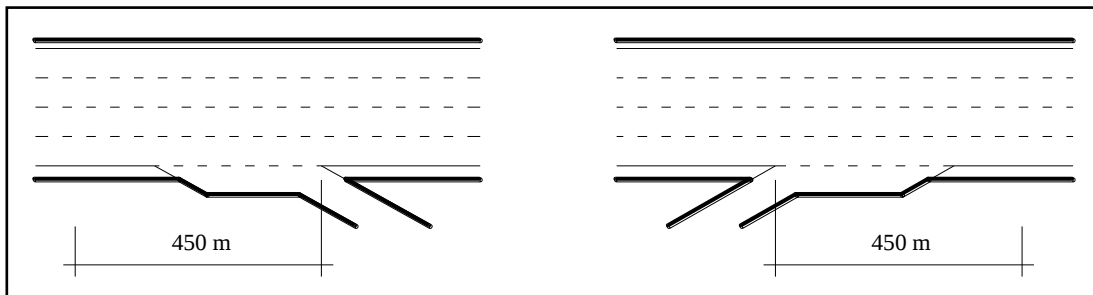
TOK bölgesinin hizmet düzeyi ve kapasite açısından incelenmesi konusunda ilk aşamada yapılması gereken, TOK bölgesinin nerede başlayıp nerede bittiğine karar verilmesidir. Başlangıç olarak, TOK bölgesi olarak değerlendirilecek kesim, giriş ve çıkış kesimleri arasındaki uzunluk olarak düşünülebilir. Ancak TOK bölgesinin başladığı ve bittiği yerin tam olarak bilinmesi istendiğinde, giriş ve çıkış kesimlerinin anayol trafiği üzerindeki olumsuz etkilerinin incelenmesi gerekecektir. Olumsuz etkinin göstergeleri; akım hızı, akım yoğunluğu veya akım değeri gibi akım özelliklerindeki bariz değişimlerdir. Bu özellikler içerisinde en belirgin olanı, akım hızıdır. Olumsuz etkinin başladığı ve bittiği noktalar, ana yol trafiği akım hızının dikkate değer derecede farklılaştığı noktalar olarak belirecektir. Bu noktaların yerleri; anayolun ve giriş-çıkış kollarının geometrisine, akım özelliklerine, sürücü davranışlarına, vb. bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. Pek çok faktöre bağlı olarak yeri değişebiliyor olsa da bu noktaların bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir.

TOK bölgesinin tespitine yönelik olarak olumsuz etki sınırını belirten bu noktaların tespiti iki şekilde yapılabilir. İlk yöntemde; otoyolun, giriş ve çıkış kesimleri civarında, etkileneceği beklenen kesim boyunca, yeterli sıklıkta hız algılayıcıları yerleştirilir. Otoyolun giriş-çıkış kesimleri yakınlarındaki algılayıcılarda ve uzak kesimlerinde ölçülen hız bilgileri karşılaştırılarak hızın önemli derecede farklılaştığı yer tespit edilebilir. Bu yöntemde, hızlar arasındaki önemli derecede olan farklılaşmanın değerine de karar verilmesi gerekmektedir. İkinci bir yöntem olarak giriş-çıkış kesimlerinin etkilerinin görülmediği belirtilen uzunluklar hakkında çeşitli kaynaklarda verilen değerlerin kullanılması yoluna gidilebilir. Tez çalışması için

temin edilen trafik verileri içerisinde, ilgilenilen kesimler için giriş-çıkış kesimlerine yakın ardışık algılayıcılardan alınmış hız verisi bulunmadığından, kaynaklarda önerilen uzunlukların kullanılması zorunlu olmuştur.

HCM, gerek çıkış kesimindeki ayrılma hareketinin, gerekse giriş kesimindeki katılma hareketinin ana yol trafiği üzerindeki etkilerinin görülebileceği uzunluklar için çeşitli değerler önermiştir. TRB (1985) çıkış kesimi etkisinin, ana yolun, yaklaşan akım yönünde 750 m ve daha kısa; uzaklaşan akım yönünde 150 m ve daha kısa kesiminde; giriş kesimi etkisinin ise ana yolun, yaklaşan akım yönünde 150 m ve kısa; uzaklaşan akım yönünde 750 m ve daha kısa kesiminde görüldüğünü belirtmiştir. Aynı kaynak örülme kesimi etkilerinin katılma noktasından 150 m önce başlayıp ayrılma noktasından 150 m sonra ortadan kalktığını da belirtmiştir. TRB (2000) ise katılma kesiminin etkilediği uzunluğun uzaklaşan akım yönünde 450 m, ayrılma kesiminin etkilediği uzunluğun ise yaklaşan akım yönünde 450 m olduğunu; örülme kesimi etkilerinin ise 750 m uzunlukta incelenebileceğini belirtmiştir. Daha uzun örülme kesimlerindeki işletme özelliklerinin TOK bölgesi özelliklerine benzediği de belirtilmiştir.

Tez çalışmasında, giriş ve çıkış kesimleri arasında kalan ve bu kesimlere en az 450 m uzakta bulunan noktalar arasındaki kesimler TOK olarak değerlendirilmiştir. Bu kesimler; ayrıntılı inceleme ve değerlendirme aşamasında, trafik ve yol özellikleri itibarıyla, tekdüze (uniform) özellikte bölümlerden oluşan alt kesimlere bölünmüştür. Şekil 5.1'de HCM tarafından önerilen ve tez çalışmasında kullanılan, ayrılma ve katılma kesiminin ana yol trafiği üzerinde etkisinin görüldüğü uzunluklar verilmiştir.



Şekil 5.1: Ayrılma (solda) ve katılma (sağda) kesimlerinin ana otoyol trafiği üzerinde etkili olduğu uzunluklar (TRB, 2000, p. 13-21).

5.2 Tez Çalışması Kapsamında İncelenen Otoyollar

Tez çalışması, İstanbul ili içerisinde KGM tarafından işletilmekte olan 152 km ana otoyol geçkisinin trafik verisi elde edilebilen yaklaşık 96 km uzunluğundaki bölümü üzerinde, her bir yönü ayrı birer yol gibi düşünülerek (toplam 192 km uzunluğundaki otoyol boyunca) gerçekleştirilmiştir. İncelenen otoyol geçkisi KGM'nin verdiği isimlerle adlandırılarak Çizelge 5.1'de verilmiştir. Çizelgeden, otoyolların her bir yönünün ayrı birer yol olarak ele alındığı gözlemlenebilir.

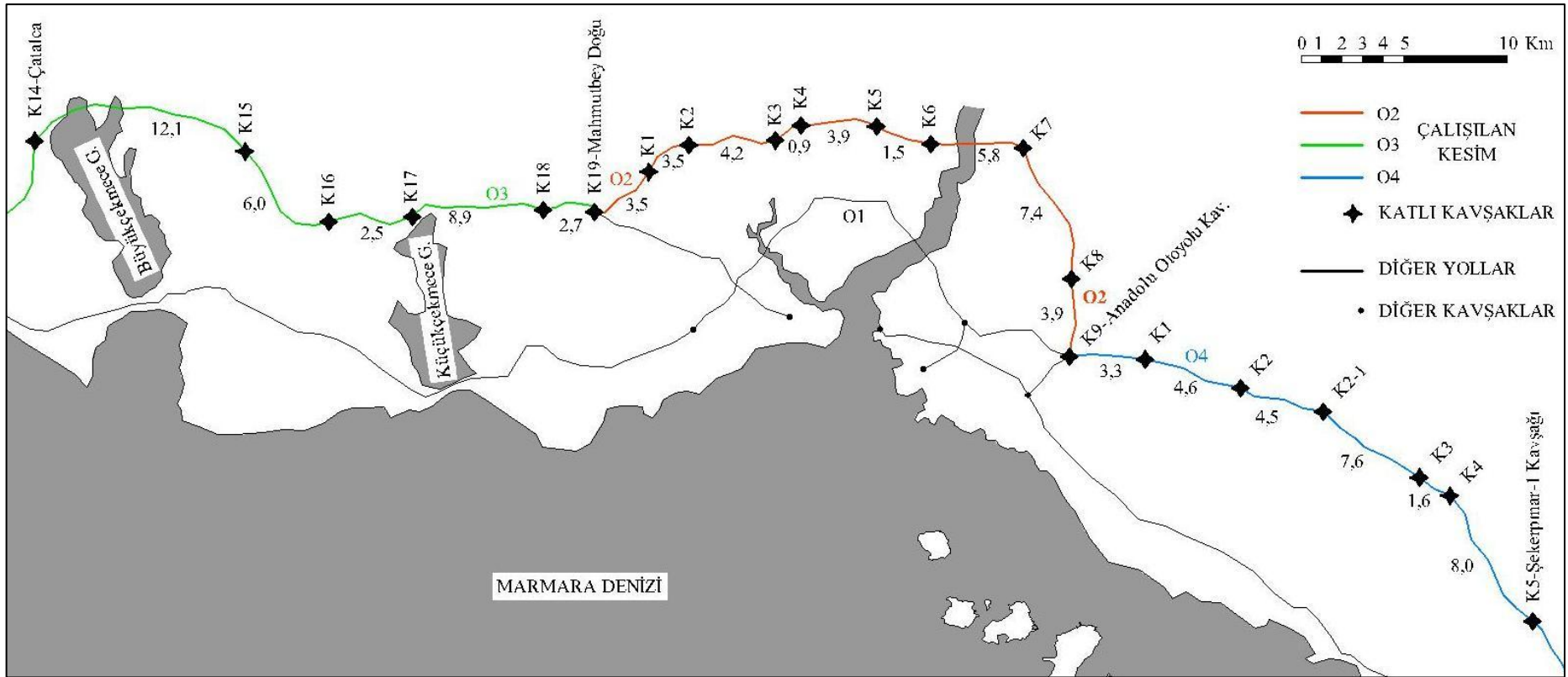
Çizelge 5.1: Tez çalışmasında incelenen İstanbul ilindeki otoyol kesimleri.

Otoyol Adı	İncelenen Kesim Adı	Uzunluk km
O3 (Doğuya)	Çatalca Kavşağı (K14) - Mahmutbey Doğu Kavşağı (K19)	32,2
O2 (Doğuya)	Mahmutbey Doğu Kav. (K19) - FSM Köprüsü - Anadolu Otoyolu Kav. (K9)	34,6
O4 (Doğuya)	Anadolu Otoyolu Kavşağı (K9) - Şekerpınar-1 Kavşağı (K5)	29,6
O4 (Batıya)	Şekerpınar-1 Kavşağı (K5) - Anadolu Otoyolu Kavşağı (K9)	29,6
O2 (Batıya)	Anadolu Otoyolu Kav. (K9) - FSM Köprüsü - Mahmutbey Doğu Kav. (K19)	34,6
O3 (Batıya)	Mahmutbey Doğu Kavşağı (K19) - Çatalca Kavşağı (K14)	32,2

İncelenen kesimlerin İstanbul ili karayolu ağı içerisindeki konumu Şekil 5.2'de ve otoyol-ekspresyol ağı içerisindeki konumu Şekil 5.3'te gösterilmiştir. İncelenen otoyol, Edirne'den Ankara'ya uzanan ve KGM (2011) envanterinde (batıdan doğuya doğru, sırasıyla) O3, O2 ve O4 adları ile anılan otoyolların, İstanbul ili içerisinde kalan kısmının, gerekli nitelikte trafik verisinin temin edilebildiği bölümleridir. Bu geçki, Avrupa Yol Ağı içerisinde E-80 olarak adlandırılmaktadır. O3 otoyolunun incelenen kesimi, Büyükçekmece Gölünün batısındaki Çatalca Kavşağı'ndan (K14) başlayıp Hadımköy (K15), Avcılar (K16), Ispartakule (K17) ve Mahmutbey Batı (K18) kavşaklarını geçerek Mahmutbey Doğu Kavşağı'nda (K19) sonlanan 32,2 km uzunluğundaki bölümdür. O2 otoyolunun incelenen kesimi, bu otoyolun başlangıç noktası olan Mahmutbey Doğu Kavşağı'ndan (K19) başlayıp Metris (K1), Gaziosmanpaşa (K2), Kemerburgaz (K3), Hasdal (K4), Harpakademileri (K5), Levent-1 (K6), Fatih Sultan Mehmet Köprüsü, Kavacık (K7) ve Ümraniye (K8) kavşaklarını geçerek Anadolu Otoyolu Kavşağı'nda (K9) sonlanan 34,6 km uzunluğundaki bölümdür. O4 otoyolunun incelenen kesimi, Anadolu Otoyolu Kavşağı'ndan (K9) başlayıp İMES (K1), Samandıra-1 (K2), Sultanbeyli (K2-1), Kurtköy-1 (K3) ve Otoyol Havaalanı (K4) kavşaklarını geçerek Şekerpınar-1 Kavşağı'nda (K5) sonlanan 29,6 km uzunluğundaki bölümdür. O3, O2 ve O4 otoyolu geçkileri, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te gözlemlenebilir.



Şekil 5.2: İncelenen kesimlerin (kuzeyden geçen ve koyu renk çizilmiş olan) İstanbul ili karayolu ağı içerisindeki konumu (Url-7).



Şekil 5.3: İncelenen kesimlerin İstanbul ili otoyol-ekspresyol ağı içerisindeki konumu.

5.3 Trafik Verisi

İncelenen otoyollar üzerinde seyreden taşıt trafiğinin özelliklerini ortaya koyan veriler, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Kontrol Merkez Müdürlüğü'nden (İBB-TKM) temin edilmiştir. İBB-TKM, İstanbul ili genelindeki ana yollar üzerine trafik bilgilerini alabilmek amacıyla 2004 yılından başlayıp 2010 yılı sonuna kadar 363 adet algılayıcı (RTMS®) yerleştirmiştir. Bu algılayıcılar, 2 dakikalık zaman aralıkları ile her bir trafik şeridi için "tarih, saat, ağır taşıt sayısı, toplam taşıt sayısı, akım hızı, işgal oranı" bilgilerini içeren bir rapor üretmektedirler. Algılayıcılar tarafından kaydedilmiş trafik akım bilgilerini içeren örnek bir rapor Çizelge 5.2'de verilmiştir.

İncelenen otoyol geçkisi boyunca algılayıcıların kurulu olduğu kesimler arasından TOK olarak değerlendirilen ve trafik verisi temin edilen kesimlere ait bilgiler Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te verilmiştir. Çizelgelerde, kesimlerin TOK olup olmadıklarının tespitinde ana ölçü olarak kullanılan "yakın kavşağa olan mesafe" bilgisi de yer almaktadır. Tez kapsamında çift yönlü trafiği ölçen algılayıcıların numaralarına Avrupa-Asya yönü için "1", Asya-Avrupa yönü için "2" eklentisi yapılmıştır. Örneğin; 359 numaralı algılayıcı çift yönlü ölçüm yapmaktadır. Bu algılayıcının Avrupa-Asya yönü ölçümlerine 359-1, Asya-Avrupa yönü ölçümlerine 359-2 numarası verilmiştir. Tek yönlü ölçüm yapan algılayıcıların numarası korunmuştur.

5.3.1 Trafik verisinin tez çalışmasına etkisi: Çalışma alanının sınırlandırılması

Tez çalışmasında incelenen otoyol ağının seçimi, bahsedilen trafik verilerinin toplanabildiği alana dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. İBB-TKM, 2011 yılı Ocak ayı itibarıyla, İstanbul Otoyolları üzerinde batıdaki Hadımköy Kavşağı'ndan doğudaki Şekerpınar Kavşağı'na kadar olan kesim boyunca trafik ölçümleri yapmaktadır. Bu kuruluş dışında tez kapsamında kullanılabilecek nitelikte trafik akım özelliklerini ölçen başka bir kurum veya kuruluşun varlığı saptanamamıştır. Her ne kadar KGM-TYM tarafından da otoyollar üzerindeki ücret toplama istasyonlarında, trafik akımına ait bir takım verilerin tutulduğu tespit edilmiş ve bu verilerin çalışmada, çeşitli şekillerde kullanılması söz konusu olmuşsa da, "saatlik ortalama değerler" şeklinde kaydedilen bu verilerin, tez çalışmasının yapılabilmesi için gereken 2 dakikalık süre hassasiyetinde veri içermediği görülmüştür.

Çizelge 5.2: Trafik akım verilerine bir örnek: 61 numaralı algılayıcı raporundan bir parça (İBB-TKM, 2011).

MsgTime	RtmsNo	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VL6	VL7	VL8	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
06.07.2010 00:01:28	61	1	1	0	0	0	0	0	0	7	24	25	25	0	0	0	0	3	7	5	4	0	0	0	0	76	100	95	104	240	240	240	240
06.07.2010 00:03:28	61	1	1	1	0	0	0	0	0	10	16	24	12	0	0	0	0	5	5	5	2	0	0	0	0	73	99	97	107	240	240	240	240
06.07.2010 00:05:28	61	1	0	0	0	0	0	0	0	8	14	28	12	0	0	0	0	4	3	5	2	0	0	0	0	73	91	106	105	240	240	240	240
06.07.2010 00:07:28	61	2	0	0	0	0	0	0	0	11	20	26	19	0	0	0	0	5	6	5	3	0	0	0	0	74	90	109	102	240	240	240	240
06.07.2010 00:09:28	61	3	2	1	0	0	0	0	0	15	21	26	18	0	0	0	0	7	7	5	2	0	0	0	0	71	89	98	103	240	240	240	240
06.07.2010 00:11:28	61	0	1	0	0	0	0	0	0	11	13	25	20	0	0	0	0	6	4	4	3	0	0	0	0	69	95	99	105	240	240	240	240
06.07.2010 00:13:28	61	1	0	0	0	0	0	0	0	14	10	28	23	0	0	0	0	7	3	5	4	0	0	0	0	73	97	97	105	240	240	240	240
06.07.2010 00:15:28	61	1	3	0	1	0	0	0	0	14	23	26	19	0	0	0	0	7	8	5	3	0	0	0	0	76	98	98	99	240	240	240	240
06.07.2010 00:17:28	61	0	0	0	0	0	0	0	0	11	19	25	21	0	0	0	0	6	7	6	3	0	0	0	0	76	95	102	95	240	240	240	240
06.07.2010 00:19:28	61	4	1	1	1	0	0	0	0	9	17	24	18	0	0	0	0	4	5	4	3	0	0	0	0	77	96	112	92	240	240	240	240
06.07.2010 00:21:28	61	1	0	0	0	0	0	0	0	6	17	25	25	0	0	0	0	2	5	4	4	0	0	0	0	79	99	103	89	240	240	240	240
06.07.2010 00:23:28	61	3	1	0	0	0	0	0	0	8	12	21	14	0	0	0	0	3	3	4	2	0	0	0	0	79	101	104	88	240	240	240	240
06.07.2010 00:25:28	61	0	1	2	1	0	0	0	0	13	19	26	16	0	0	0	0	6	6	6	3	0	0	0	0	79	93	101	91	240	240	240	240
06.07.2010 00:27:28	61	0	3	0	0	0	0	0	0	8	18	21	20	0	0	0	0	4	6	6	3	0	0	0	0	80	98	99	95	240	240	240	240
06.07.2010 00:29:28	61	0	0	0	0	0	0	0	0	8	11	23	14	0	0	0	0	4	4	4	2	0	0	0	0	79	91	112	95	240	240	240	240
06.07.2010 00:31:27	61	0	1	1	0	0	0	0	0	6	18	22	13	0	0	0	0	2	6	5	2	0	0	0	0	75	85	110	95	240	240	240	240
06.07.2010 00:33:28	61	1	0	0	0	0	0	0	0	10	17	25	10	0	0	0	0	5	8	5	1	0	0	0	0	71	88	97	97	240	240	240	240
06.07.2010 00:35:28	61	3	0	0	0	0	0	0	0	10	16	22	15	0	0	0	0	4	5	4	2	0	0	0	0	72	93	99	98	240	240	240	240
06.07.2010 00:37:28	61	1	3	2	0	0	0	0	0	10	19	24	20	0	0	0	0	6	8	5	3	0	0	0	0	71	97	114	98	240	240	240	240
06.07.2010 00:39:28	61	3	1	1	0	0	0	0	0	12	19	23	21	0	0	0	0	6	7	5	3	0	0	0	0	75	99	125	95	240	240	240	240
06.07.2010 00:41:28	61	1	1	2	1	0	0	0	0	11	21	22	21	0	0	0	0	5	7	5	4	0	0	0	0	81	96	125	93	240	240	240	240
06.07.2010 00:43:28	61	1	1	2	0	0	0	0	0	11	21	27	20	0	0	0	0	5	7	5	3	0	0	0	0	81	103	125	93	240	240	240	240
06.07.2010 00:45:28	61	1	2	1	0	0	0	0	0	14	23	15	18	0	0	0	0	7	8	2	2	0	0	0	0	80	92	117	95	240	240	240	240
06.07.2010 00:47:27	61	1	4	1	0	0	0	0	0	7	20	22	14	0	0	0	0	4	7	4	2	0	0	0	0	80	100	109	95	240	240	240	240
06.07.2010 00:49:28	61	0	1	1	0	0	0	0	0	8	10	19	14	0	0	0	0	4	4	4	2	0	0	0	0	77	106	117	95	240	240	240	240
06.07.2010 00:51:28	61	2	2	2	0	0	0	0	0	11	19	18	23	0	0	0	0	6	8	3	3	0	0	0	0	70	97	114	95	240	240	240	240
06.07.2010 00:53:29	61	3	1	2	0	0	0	0	0	12	17	17	11	0	0	0	0	6	6	4	1	0	0	0	0	69	94	111	96	240	240	240	240
06.07.2010 00:55:28	61	3	0	0	0	0	0	0	0	10	16	16	12	0	0	0	0	5	6	2	1	0	0	0	0	71	98	109	96	240	240	240	240
06.07.2010 00:57:28	61	2	0	1	0	0	0	0	0	11	12	16	12	0	0	0	0	5	4	3	1	0	0	0	0	73	97	108	98	240	240	240	240
06.07.2010 00:59:28	61	0	0	0	0	0	0	0	0	8	6	16	5	0	0	0	0	3	1	3	1	0	0	0	0	74	92	108	102	240	240	240	240
06.07.2010 01:01:28	61	1	5	1	0	0	0	0	0	7	22	22	16	0	0	0	0	3	7	4	2	0	0	0	0	75	87	106	103	240	240	240	240
06.07.2010 01:03:28	61	5	0	1	0	0	0	0	0	11	19	19	15	0	0	0	0	5	5	3	2	0	0	0	0	75	92	108	104	240	240	240	240
06.07.2010 01:05:28	61	3	2	0	0	0	0	0	0	10	17	21	18	0	0	0	0	5	6	4	2	0	0	0	0	74	97	110	104	240	240	240	240

Çizelge 5.3: Doğu batı eksenli otoyollar için algılayıcı bulunan TOK kesimleri (Ankara yönü).

Trafik Akım Yönü	Algılayıcı No.	Akımı Ölçülen Şeritler	Otoyol Adı	Kavşak Bölgesi	Algılayıcı Kilometrağı	Yakın Kavşak	Yakın Kavşağa Uzaklık (m)
Ankara	359-1	1-3	O3	Çatalca-Hadımköy	33+640	Hadımköy'e	4570
Ankara	358-1	3-5	O3	Çatalca-Hadımköy	31+250	Hadımköy'e	2180
Ankara	357-1	4-6	O3	Hadımköy-Avcılar	27+560	Hadımköy'den	960
Ankara	140-1	4-6	O3	Hadımköy-Avcılar	25+140	Avcılar'a	2065
Ankara	360-1	1-3	O3	Hadımköy-Avcılar	23+770	Avcılar'a	695
Ankara	356-1	4-6	O3	Avcılar-Ispartakule	21+700	Ispartakule'ye	1085
Ankara	361-1	1-3	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	17+700	Ispartakule'den	2020
Ankara	355-1	4-6	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	15+600	Mahmutbey Gişeler'e	2750
Ankara	144	1-3	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	13+535	Mahmutbey Gişeler'e	685
Ankara	58	1-4	O2	Metris-Gaziosmanpaşa	5+835	Gaziosmanpaşa'ya	865
Ankara	89	1-4	O2	Gaziosmanpaşa-Kemerburgaz	8+750	Gaziosmanpaşa'dan	1495
Ankara	294-1	1-4	O2	Gaziosmanpaşa-Kemerburgaz	9+930	Alibeyköy'e	700
Ankara	150-1	1-3	O2	Kemerburgaz-Hasdal	12+395	Okmeydanı'na	645
Ankara	20	1-4	O2	Hasdal-Seyrantepe	13+740	Okmeydanı'ndan	610
Ankara	268	1-4	O2	Harpakademileri-Levent 1	18+075	Levent'ten	555
Ankara	316	1-4	O2	Kavacık-Ümraniye	25+525	Kavacık'tan	1065
Ankara	280-1	5-8	O2	Kavacık-Ümraniye	26+180	Kavacık'tan	1720
Ankara	65	1-4	O2	Kavacık-Ümraniye	27+135	Kavacık'tan	2675
Ankara	328-1	5-8	O2	Kavacık-Ümraniye	28+135	Çamlıca'ya	2595
Ankara	82	1-4	O2	Kavacık-Ümraniye	28+830	Çamlıca'ya	1900
Ankara	327-1	5-8	O2	Kavacık-Ümraniye	29+315	Çamlıca'ya	1415
Ankara	83	1-4	O2	Ümraniye-Anadolu Otoyolu	32+870	Çamlıca'dan	860
Ankara	96	1-3	O4	Anadolu Otoyolu-İMES	6+790	Edirne'den	710
Ankara	100	1-3	O4	İMES-Samandıra	11+010	Çamlıca Gişelere	1550
Ankara	101	1-3	O4	Samandıra-Sultanbeyli	14+455	Samandıra'dan	1455
Ankara	353-1	4-6	O4	Samandıra-Sultanbeyli	16+450	Samandıra'dan	3450
Ankara	275-1	1-3	O4	Sultanbeyli-Kurtköy	18+735	Samandıra'dan	5735
Ankara	345-1	1-3	O4	Sultanbeyli-Kurtköy	21+160	Kurtköy'e	3370
Ankara	346-1	4-6	O4	Sultanbeyli-Kurtköy	23+360	Kurtköy'e	1170

Çizelge 5.4: Doğu batı eksenli otoyollar için algılayıcı bulunan TOK kesimleri (Edirne yönü).

Trafik Akım Yönü	Algılayıcı No.	Akımı Ölçülen Şeritler	Otoyol Adı	Kavşak Bölgesi	Algılayıcı Kilometrağı	Yakın Kavşak	Yakın Kavşağa Uzaklık (m)
Edirne	346-2	1-3	O4	Sultanbeyli-Kurtköy	23+360	Kurtköy'den	890
Edirne	345-2	4-6	O4	Sultanbeyli-Kurtköy	21+160	Kurtköy'den	3090
Edirne	275-2	4-6	O4	Sultanbeyli-Kurtköy	18+735	Kurtköy'den	5515
Edirne	353-2	1-3	O4	Samandıra-Sultanbeyli	16+450	Samandıra'ya	3750
Edirne	102	1-3	O4	Samandıra-Sultanbeyli	14+455	Samandıra'ya	1755
Edirne	97	1-3	O4	Anadolu Otoyolu-İMES	6+780	Sanayi'den	920
Edirne	323	1-4	O2	Ümraniye-Anadolu Otoyolu	33+330	Ankara'dan	1080
Edirne	326	1-4	O2	Kavacık-Ümraniye	30+075	Şile'den	785
Edirne	327-2	1-4	O2	Kavacık-Ümraniye	29+315	Şile'den	1545
Edirne	63	1-4	O2	Kavacık-Ümraniye	28+885	Şile'den	1975
Edirne	328-2	1-4	O2	Kavacık-Ümraniye	28+135	Şile'den	2725
Edirne	61	1-4	O2	Kavacık-Ümraniye	27+150	Kavacık'a	2690
Edirne	280-2	1-4	O2	Kavacık-Ümraniye	26+180	Kavacık'a	1720
Edirne	329	1-4	O2	Kavacık-Ümraniye	25+345	Kavacık'a	885
Edirne	153	1-4	O2	Harpakademileri-Levent 1	18+075	Levent'e	825
Edirne	151	1-4	O2	Hasdal-Seyrantepe	13+935	Okmeydanı'na	865
Edirne	150-2	1-4	O2	Kemerburgaz-Hasdal	12+395	Okmeydanı'ndan	955
Edirne	294-2	5-8	O2	Gaziosmanpaşa-Kemerburgaz	9+930	Kemerburgaz'dan	860
Edirne	88	1-4	O2	Gaziosmanpaşa-Kemerburgaz	8+755	Gaziosmanpaşa'ya	1115
Edirne	148	1-4	O2	Metris-Gaziosmanpaşa	5+830	Gaziosmanpaşa'dan	1480
Edirne	362-2	4-6	O2	Mahmutbey Doğu-Metris	3+405	Yanyol'a	480
Edirne	143	1-3	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	13+530	Mahmutbey Gişeler'den	1145
Edirne	355-2	1-3	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	15+600	Mahmutbey Gişeler'den	3215
Edirne	361-2	4-6	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	17+700	Ispartakule'ye	2170
Edirne	142	1-3	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	19+450	Ispartakule'ye	420
Edirne	356-2	1-3	O3	Avcılar-Ispartakule	21+700	Avcılar'a	510
Edirne	360-2	1-3	O3	Hadımköy-Avcılar	23+770	Avcılar'dan	820
Edirne	140-2	1-3	O3	Hadımköy-Avcılar	25+140	Avcılar'dan	2190
Edirne	357-2	1-3	O3	Hadımköy-Avcılar	27+560	Hadımköy'e	740
Edirne	358-2	1-2	O3	Çatalca-Hadımköy	31+250	Hadımköy'den	2450
Edirne	359-2	4-5	O3	Çatalca-Hadımköy	33+640	Hadımköy'den	4840

Trafik akım verilerinin toplanmasındaki bu kısıtlı durum, tez konusunun ülkemiz otoyollarının tamamını kapsayacak ölçüde genişletilememesinin asıl sebebidir. Böylece trafik verisinin elde edilebildiği kesim, tezin inceleme alanını oluşturmuştur.

5.3.2 Trafik verisinin zaman dilimi

Diğer karayolu türlerinde olduğu gibi otoyollar da, kapasite değerlerine yakın, yüksek trafik hacmine; iklim, yol ve trafik şartlarının uygun olduğu zaman dilimleri içerisinde ulaşır. Özellikle; olumsuz iklim ve hava şartlarının ölçümlere yapacağı etki düşünülerek değerlendirilmeye alınacak trafik verisi tez çalışmasında kısıtlanmıştır.

Trafik akımının günlük, haftalık ve mevsimlik zirve değerleri ve periyodikliklerinin olduğu bilgisi göz önünde tutularak, başlangıçta, bir haftalık verinin yeterli olabileceği düşünülmüş, yapılacak çalışmanın bu bir haftalık veriye uygulanması öngörüsü, uygun bulunmuştur. Bu öngörüde, daha uzun süreli veri temininde kuruluş tarafından karşıma çıkarılan zorluklar, algılayıcıların arıza durumuna geçmesinden kaynaklanan veri süreksizlikleri de etkili olmuştur.

İncelenen otoyol bölgesinde yapılan bir çalışmada yağmur yağışının; taşıtların ortalama hızını %8-12 aralığında ve kapasiteyi %7-8 aralığında değişen oranlarda düşürdüğü bildirilmiştir (Akın ve diğ., 2011). Bu nedenle, İstanbul ili geneli için havanın yağışsız ve görüşün açık olduğu ve yaz aylarına denk gelen bir hafta arayışına gidilmiştir. 6 Temmuz 2010 Salı günü başlayıp 13 Temmuz 2010 Salı günü sona eren hafta boyunca, 8 günlük süre, tez konusu incelemesi için iklim özellikleri itibarıyla uygun bulunmuştur. Bu hafta bundan böyle, takip eden metinlerde, "birinci hafta" olarak adlandırılacaktır.

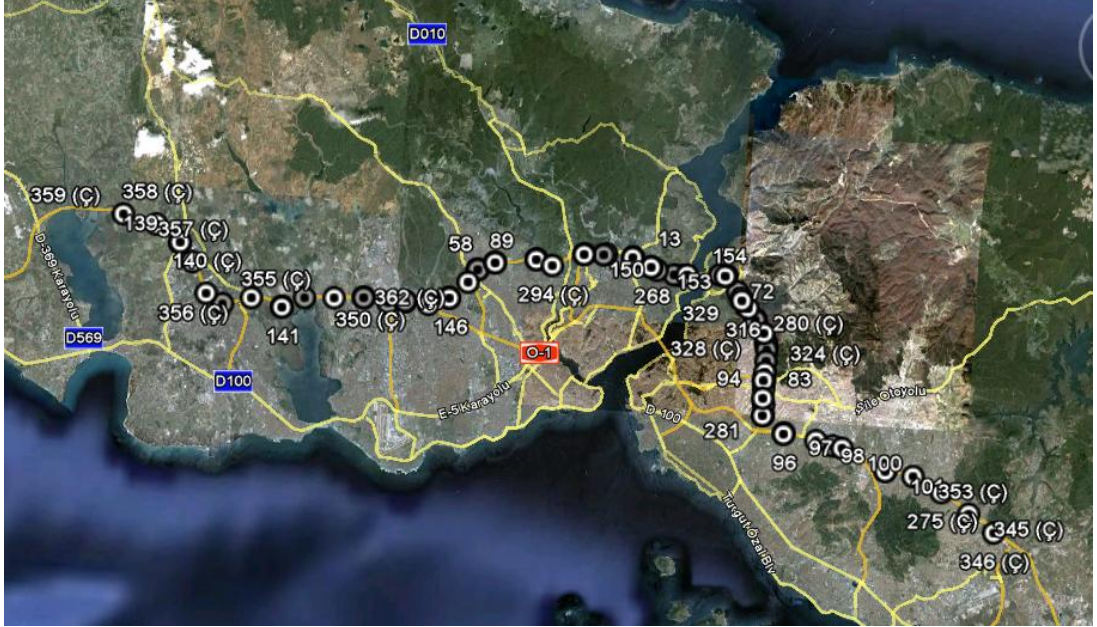
5.3.3 Trafik verisi için uygun gözlem (kayıt) süresinin belirlenmesi

Çalışmanın başında; trafik verisine ait kayıtların hangi aralıkla talep edilmesi gerektiğinin tespiti, çözülmesi gereken sorunlardan bir diğeri olmuştur. İBB-TKM'de verilerin, 2 dakika zaman aralıkları ile toplandığı bilgisine ulaşılmıştır. Ancak veri gözlem (kayıt) süresinin kısa tutulmasının, veri sayısını arttırdığı (dolayısıyla veri işleme süresini uzattığı), veriyi değerlendirme işlemini zorlaştırdığı, talep edilen ilk veri grubunda tecrübe edilmiştir. Ayrıca literatürdeki trafik akım özellikleri üzerindeki çalışmalar, genellikle 15 dakikalık ölçümler üzerine yapılan değerlendirmelere dayandırıldığından, başlangıç olarak; veri toplama aralığının 15

dakika olarak seçilmesi ve veri kayıtlarının bu yığılma süresi boyunca talep edilmesi öngörülmüştür. Böylelikle her bir algılayıcı için 15 dakika aralıklı olarak 8 gün boyunca ölçülmüş 768 satırlık veri (1 saatte 4 adet 15 dakika x 24 saat x 8 gün=768) temin edilebileceği görülmüştür.

5.3.4 Talep edilen trafik verisinin kapsamı

İBB-TKM kuruluşu çalışanları ile yapılan yazışmalardan tez çalışma alanı içerisine düşen algılayıcıların yerleri ve isimleri belirlenmiştir. Başlangıçta TOK kesimi olup olmadığına bakılmaksızın çalışma alanındaki bütün algılayıcıların kayıtları bahsedilen birinci hafta ve zaman aralığı için talep edilmiştir. Şekil 5.4'te, İstanbul ili içerisindeki ana yol ağı, tez çalışma alanına giren otoyollar ve bunlar üzerindeki trafik algılayıcılarının yerleri, bir hava fotoğrafı yardımıyla kabaca verilmiştir.



Şekil 5.4: Tez konusu kapsamındaki otoyol kesimleri boyunca algılayıcı adları ve yerleri (İBB-TKM, 2011).

Böylece, tez çalışmasının ilk aşamasında Şekil 5.4'te yerleri verilen algılayıcılar için 6-13 Temmuz 2010 tarihleri arasında 15 dakika aralıklarla tutulan trafik verisi İBB-TKM'den talep edilmiştir.

5.3.5 Yeni veri talebi: Zaman dilimi ve gözlem süresinin değiştirilmesi

Talep edilen veri İBB-TKM tarafından birkaç ay sonra gönderilmiştir. Gelen veri incelenmiş, değerlendirilmiş ve bazı sıkıntıların olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Öncelikle; 15 dakikalık veri üzerine yapılan çalışmalar sırasında bazı algılayıcılara ait verilerin kaydedilememiş olmasından ötürü gönderilmediği görülmüştür. Talep edilen veri için öngörülen birinci haftada bazı algılayıcıların arızalanmış olabileceği, bu arızaların 1-2 hafta içerisinde giderilebileceği düşünülerek ek bir zaman diliminin (ikinci bir haftanın) belirlenmesi yoluna gidilmiştir. Eksik gelen verinin temin edilebilmesi için veri talebinin önceki haftaya ek olarak 28 Temmuz – 3 Ağustos 2010 haftası, 7 günlük süre, için tekrarlanması uygun görülmüştür. Meteorolojik geçmiş kayıtlar göz önüne alındığında bahsedilen hafta da havanın yağışsız ve görüşün açık olduğu günlere denk gelecek şekilde seçilmiştir. Bu hafta da bundan böyle, takip eden metinlerde, "ikinci hafta" olarak adlandırılacaktır.

15 dakikalık veride karşılaşılan diğer bir sıkıntı da verinin üretilme biçimidir. İBB-TKM tarafından, İstanbul ili yol ağı üzerinde kurulan algılayıcılar (RTMS[®] gereçleri), 30 sn aralıkla veri kaydı yapabilme kabiliyetlerine rağmen, (yeterli görüldüğü için) 2 dakika aralıklarla trafik verisi ölçmek üzere ayarlanmıştır. Bu aralık dışındaki zaman aralıkları için gelen veri taleplerine kuruluş, ölçülen 2 dakikalık veriden hesap yoluyla veri üreterek cevap vermektedir. Bu durum çeşitli hatalara neden olmaktadır. Algılayıcılar, herhangi bir şeritten 2 dakikalık süre içerisinde taşıt geçmemişse taşıt hızı olarak, kayıt raporuna, “okunamadı” anlamına gelen 240 değerini kaydetmektedir. Ancak 2 dakikalık veriden 5, 10 veya 15 dakikalık veri hesap yoluyla üretilirken “okunamadı” anlamına gelen bu 240 değerleri de ölçülmüş hızlar olarak algılanıp hesaba yanlışlıkla katılmakta; böylece gerçekleşen hızın çok üzerinde olan ve doğru olmayan hız değerleri elde edilebilmektedir. Ayrıca algılayıcılar, her bir şeritte ölçülen hız değerlerini kullanarak yolun bütünü için şeritlerde ölçülen hızların aritmetik ortalamasını alarak bir hız değeri hesaplamaktadır. Bu şekilde hesaplanan aritmetik ortalama yerine ilgili şeritten geçen taşıt sayılarının "ağırlık" olarak kullanılacağı “ağırlıklı ortalama hız hesabı” trafik akım özelliklerini daha doğru yansıtabilecek bir hesaplama yöntemi olacağı düşünülmüştür. Bütün bu nedenlerle; bahsedilen birinci ve ikinci haftalar için 15 dakikalık veri yerine (daha kısa aralıklı ölçüm olmadığından) 2 dakikalık verilerin talep edilme kararı alınmıştır.

Böylece otoyollar üzerindeki 97 algılayıcı için 2 dakika aralıkla kaydedilmiş veri talebinde bulunulmuştur. Veriler 6-13 Temmuz 2010 tarihleri arasındaki (birinci) hafta ile 28 Temmuz-3 Ağustos 2010 tarihleri arasındaki (ikinci) hafta için

istenmiştir. İstenilen 97 algılayıcıdan yalnızca 87'si için veri gönderilmiş, diğer 10 algılayıcının çeşitli nedenlerle bozulduğu ve veri kaydedemediği bildirilmiştir. Her bir algılayıcının bir yönü için 5040 satır (7 günlük) veya 5760 satır (8 günlük) olmak üzere bir algılayıcı için 10800 ve toplamda yaklaşık 1.116.000 satırlık veri edinilmiş ve çeşitli değerlendirmelere tabi tutulmuştur.

5.4 Yol Geometrik Verisi

Otoyolların ilgilenilen kesimlerine ait geometrik bilgiler, 19 Mart - 5 Mayıs 2010 tarihleri arasında gerçekleştirilen arşiv araştırması ile İstanbul'daki otoyollar ve karayolu boğaz geçişlerinin işletilmesinden sorumlu KGM 17. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Arşiv araştırmasında, otoyol yerleşimini gösteren, yatay ve düşey geometrik (plan ve boykesit) bilgilerin yer aldığı çizimlerin "D Tipi Paftalar" olarak adlandırıldığı ve çizimlerin son güncellemelerinin 2003 yılı veya daha eski tarihleri gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum, yatay ve düşey geometrik özellikleri etkilememekle birlikte, olası yeni kavşak inşaatları gibi değişikliklerin kavşak sıklığını değiştirme ihtimaline karşı, hava fotoğrafı görüntüleri sunan bir program olan Google™ Earth programından yararlanılarak geçki üzerine inşa edilmiş yeni kavşakların da değerlendirmeye alınma gereğini doğurmuştur.

5.4.1 Çalışma alanındaki otoyol kesimleri için yatay geometrik veriler

KGM 17. Bölge Müdürlüğü arşivinde yapılan çalışmalardan, tez çalışma alanına giren otoyol bölgesinde yer alan kesimler için kapasite çalışmalarında etkin faktörlerden yatay geometri ile ilgili olan şerit sayısı, şerit genişliği, kenar açıklık ve kavşak sıklığı gibi bilgilerle birlikte enkesit tipleri, yatay dönemeç ve görüş durumu gibi bilgiler de elde edilmiştir.

5.4.1.1 Şerit sayısı ve şerit genişliği

Tez konusu kapsamında incelenen kesimlerden O2 otoyolu, şerit sayısı itibariyle iki farklı kesime ayrılmaktadır. O2 otoyolunun başlangıcı olan Mahmutbey Doğu Kavşağı'ndan (Km 0+000) doğu yönünde hareket edildiğinde karşılaşılabilecek ilk kavşak olan Metris Kavşağı, Esenler katılımına (Km 3+500) kadar olan kesim 2x3, buradan itibaren O2 otoyolunun sonuna kadar olan bölüm 2x4 yol özelliğindedir.

O3 otoyolu da şerit sayısı itibariyle iki farklı kesime ayrılmaktadır. O3 otoyolunun yaklaşık Mahmutbey Doğu Kavşağı'ndan (km 9+900) batı yönünde hareket

edildiğinde karşılaşılabilecek dördüncü kavşak olan Hadımköy Kavşağı'na (Km 28+800) kadar olan kesim 2x3, buradan itibaren O3 otoyolunun ilgililenilen kısmının sonuna (Çatalca Kavşağı'na) kadar olan kesim 2x2 yol özelliğindedir.

O4 otoyolu da öncekiler gibi, şerit sayısı itibarıyla iki farklı kesime ayrılmaktadır. O4 otoyolunun başlangıcı olan Çamlıca Kavşağı'ndan (Km 0+000) doğu yönünde hareket edildiğinde karşılaşılabilecek ikinci kavşak olan Anadolu Otoyolu Kavşağı çıkışına (Km 5+946) kadar olan kesim 2x2, buradan itibaren Gebze Kavşağı'na (Km 44+300) kadar olan bölüm ise 2x3 yol özelliğindedir.

İncelenen bölgedeki otoyolların tamamı 3,75 m şerit genişliğine sahiptir. Bu nedenle, yalnızca yaklaşık 200 km uzunluğunda olan bu otoyol kısmı incelenebildiğinden kapasiteye etkiyen parametreler arasında yer alan şerit genişliğine dair ülkemiz şartlarını yansıtan bir değer atanması mümkün olmamıştır.

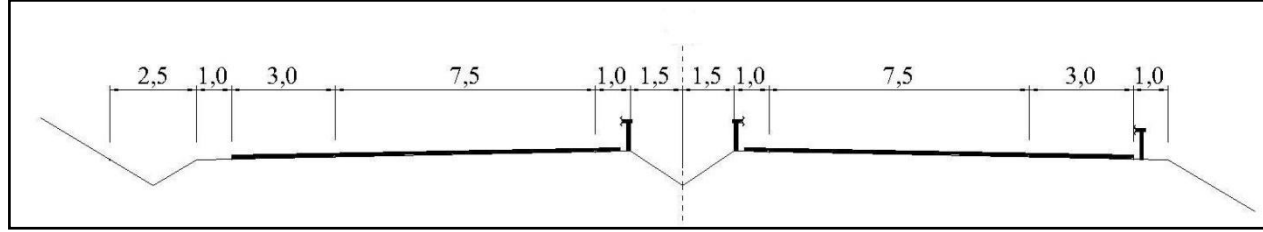
5.4.1.2 Kenar (yan) açıklık bilgisi

Kenar açıklık kavramının tanımına uygun olarak; ilgililenilen kesimlerde yol kenarına en yakın tesis edilmiş yapının, emniyet (arıza) şeridinin dış komşuluğundaki kaplamasız bankete inşa edilmiş olan bariyerler olduğu tespit edildiğinden, tez çalışmasında kenar açıklık mesafesi olarak "emniyet (arıza) şeridi genişliği" dikkate alınmıştır.

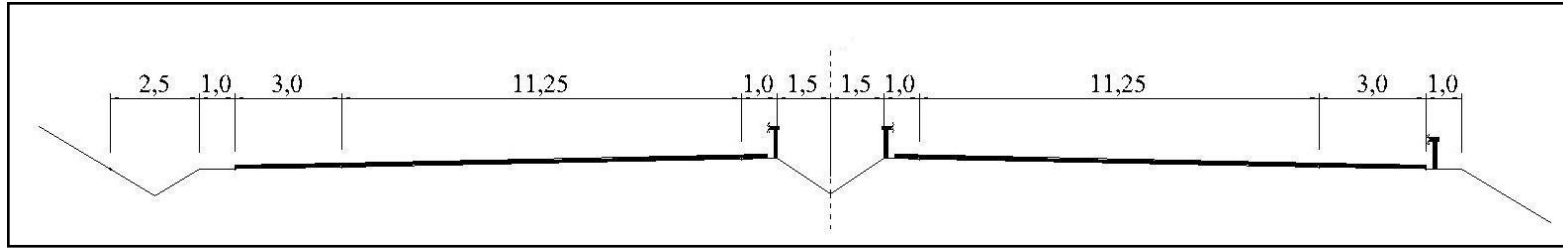
O2 ile O3 otoyollarında kenar açıklık mesafesi, dolayısıyla emniyet şeridi genişliği, 3,0 m ve O4 otoyolunda 3,2 m genişliğindedir.

Kesimlerin tamamında orta ayırıcı tarafındaki kenar açıklık 1,0 m olarak uygulanmıştır. Bu mesafenin yaklaşık 0,6-0,7 m genişlikli kısmı kaplamalı, geriye kalanı kaplamasızdır ve orta ayırıcı bariyerleri bu kaplamasız kısma inşa edilmiştir.

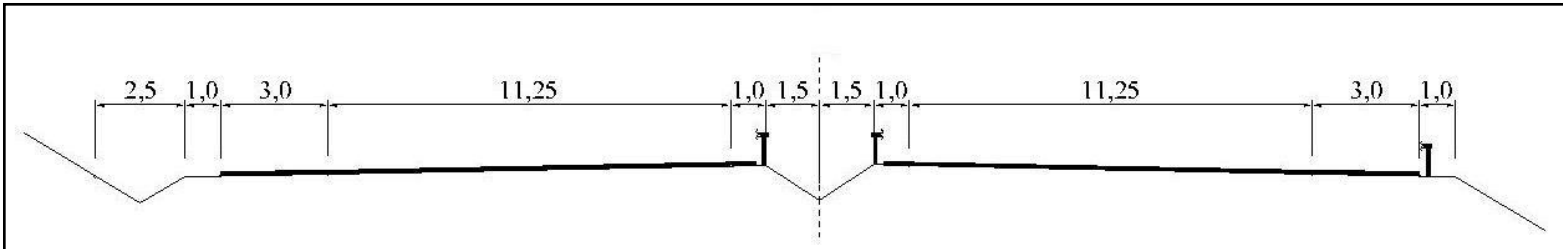
Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da, incelenen otoyollara ait şerit sayısı, şerit genişliği ve kenar açıklık bilgilerini içeren tip enkesitler görülmektedir.



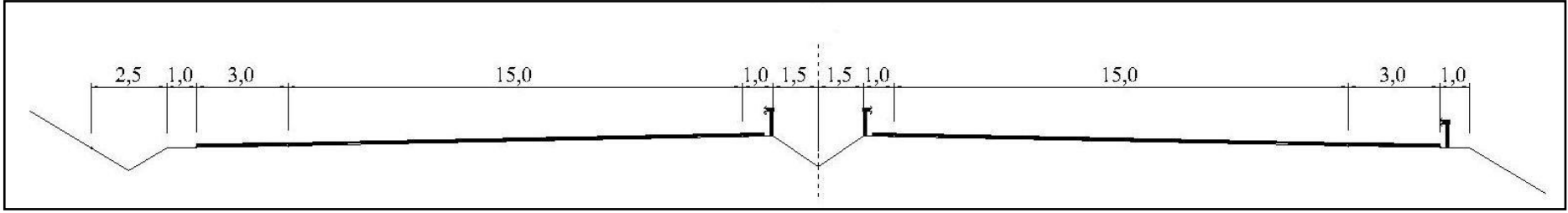
Şekil 5.5: O3 otoyolu Kınalı Kavşağı (Km 80+650) ile Hadımköy Kavşağı (Km 28+816) arası tip enkesidi (KGM, 2010).



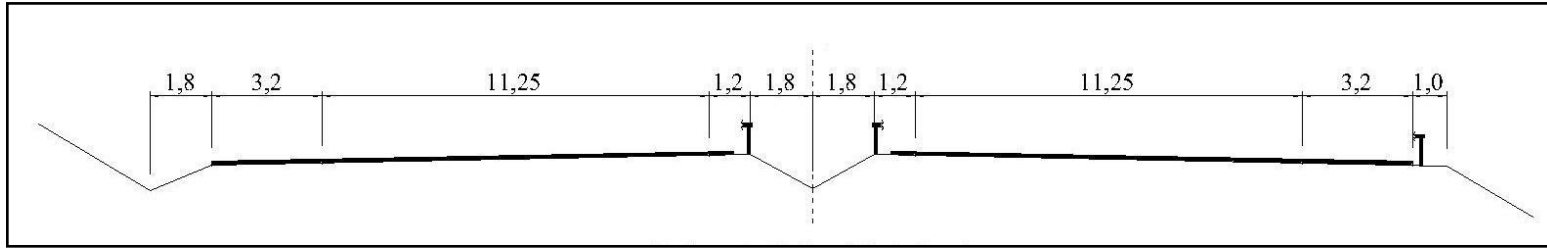
Şekil 5.6: O3 otoyolu Hadımköy Kavşağı (Km 28+816) ile Mahmutbey Kavşağı (Km 8+678) arası tip enkesidi (KGM, 2010).



Şekil 5.7: O2 otoyolu Mahmutbey Kavşağı (Km 0+000) ile Metris Kavşağı (Km 3+500) arası tip enkesidi (KGM, 2010).



Şekil 5.8: O2 otoyolu Metris Kavşağı (Km 3+500) ile Kozyatağı Kavşağı (Km 36+020) arası tip enkesidi (KGM, 2010).



Şekil 5.9: O4 otoyolu Anadolu Otoyolu Kavşağı (Km 4+000) ile Gebze Kavşağı (Km 44+300) arası tip enkesidi (KGM, 2010).

5.4.1.3 Kavşak sıklığı bilgisi

Otoyol etrafında yoğun yerleşim alanlarının olduğu bölgelerde, otoyola bağlantıyı sağlayan giriş ve çıkış kesimlerinin olması olağan bir durumdur. Kent içi otoyollar, yerleşim yerlerinden yapılan bu bağlantılar nedeniyle kent dışı otoyollar ve kırsal otoyollara göre daha büyük hacimli trafiğe maruz kaldıklarından, daha düşük serbest akım hızında hizmet verirler. Bu kesimlerde, kavşaklar nedeniyle oluşan katılma, ayrılma ve örülme hareketleri trafik akım hızını azaltır. Bu nedenle kavşak sıklığı, yüksek akım hızlarına erişilmesini zorlaştıran bir etkiye sahiptir. Uzun kabul edilebilecek (8-10 km uzunluğunda) bir otoyol üzerinde, kavşaklar arasında olması gereken ideal (uygun) uzaklığın 3 km veya daha fazla olması önerilmektedir. Bu değer, SAH hesabında kavşak sıklığından ötürü düzeltme gereksinimi duyulmayan uzaklıktır. Ancak zorlayıcı kısıtlar nedeniyle bu yapılamıyorsa, otoyol üzerinde düzgün bir akımın sağlanabilmesi için otoyolun tasarımı sırasında kavşaklar arasında en az 1 km'lik bir uzaklığın bulunması önerilmektedir (TRB, 2000). Bu durumda ise kavşak sıklığı düzeltmesinin yapılması gerekmektedir.

TRB (2000), TOK kesimlerinin kapasitesi ve hizmet düzeyi hesabında kavşak sıklığının, 10 km uzunluğu için hesaplanmasını önermektedir. Bu uzunluğun 5 km'lik kesiminin, incelenen otoyol kesimi için yaklaşan akım yönünde, diğer 5 km'lik kısmının ise uzaklaşan akım yönünde kalacak şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Kavşak sıklığı değeri, "kilometre başına düşen ortalama kavşak sayısı" olarak (kavşak/km) verilir. Otoyoldaki hızın tahminini amaçlayan analizlerde, kavşak sıklığı değerinin 0,3 (kavşak/km) değerini aştığı (kavşaklar arası mesafenin 3,3 km veya daha az olduğu) hallerde, kavşak sıklığının hız üzerinde etkili olmaya başladığı belirtilmektedir.

Kavşak sıklığı hesabında öngörülmesi gereken bir başka değişken, nelerin kavşak olarak düşünülebileceği konusudur. TRB (2000), en az bir "giriş" kesimine haiz bağlantıyı kavşak olarak nitelemektedir. Ayrıca bu girişin de ilgilenilen otoyolu ya bir başka otoyola bağlaması veya bağlanılan diğer yolun anayol (arterial or highway) olması gerektiği üzerinde durulmaktadır. Bu tanım gereği olarak "çıkış" bağlantısının kavşak olarak değerlendirilebilmesi söz konusu değildir. Bütün bu öneriler göz önünde bulundurularak, tez çalışmasında konu ile ilgili "kabuller çerçevesi" oluşturulmuş ve kavşak sıklığı hesaplama çalışması bu çerçevede dâhilinde ele alınmıştır.

Öncelikle; sadece giriş kesimleri değil, çıkış kesimleri de kavşak olarak değerlendirilmiştir. Bu yaklaşımda, tez çalışma alanında incelenen İstanbul ili genelindeki otoyolların önemli bir kesiminin kent içinde kalması ve paralı otoyol olmaması bilgisi yatmaktadır. Bu durum, otoyol çıkışlarının mahallelere bağlanıyor olması anlamına gelir. Mahallelerdeki yol altyapısı ve kapasitesi, çıkan akımı taşıyamadığından mahalle içerisinde kuyruklar oluşmakta ve bu kuyruklar zaman zaman otoyol akımını etkileyecek şekilde otoyola sarmaktadır. Bu tür sorunlar; Mahmutbey Batı, Mahmutbey Doğu, Metris, Hasdal, Harpakademi, Kavacık, Ümraniye ve Anadolu Otoyolu kavşaklarında yer alan ayrılmalarda gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, incelenen kesimdeki otoyollar için çıkış kesimlerinin kavşak olarak tanımlanmaması düşünülemez.

İkinci olarak; ilgilenilen kesime bağlanan her türlü yol, kavşak olarak düşünülmüş, yolun anayol (arter) olması zorunluluğuna bağlı kalınmamıştır. Bu konuda da üst paragrafta yapılan açıklamaya paralel düşünülmüş; mahallelerdeki nüfus büyüklükleri, yarattığı trafik hacmi gibi değişkenlerin ana otoyol akımını etkileyecek derecede olduğu değerlendirilmiştir. Ancak otoyol kenarlarında yer alan polis kontrol cepleri, dinlenme tesisleri, park ve bekleme alanları, kimyasal madde kontrol alanları, ağır taşıtların yasal hareket zamanının gelmesi için bekletildiği alanlar gibi bölgelerden otoyola yapılacak giriş ve çıkışların önemli bir trafik yaratmayacağı düşünülmüş ve bu kesimler kavşak sıklığı hesabında kullanılmamıştır.

KGM 17. Bölge Müdürlüğü'nden alınan ve kavşak sıklığı hesabına temel teşkil eden kavşak bilgilerine dair örnek bir cetvel, Çizelge 5.5'de verilmiştir. Çizelge, O3 otoyolunun, Mahmutbey Doğu kavşağından başlamak üzere, Edirne yönündeki kesimine ait kavşak bilgilerini içermektedir. Gerekğinde bu bilgiler ile Google™ Earth görüntülerinin eşleştirilmesinde kullanılmak üzere, otoyol projelerinde yer alan; altgeçitler, üstgeçitler, menfezler, kavşak köprüleri, viyadük baş ve son kilometraj bilgileri gibi veriler de bu gibi çizelgelere ham veri olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 5.5: O3 otoyolunun Mahmutbey Doğu Kavşağı ile Çatalca Kavşağı arası kesiminin Edirne yönü için kavşak bilgisi ham verisi (KGM, 2010).

Açıklama	Kilometraj	Ayrılma	Katılma	Üst Geçit	Alt Geçit
O3 otoyolu başlangıcı (tez çalışma alanı içinde kalan)	09+900,000	-	-	-	-
İkitelli'ye	10+955,000	X	-	-	-
103 no'lu Alt Köprü (AK 103)	11+210,000	-	-	-	X
Hava Limanı'ndan	11+320,000	-	X	-	-
İkitelli Kavşak Köprüsü (K3)	11+411,609	-	-	-	X
Mahmutbey Gişeleri başlangıcı	12+050,000	-	-	-	-
Mahmutbey Gişeleri sonu	12+850,000	-	-	-	-
KN 10 (10 no'lu köprü)	12+885,000	-	-	-	X
Yarımburgaz Viyadüğü başı	16+862,000	-	-	-	-
Yarımburgaz Viyadüğü sonu	17+462,000	-	-	-	-
KN 21 Köprü eksen koordinatı: 392421.003E 547588.756N	19+390,000	-	-	-	X
Ispartakule Viyadüğü başı	21+032,000	-	-	-	-
Ispartakule Viyadüğü sonu	21+592,000	-	-	-	-
KN YUK 2	21+948,794	-	-	X	-
Avcılar'a	22+210,000	X	-	-	-
Avcılar Kavşak Köprüsü (KN 31)	22+793,910	-	-	-	X
Avcılar'dan	22+950,000	-	X	-	-
Hadımköy'e	28+300,000	X	-	-	-
Hadımköy'den	28+800,000	-	X	-	-
Hadımköy Kavşak Köprüsü (KN 44)	28+815,890	-	-	X	-
Beylik Çayır Viyadüğü başı	35+528,000	-	-	-	-
Beylik Çayır Viyadüğü sonu	36+122,000	-	-	-	-
Çatalca'ya	40+450,000	X	-	-	-
Çatalca'dan	40+780,000	-	X	-	-
Çatalca Kavşak Köprüsü (KN 64)	40+910,200	-	-	-	X

Bahsedilen ilkeler çerçevesinde, tez çalışma alanında yer alan otoyol kesimlerinin TOK bölgesine denk gelen algılayıcıların konumları için kavşak sıklığı bilgisi hesaplanmıştır. Hesaplama, HCM'de verildiği gibi, algılayıcının bulunduğu noktanın 5 km yaklaşan akım ve 5 km uzaklaşan akım yönünde bulunan ilgili nitelikteki giriş ve çıkış kesimleri toplam sayısı 10 km uzunluğa bölünerek yapılmış, sonuçlar Çizelge 5.6'da verilmiştir. Bu çizelgede verilen kavşak sıklığı bilgisi, trafik verilerinin kayıt zamanı olan Temmuz-Ağustos 2010 tarihlerinde mevcut olan kavşaklar dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.6: Tez çalışma alanındaki doğu-batı eksenli otoyollar üzerinde algılayıcı bulunan bazı kesimler için hesaplanan kavşak sıklığı bilgisi.

Trafik Akım Yönü	Otoyol Adı	Kesim Türü	Algılayıcı No.	Algılayıcı Kilometraji	Kavşak Bölgesi	Kavşak Sıklığı (adet/km)
Ankara	O3	TOK	357-1	27+560	Hadımköy-Avcılar	0,4
Ankara	O3	TOK	360-1	23+770	Hadımköy-Avcılar	0,5
Ankara	O3	TOK	361-1	17+700	Ispartakule-Mahmutbey Batı	0,4
Ankara	O2	TOK	58	05+835	Metris-Gaziosmanpaşa	0,9
Ankara	O2	TOK	89	08+750	Gaziosmanpaşa-Kemerburgaz	0,8
Ankara	O2	TOK	294-1	09+930	Gaziosmanpaşa-Kemerburgaz	0,7
Ankara	O2	TOK	280-1	26+180	Kavacık-Ümraniye	0,3
Ankara	O2	TOK	65	27+135	Kavacık-Ümraniye	0,6
Ankara	O2	TOK	83	32+870	Ümraniye-Anadolu Otoyolu	0,5
Ankara	O4	TOK	345-1	21+160	Samandıra-Kurtköy	0,2
Edirne	O4	TOK	346-2	23+360	Samandıra-Kurtköy	0,2
Edirne	O2	TOK	326	30+075	Kavacık-Ümraniye	0,5
Edirne	O2	TOK	327-2	29+315	Kavacık-Ümraniye	0,4
Edirne	O2	TOK	61	27+150	Kavacık-Ümraniye	0,5
Edirne	O2	TOK	329	25+345	Kavacık-Ümraniye	0,2
Edirne	O2	TOK	148	05+830	Metris-Gaziosmanpaşa	0,6
Edirne	O3	TOK	143	13+530	Ispartakule-Mahmutbey Batı	0,6
Edirne	O3	TOK	357-2	27+560	Hadımköy-Avcılar	0,3
Edirne	O3	TOK	358-2	31+250	Çatalca-Hadımköy	0,2

5.4.2 Çalışma alanındaki otoyol kesimleri için düşey geometrik veriler

KGM 17. Bölge Müdürlüğü arşivinde yapılan çalışmalardan, tez çalışma alanına giren otoyollar bölgesinde yer alan kesimler için kapasite çalışmalarında etkin faktörlerden düşey geometri ile ilgili olan boyuna eğim değeri ve uzunluğu gibi bilgilerle birlikte düşey dönemeçlere ait some kotu, some kilometraji, uzunluk, yarıçap ve dönemeç türü gibi bilgiler, yol geometrisinin tam olarak anlaşılabilmesine imkân sağlayabileceği düşüncesiyle elde edilmiştir.

5.4.2.1 Boyuna eğimler ve uzunlukları

Düşey geometrik verilerden olan boyuna eğim, trafik içerisindeki taşıtların özellikle ağır taşıtların hızlarının azalmasına sebep olmalarından ötürü, hizmet düzeyi hesabı ve kapasite analizinde etkin faktörlerdendir. Trafik akımı içerisindeki ağır taşıtların seyir hızları, çıkış eğimli otoyol kesimlerinde eğim direnimi nedeniyle, iniş eğimli otoyollarda ise taşıt kontrolü ve duruş güvenliği nedeniyle düşük değerlerde gerçekleşirler. Bu nedenle tez konusuna giren otoyol kesimlerinin boyuna eğimleri ve bu eğimin devam ettiği uzunluk bilgisi elde edilmiştir.

KGM 17. Bölge Müdürlüğü'nden alınan ve boyuna eğim ile ilgili hesaplara temel teşkil eden düşey geometrik bilgilere dair örnek bir cetvel, Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Tez kapsamındaki otoyollara ait boyuna eğim ve uzunlukları hakkındaki bilgiler özet olarak aşağıda verilmiştir.

O2 otoyolunda en büyük boyuna eğim, Hasdal ve Seyrantepe Kavşakları arasındaki kesimde uygulanmıştır. Sadabad-2 Viyadüğü'nün doğu mesnedi ile Seyrantepe Üstgeçit Köprüsü arasındaki bölgede yer alan kesimdeki eğim değeri %3,0 ve kesimin uzunluğu 1239 metredir. Bu kesimde platform 2x4 şeritli olup bir tırmanma şeridi inşa edilmemiştir.

O3 otoyolunun tez kapsamındaki kesiminde en büyük boyuna eğim, Hadımköy ve Çatalca Kavşakları arasındaki kesimde uygulanmıştır. Büyükçekmece Gölü üzerindeki iki viyadükten kısası olan Beylikçayırı Viyadüğü'nün doğu mesnedi ile Hadımköy Kavşağı arasındaki bölgede yer alan kesimdeki eğim değeri %4,679 ve kesimin uzunluğu 1283 metredir. Bu kesimde platform 2x2 şeritli olup ayrıca tırmanma şeridi olarak üçüncü bir şerit inşa edilmiştir.

O4 otoyolunun tez kapsamındaki kesiminde en büyük boyuna eğim, Sultanbeyli ve Kurtköy Kavşakları arasında uygulanmıştır. Kurtköy Kavşak Köprüsü'nün batısında yer alan kesimdeki eğim değeri %3,376 ve kesimin uzunluğu 550 metredir. Bu kesimde platform 2x3 şeritli olup tırmanma şeridi inşa edilmemiştir.

İşletme aşamasındaki bir otoyolda eğimlerin değerlendirilmesi yapılırken, genelde bir otoyolun birbirini izleyen iniş ve çıkış kesimlerinden oluşan bir eğimler dizisi şeklinde inşa edilmiş olması gerçeğine uygun olarak, geçkinin bir bütün halinde ele alınması önerisidir. Eğer ilgilenilen kesim geçkisinin bütün alt kesimindeki boyuna eğim %4 değerinden küçük veya ilgilenilen kesimin toplam uzunluğu 1200 m değerinden kısa ise "ortalama eğimin hesaplanması", aksi durumda "ağır taşıt performans eğrilerinin kullanılması" önerilmektedir. Öneride geçen "ortalama eğim", ilgilenilen kesim için toplam kot farkının toplam uzunluğa bölünmesiyle hesaplanmaktadır (TRB, 2000).

Çizelge 5.7: O3 otoyolu düşey geometrik bilgileri (KGM, 2010).

Düşey Some Kotu m	Düşey Some Kilometrajı	Somedede Birleşen Eğimler %	Kilometraj	Boyuna Eğim %	Parabolik Dönemeç		Eğri Yönü
					L, m	R, m	
		-	09+900,000	-	-	-	-
		-3,830	10+534,612	-3,830	634,612	-	-
57,684	10+719,801	-2,500	10+904,991	-	370,379	27.848,075	DERE
44,179	11+260,000		11+615,009	-	710,018	13.554,192	DERE
		2,700	11+879,334	2,700	264,325	-	-
68,302	12+153,442	-	12+427,550	-	548,216	45.684,467	TEPE
		1,500	12+997,210	1,500	569,660	-	-
88,112	13+474,085	-	13+950,960	-	953,750	17.499,055	TEPE
		-3,950	14+449,637	-3,950	498,677	-	-
38,500	14+730,000	-	15+011,943	-	562,306	7.503,321	DERE
		3,565	15+155,544	3,565	143,601	-	-
70,050	15+615,000	-	16+074,456	-	918,912	12.499,999	TEPE
		-3,786	16+924,085	-3,786	849,629	-	-
3,600	17+370,000	-	17+815,914	-	891,829	14.999,995	DERE
		2,159	18+812,038	2,159	996,124	-	-
47,000	19+380,000	-	19+947,962	-	1.135,924	27.500,001	TEPE
		-1,971	20+065,667	-1,971	117,705	-	-
		4,000	21+951,072	4,000	1.842,143	-	DERE
50,129	22+070,463	-	22+189,853	-	238,781	PK	DERE
		-	23+330,000	4,000	1.140,147	-	-
133,500	24+155,000	-2,000	24+980,000	-	1.650,000	27.500,000	TEPE
95,340	26+063,000		27+146,000	-	2.166,000	43.320,000	DERE
		3,000	27+688,526	3,000	542,526	-	-
150,687	27+778,770	1,406	28+717,520	-	1.028,994	-	TEPE
162,896	28+646,634	-1,056	30+216,500	-	1.498,980	34.067,000	TEPE
152,150	29+663,988		31+045,500	-	829,000	26.910,579	DERE
167,110	30+570,000	1,651	31+996,500	-	951,000	14.952,830	TEPE
		-4,679	32+210,000	-4,679	213,500	-	-
74,000	32+560,000	-	32+910,000	-	700,000	13.364,645	DERE
		0,559	33+190,000	0,559	280,000	-	-
79,587	33+560,000	-	33+930,000	-	740,000	18.232,439	TEPE
		-3,500	35+237,000	-3,500	1.307,000	-	-
7,880	35+642,000		36+047,000	-	810,000	18.000,000	DERE
14,375	36+291,538	1,000	36+536,786	-	489,786	37.621,231	TEPE
		-0,300	37+288,610	-0,300	751,824	-	-
11,030	37+408,610	-	37+528,610	-	240,000	40.000,000	DERE
		0,300	39+005,670	0,300	1.477,060	-	-
16,870	39+355,670		39+705,670	-	700,000	20.000,000	DERE
48,630	40+191,380	3,800	40+677,090	-	971,420	16.000,000	TEPE
		-2,271	40+798,580	-2,271	121,490	-	-
12,450	41+520,000	-	42+241,420	-	1.442,840	25.000,000	DERE
		3,500	42+580,420	3,500	462,015	-	-
		-	42+466,920	-	-	-	-
		3,500	42+589,935	3,500	462,015	-	-
73,873	42+990,000	-	43+390,066	-	800,131	19.999,350	TEPE
		-0,501	44+310,032	-0,501	919,966	-	-
61,113	45+538,000	-	46+765,968	-	2.455,936	69.999,998	DERE
		3,008	47+633,000	3,008	867,032	-	-

Tez çalışmasında, algılayıcıların bulunduğu noktadan geçen toplam taşıt sayısının otomobil türünden eşdeğerinin bulunması sorununda, tespiti gereken ilk belirsizlik; trafik akımının, algılayıcının karşısına gelene kadarki serüveninde hızının algılayıcıda ölçülen değere düşmesine neden olan boyuna eğimin ne kadar olduğunun bilinmesi meselesidir. Yani hangi "etkili eğim değeri", hızı ilgili değerine düşürmüştür? İncelenen otoyollar üzerinde algılayıcının inşa edildiği nokta, geçkinin öngörülemeyen özelliği gereği, eğimi bilinen bir iniş kesimine veya çıkış kesimine, dere düşey dönemecin en alt noktasına veya çıkışa geçtiği kesimine, tepe düşey dönemecin en üst noktasına veya inişe geçtiği kesimine, vb. gibi pek çok alternatifi olabilen farklı kesimlerine yerleştirilmiş durumda olabilmektedir. Bu farklılıklar sebebiyle algılayıcının bulunduğu noktanın trafik akımının hızı üzerindeki etkisini belirlemede, bu etkiyi temsil edebilecek bir eğim değerinin hesaplanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Tam bu aşamada HCM'nin önerileri arasında yer alan "ortalama eğim" bulma önerisinin uygulanabileceği düşünülmüştür. Bu önerinin uygulanabilmesi için hızı etkileyen uzaklığın ne kadar uzunlukta alınacağını tespiti gerekmektedir. Bu uzaklığın belirlenmesinde iki HCM önerisi göz önünde tutulmuş, karar bu önerilere de uyacak şekilde verilmiştir. Bu önerilerden ilki, bir dizi eğimin değerlendirilmesi bahsinde, bu eğim dizisinin temsil ettiği toplam kesim uzunluğunun 1200 m değerini aşmaması gerektiği önerisidir. İkinci öneri ise bu tür eğime sahip otoyol kesimlerinin değerlendirilmesinde önerilen ikinci yöntem olan "taşıt performans eğrilerinin" özelliklerinin gösterdiği uzunluktur.

Eğimli kesim üzerinde seyredilen uzunluğa bağlı olarak ağır taşıt performansının değişimine dair tespitler, tez çalışmasında incelenen otoyollardaki en büyük eğim değerleri ve HCM'nin eğim dizisinin uzunluğuna dair yaptığı öneri göz önünde tutularak, etkili eğim hesabında ağır taşıtların trafikteki hızını etkileyen uzunluk olarak 1000 m değerinin alınması uygun bulunmuştur. Herhangi bir algılayıcının bulunduğu konum için trafik hızını etkileyen eğim değeri, algılayıcının yaklaşan akım yönündeki kesiminde 1000 m uzunluk için hesaplanacak ortalama eğim değeri olarak alınacaktır. Algılayıcıların bulunduğu konum itibarıyla "etkili ortalama boyuna eğim" bilgisi Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8'deki değerler, belirtilen kabule uygun olarak, her bir algılayıcı için; algılayıcının bulunduğu noktanın kotu, algılayıcının yaklaşan akım yönünde 1000 m mesafede bulunan noktanın kotu ve aralarındaki uzaklık olan 1000 m kullanılarak

hesaplanmıştır. Etkili boyuna eğim değerleri önündeki negatif işaret (-), çizelgede belirtilen trafik akım yönünde hareket edildiğinde, otoyolun ilgili kesiminin genel özelliğinin "iniş eğimli" olduğunu göstermektedir. Ayrıca başlangıçta tez konusu kapsamında yer alan bazı algılayıcılara ait etkili ortalama boyuna eğim değerlendirmesinin, bu algılayıcılara ait trafik kayıtlarının ileride açıklanacak olan çeşitli aşamalarda elenmesinden ötürü, çizelgede bulunmadığı gözlemlenebilir. Hesaplanan bu eğimler, ağır taşıtların farklı eğim değerlerine sahip otoyollardaki otomobil eşdeğerliğini bulmada kullanılacaktır.

Çizelge 5.8: Tez çalışma alanındaki doğu-batı eksenli otoyollarda algılayıcıların bulunduğu nokta için hesaplanan etkili ortalama boyuna eğimler.

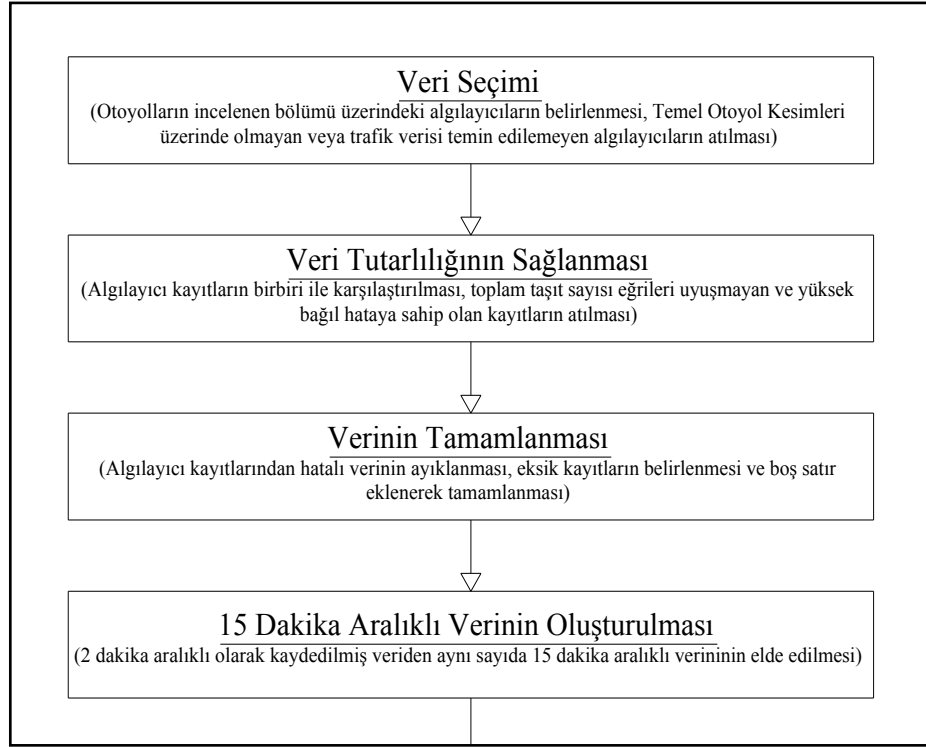
Trafik Akım Yönü	Algılayıcı No.	Otoyol Adı	Kavşak Bölgesi	Algılayıcı Kilometraji	Etkili Boyuna Eğim, %
Ankara	357-1	O3	Hadımköy-Avcılar	27+560	-1,5
Ankara	360-1	O3	Hadımköy-Avcılar	23+770	-0,6
Ankara	361-1	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	17+700	-2,1
Ankara	58	O2	Metris-Gaziosmanpaşa	5+840	-0,2
Ankara	294-1	O2	Gaziosmanpaşa-Kemerburgaz	9+930	1,9
Ankara	268	O2	Harpakademileri-Levent 1	18+075	-1,7
Ankara	280-1	O2	Kavacık-Ümraniye	26+180	1,2
Ankara	65	O2	Kavacık-Ümraniye	27+140	2,5
Ankara	83	O2	Ümraniye-Anadolu Otoyolu	32+865	-0,1
Ankara	345-1	O4	Sultanbeyli-Kurtköy	21+160	0,7
Ankara	346-1	O4	Sultanbeyli-Kurtköy	23+355	0,9
Edirne	346-2	O4	Sultanbeyli-Kurtköy	23+355	2,9
Edirne	326	O2	Kavacık-Ümraniye	30+075	1,0
Edirne	327-2	O2	Kavacık-Ümraniye	29+315	-0,1
Edirne	63	O2	Kavacık-Ümraniye	28+880	-0,5
Edirne	61	O2	Kavacık-Ümraniye	27+150	-1,0
Edirne	329	O2	Kavacık-Ümraniye	25+345	-1,5
Edirne	148	O2	Metris-Gaziosmanpaşa	5+830	1,6
Edirne	143	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	13+530	0,7
Edirne	357-2	O3	Hadımköy-Avcılar	27+560	2,8
Edirne	358-2	O3	Çatalca-Hadımköy	31+245	-2,6

5.5 Trafik Verisinin Tutarlılığının İncelenmesi ve 15 Dakikalık Verinin Üretilmesi

Hemen bütün çalışmalarda yapıldığı gibi, temin edilen trafik verisinin tutarlılığı sınanmıştır. Bu amaçla; temel otoyol kesimleri üzerinde bulunan ve verisi temin edilen algılayıcı kayıtları incelenmiş; ölçümlerin karşılaştırılması, hatalı verinin ayıklanması, eksik veri satırlarının belirlenmesi ve zaman kaymasına uğramadan her bir zaman diliminde o anda kaydedilen verinin bulunabilmesi için boş satırların

eklenmesi gibi işlemler, temin edilen trafik verisine uygulanmıştır. Böylece, tutarlılığı sınanmış 2 dakikalık veriden 15 dakikalık veri üretilmiştir.

Trafik verisi üzerinde gerçekleştirilen işlemleri gösteren basit bir akış şeması Şekil 5.10'da verilmiştir. Şekilde gösterilen ilk aşama, önceki başlıklarda verildiğinden takip eden başlıklarda kalan işlemlerin ayrıntıları sunulmuştur.



Şekil 5.10: Trafik verisinin işlenmesi aşamaları.

5.5.1 Algılayıcı ölçümlerinin karşılaştırılması

Ölçümlerin doğruluğunun sınanmasında, çalışma alanına giren otoyol kesimleri üzerindeki algılayıcı kayıtlarının birbiri ile karşılaştırılması, ilk yapılması gereken işlem olarak düşünülmüştür. Algılayıcılarda trafik verisi; ağır taşıt sayısı, toplam taşıt sayısı, hız, işgal, vb. gibi bilgilerin zamana bağlı kaydı şeklinde tutulmuştur. Ölçümlerin doğruluğunun kontrolünde, bu bilgilerden "toplam taşıt sayılarının" karşılaştırılması yöntemi kullanılmıştır.

Tez kapsamı çerçevesinde değerlendirilen trafik verisi, kaydedilmiş veriler olduğundan doğal olarak geçmiş dönem (2010 yılı) kayıtlarını içermektedir ve bu döneme gidilip kontrol sayımları yapmanın mümkün olamayacağı açıktır. Bir şekilde güncel veri alınması mümkün olsa dahi yaklaşık 200 km uzunluğundaki çalışma bölgesinin büyüklüğü; giriş ve çıkışlar, şerit genişliği, şerit sayısı, boyuna eğim,

kenar açıklık, algılayıcı sayısı vb. çok sayıda etkenin birer değişken olması sebebiyle onlarca TOK bölgesine ayrılma gereği oluşmuştur. Bu durumda da 100'e yakın yön ve 15 günü temsil edebilecek trafik verisinin aynı anda resminin çekilmesi veya farklı zamanlarda kontrol sayımlarının yapılmasındaki süre, işgücü ve donanım yönünden zorluk, algılayıcıların ölçümlerinin doğruluğunun kontrol sayımları ile yapılamayacağını ortaya koymuştur. Bütün bu nedenlerle trafik verisinin kontrolünün, aralarında giriş ve çıkış olmayan iki algılayıcının yığışimli taşıt sayılarının hem şekil hem de sayı değeri olarak tutarlılığıyla yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Bir yolda giriş ve çıkışın olmadığı kesimde, ardışık algılayıcıların ölçtüğü günlük hacim verisinin uyumlu olması beklenir. Kısa süreli ölçümlerde, ardışık algılayıcılar arasında hacim farkı olabilir. Bu fark; özelde taşıt hızının genelde trafik akım hızının her iki algılayıcı önünden geçerken aynı olmayışı, algılayıcılar arasındaki uzaklığın kat edilme süresince bir algılayıcıdan geçebilme ihtimali olan taşıtların diğer algılayıcıdan henüz geçmemiş olması, bazı sürücülerin arıza (emniyet) şeritlerini kullanması nedeniyle oluşabilecek farklılıklar, taşıtların birden fazla şeridi kullanmaları nedeniyle oluşabilecek hatalardan kaynaklanır. Ancak günlük, haftalık veya daha uzun zaman aralıkları için bu farkın çok az olması beklenir. Buna karşın bütün algılayıcı türlerinin ölçme hataları yaptığı bilinmektedir. Algılayıcılar bazen sistematik hata yaparken bazen kısa süreli (5-10 dakika) hiç veri okuyamama şeklinde hatalar da yapmaktadır.

Algılayıcı ölçümlerinin doğruluğu, 2 dakikadan üretilen akım değerlerinin yığışimli toplamıyla çizilen "yığışimli akım değerleri" şekilleri ile denetlenmiştir.

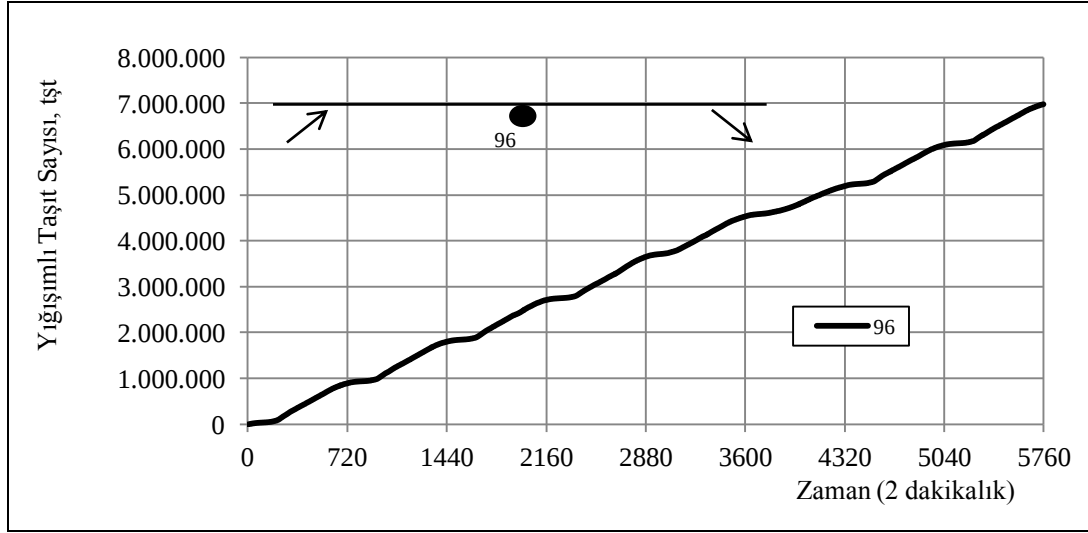
Yığışimli akım değeri şekilleri oluşturulurken elde bulunan 2 haftalık trafik verisi ayrı ayrı ele alınmıştır. Böylelikle algılayıcıların bir hafta hatalı, bir hafta doğru veri üretmiş olması durumu da değerlendirilebilmiştir.

Doğa olaylarındaki gibi laboratuarda deney yoluyla üretilmemiş veriler ve dağılımlarının incelendiği pek çok istatistik yöntemde, sonuçların benzerliği anlamında %10 değerinde bir bağıl hatanın kabul edilebilir bir yaklaşıklık olduğu belirtilmektedir (Şen, 2011). Bir otoyoldan geçen taşıt sayısının değişimi de gözlemci açısından müdahale edilemeyen bir doğa olayı gibi düşünülmüştür. Bu yaklaşım tarzıyla, yığışimli akım değeri toplamalarının %10'dan daha küçük farklar

sergilediği ardışık algılayıcıların ölçümleri aynı kabul edilmiş, böylelikle bir algılayıcının ölçümünün kontrolü, diğer algılayıcı/algılayıcılar ölçümü ile yapılmıştır. Bu değerlendirme aşağıdaki durumlar için yapılmıştır.

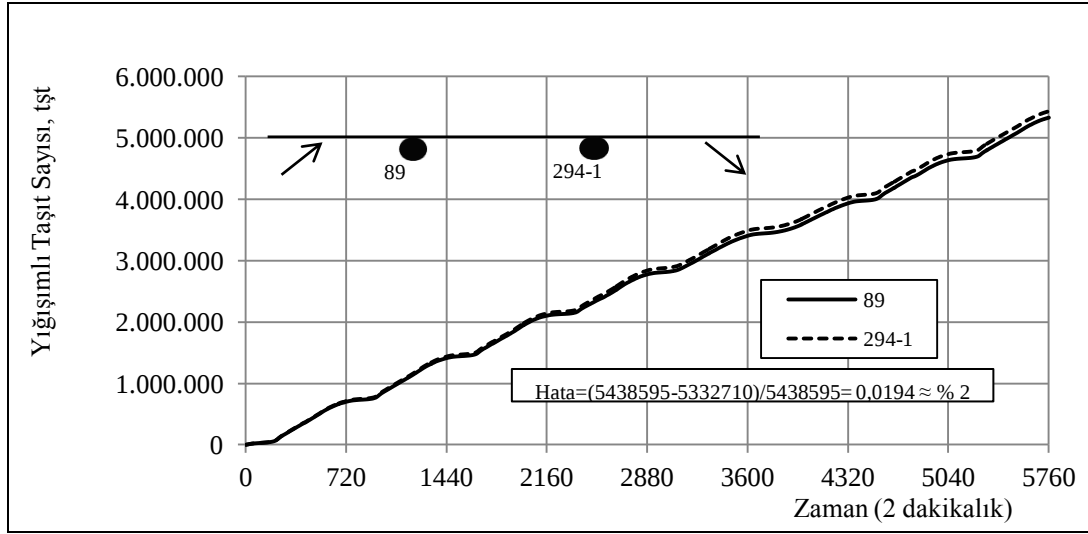
- Durum-1: İki kavşak arasında tek bir algılayıcı bulunması durumunda, bu kesimin trafik verisi (karşılaştırılacak başka bir veri kümesi olmadığından) kullanılmamıştır.
- Durum-2: İki kavşak arasında iki algılayıcı bulunması durumunda, yığışimli akım değeri eğrileri birbiri ile uyumlu (eğriler yaklaşık paralel) ve yığışimli akım değeri eğrilerinin eriştiği son değerler arasındaki fark %10'un altında olan algılayıcıların doğru ölçüm yaptığı sonucuna varılmış, her iki algılayıcının ölçümü de kullanılmıştır.
- Durum-3: İki kavşak arasında üç algılayıcı bulunması durumunda, algılayıcılardan herhangi ikisi arasında Durum-2'de belirtilen uyum bulunuyorsa bu iki algılayıcının verisi doğru, üçüncü algılayıcının verisi yanlış kabul edilmiştir.
- Durum-4: İki kavşak arasında dört algılayıcı varsa ve üç algılayıcı arasında Durum-2'deki gibi bir uyum söz konusu ise; bu üç algılayıcı verisi doğru, dördüncü algılayıcının verisi yanlış kabul edilmiştir. Ancak Durum-2'deki uyumun; algılayıcı çoğunluğunda oluşmadığı, dört algılayıcının ikişer ikişer uyumluluk sergilediği durumlarda, hangi algılayıcı çiftinin doğru ölçüm yaptığı belirlenemediğinden dört algılayıcının verisi de kullanılmamıştır.
- Durum-5: İki kavşak arasında beş ve daha fazla algılayıcı varsa Durum-3 ve Durum-4'e benzer bir yaklaşım izlenmiştir.

Şekil 5.11'de 6-13 Temmuz 2010 tarihleri arasındaki 8 gün boyunca, Ataşehir ve İMES kavşakları arasındaki otoyol kesiminin Ankara yönü üzerinde kurulmuş olan 96 numaralı algılayıcının ölçtüğü 2 dakikalık veriden üretilmiş (1 saatteki 2 dakikalık ölçüm sayısı 30 adet x 24 saat x 8 gün =5760), bir saatlik akım değerlerinin yığışimli toplamının eğilimi görülmektedir. Şekildeki bölgede, tek bir algılayıcı bulunduğundan karşılaştıracak başka bir ölçüm söz konusu değildir. Bu tip veriler, yukarıdaki sınıflamada Durum-1 olarak nitelendirilen gruba girmektedir ve başka bir algılayıcı ölçümü ile doğrulama imkânı bulunmadığından ilgili trafik verisi kullanılmamıştır.



Şekil 5.11: TOK bölgesinde bir tek algılayıcı olması.

Şekil 5.12'de 6-13 Temmuz 2010 tarihleri arasındaki 8 gün boyunca, Gaziosmanpaşa ve Kemerburgaz kavşakları arasındaki otoyol kesiminin Ankara yönü üzerinde kurulmuş olan, 89 ve 294-1 numaralı algılayıcıların ölçtüğü (5760 adet) 2 dakikalık veriden üretilmiş, bir saatlik akım değerlerinin yığılmış toplamının eğilimi görülmektedir.

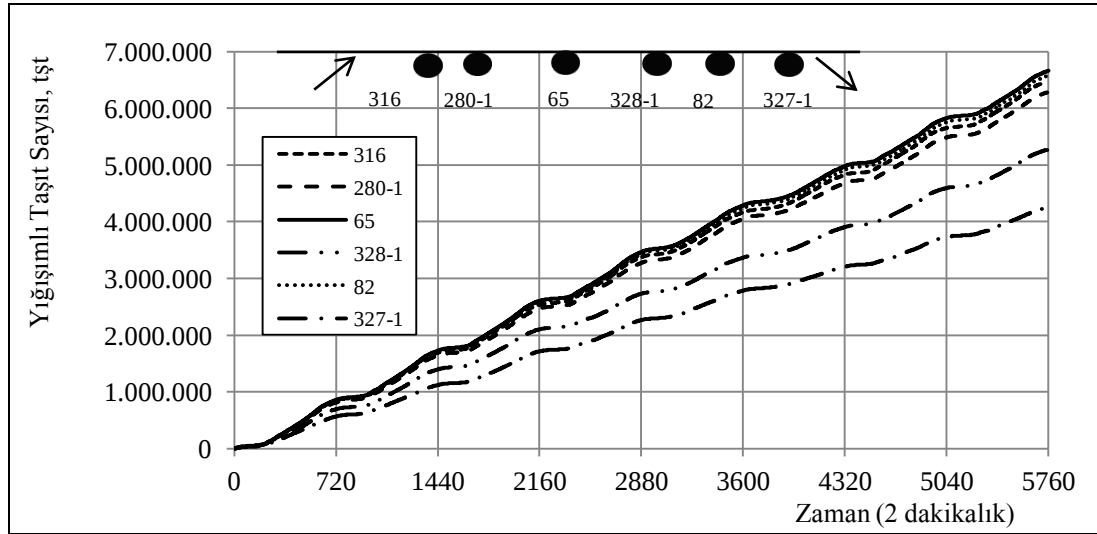


Şekil 5.12: TOK bölgesinde iki algılayıcının olması.

Şekil 5.12'den her iki algılayıcıya ait şeklin aynı eğilime (dalgalanmaya) sahip olduğu gözlemlenebilir. 8 günlük veri sonunda oluşan bağıl hata yaklaşık % 2 olarak hesaplanmıştır. Bu şekildeki benzer veri eğilimleri, Durum-2 olarak nitelendirilmiş; eğilimleri benzer olan ve %10'luk yaklaşıklık içerisinde kalan her iki algılayıcının da doğru ölçtüğü (ölçümlerine güvenilebileceği) kararına varılmıştır.

Şekil 5.13'te 6-13 Temmuz 2010 tarihleri arasındaki 8 gün boyunca, Kavacık ve Ümraniye kavşakları arasındaki otoyol kesiminin Ankara yönü üzerinde kurulmuş olan; 316, 280-1, 65, 328-1, 82 ve 327-1 numaralı algılayıcıların ölçtüğü (5737 ile 5768 arasında değişen sayıda) 2 dakikalık veriden üretilmiş, bir saatlik akım değerlerinin yığışımı toplamının eğilimleri görülmektedir.

Şekil 5.13'teki algılayıcıların genel olarak eğilim şekli benzerdir. Ancak altı adet algılayıcının dördünün bir araya toplanmış, diğer ikisinin ise daha uzak bir bölgede biçimlenmiş olduğu görülebilir. Algılayıcılardan yığışımı taşıt sayılarının en büyüğünü (6.665.505 adet taşıt) kaydetmiş olan 65 numaralı algılayıcıya göre ölçüm hataları sırasıyla; 316 için %3,14; 280-1 için %6,04; 328-1 için %26,47; 82 için %1,08 ve 327-1 için %56,79'dur. Bu değerler; 65, 316, 280-1 ve 82 numaralı algılayıcıların ölçümlerinin birbirlerine uygun olduğunu, ancak 327-1 (şekilde tek noktalı kesikli çizgi) ve 328-1 (şekilde iki noktalı kesikli çizgi) numaralı algılayıcıların kabul edilebilir hata oranının çok üzerinde hata yaptığını ortaya koymaktadır. Sonuç olarak; 327-1 ve 328-1 numaralı algılayıcılar tez çalışmasında kullanılmamıştır.



Şekil 5.13: TOK bölgesinde üç ve daha fazla algılayıcının olması.

Bu yaklaşım tarzı ile bütün algılayıcıların iki haftalık ölçümleri her bir hafta ayrı ayrı ele alınarak değerlendirilmiş, kabule uymayan ölçümler sonraki aşamalarda kullanılmamıştır.

5.5.2 Algılayıcı kayıtlarındaki hatalı veri satırlarının ayıklanması

Algılayıcı kayıtlarında (fazla sayıda olmasa da) farklı türde bir hataya daha rastlanmıştır. 2 dakikalık gözlem süresi içerisinde taşıt geçmesine rağmen bu taşıta ait hız verisinin kaydedilememesi durumudur. Başka bir deyişle, 2 dakikalık sürelerin bazılarında hacim değeri varken hız verisi okunamadığından hız verisinin olduğu hücreye "okunamadı veya taşıt yok" anlamına gelen "240" değeri yazılmıştır. Kısaca mevcut taşıt için hızın kaydedilmemesi durumlarını yansıtan veri satırları kayıtlardan çıkarılmıştır. Bu işlem, verinin geliş şekline uygun olarak, her bir hafta için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

5 adet algılayıcıda (63, 82, 88, 144, 153 numaralı algılayıcılarda) bahsedilen türde hataya rastlanmıştır. Bu algılayıcılardaki hatalı satırların ayıklanması, kayıtlı veri sayılarını yaklaşık olarak % 6-14 arasında değişen oranlarda azaltmıştır. Ancak hatalı satırları ayıklanan bu algılayıcılarda geriye kalan verinin temsil yeteneğini değiştirdiği düşünülmendiğinden, bu incelemeden etkilenen 5 adet algılayıcının geriye kalan sağlam verileri kullanılmıştır. Öte yandan sonraki çalışmalarda bu algılayıcılardan son dördüne ait veriler başka nedenlerle elenmiştir. Sonuç olarak tez çalışmasında bu tür hata içeren algılayıcılardan sadece veri sayısı %6-7 arasında azalan 63 numaralı algılayıcının kayıtları kullanılmıştır.

5.5.3 Eksik veri satırlarının belirlenmesi ve boş veri satırı eklenmesi

Gelen trafik verisinin incelenmesi sonucu görülen hatalardan birisi de bütün algılayıcılarda aynı sayıda veri satırı olmaması, eksik veri satırlarının bulunmasıdır. İncelenen kayıtlardan algılayıcıların, bazı zaman dilimleri için veri kaydetmediği anlaşılmıştır. Bu algılayıcılardan mevcut veri satırı sayısının olması gereken satır sayısına oranı %90'ın altında olan algılayıcıların kayıtları kullanılmamıştır. Belirtilen özellik itibarıyla %90 ve daha büyük temsil oranı olan algılayıcılara, gerek sonraki çalışmalarda 2 dakikalık verilerden 15 dakikalık veri üretilmesi işine uygun zeminin sağlanabilmesi, gerekse verilerin hız-zaman eksen takımına atıldığında günün hangi anını temsil ettiğinin tam ve doğru olarak bilinmesi için ölçülemeyen bu zaman dilimleri için kayıtlara boş veri satırları eklenmiştir. Böylece herhangi bir şekilde hatalı veya eksik ölçüm içermeyen algılayıcı kaydı; 8 günlük birinci hafta için 5760 satır (saatte 30 veri x 24 saat x 8 gün), 7 günlük ikinci hafta için 5040 satır (saatte 30

veri x 24 saat x 7 gün), her iki hafta toplamında ise 10800 satır veri içerir duruma getirilmiştir.

Öte yandan; bazı algılayıcılarda varsayılan ayarları itibariyle 2 dakikalık zaman aralığı (120 saniye) ile gelmesi gereken veri, algılayıcı içerisindeki zamanlama düzeneğindeki hata nedeniyle eksik saniye üretmekte (119 saniye aralıklı veri gelmekte), bunun sonucu olarak her bir gün için ek iki satırlık fazla veri olduğu da gözlemlenmiştir. Ancak bu değer önemsenmeyecek derecede küçük görüldüğünden dikkate alınmamıştır.

5.5.4 İki dakikalık trafik verisinden on beş dakikalık verinin üretilmesi

Tez çalışmasının başında, 15 dakikalık zaman aralığı için toplanan veri ile çalışılması düşünülmüş ve buna uygun veri İBB-TKM'den istenmiş olmasına karşın daha önce de belirtilen nedenlerden dolayı 15 dakikalık verinin sağlıklı olmadığı görülmüş, kaydı tutulan en küçük zaman aralığı olduğundan 2 dakikalık veri istenmiş ve 15 dakikalık veri bu veri düzenlenerek elde edilmiştir.

Verinin 15 dakikalık zaman aralıkları şeklinde toplanmasının nedeni, literatürdeki çalışmalarda daha çok, 15 dakika zaman aralığı için toplanmış trafik verisini kullanıyor olması ve tez çalışmasından elde edilen sonuçların bu çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılarak anlamlandırılacak olmasıdır. Algılayıcıların kaydettiği 2 dakikalık veriden 15 dakikalık verinin üretilmesi taşıt sayısı, akım hızı ve işgal değerleri için gerçekleştirilmiştir.

Taşıtların sayısı bilgisi hesaplanırken, 2 dakikalık veriden 15 dakikalık verinin üretilmesi için, ilk satır ve devamındaki satırlardan oluşan toplam 7,5 satırlık taşıt sayısı verisinin toplanması gerekmiştir. Bu işlem, ilk 7 satırda ölçülen taşıt sayısının toplanması, 8. satırdaki değerin ise yarısının alınması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Toplama işlemi her bir satır için bir satır kaydırmak yoluyla tekrarlanmıştır.

Böylelikle bir saat için 2 dakikalık 30 adet veriden 4 tane 15 dakikalık veri değil, 23 adet (30-7) 15 dakikalık veri üretilmiştir. Örneğin, saat 07.00-08.00 saatleri arasındaki 1 saatlik zaman için üretilen 15 dakikalık veriler (2 şer dakika kaydırmalı olarak) 07.00-07.15, 07.02-07.17, 07.04-07.19, ... şeklinde üretilmiştir. 15 dakikalık veriyi oluşturan 8 adet 2 dakikalık verinin bir tanesinin bile eksik olması durumunda ilgili satır için 15 dakikalık veri üretilmemiştir. Başka bir deyişle, üretilen 15 dakikalık hacim verisinin tamamının ölçülmüş olması esas alınmıştır.

Akım hızları hesaplanırken boş satırlar yukarıdaki paragrafta anlatıldığı şekilde işlem dışında tutulmak üzere, 2 dakikalık ilk veri satırının 15 dakikalık değeri, ilgili satır ve devamındaki satırlardan oluşan toplam 7,5 satırın hızlarının ortalamasından bulunmuştur. Ancak hızların ortalaması alınırken her hızı gerçekleştiren taşıt sayısı ağırlık olarak kullanılmış, yarım satırlık durum için taşıt sayısının yarısı ve o satırdaki hız değeri kullanılmış, sonuçta; "ağırlıklı aritmetik ortalamalı hız" hesabı gerçekleştirilmiştir.

İşgal oranları hesaplanırken yine, 2 dakikalık ilk veri satırının 15 dakikalık değeri, ilgili satır ve devamındaki satırlardan oluşan toplam 7,5 satırın işgal oranlarının ortalamasından bulunmuştur. Bu yapılırken ilk 7 satırdaki işgal değerleri, bu satırların ağırlığı olan "2" (2 dakikalık zaman aralığı olduğu için) ile çarpılarak 8. satırın işgal değeri ise bu satırın ağırlık değeri olan "1" (2 dakikalık zaman aralığının 1 dakikası alınmadığı için) ile çarpılarak toplanmış ve toplam ağırlık olan 15 değerine bölünmüştür.

Böylece, bulunan 15 dakikalık ağır taşıt sayıları, taşıt sayıları, akım hızları ve işgal oranları (2 dakikalık verinin 7,5 ile çarpılması yoluyla) türetilmiş değil, 2 dakikalık sürelerde gözlemlenmiş değerlerden üretilmiş, 15 dakikalık "gözlemlenmiş değerler" olarak elde edilmiştir. Alışılmış 15 dakikalık gözlemlerden farkı, gözlem başlangıç zamanının 2'ser dakika kaydırılmış olmasıdır.

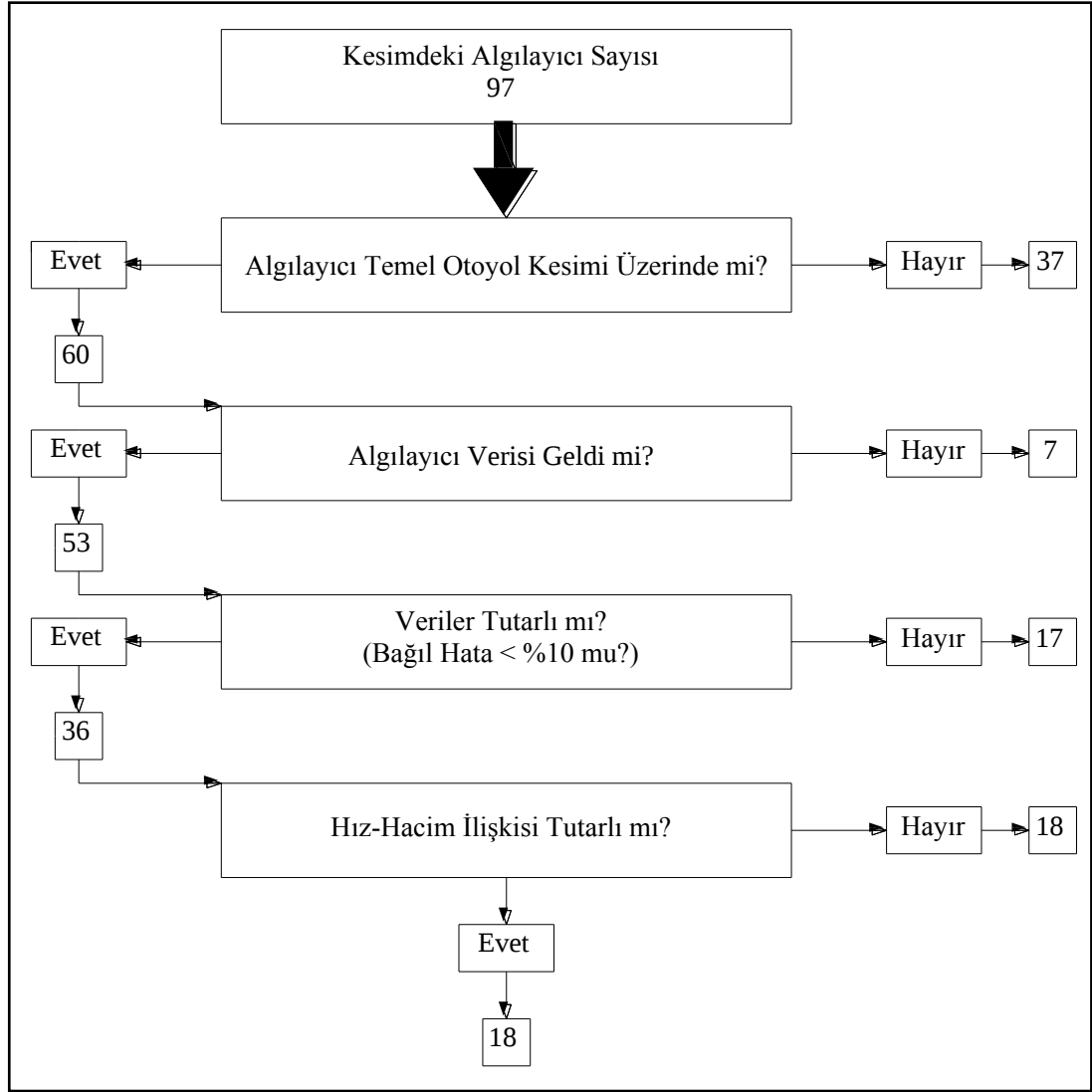
5.5.5 KGM-TYM'den alınan trafik verisi

İBB-TKM kuruluşundan alınan trafik verisi kadar geniş kapsamlı ve ayrıntılı özellikte olmasa da KGM (2011) 17. Bölge Müdürlüğü'ne bağlı bir birim olan ve FSM Köprüsü gişeler bölgesinde yer alan Trafik Yönetim Merkezinde tutulan trafik bilgisi kayıtlarından da tez çalışması kapsamında faydalanılmıştır.

KGM-TYM biriminde, TEM otoyolunun çeşitli kısımlarına yerleştirilmiş halde 10 farklı kesimde (20 yön için), İBB-TKM tarafından kullanılan algılayıcılarla aynı türde algılayıcıların kullanıldığı, trafik akımı ölçümleri yapıldığı bilgisine ulaşılmıştır. Ancak bu ölçümlerin eski tarihli kayıtları 1 saatlik zaman aralıklı kayıtlar halinde arşivlenmektedir. 2 dakika aralıklı arşiv kayıtlarının olmayışı, bu veriden yeterince yararlanılmasına engel olmuştur. Ancak Mahmutbey, Çamlıca ve FSM Köprü gişelerinde tutulan veri, ağır taşıt oranlarının denetlenmesinde kullanılmıştır.

5.5.6 Tutarlılığı sınanmış algılayıcılar

Tutarlılıkla ilgili tüm sınamalar sonunda, başlangıçta belirlenen 97 adet algılayıcıdan 18 adet algılayıcı kalmıştır. Algılayıcıların hangi aşamada elendiği Şekil 5.14'te görülmektedir.



Şekil 5.14: İncelenen otoyol kesimleri üzerinde bulunan ve tutarlılığı sınanan algılayıcılar ve elenme aşamaları.

Kalan 18 adet algılayıcıdan bazılarının iki haftalık, bazılarının ise bir haftalık verisi sınamalardan geçebilmiştir. Bütün sınamalar sonunda kalan algılayıcıların hangileri olduğu ve bu algılayıcılara ait verinin hangi haftalarının kullanıldığı Çizelge 5.9'da görülmektedir. Çizelgedeki "birinci" hafta ifadesi 6-13 Temmuz 2010 tarihleri arasındaki 8 günlük süresi, "ikinci" hafta ifadesi ise 28 Temmuz – 3 Ağustos 2010 tarihleri arasındaki 7 günlük süreyi belirtmektedir.

Çizelge 5.9: Sınamalardan geçmiş algılayıcılar ve verisi kullanılan haftalar.

Trafik Akım Yönü	Algılayıcı No.	Otoyol Adı	Kavşak Bölgesi	Verisi Kullanılan Hafta
Ankara	357-1	O3	Hadımköy-Avcılar	İkinci
Ankara	360-1	O3	Hadımköy-Avcılar	Birinci ve İkinci
Ankara	361-1	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	Birinci ve İkinci
Ankara	294-1	O2	Gaziosmanpaşa-Kemerburgaz	Birinci ve İkinci
Ankara	280-1	O2	Kavacık-Ümraniye	Birinci ve İkinci
Ankara	65	O2	Kavacık-Ümraniye	Birinci ve İkinci
Ankara	83	O2	Ümraniye-Anadolu Otoyolu	Birinci ve İkinci
Ankara	345-1	O4	Sultanbeyli-Kurtköy	Birinci ve İkinci
Ankara	346-1	O4	Sultanbeyli-Kurtköy	Birinci ve İkinci
Edirne	346-2	O4	Sultanbeyli-Kurtköy	İkinci
Edirne	326	O2	Kavacık-Ümraniye	Birinci ve İkinci
Edirne	327-2	O2	Kavacık-Ümraniye	Birinci ve İkinci
Edirne	63	O2	Kavacık-Ümraniye	Birinci ve İkinci
Edirne	61	O2	Kavacık-Ümraniye	Birinci ve İkinci
Edirne	329	O2	Kavacık-Ümraniye	Birinci ve İkinci
Edirne	148	O2	Metris-Gaziosmanpaşa	Birinci ve İkinci
Edirne	143	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	Birinci ve İkinci
Edirne	357-2	O3	Hadımköy-Avcılar	İkinci

6. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE MODELLENMESİ

6.1 Ağır Taşıt Oranlarının Hesaplanması

Serbest Akım Hızı (SAH) üzerinde etkisi olan ağır taşıtların trafik kompozisyonu içerisindeki oranının belirlenmesi gerekmektedir. Ancak bu aşamada karşılaşılan sorun, "ağır taşıtın ne olduğunun tanımlanması" veya "hangi tür taşıtların ağır taşıt olarak değerlendirileceği" konusunun açıklığa kavuşturulmasıdır.

TRB (2000) ağır taşıtı, "kullanımları sırasında kaplamaya dörtten fazla tekerleğin temas ettiği taşıtlar", olarak tanımlanmıştır. Bu tanım dikkate alındığında, aslında otomobil türü taşıtlardan olmayan, ancak bu tanım gereği yolda seyirleri sırasında sadece dört tekerleğinin yol yüzeyi ile temas halinde bulunduğu kamyonet, minibüs, arazi taşıtı, hafif ticari taşıtların bir kısmı, vb. gibi taşıtların otomobil olarak sayılması gerekmektedir. Böyle bir varsayıma uyulması durumunda gerek HCM gerekse diğer kaynaklarda verilen ve otomobil (passenger car) biriminde sunulan her türlü bilginin aksine bir tutum sergilenmiş olacaktır. Aslında ağır taşıt olarak hangi taşıtların kabul göreceğine dair karışıklık literatürde de mevcuttur. Örneğin HCM 2010 ve HCM 2000'de TOK kesimi için verilen yöntem ve öneriler, HCM 1997'ye dayanmaktadır. HCM 1997 ise Schoen ve diğ. (1995) tarafından yazılan rapor temel alınarak oluşturulmuştur. Söz konusu raporda üç farklı trafik veri seti kullanılmıştır. Burada önemli olan, bu üç sette de ağır taşıt kabulünün farklı yapılmış olmasıdır. Rapora temel teşkil eden trafik verisinin ilkinde ağır taşıt olarak üç veya daha fazla dingile sahip kamyonlar ile otobüsler alınmıştır. İkinci veri grubunda ağır taşıt olarak, sadece treyler sınıfı (tractor-trailer combination) taşıtlar alınmıştır. Üçüncü veri grubundaysa ağır taşıt olarak, kamyonet (pick-up truck) ve daha büyük taşıtlar alınmıştır. Bu üç kabulünde farklı araştırmacılar tarafından yapıldığını belirtmekte fayda vardır. Böyle olmakla beraber bu veri üzerine kurulmuş olan HCM, önerilerini tamamen otomobillerden oluşan bir trafik için yapmaktadır.

Öte yandan tez çalışmasına temel teşkil eden trafik verisi İBB-TKM'den alınan algılayıcı kayıtlarına dayanmaktadır. Bu algılayıcılar teknolojileri gereği trafikte seyreden taşıtları uzunluklarına göre dört farklı gruba ayırabilmektedirler. Ancak

İBB-TKM bu algılayıcıları, trafikteki taşıtları iki gruba ayıracak şekilde düzenlemiştir. Üstelik bu ayrımı gerçekleştiren taşıt uzunluğu bilgisine de, bütün uğraşlara rağmen, ulaşamamıştır. Bu belirsizliğin doğuracağı sonuçları denetleyebilmek için, tez çalışmasında kullanılmak üzere, KGM-TYM tarafından kaydedilen farklı özellikte iki grup trafik verisine de ulaşılmıştır.

KGM-TYM birimi, İstanbul genelindeki ücret toplama istasyonlarında otoyolu kullanan taşıtlara ait bilgiyi kaydetmektedir. Ücret toplama sisteminde 6 sınıf taşıt grubu yer almaktadır. Bu gruplar sırasıyla; 1. sınıf (iki dingilli taşıtlar), 2. sınıf (iki dingilli ve dingiller arası açıklığı 3,2 metreyi geçen taşıtlar), 3. sınıf (üç dingilli taşıtlar), 4. sınıf (dört ve beş dingilli taşıtlar), 5. sınıf (altı ve daha fazla dingilli taşıtlar) ve 6. sınıf (motosikletler) olarak adlandırılmaktadırlar. Bu gruplar içerisinde; 3., 4. ve 5. sınıf taşıtların ağır taşıt oldukları açıktır. 1. ve 6. sınıf taşıtların da ağır taşıt olmadıkları açıktır. Geriye, 2. sınıf taşıtların ağır taşıt sayılıp sayılmayacağı sorunu kalmaktadır. Bu gruba, şayet iki dingilli ise, otobüs türü taşıtların da girdiğini belirtmek gerekir. Bu taşıt grubunun bir kısmının, tamamının veya hiç birisinin ağır taşıt olarak kabul edilmesi yoluna gidilebilir.

KGM-TYM birimi tarafından toplanan bir diğer grup veri ise tez kapsamına giren otoyollar üzerine tesis edilmiş 10 farklı yerdeki algılayıcılar tarafından ölçülen saatlik trafik verileridir. Bu algılayıcılar İBB-TKM birimi algılayıcıları ile aynı özelliktedir. Ancak bunlardan farklı olarak trafikteki taşıtları dört farklı gruba ayıracak şekilde tesis edilmişlerdir. Bu algılayıcılar taşıtları; 5, 8 ve 12 m uzunluk değerinin sınır değeri olarak kabul edildiği dört gruba ayırmaktadır. Ancak burada da üç sorun söz konusudur. İlki, önceki algılayıcılarda olduğu gibi, ağır taşıt olarak hangi grupların değerlendirileceği, ikincisi bu algılayıcıların sadece 10 noktaya yerleştirilmiş bulunması (tez alanını temsil etmekten uzak olmaları), üçüncüsü ise bu algılayıcıların trafik akımını 1 saat aralıklı kaydediyor olması, 2 dakika aralıklı kayıtların bulunmamasıdır.

Bütün bu bahsedilen sorunlar ve veri özellikleri dikkate alınmakla birlikte, tez çalışmasında İBB-TKM kuruluşu tarafından kaydedilen verilerdeki ağır taşıt bilgisine uyulması kararına varılmıştır. Ancak KGM (2011) verileri ile karşılaştırıldığında tutarlı olan değerlere sahip algılayıcıların kullanılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.

KGM'ye bağı Mahmutbey, Çamlıca ve FSM Köprüsü gişelerinde ölçülen trafik bilgisine dayanılarak hesaplanan ağır taşıt oranları Çizelge 6.1'de ve İBB-TKM algılayıcıları tarafından ölçülen trafik bilgisine dayanılarak hesaplanan ağır taşıt oranları Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.1: Tez çalışma alanındaki otoyollarda ücret toplama gişeleri verilerinden hesaplanan ağır taşıt oranları (KGM, 2011).

Trafik Akım Yönü	Algılayıcı Adı	Kavşak Bölgesi	Kilometraжі	Ağır Taşıt Oranı, %	
				I	II
Ankara	Mahmutbey Gişeler	Ispartakule-Mahmutbey Batı	12+450	8	21
Ankara	FSM Gişeler	Levent 1-Kavacık	19+620	7	22
Edirne	Çamlıca Gişeler	Samandıra-İMES	9+475	10	22

Çizelge 6.1'de verilen ve KGM verileri kullanılarak hesaplanmış olan ağır taşıt bilgisi yalnızca, İBB verileri kullanılarak bulunan ağır taşıt oranlarını denetlemede kullanılmış, bu çizelgeden ağır taşıt oranı değerlerinin mertebe olarak büyüklüğünün ne olduğu bilgisi edinilmiştir. Bu çizelgede, hesaplanmış iki farklı ağır taşıt oranının varlığı (I ve II) gözlemlenebilir. Ağır taşıt oranı-I hesaplanırken 2. sınıf taşıtlar, ağır taşıt olarak düşünülmemiş, böylece hesaplanan ağır taşıt oranı bilgisi, %7-10 arasında değişen farklı değerlere ulaşmıştır. Ağır taşıt oranı-II hesaplanırken ise 2. sınıf taşıtlar da, ağır taşıt olarak düşünülmüş, böylece hesaplanan değerler ise %21-22 arasında değişen değerler almışlardır. Bu çizelgede ücret toplamaya esas olan ve otoyol ile köprü gelirlerini belirleyen gişe bilgilerinin, daha doğru değerleri göstereceği kabulü yanlış bir değerlendirme olmaz. Mahmutbey, Çamlıca ve FSM Köprü gişelerindeki ağır taşıt oranları değerlendirildiğinde, otomobil ve benzer uzunluktaki taşıtlar dışındaki bütün taşıtlar ağır taşıt kabul edildiğinde %21-22 civarında; üç ve daha fazla dingilli taşıtların ağır taşıt olarak kabul edilmesi durumunda ise %7-10 civarında ağır taşıt bulunduğu, çizelgedeki sayılar yardımıyla söylenebilir.

Bu tespitten hareketle, algılayıcılarda hafif taşıt-ağır taşıt ayrımını yapan uzunluk bilgisine ulaşılamadığından, İBB-TKM tarafından verilen bilgilerden hesaplanan ve Çizelge 6.2'de verilen ağır taşıt oranlarından belirtilen yüzdeler (% 8-22) arasında kalan değerler doğru ölçülmüş olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 6.2: Tez çalışma alanındaki otoyollarda İBB-TKM algılayıcı verilerinden hesaplanan ağır taşıt oranları.

Trafik Akım Yönü	Algılayıcı No.	Otoyol Adı	Kavşak Bölgesi	Algılayıcı Kilometrajı	Ağır Taşıt Oranı, %
Ankara	357-1	O3	Hadımköy-Avcılar	27+560	22,7
Ankara	360-1	O3	Hadımköy-Avcılar	23+770	18,8
Ankara	361-1	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	17+700	15,4
Ankara	294-1	O2	Gaziosmanpaşa-Kemerburgaz	9+930	18,8
Ankara	280-1	O2	Kavacık-Ümraniye	26+180	17,3
Ankara	65	O2	Kavacık-Ümraniye	27+140	17,7
Ankara	83	O2	Ümraniye-Anadolu Otoyolu	32+870	17,1
Ankara	345-1	O4	Sultanbeyli-Kurtköy	21+160	18,3
Ankara	346-1	O4	Sultanbeyli-Kurtköy	23+355	19,4
Edirne	346-2	O4	Sultanbeyli-Kurtköy	23+355	22,4
Edirne	326	O2	Kavacık-Ümraniye	30+075	16,0
Edirne	327-2	O2	Kavacık-Ümraniye	29+315	16,1
Edirne	63	O2	Kavacık-Ümraniye	28+885	18,1
Edirne	61	O2	Kavacık-Ümraniye	27+150	17,4
Edirne	329	O2	Kavacık-Ümraniye	25+345	16,2
Edirne	148	O2	Metris-Gaziosmanpaşa	5+830	15,8
Edirne	143	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	13+530	15,1
Edirne	357-2	O3	Hadımköy-Avcılar	27+560	21,5

Çizelge 6.2'de verilen ağır taşıt oranları değerlendirildiğinde, İstanbul ilinin batı ve doğusundaki ücret toplama gişelerine yaklaşan otoyol kesimlerinde ağır taşıt oranının %18-23 arasında olduğu, kent içi kesimlerde (gişeler arasında kalan bölge) bu oranın %15-19 arasında değiştiği söylenebilir.

6.2 Temel Otoyol Kesimlerinde Hız-Akım Değeri İlişkisinin İncelenmesi

İBB-TKM biriminden temin edilen trafik verisinin, algılayıcı kayıtlarının karşılaştırılması yoluyla doğruluğunun sınanması, hatalı verinin ayıklanması, eksik veri satırlarının belirlenmesi ve eklenmesi şeklindeki çeşitli işlemler daha önce gerçekleştirilmişti. Bu işlemler sonunda; bazı algılayıcıların sadece birinci hafta verisinin, bazılarının sadece ikinci hafta verisinin ve bazılarının da her iki hafta verisinin kullanılabilir durumda olduğu tespit edilmiştir.

6.2.1 Hız-akım bilgisi saçılma şekillerinin oluşturulması

Veriler üzerinde ilk yapılan işlem, her bir şerit için kaydedilmiş olan taşıt sayısı ve hız bilgilerinden yolu temsil edecek akım hızı ve akım değerine geçilmesi olmuştur. Bunun için 15 dakikalık gözlem süresi boyunca şeritlerden geçen taşıt sayısından

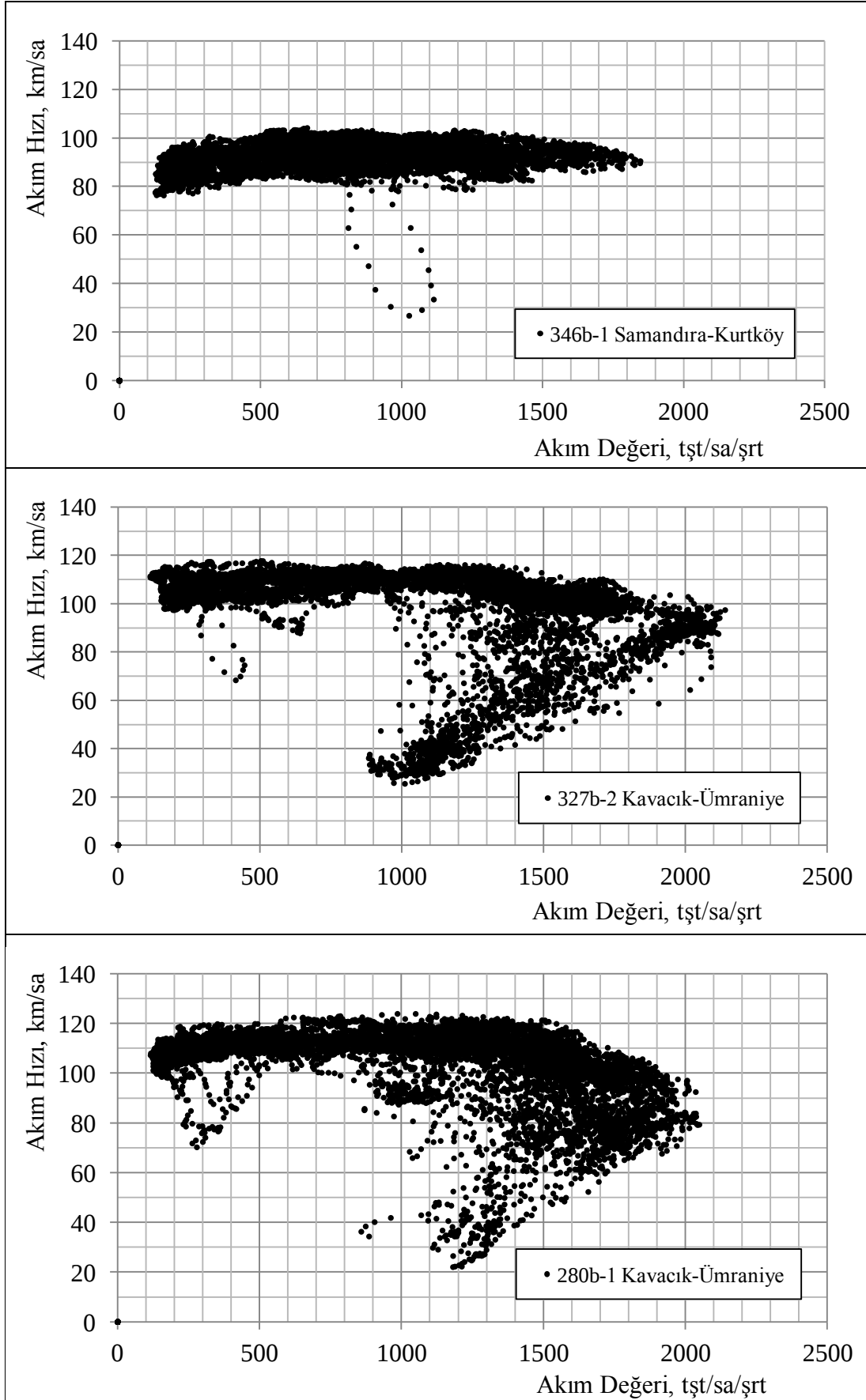
türetilmiş saatlik ortalama değer, akım değeri olarak alınmıştır. şeritlere ait hızlardan yola ait akım hızı bulunurken şeritlerden geçen taşıt sayıları "ağırlık" olarak kullanılmış ve "ağırlıklı ortalama hız" bulunmuştur. Bu iki bilgi (akım değeri ve akım hızı) kullanılarak algılayıcıların hız-akım bilgileri Kartezyen Koordinat sisteminde gözlemlenmiş, saçılma şekilleri değerlendirilmiştir. şekil 6.1'de İBB-TKM algılayıcılarının akım değeri-akım hızı bilgisini içeren bazı saçılma örneklere verilmiştir.

Tez kapsamına giren algılayıcılara ait hız-akım bilgisi içeren saçılma şekilleri, veri çiftlerinin dağılım şekli dikkate alındığında iki farklı dağılım özelliği göstermektedirler. Bunlardan ilkinde, sadece tıkanıklık öncesinde akım rejimi gözlemlenebilmektedir. Algılayıcının bulunduğu otoyol kesiminde trafik talebi kapasite değerine erişmemiş, dağılımda ikinci ve üçüncü rejim evreleri oluşmamıştır. Bu dağılım özelliği, genelde incelenen otoyolun kent dışı otoyol (Mahmutbey-amlıa gişeleri dışında kalan) kesimlerinde gözlemlenmiştir. şekil 6.1'de verilen ve üç farklı algılayıcı tarafından kaydedilen hız-akım bilgisi şekillerinden üstteki parça, muhtemel bir trafik olayından kaynaklandığđ düşünölen aykırı değerler göz ardı edilirse, bu tür dağılım özelliğini temsil etmektedir.

İkinci dağılım türü ise (daha önce verilmiş olan) üç rejimli hız-akım davranışını gösteren şekilde saçılmaktadır. Bu tür saçılmalar; tıkanıklık öncesinde akım, tıkanık akım ve kuyruk özölme akımı şeklinde rejimlere haizdir. Bu şekillerde, algılayıcının bulunduğu kesimindeki trafik talebi kapasiteyi aştığından, saçılma eğrisinde artan taşıt sayısı ile birlikte hızın azaldığđ ve bir kapasite değerine ulaştığı, sonrasında ise hem hızın hem de taşıt sayısının aniden düştüğü kolayca gözlemlenebilir. Bu dağılım özelliği ise, incelenen otoyolun kent içi (doğu ve batı ücret toplama gişeleri arası) kesimlerinde gözlemlenmiştir. şekil 6.1'de, ortada ve altta verilen şekiller bu tür dağılım özelliğini temsil etmektedirler.

6.2.2 Hız-akım şekillerinde aykırı değer tespiti ve kayıtlardan çıkarılması

Saçılma şekillerinin hemen hepsinde, dağılımın genel özelliği dışında seyir izleyen aykırı değerlere rastlanmıştır. Saçılma şekillerinde beklenen dağılım, ilgili otoyol kesimine gelen trafik talebinin kapasiteyi aşmasından ötürü ikinci ve üçüncü rejim evrelerine geçilmesi şeklindedir.



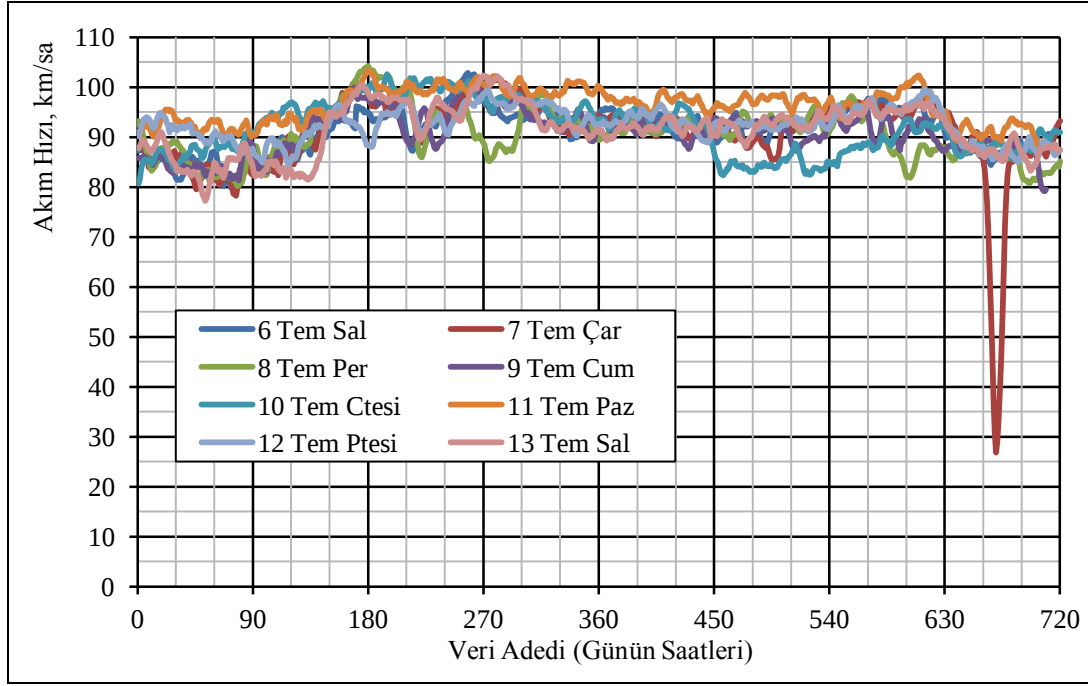
Şekil 6.1: İBB-TKM algılayıcı kayıtlarında görülen saçılma örnekleri.

Bundan farklı olarak, henüz yüksek akım değerlerine erişilmeden görülen kırılma (akım hızının aniden düşmesi) hareketlerinin otoyoldaki muhtemel trafik kaza ve olaylarından ötürü olduğu düşünülmüş ve bu veriler sonraki çalışmalara olumsuz etki yapmamaları için çıkarılmıştır. Bu tür kırılmalara, Şekil 6.1'de, üstte yer alan parçadaki durum örnek olarak verilebilir. Bu parçada, talep henüz 1000 taşıt/saat/şerit değerine erişmeden kırılma görülmüştür.

Böyle bir kırılmanın trafik kazası veya arızalı taşıtın varlığı, yolda bulunan bir cismin trafikte yarattığı aksama, vb. gibi bir tür trafik olayından kaynaklandığı açıktır. Olay münferittir, tekrarlanmamıştır. Bununla beraber aykırı değerler, verilen bu örnekte yapıldığı gibi, her zaman kolayca tespit edilememiştir.

Aykırı değerlerin saptanabilmesi için algılayıcı kayıtlarından oluşturulan saçılma şekilleri, sistematik bir incelemeye tabi tutulmuştur. Bunun için her bir algılayıcının hız verisi, her bir gün ayrı birer dizi oluşturmak üzere, bir zaman eksenine atılmış, ani hız düşüşü şeklinde kendini gösteren benzer bir olayın farklı günlerde aynı saatlerde gerçekleşmiş olup olmadığı gözlemlenmiştir. Şayet oluşturulan bu zaman ekseninde, aynı saatte hız düşüşü olayı iki ve daha fazla şekilde tekrar etmişse, bu olayın trafik kaza veya olaylarından ötürü gerçekleşmediği, trafik ve yol şartlarının etkisiyle gerçekleştiği, dolayısıyla aykırı değer olmadığı değerlendirilmiştir. Ancak bir kez görülen hız düşüşleri, münferit olaylar olarak görülüp aykırı değer olarak kabul edilmiş ve bu hız ile karşılığı olan taşıt sayısı bilgisi kayıtlardan çıkarılmıştır. Bu değerlendirmeyi sistematik hale getirmede, Şekil 6.2'de verilen türde, rastgele değişkeni veri sıra numarası (dolayısıyla günün zamanı) olan şekillerden yararlanılmıştır.

Şekil 6.2'de yatay ekseninde verilen her 90 birimlik etiket bilgisi, 3 saatlik zamanı temsil etmektedir. Şekil 6.1'de, üstteki parçada 346-1 numaralı algılayıcıya ait hız-akım bilgisinin saçılma şekli verilmiş, şekildeki pek çok veriden ayrı olarak, 1000 taşıt/saat/şerit civarındaki, genel dağılıma uymayan veriler, aykırı değer olarak adlandırılmıştır. Aynı algılayıcının ölçtüğü hız bilgisi, bir de zaman eksenini üzerinde gözlemlenmiş ve bu gözlem Şekil 6.2'de verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde aykırı değerlerin; birinci hafta olarak adlandırılan haftanın 7 Temmuz 2010 Salı gününe ait olduğu, 22.00-23.00 saatleri arasında ölçüldüğü, haftanın diğer günlerinde görülmediği, münferit bir gözlem olduğu; dolayısıyla aykırı değer olarak adlandırılmasının isabetli bir karar olduğu açıkça gözlemlenebilir.



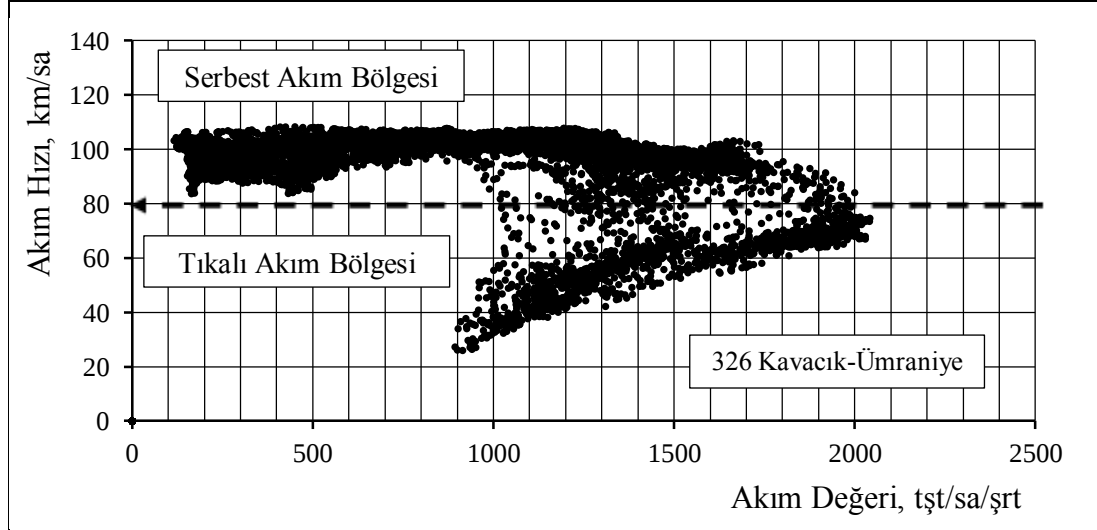
Şekil 6.2: Zaman eksenini üzerinde 346-1 numaralı algılayıcıda kaydedilen hız bilgisinin günlük değişimi.

Şekil 6.2'de verilene benzer olarak, bütün algılayıcıların ölçümleri ayrı ayrı bu zaman eksenini kullanılarak değerlendirilmiş ve aykırı değerler algılayıcı kayıtlarından silinmiştir.

6.2.3 Optimum hızların (kapasite hızlarının) belirlenmesi

Hız-akım değeri şekillerinde aykırı değerlerin atılmasından sonra optimum hızların (kapasite hızlarının) belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Şekillerde hız-akım değeri muhtemel eğrisinin döndüğü nokta (hızdaki azalışın, akım değerinde azalmaya neden olduğu nokta) ve en büyük akım değerleri göz önünde tutulmak üzere, doymun olmayan akım (serbest akım) bölgesi ile aşırı doymun akım (tıkalı akım, zorlamalı akım) bölgesini birbirinden ayıracak hız değeri, optimum hız olarak seçilmiştir. Bu tür bir değerlendirme 5 km/sa hız duyarlılığında, verilerin işlenmesi sonrasında elde kalan bütün algılayıcı kesimlerine her birinin saçılma şekli gözlemlenerek ayrı ayrı uygulanmıştır. Optimum hızın belirlendiği kesimlerden birine ait saçılma şekli ve seçilen optimum hızı gösteren doğru parçası Şekil 6.3'te verilmiştir. Şekilde 326 numaralı algılayıcının ölçtüğü trafik verisi için optimum hızın 80 km/sa olarak seçildiği gözlemlenebilir.

Hız-akım değeri şekillerinin incelenmesi ile trafik verisinin elenme aşamalarından geçen 18 kesimden 11 kesimde tıkalı akım bölgesinde veriler gözlemlenmiştir. Bu kesimler için belirlenen optimum hızlar (kapasite hızları) Çizelge 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3: Örnek bir kesitteki hız-akım değeri şekli ve optimum hız kararı.

Çizelge 6.3: En büyük akım değeri gözlemlenen kesimler için optimum hızlar.

Trafik Akım Yönü	Algılayıcı No.	Otoyol Adı	Kavşak Bölgesi	Algılayıcı Kilometraji	Optimum Hız km/sa
Ankara	361-1	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	17+700	80
Ankara	280-1	O2	Kavacık-Ümraniye	26+180	95
Ankara	65	O2	Kavacık-Ümraniye	27+140	70
Ankara	83	O2	Ümraniye-Anadolu Otoyolu	32+865	85
Edirne	326	O2	Kavacık-Ümraniye	30+075	80
Edirne	327-2	O2	Kavacık-Ümraniye	29+315	90
Edirne	63	O2	Kavacık-Ümraniye	28+880	100
Edirne	61	O2	Kavacık-Ümraniye	27+150	70
Edirne	329	O2	Kavacık-Ümraniye	25+345	85
Edirne	148	O2	Metris-Gaziosmanpaşa	5+830	85
Edirne	143	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	13+530	70

6.2.4 Kapasite değerine eriştiği düşünülen temel otoyol kesimlerinin tespiti

Çeşitli araştırmacılarca yürütülen ve literatüre geçmiş önceki çalışmalarda, herhangi bir otoyol kesiminin kapasite değerinin ne olduğu incelenirken öncelikle ilgilenilen kesimin trafik verisi kullanılarak hız-akım değeri şeklinin çizildiği gözlemlenmiştir. Bu şekillerde, veri dağılım şeklinin üç rejimli bir eğri davranışı göstermesi durumunda kapasite değeri arayışının bu kesimler üzerinden yapıldığı görülmüştür. Bu yaklaşım, tez çalışmasında da bir yöntem olarak kullanılmıştır. Yani kapasite

arayışı, üç rejimin de görüldüğü şekillerin algılayıcılarının bulunduğu kesimlerde gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.1'de orta ve alt bölümde verilen şekiller bahsedilen kesimlere örnek olarak görülebilir.

Çizelge 6.4'te kapasite değerine ulaştığı düşünülen algılayıcı adları ve bu kesimlerde görülen en büyük akım değerleri verilmiştir. Çizelgeden edinilecek ilk bilgi, kapasite değerine yaklaştığı düşünülebilecek olan bu kesimlerin, Mahmutbey ve Çamlıca ücret toplama istasyonları arasında kalmış olması, yani beklenildiği gibi, kent içi otoyol kesimleri olmalarıdır. Çizelgede verilen kesimlerden O3 otoyolu üzerindeki kesimler 3 şeritli, O2 otoyolu üzerindeki kesimler ise 4 şeritli platforma haizdir. En büyük akım değeri, O2 otoyolu üzerinde Kavacık-Ümraniye kavşakları arasındaki 61 numaralı algılayıcının bulunduğu kesimde gerçekleşmiş ve 2287 taşıt/saat/şerit değerindedir.

Çizelge 6.4: Kapasite değerlerine eriştiği düşünülen kesimler ve en büyük akım değerleri.

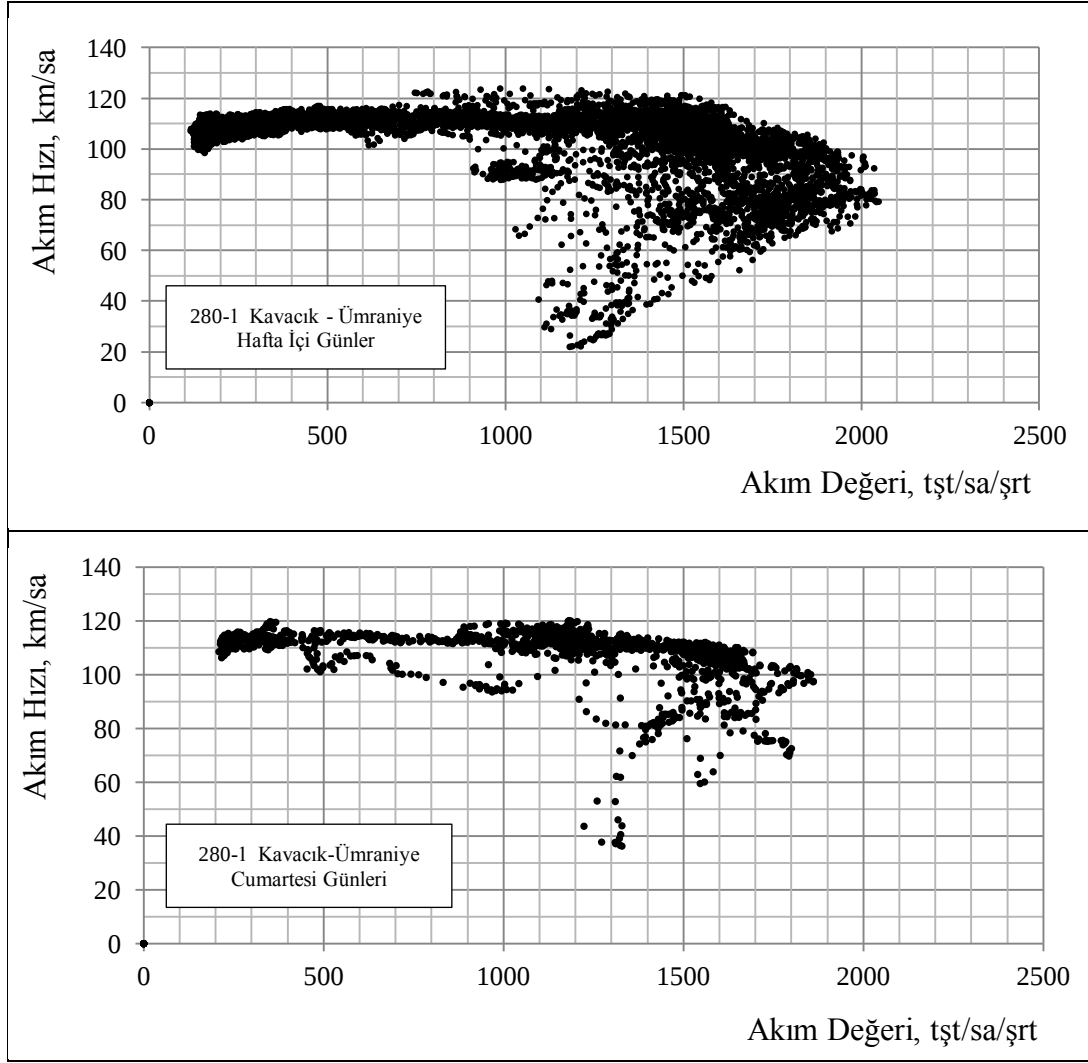
Trafik Akım Yönü	Algılayıcı No.	Otoyol Adı	Kavşak Bölgesi	Algılayıcı Kilometrajı	En Büyük Akım Değeri tş/sa/şrt
Ankara	361-1	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	17+700	1932
Ankara	280-1	O2	Kavacık-Ümraniye	26+180	2049
Ankara	65	O2	Kavacık-Ümraniye	27+140	2166
Ankara	83	O2	Ümraniye-Anadolu Otoyolu	32+865	1925
Edirne	326	O2	Kavacık-Ümraniye	30+075	2042
Edirne	327-2	O2	Kavacık-Ümraniye	29+315	2141
Edirne	63	O2	Kavacık-Ümraniye	28+880	2162
Edirne	61	O2	Kavacık-Ümraniye	27+150	2287
Edirne	329	O2	Kavacık-Ümraniye	25+345	2238
Edirne	148	O2	Metris-Gaziosmanpaşa	5+830	1882
Edirne	143	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	13+530	2141

Kapasite üzerinde etkili olan faktörlerden birinin de sürücü davranışı olduğu belirtilmişti. Sürücülerin davranışları arasındaki farklılık pek çok faktöre bağlı olarak gelişebilir. Ancak HCM bu faktörlerden hesaplanabilir olan bir değer üzerinden değerlendirmeye gitmiştir. Sürücülerin, yaptıkları yolcululuğun (ev-iş veya okul-iş gibi) zorunlu bir yolculuk mu yoksa hafta sonu (eğlence amaçlı) yolculuğu mu olduğuna göre farklı davranış geliştirdikleri, bunun da otoyolun kapasitesinde % 15'e kadar varabilen azalmaya sebep olduğu belirtilmektedir. Bu iki farklı amaçlı yolculuğa dair kapasite değerlerini, hafta içi ve hafta sonu trafik özelliklerini karşılaştırarak elde etmiştir. Hafta içi ve hafta sonu kapasiteleri arasındaki oranı ise

"sürücü düzeltmesi" adıyla kapasite ve hizmet seviyesi analizlerinde hesap adımları içerisinde kullanılmaktadır. Benzer bir değerlendirme tez çalışmasında da bir yöntem olarak kullanılmıştır.

Kapasite değerlerine ulaşmış olabileceği düşünülen kesimlerdeki algılayıcıların verileri, haftanın günlerine göre ayrılmış, Cumartesi ve Pazar günlerine ait verilerin saçılma şekilleri incelenmiş, kırılmanın oluşup oluşmadığı gözlemlenmiş ve varsa en büyük akım değerleri tespit edilmiştir. Bu inceleme, günlük hız-akım değeri şekillerinin değerlendirilmesi yoluyla gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak; hafta içi günlerde tıkanıklığın olduğu kesimlerin hiç birisinde Pazar günleri tıkanıklık gözlemlenmemiştir. Az sayıdaki kesimde ise yalnızca Cumartesi günü tıkanıklık görülmüştür.

Şekil 6.4'te, hem hafta içi günlerde hem de Cumartesi günlerinde tıkanıklık gözlemlenen kesimlerden biri olan ve kapasite hızı (optimum hızı) 95 km/sa olarak belirlenen 280-1 numaralı algılayıcının bulunduğu noktada ölçülen trafik verisinin saçılma şekli verilmiştir. Şekilde saçılma durumu gösterilen trafik verisinden aykırı değerlerin atılmış olduğunu belirtmek gerekir. Şekilde; üstteki parçada hafta içi günlerde (11 günlük gözlem süresinde), alttaki parçada ise Cumartesi günlerinde (2 günlük gözlem süresinde, 10 Temmuz ve 31 Temmuz 2010) kaydedilen trafik verisinin saçılması gösterilmiştir. Trafik kaza ve olaylarından kaynaklanan verinin atılmış olduğu hatırlandığında; ilgili kesim için trafik verisinin saçılma şekli (akımın, uzaklaşan akım yönünde muhtemel başka bir kuyruğun etkisinde olmadığını gösteriyor), akımın yüksek değerlerinde tıkanmanın gözlemlenmiş olması, akım hızının kapasite hızının çok altına düşmüş ve bu anda trafik hacminde de azalmanın görülmüş olması (akım-zaman eksen takımındaki gözlem ile) bu kesitteki talebin kapasiteden fazla olduğunun göstergelerindendir. Üstelik parçada; serbest akım bölgesi, zorlamalı akım bölgesi ve kuyruk çözülme akımı gözlemlenebilmektedir. Böylece trafik talebinin ilgili kesimin kapasitesinden az olmadığı sonucuna varılmıştır. Bir yol kesiminin kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden birinin de gözlemlenen en büyük akım değerinin alınması yöntemi olduğu hatırlanırsa, incelenen kesimler için gözlemlenen en büyük akım değerlerinin kapasite değeri olarak veya kapasite değeri civarında gerçekleşen bir değer olarak düşünülmesi yanlış olmaz.



şekil 6.4: 280-1 numaralı algılayıcı trafik verisinin hafta içi günler (üstte) ile Cumartesi günlerinde (altta) saçılma şekli.

Çizelge 6.4'te verilen kesimlerden hafta sonunda da tıkanıklık gözlemlenen kesimler ve en büyük akım değeri Çizelge 6.5'te verilmiştir. Çizelgede görüleceği üzere, hafta içi günlerde kapasite değeriine yaklaşan 11 kesimden yalnızca 5 kesimde ve yalnızca Cumartesi günleri hız-akım değeri şekillerinde tıkanmanın görüldüğü ve üç rejimli hız-akım eğrisinin oluştugu görülmüş ve kapasite değeriine yakın değeriilerde işleilmekte oldukları kabul edilmiştir. Hafta sonunda gözlemlenen en büyük akımların hafta içinde gözlemlenen en büyük akımlara oranı % 82 ile % 97 arasında değişmektedir. Başka bir deyişle, hafta sonu sürücülerinin hafta içi aynı yolu kullanan sürücülerine göre kapasitede % 3-18 arasında değişen oranlarda azalmaya sebep olduğu söylenebilir. Bu sonuç, tez çalışmasının bu aşamasında elde edilmiş bir tespit olarak kayda değerdir.

Çizelge 6.5: Hafta içi ve hafta sonu günlerde tıkanan kesimler ve en büyük akım değerleri.

Trafik Akım Yönü	Algılayıcı No.	Otoyol Adı	Kavşak Bölgesi	En Büyük Akım Değeri tş/t/sa/şrt	
				Hafta İçi	Cumartesi
Ankara	280-1	O2	Kavacık-Ümraniye	2049	1861
Ankara	65	O2	Kavacık-Ümraniye	2166	1990
Ankara	83	O2	Ümraniye-Anadolu Otoyolu	1925	1814
Edirne	61	O2	Kavacık-Ümraniye	2287	1886
Edirne	143	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	2141	2069

6.3 Otomobil Eşdeğerliklerinin Tahmini

Kapasiteye yakın değerlerde işletilmekte olan kesimlerde gözlemlenen en büyük akım değerleri incelendiğinde, bu değerlerin 1882 ile 2287 taşıt/saat/şerit değerleri arasında değişen farklı sayılardan oluştuğu görülür. Bu farklılık, yol ve trafik şartlarının her kesim için farklı değerlerde olmasından kaynaklanmaktadır.

Her bir kesim ayrı ayrı ele alındığında, gözlemlenen en büyük akım değerlerinin kapasite olarak değerlendirilmesi doğru olmayacaktır. Bunun en önemli nedeni kapasite kavramının otomobil türünden ifade edilmesidir. Başka bir deyişle, literatürde yer alan ve saatlik değeri 2000 mertebelerinde verilen şerit kapasitesi, bütün taşıtların otomobil olması durumunda geçerlidir. Bütün taşıtların ağır taşıt olması durumunda bu değerin geçerli olmayacağı açıktır.

Otomobil eşdeğerliği hesaplarında mikroskobik trafik verilerinden (zaman türünden aralık, gecikme, taşıt hızı) yararlanılmaktadır (Elefteriadou ve diğ., 1997; Geistefeldt, 2009). Tez çalışması kapsamında, her bir TOK bölgesinde mikroskobik trafik verilerinin toplanması çok fazla zaman ve emek gerektirdiğinden böylesi bir çalışma gerçekleştirilememiştir. Ayrıca bu veri herhangi bir kurum veya kuruluş tarafından da toplanmamaktadır. Öte yandan, birkaç kesim için mikroskobik verinin toplanarak otomobil eşdeğerliğinin bulunması doğru olmayacaktır. Çünkü otomobil eşdeğerlikleri yoldaki boyuna eğim ile de değişmektedir (TRB, 2000).

Öte yandan Çizelge 6.4'te verilen en büyük akım değeri bilgisinin, şerit başına saatte geçen taşıt sayısı olarak belirtilmiş olması önemlidir. Burada, taşıt sayısının ne tür taşıtlardan oluştuğuna dair bir bilgi söz konusu değildir. Literatürde verilen, tez çalışmasına benzer çalışmalarda ve pek çok trafik mühendisliği çalışmasında trafik hacminin, "yolcu otomobili" veya kısaca "otomobil" olarak bilinen ve uzunluğu 5-5,5 metre değerini genelde geçmeyen tek bir taşıt türünü ifade eden değerler kullanılarak

verildiği bilinmektedir (Fan, 1990; Dowling ve diğ., 1997; Demarchi ve Setti, 2003; Chung ve diğ., 2006; Mu ve Yamamoto, 2012; Bains ve diğ., 2012).

Al-Kaisy ve diğ. (2002), otoyollarda, tıkalı akım şartlarının hâkim olduğu durumlar için geçerli olan ve otomobil eşdeğerliklerinin kapasite temelli hesabına dayanan bir yöntem geliştirmişlerdir.

Geistefeldt (2009), otoyollardaki ağır taşıtlar için otomobil eşdeğerliklerinin deneysel olarak hesabı konusunda bir yöntem önermiştir. Yöntemde verilen yaklaşım, stokastik kapasite kavramına dayanmaktadır. Sabit geleneksel kapasite yerine, otoyol kapasitesi, rastgele bir değişken olarak kabul edilmiştir. Bu çalışmalarda olduğu gibi otomobil eşdeğerliği hesabında farklı teknikler de kullanılmaktadır.

Belirtilen nedenlerden dolayı tez kapsamında makroskobik trafik verilerini kullanarak otomobil eşdeğerliklerinin belirlenmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem basitçe, bir kesitte kapasite mertebesinde gözlemlenen en büyük hacim değerleri arasındaki farkın yalnızca taşıt kompozisyonundaki farklılıktan kaynaklandığı kabulüne dayanmaktadır. Bu yöntem korelasyon yöntemi olarak açıklanmaktadır. Yapılan kabulün, bir alt başlıkta ayrıntıları sunulan değerlendirmeler göz önünde tutulduğunda, oldukça gerçekçi olduğu görülecektir. Kabulün dayanakları aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Bir kesitte yapılan trafik ölçümleri üzerinde yol geometrik özellikleri, trafik özellikleri ve denetim şartlarının etkili olduğu bilinmektedir. Bu özelliklerin neler olduğu Bölüm 4'te verilmişti. Her bir kesitte gözlemlenen en büyük hacim değerleri, kendi içerisinde karşılaştırıldığından (kesit özellikleri değişmediğinden) yol geometrik özellikleri (şerit sayısı, şerit genişliği, sağ ve sol banket genişlikleri, kavşaklar arası uzaklık, boyuna eğim ve uzunluğu, görüş uzaklığı ve geçki eğriliği, vb.) aynı kalmaktadır. Dolayısıyla bütün bunlar değerlendirmeyi etkileyebilecek etkenler olmaktan uzaktır. Gündüz ve gece gözlemlenmiş değerler ayrıldığından "aydınlık durumu" etkeninin; hafta içi ve hafta sonu trafik verileri ayrıldığından sürücü davranış özelliklerinin akıma yansımalarının (en azından) bir kısmı otomobil eşdeğerliği hesabında etkin değişkenler olmaktan çıkmaktadır. İlgilenilen kesitin bir otoyol üzerinde bulunması nedeniyle "yol sınıfı" (türü) değişkeni ve "tam erişim kontrolü" değişkeninin yaratacağı etkiler; aynı kesitten geçen akımlar karşılaştırıldığından "tasarım hızı"; kayıtların yaz aylarına karşı gelen günlerden

seçilmiş olması nedeniyle "yağış (iklim) etkileri ve görüş özellikleri" aynı kalmaktadır. Veri grubundan ayrılmış olmalarından dolayı "trafik kaza ve olaylarının etkileri" de bu hesaplamada etkili olan bir parametre değildir. Bütün bu faktörler çıkarılınca geriye taşıt trafiği özelliklerinin etkisi kalmaktadır.

Taşıt trafiği özellikleri, taşıt türlerinin değişimi (genelde taşıt kompozisyonu, özelde ağır taşıtların oranı) ve sürücü davranış özelliklerinin diğer kısmını (hafta içi ve hafta sonu sürüş özelliklerinin farklılığı ile açıklanamayan kısmını) yansıtan değişkenlerdir. Her iki değişken birlikte taşıtların manevra özelliklerini ortaya koyarlar. Taşıtın mekanik yeterlikleri yanında onu kullanan sürücünün sürüş özellikleri de taşıtın manevra özelliklerini etkileyen değişkenlerdir. Bazı durumlarda bir ağır taşıtı kullanan sürücünün saldırgan (agresif) davranışı, bu taşıta otomobillerle yarışır hız özellikleri kazandırırken diğer bazı durumlarda bir otomobili kullanan tutuk (pasif) ve kabiliyetsiz bir sürücü, trafik akımında yoğunluğa hatta ardında kuyruk oluşumuna neden olabilir. Böylece taşıt türleri ve sürüş özelliklerinin değişimindeki bu farklılıklar, taşıt kompozisyonundan kaynaklanan farklılıklar olarak kabul edilmiştir. Öte yandan; herhangi bir kesitten geçen taşıtlar ve sürücüleri farklı iki an için aynı olamayacağından, otomobil eşdeğerliği hesabında kullanılacak hiçbir yöntem, bu farklılığının hesaplamada yaratacağı etkiyi tam olarak yansıtmaz. Taşıtların ve sürücülerin sürekli değişiyor olması, taşıt trafiğinin doğası gereğidir ve bu değişim dinamik bir yapı gösterir. Üstelik bu değişim, aynı kesitte yol geometrik özellikleri hep aynı kalıyor olsa da (trafik özellikleri aynı kalamayacağından) otomobil eşdeğerliğinin, mertebe farkı olmasa da, az çok değişmesi gerektiğinin bir göstergesidir.

6.3.1 Otomobil eşdeğerliğinin belirlenmesi için korelasyon yöntemi

Ağır taşıtların otomobil eşdeğerliklerinin hesaplanması için 15 dakikalık veriden türetilen akım değerleri kullanılmıştır. İlk olarak, olağan dışı trafik olaylarından meydana geldiği belirlenen aykırı değerler, trafik bilgisi kayıtlarından çıkarılmıştır. İkinci olarak, kapasitenin hafta sonu ve hafta içi günlerde farklı değerler aldığı bilindiğinden kullanılacak veri dizilerinden hafta sonu günlere karşı gelen veriler çıkarılmıştır. Son olarak da kapasite üzerinde etkili faktörlerden olan aydınlık durumunun, bulunacak değerler üzerindeki etkinliğinin giderilmesi için trafik bilgisinde akşam 20.00 ile sabah 06.00 saatleri arasında kaydedilmiş değerler

kullanılmamıştır. Algılayıcıların verisi kendi içerisinde değerlendirildiğinden yol şartları açısından da tek tipliğin sağlandığı söylenebilir.

Bir otoyol kesiminden birim zamanda geçebilen taşıt sayısının en büyük değerinin, kesim özellikleri değişmediği sürece aynı olacağını belirtmek yanlış olmaz. Bir yol için "kapasitesi" adı verilebilecek bir sayı değeri de bu bilgiye dayanmaktadır (Huber, 1982). Farklı zamanlarda farklı sayılarda taşıt geçmesinin sebebinin taşıt boylarından ve taşıtların manevra yeteneklerinin farklılığından kaynaklandığı da bilinmektedir. Yapılan gözlemlerde, sadece otomobillerden oluşan bir taşıt trafiği düşünüldüğünde, saatte şerit başına örneğin 2000 taşıtın geçebildiği bir yol kesiminden, bütün taşıtların kamyon ve otobüs türü ağır taşıtlardan oluşması durumunda daha çok daha az sayıda taşıtın geçtiği görülmüştür. O halde bir otoyol kesiminden geçen taşıtların türlerine göre dağılımı düşünüldüğünde, otomobil sayısı ile ağır taşıt sayısının birbiri ile ters orantılı olduğunu söylemek mümkündür. Bir başka deyişle, ilgili kesimden geçen otomobil sayısının artması için taşıt trafiği içerisindeki ağır taşıt sayısını azalması gerekecektir. Bu ters ilişki, otomobil eşdeğerliklerini hesaplama işleminde kullanılan ana prensiptir.

Herhangi bir otoyol kesiminde ölçülen taşıt sayıları büyükten küçüğe doğru sıralandığında, ilk sıralardaki verilerden kaç adedinin kapasite değerinin yakınlarında yer aldığının belirlenmesi bu aşamada cevap aranan sorudur. Şayet bu sayı bilinirse, ölçülen bu ilk değerlerin kapasite açısından denk olduğu, toplam taşıt sayısındaki farklılığın, ağır taşıtların varlığından kaynaklandığı yorumuyla bu denklikten ağır taşıtların otomobil eşdeğerlikleri hesaplanabilecektir.

Bir otoyol kesiminde kaydedilen gözlemlenmiş en büyük taşıt sayılarından hangilerinin kapasite hesabında kullanılmasının uygun olacağını belirlemede korelasyon tekniğinden faydalanılmıştır.

İki rastgele değişken arasında istatistik bir ilişki olup olmadığı, varsa niteliği ve ilişkinin kuvveti korelasyon katsayısının hesaplanması ile belirlenebilir. Aralarında doğrusal bir ilişki olan iki değişken için Pearson korelasyon katsayısı hesaplanır. Bu katsayının mutlak değeri ilişkinin kuvvetini belirtir. Katsayının 0 (sıfır) olması değişkenlerin birbirlerinden bağımsız olduğunu, 1 olması aralarında fonksiyonel bir ilişki olduğunu ve negatif olması birbirleri ile ters orantılı bir ilişkiye sahip olduklarını gösterir (Bayazıt, 1996).

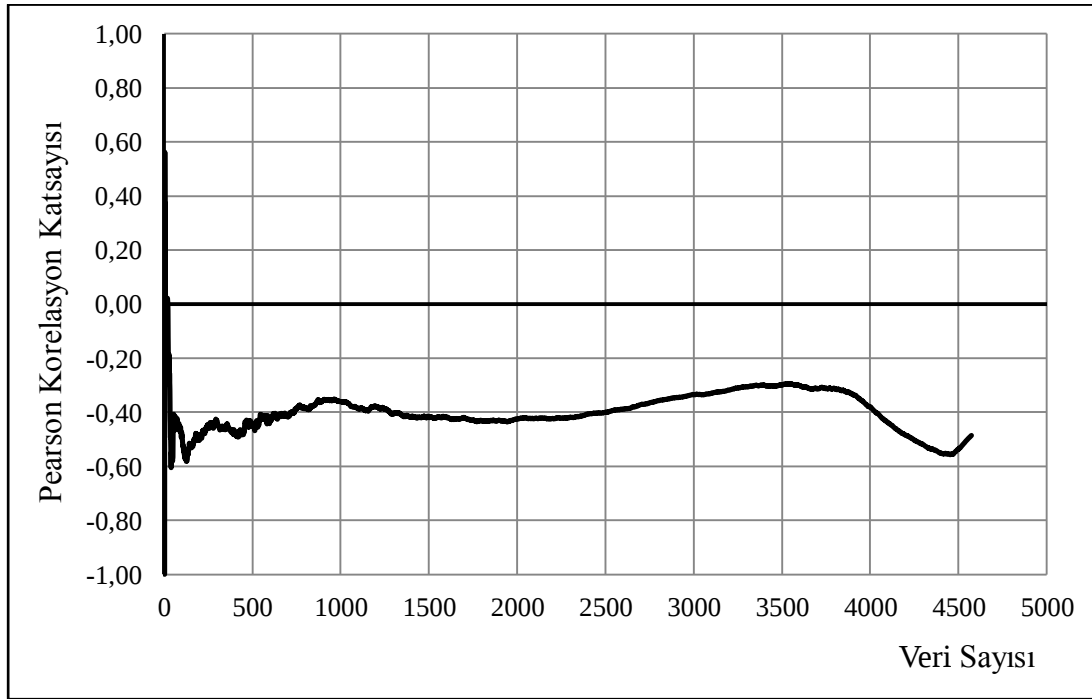
Geliştirilen yöntemden otomobil sayısı ile ağır taşıt sayısı arasında korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Her bir zaman aralığı için ölçülmüş olan otomobil sayısı ve ağır taşıt sayısı öncelikle, otomobil sayısına göre büyükten küçüğe sıralanmıştır. Daha sonra ilk iki veri çifti için korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Sonraki adımda veri çifti bir arttırılarak korelasyon katsayısı yeniden hesaplanmıştır. Bu işleme bütün veriler için korelasyon katsayısı hesaplanıncaya kadar devam edilmiştir. Başka bir deyişle; ilk olarak 2 veri, daha sonra sırasıyla 3, 4, 5, ... veri için korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Yeni eklenen elemanın aradaki ilişkinin kuvvetini düşürmeye başladığı (veya etkili derecede iyileştirmedeği) andaki eleman sayısı, kapasite hesabında kullanılacak veri sayısını belirleyecektir. Böylece, bir otoyol kesiminde kaydedilen en büyük akım değerlerinden kaç adedinin kapasite hesabında kullanılacağı sorusuna cevap bulunmuş olacaktır.

En büyük korelasyon katsayısını veren veri sayısına kadar bütün değerlerin kapasiteye eşit olduğu, aralarındaki sayısal farkın taşıt kompozisyonundaki farktan kaynaklandığı kabul edilmiştir. Korelasyon katsayısının belirli bir değerden sonra düşmeye başlaması ise kapasite mertebesinde uzaklaşan toplam taşıt sayısı içerisinde otomobil ve ağır taşıt sayıları arasındaki ters orantının artık var olmadığı anlamına gelmektedir.

Bu tekniğin kullanılabilmesi için her bir kesimde algılayıcı tarafından ölçülen ağır taşıt sayısı ile toplam taşıt sayısı bilgileri kullanılmıştır. Kesimden geçen otomobil sayısı, toplam taşıt sayısından ağır taşıt sayısının çıkarılması ile bulunmuş ve otomobil sayısı ile ağır taşıt sayısı bilgileri birer değişken olarak düşünülmüştür. Bu iki değişken arasında ters ilişki olduğu önceki paragrafta belirtilmişti. Korelasyon katsayısının büyüklüğü ilişkinin varlığını ve kuvvetini gösterirken, korelasyon katsayılarının Kartezyen Koordinat takımında sergiledikleri eğilim yönünün değiştiği nokta ise bulunan kuvvetli ilişkinin elde edilebilmesi için kaç veri çiftinin kullanılabileceğini belirlemektedir.

Çizelge 6.6'da O2 otoyolu üzerinde ve Kavacık-Ümraniye kavşakları arasında bulunan 327-2 numaralı algılayıcı tarafından Ankara yönünde akan trafiğe ait kayıtlardan toplam taşıt sayısı en büyük olan 43 satırlık ölçüm verilmiştir. Bu veriden, çizelgeden görüleceği üzere, öncelikle; her bir şeritte 15 dakikalık süre için ölçülen taşıt sayıları kullanılarak yolun bütününi temsil eden saatlik otomobil ve ağır taşıt sayıları hesaplanmıştır.

Otomobil ve ağır taşıt sayılarından oluşan veri çiftleri, otomobil sayısının en büyük değerinden küçüğüne doğru azalacak şekilde sıralanmıştır. Değişken dizilerinden biri otomobil sayısını, diğeri ağır taşıt sayısını göstermek üzere değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplamalara iki elemanlı diziler ile başlanmış, her adımda eleman sayısı birer arttırılarak korelasyon katsayısı yeniden hesaplanmıştır. Böylece ikili, üçlü, dörtlü, ... n-elemanlı korelasyonlar hesaplanıp Şekil 6.5'e aktarılmıştır. Şekilde, korelasyon katsayılarının mutlak değeri 1 olan büyük bir değerden (-1 veya +1) başlayıp veri sayısının küçük olduğu başlangıç kısımlarında parazit sinyali şeklinde davranış gösterdiği, veri sayısı arttıkça artan veya azalan bir eğilim (trend) kazandığı gözlemlenmiştir. Şekle kabaca bakıldığında bu eğilim değişiminin ilk 100 veri içerisinde olduğu fark edilecektir.



Şekil 6.5: Otomobil sayısı ve ağır taşıt sayısı değişkenleri arasındaki korelasyon katsayılarının dizideki veri sayısına bağlı olarak değişimi (327-2 numaralı algılayıcı verisinin tamamı).

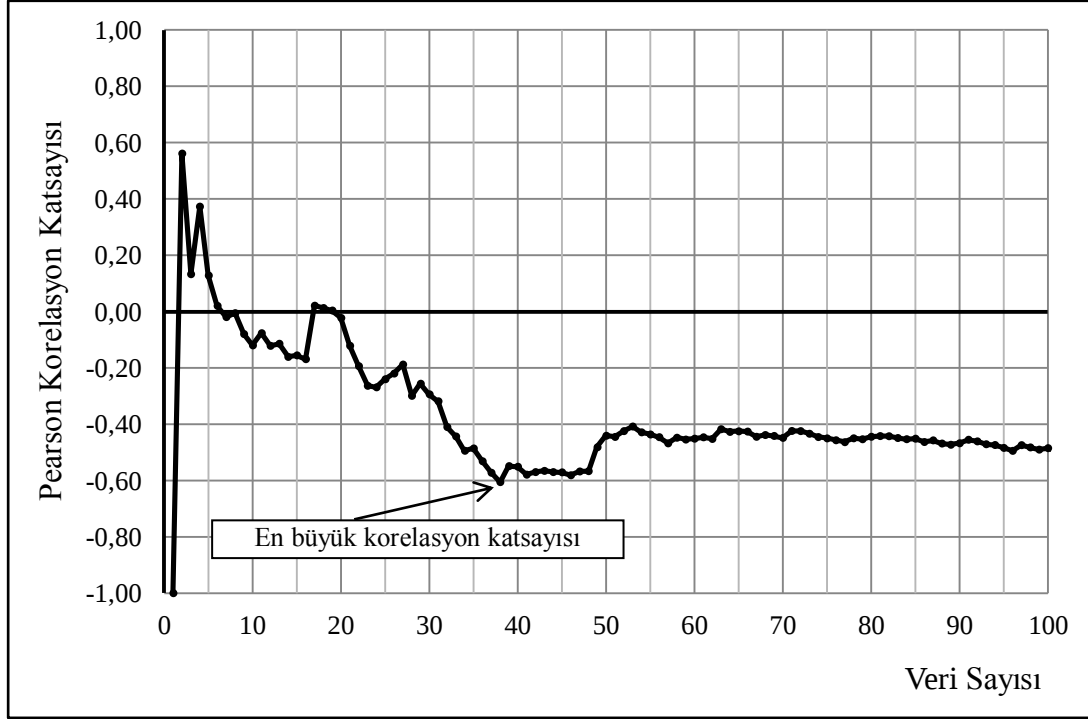
Bu nedenle ilk 100 verinin bulunduğu, aynı bilgiye sahip büyütülmüş durum, Şekil 6.6'da yeniden verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde, parazit sinyali davranışlı ilk değerler göz ardı edildiğinde, dizinin 38 elemanlı değere (38. korelasyon katsayısına) erişinceye kadar korelasyon katsayısının büyüdüğü, bundan sonra yeni eklenen verilerin katsayıyı önce sabit bir değer etrafında değiştirip ardından küçültmeye başladığı, yani değişkenler arasındaki ilişkiyi zayıflattığı görülecektir.

Çizelge 6.6: Otomobil sayısı ve ağır taşıt sayısı değişkenleri arasındaki korelasyon katsayısı (327-2 algılayıcısı).

Veri Sıra No	Şeritler ve Ağır Taşıt Sayıları (taşıt/15 dakika)				Şeritler ve Toplam Taşıt Sayıları (taşıt/15 dakika)				Otomobil Sayısı (taşıt/saat)	Ağır Taşıt Sayısı (taşıt/saat)	Pearson Korelasyon Katsayısı
	VL1	VL2	VL3	VL4	V1	V2	V3	V4			
1	29	47	34	11	410	532	558	641	2021	120	-
2	34	50	34	9	413	525	552	636	1999	126	-1,00
3	21	38	25	12	456	520	526	585	1991	95	0,56
4	31	46	33	20	431	526	557	603	1987	129	0,13
5	19	38	23	12	456	512	531	579	1986	91	0,37
6	33	51	33	20	432	520	551	619	1986	136	0,13
7	34	52	33	11	416	520	555	621	1983	129	0,02
8	35	39	27	23	433	532	547	593	1981	124	-0,02
9	26	55	23	14	467	515	537	579	1981	117	-0,01
10	34	50	32	16	427	515	551	619	1979	131	-0,08
11	35	43	27	23	427	526	555	599	1978	128	-0,12
12	25	44	34	11	386	521	544	641	1978	113	-0,08
13	33	46	30	21	435	522	555	595	1977	130	-0,12
14	35	41	24	22	432	531	546	585	1974	120	-0,11
15	33	53	30	14	418	509	554	619	1971	129	-0,16
16	26	56	26	14	464	509	536	581	1969	122	-0,16
17	36	44	24	22	428	523	551	590	1967	125	-0,17
18	20	39	22	11	452	506	530	570	1966	92	0,02
19	31	58	22	11	466	506	539	575	1964	121	0,01
20	34	42	24	22	434	517	547	583	1959	121	0,00
21	30	57	26	11	462	494	531	594	1956	124	-0,02
22	37	46	32	24	490	504	532	566	1954	138	-0,12
23	33	51	30	23	474	500	530	587	1953	137	-0,19
24	35	50	32	24	482	504	528	579	1952	140	-0,26
25	28	44	33	22	452	515	533	580	1952	126	-0,27
26	28	58	21	13	457	511	535	566	1950	119	-0,24
27	30	62	20	10	455	488	527	595	1943	121	-0,22
28	32	45	23	20	429	501	542	583	1936	120	-0,19
29	29	67	32	23	480	516	538	551	1935	150	-0,30
30	30	60	18	12	455	519	524	553	1932	118	-0,26
31	26	60	31	19	429	502	538	597	1931	135	-0,29
32	27	58	30	19	419	501	543	601	1930	133	-0,32
33	47	62	39	18	425	509	561	599	1929	165	-0,41
34	29	64	31	19	481	511	536	543	1927	143	-0,44
35	29	72	32	24	482	509	531	562	1927	157	-0,49
36	30	56	27	18	419	500	538	599	1925	130	-0,49
37	38	81	37	39	430	509	537	643	1923	195	-0,53
38	38	77	35	40	427	502	540	643	1922	189	-0,57
39	41	80	38	36	429	515	536	636	1921	195	-0,61
40	23	42	33	12	358	502	536	637	1921	110	-0,55
41	29	64	31	20	470	506	536	552	1921	143	-0,55
42	34	73	34	40	423	496	546	636	1920	180	-0,58
43	37	48	29	23	396	508	542	610	1920	135	-0,57

Burada (38. korelasyon katsayısı noktasında) olduğu gibi, korelasyon katsayıları şeklinde oluşan ilk eğilimden diğer bir eğilime geçiş noktası, değişken dizisine yeni verilerin eklenmesinin değişkenler arasındaki ilişkiyi zayıflattığı bir durumu gösterir. İşte bu dönüm noktasına kadar olan veri satırları, otomobil eşdeğerliklerini hesaplamada kullanılacak kapasite değerine yakın olan verileri göstermektedir. Bu işlemle, başlangıçta sorulan "otomobil eşdeğerlikleri hesabında kullanılacak en

büyük akım değerleri sayısı" sorusuna cevap bulunmuş olmaktadır. Böylelikle 38. korelasyon katsayısında yani ilk 39 veri kullanıldığında ağır taşıt sayısı ile otomobil sayısı arasında en kuvvetli, doğrusal ters orantılı (azalan) ilişki oluşmaktadır.



Şekil 6.6: Otomobil sayısı ve ağır taşıt sayısı değişkenleri arasındaki korelasyon katsayılarının dizideki veri sayısına bağlı olarak değişimi (ilk 100 veri).

Bu teknik, kapasite değerine yakın değerlerde işletilmekte olan kesimlerde bulunan algılayıcıların kayıtlarına uygulanmış ve her bir kesim için otomobil eşdeğerlikleri hesabında kullanılacak veri sayısı belirlenerek Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7: Kapasite değerlerinde işletildiği öngörülen kesimler için otomobil eşdeğerliği hesabında kullanılacak en büyük akım değeri sayıları.

Trafik Akım Yönü	Algılayıcı No.	Otoyol Adı	Kavşak Bölgesi	Algılayıcı Kilometraji	Veri Adedi
Ankara	361b-1	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	17+700	5
Ankara	280b-1	O2	Kavacık-Ümraniye	26+180	20
Ankara	65b	O2	Kavacık-Ümraniye	27+140	16
Ankara	83b	O2	Ümraniye-Anadolu Otoyolu	32+865	29
Edirne	326b	O2	Kavacık-Ümraniye	30+075	30
Edirne	327b-2	O2	Kavacık-Ümraniye	29+315	39
Edirne	63b	O2	Kavacık-Ümraniye	28+880	45
Edirne	61b	O2	Kavacık-Ümraniye	27+150	22
Edirne	329b	O2	Kavacık-Ümraniye	25+345	11
Edirne	148b	O2	Metris-Gaziosmanpaşa	5+830	23
Edirne	143b	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	13+530	16

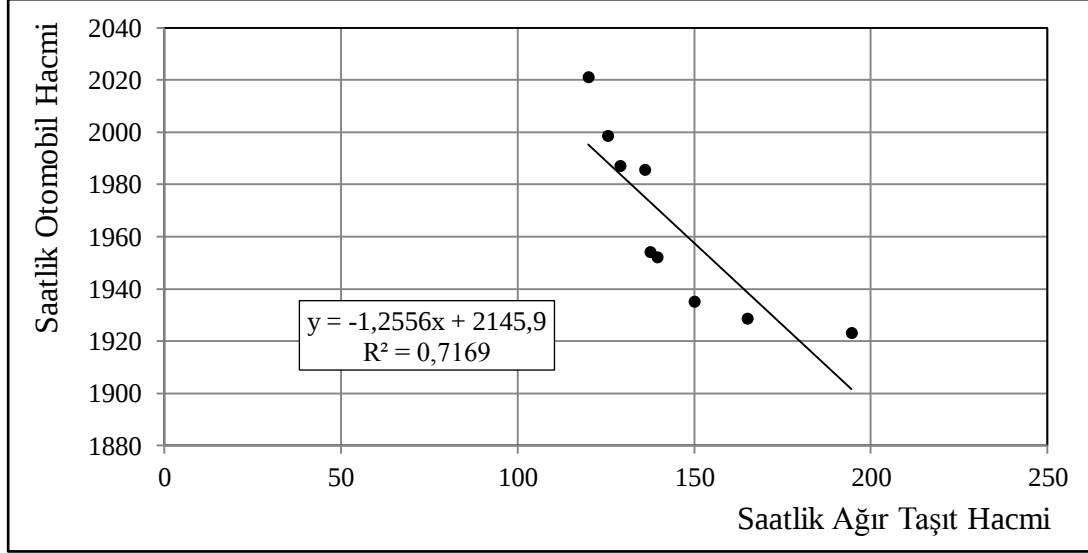
6.3.2 Otomobil eşdeğerliklerinin hesaplanması

Otoyol kesimlerinde algılayıcılar tarafından ölçülen en büyük akım değerlerinden hangilerinin kapasite civarında seyreden değerler olduğu, dolayısıyla hangi otoyol kesimlerinde otomobil eşdeğerliği hesabında kullanılabilecek trafik verisinin bulunduğu böylece tespit edilmiş olmaktadır. Otomobil sayısı ve ağır taşıt sayısı çiftlerinden oluşan bu veriler, Kartezyen Koordinat takımında noktalar olarak işaretlenerek gözlemlenmiştir. Her ne kadar bu noktalar kapasite civarında seyreden değerler olarak değerlendirilse de bazı noktaların otomobil sayısı ile ağır taşıt sayısı arasındaki ters orantılı ilişkiyle çelişen şekilde saçıldığı görülmüştür. Bu davranış şekli verilerin temsil ettiği noktaların bir kısmının aykırı değerlerden oluştuğu şeklinde yorumlanmıştır.

Bir yol kesitinden geçebilecek toplam taşıt sayısının er veya geç bir sınır değere yakınsayacağı, sayı değeri kestirilemese de, "kapasite" adı verilen sabit bir değere erişeceği bilinen ve beklenen bir durumdur. Toplam taşıt sayısının değişmemesi için toplam taşıt sayısını oluşturan otomobil sayısı ile ağır taşıt sayısı değişkenleri arasında ters orantılı bir ilişkinin olması gerektiği bir mantık çıkarımıdır. Bu iki değişken arasında artan bir ilişkinin kurulması durumunda; böyle bir ilişkinin, ilişkiyi temsil eden fonksiyonu sabit bir uç (sınır) değere götürmesi mümkün değildir. Otomobil sayısının artışına ağır taşıt sayısındaki artışla cevap veren veri çiftlerinin de eşdeğerlik hesabında kullanılması durumunda ilişkiyi gösteren fonksiyonun sabit bir kapasite değeri üretmediği ve bir otomobilin birden fazla sayıda ağır taşıta eşdeğer olduğunu gösteren yanlış eşdeğerlikler ürettiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, yanlışlığa neden olsa da, bu tür veri çiftleri hesap dışında tutulmuştur. Bütün bu nedenlerden dolayı otomobil sayısı artarken ağır taşıt sayısının da arttığını gösteren veriler aykırı değerler olarak nitelendirilmiştir. Bu aykırı değerlerin veri dizisinden ayrılması için basit bir manipülasyon tekniği uygulanmıştır.

Bu teknik otomobil sayısı ile ağır taşıt sayısının doğal olarak birbiriyle ters orantılı olduğu bilgisine dayanılarak geliştirilmiştir. Buna göre otomobil sayıları büyükten küçüğe doğru azalacak şekilde sıralanmış ve bunlara karşı gelen ağır taşıt sayıları yanlarına kaydedilmiştir. Otomobil sayı değeri azalırken ağır taşıt değerinin arttığı veriler korunmuş, bu ilişkiye ters düşen (otomobil sayısı azalırken ağır taşıt sayısının da azaldığı) veriler ise diziden çıkarılmıştır. Bu işlemin sonucu olarak ağır taşıt sayılarının da sürekli artan özellik göstermesi hedeflenmiştir. Çizelge 6.6'daki

otomobil sayısı ile ağır taşıt sayısı arasındaki ters orantılı ilişkiye uyan veri çiftleri, ağır taşıt sayısının x-ekseni üzerinde, otomobil sayısının y-ekseni üzerinde verildiği Kartezyen Koordinat takımında Şekil 6.7'de gösterilmiştir. Saçılma şekillerindeki noktalar üzerinden regresyon doğrusu geçirilmiş, doğrunun denklemi ve belirlilik katsayısı elde edilmiştir.



Şekil 6.7: Aykırı değerleri atılan otomobil-ağır taşıt sayısı çiftlerinin saçılma şekli, regresyon doğrusu, regresyon denklemi ve belirlilik katsayısı.

Elde edilen denklemde x (ağır taşıt) değişkeninin önündeki katsayı (1,2556) otomobil eşdeğerliğinin sayı değerini, bu değer negatif (-) olması otomobil sayısı ile ağır taşıt sayısı arasındaki ters orantılı ilişkiyi, denklemin sabit terimi (~2146) mevcut şartlar altında gözlemlenebilecek en büyük akım değerini (bir anlamda kapasiteyi), R^2 değeri (0,7169) belirlilik katsayısını göstermektedir. Belirlilik katsayısının karekökü (0,85) korelasyon katsayısıdır ve bulunan ilişkinin ($y = -1,2556x + 2145,9$) kuvvetini vermektedir. Bu bilgi dikkate alındığında saçılma şeklindeki otomobil ve ağır taşıt sayıları arasında bulunan ilişkinin kuvvetli ($0,85 > 0,80$) bir ilişki olduğu söylenebilir. Burada verilen yöntemin regresyon denklemi ve parametrelerine yüklenen anlamların ve yapılan yorumun isabetli olduğunu yapay veriler üzerinde gösterelim.

Gözlenen en büyük akım değeri 2400 tş/sa/şrt ve otomobil eşdeğerliği 4,0 olacak şekilde otomobil sayısının 2400 değerinden başlayıp sıfıra kadar azalmasına karşılık ağır taşıt sayısının sıfırdan başlayıp otomobil eşdeğerliği ile ilişkili olarak kademeli şekilde arttırıldığı bir trafik veri dizisi düşünelim. Böyle bir dizi Çizelge 6.8'de verilmiştir.

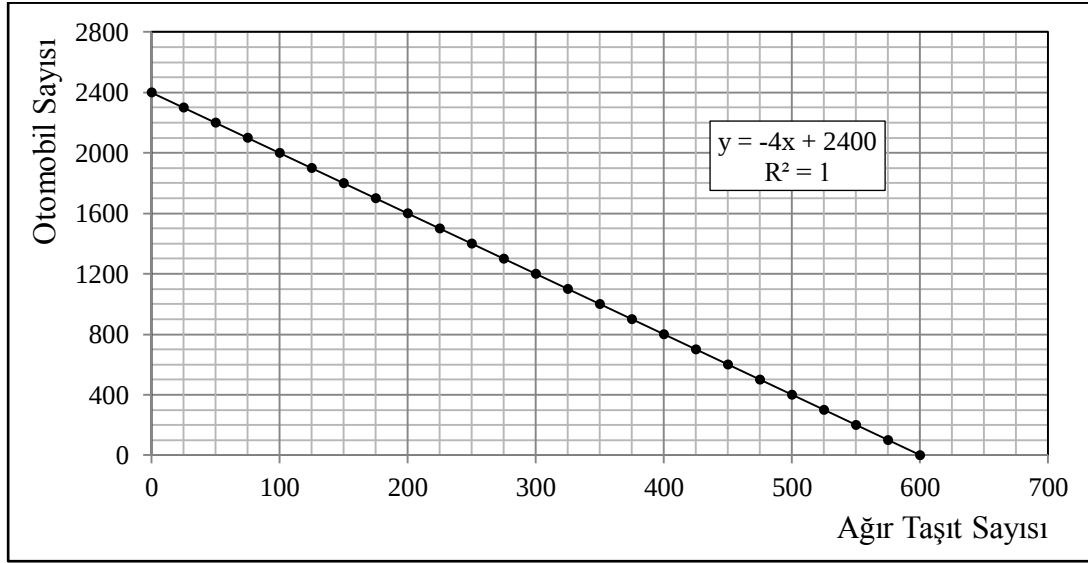
Çizelge 6.8: Eşdeğerlik hesabının doğrulanması için üretilmiş yapay veri dizisi.

Veri Sıra No	Otomobil Sayısı (bo/sa/şrt)	Ağır Taşıt Sayısı (tşt/sa/şrt)	Ağır Taşıt Sayısının Otomobil Eşdeğeri (bo/sa/şrt)	Toplam Taşıt Sayısı (bo/sa/şrt)
1	2400	0	0	2400
2	2300	25	100	2400
3	2200	50	200	2400
4	2100	75	300	2400
5	2000	100	400	2400
6	1900	125	500	2400
7	1800	150	600	2400
8	1700	175	700	2400
9	1600	200	800	2400
10	1500	225	900	2400
11	1400	250	1000	2400
12	1300	275	1100	2400
13	1200	300	1200	2400
14	1100	325	1300	2400
15	1000	350	1400	2400
16	900	375	1500	2400
17	800	400	1600	2400
18	700	425	1700	2400
19	600	450	1800	2400
20	500	475	1900	2400
21	400	500	2000	2400
22	300	525	2100	2400
23	200	550	2200	2400
24	100	575	2300	2400
25	0	600	2400	2400

Çizelgede verilmiş olan otomobil ve ağır taşıt sayılarını Kartezyen Koordinat takımında, önceden yapılan işlemdeki eksenleri kullanarak, gösterelim ve regresyon doğrusu geçirelim. Bu işlem sonucu oluşan Şekil 6.8'de verilen durumu inceleyelim. Önceden belirttiğimiz gibi, değişkenler arasındaki regresyon denkleminin $y = -4x + 2400$ şeklinde olduğu, x'in önündeki katsayısının önceden tayin ettiğimiz otomobil eşdeğerliği (4,0) olduğu, sabit terimin (2400) ise gözlemlenen en büyük akım değeri olduğu, belirlilik katsayısının ($R^2=1$) karekökünün (1) kuvvetli (değeri itibariyle fonksiyonel) bir ilişki belirttiği kolayca görülecektir. Kesimden geçen taşıtların sadece otomobillerden oluşması durumunda ağır taşıtların, ağır taşıtlardan oluşması durumunda ise otomobillerin trafik içerisinde olamayacağı, şeklin geometrisinden (eksenleri kestiği noktalardan) anlaşılmaktadır. Otomobil ve ağır taşıtlardan oluşan karma trafik durumunun ise bu iki durum arasında bulunan çok sayıda ihtimali içerdiği de açıktır.

Çizelge 6.8'de verilen bilgilerden bazılarının ağır taşıt sayısı bilgisinin ilişkideki aykırı değer olduğu; yani azalan otomobil sayısına karşı artan ağır taşıt sayısı

ilişkisini bozduğunu düşünelim. Bu durumda oluşacak yeni saçılma şekli ve regresyon denklemi Şekil 6.9'da verilmiştir.



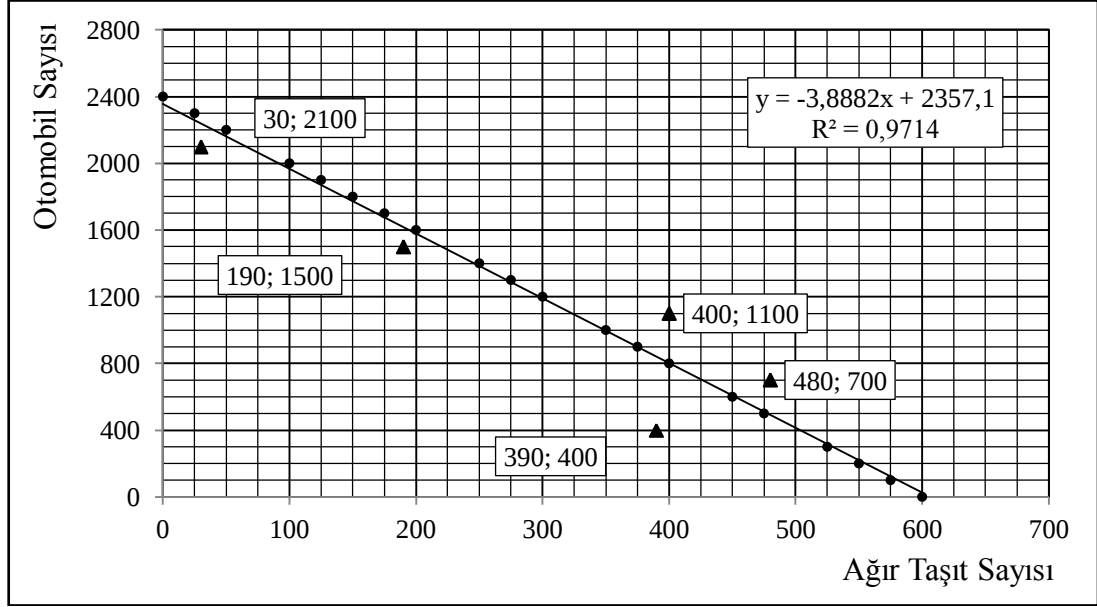
Şekil 6.8: Yapay veri üzerinde regresyon ilişkisi, otomobil eşdeğerliği ve gözlemlenen en büyük akım değeri.

Şekil 6.9'da verilen yeni durumda, değişkenler arasındaki regresyon denkleminin $y = -3,88824x + 2357,1$ şeklinde olduğu; otomobil eşdeğerliğinin (3,8882), en büyük akım değerinin (2357,1) ve belirlilik katsayısının ($R^2 = 0,9714$) değiştiği görülecektir. Eğer aykırı değerler saçılma şeklinde regresyon doğrusunun üst sağ ve/veya alt sol kısmında yer alırsa otomobil eşdeğerliği ve en büyük akım değeri bilgilerinin temel duruma göre arttığı görülmüştür. Diğer taraftan aykırı değerler üst sol ve/veya alt sağ kesimde yer alırsa otomobil eşdeğerliği ve en büyük akım değeri bilgilerinin temel duruma göre azaldığı sınırlanarak bulunmuştur. Bu artış ve azalışların değişkenler arasındaki ters ilişkinin doğası gereği olduğu, şeklin geometrisinden de görülebilir.

Yapay veri üzerinden yapılan bu kontrol, başlangıçta otomobil eşdeğerliklerini bulmada kullandığımız yöntemin doğru olduğunu ve regresyon denklemi katsayılarının temsil ettiği faktörler hakkında yaptığımız yorumun doğruluğunu göstermektedir.

Otomobil eşdeğerliklerini hesaplamada kullanılan bu yöntem ile kapasitesine yakın değerlerde işletilmekte olan otoyol kesimleri için en büyük akım değerleri ve otomobil eşdeğerlikleri hesaplanmıştır, sonuçlar Çizelge 6.9'da verilmiştir. Ayrıca, otomobil eşdeğerliği hesabında kullanılan değişkenlerden otomobil sayısı ve ağır taşıt sayısı arasında regresyon tekniği ile bulunan ve regresyon denklemi verilen

istatistik ilişkinin düzeyi verilmiştir. Bu düzey, belirlilik katsayısının (R^2) karekökünün (R) 0,50 ve yukarı değerlerde olması durumunda orta kuvvette; 0,80 ve yukarı değerlerde olması durumunda ise kuvvetli bir ilişki olarak değerlendirilmektedir (Devore, 1995). Son olarak, sonraki aşamada kullanılacağından, önceden hesaplanmış olan boyuna eğim bilgisi de, değerlerin bir arada görülebilmesi için, bu çizelgede verilmiştir.



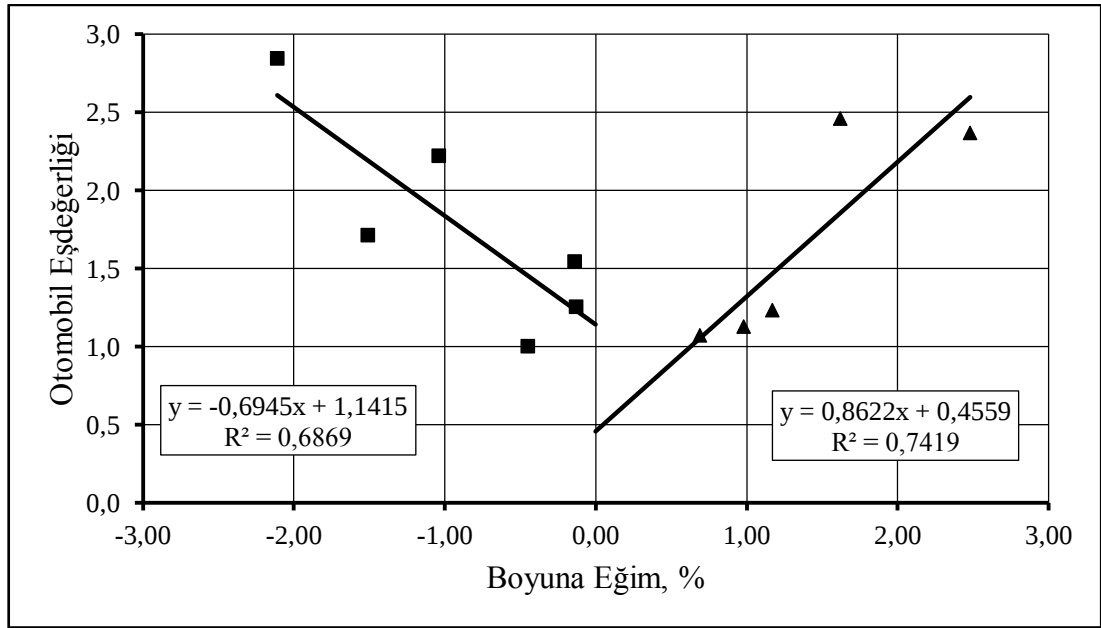
Şekil 6.9: Yapay veri üzerinde regresyon ilişkisi, otomobil eşdeğerliği ve gözlemlenen en büyük akım değeri (aykırı değerli durum).

Çizelge 6.9: Kapasitesine yakın değerlerde işletilen otoyol kesimleri için boyuna eğim, otomobil eşdeğerliği ve en büyük eşdeğer akım değeri.

Trafik Akım Yönü	Algılayıcı No.	Otoyol Adı	Kavşak Bölgesi	Algılayıcı Kilometraji	Kesimdeki Boyuna Eğim %	Otomobil Eşdeğerliği	En Büyük Eşdeğer Akım Değeri bo/sa/şrt	Belirlilik Katsayısı R ²	Korelasyon Katsayısı R	İlişki Düzeyi
Ankara	361-1	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	17+700	-2,11	2,8454	2410	0,9589	0,98	Kuvvetli
Ankara	280-1	O2	Kavacık-Ümraniye	26+180	1,17	1,2336	2061	0,9948	1,00	Kuvvetli
Ankara	65	O2	Kavacık-Ümraniye	27+135	2,48	2,3684	2622	0,8784	0,94	Kuvvetli
Ankara	83	O2	Ümraniye-Anadolu Otoyolu	32+870	-0,14	1,5451	2091	0,6757	0,82	Kuvvetli
Edirne	326	O2	Kavacık-Ümraniye	30+075	0,98	1,1286	2051	0,9337	0,97	Kuvvetli
Edirne	327-2	O2	Kavacık-Ümraniye	29+315	-0,13	1,2556	2146	0,7169	0,85	Kuvvetli
Edirne	63	O2	Kavacık-Ümraniye	28+885	-0,45	1,0030	2154	0,8796	0,94	Kuvvetli
Edirne	61	O2	Kavacık-Ümraniye	27+150	-1,04	2,2222	2747	0,8766	0,94	Kuvvetli
Edirne	329	O2	Kavacık-Ümraniye	25+345	-1,51	1,7140	2470	0,8910	0,94	Kuvvetli
Edirne	148	O2	Metris-Gaziosmanpaşa	5+830	1,62	2,4603	2217	0,8562	0,93	Kuvvetli
Edirne	143	O3	Ispartakule-Mahmutbey Batı	13+530	0,69	1,0724	2158	0,8840	0,94	Kuvvetli

6.3.3 Boyuna eğim ile otomobil eşdeğerliği arasındaki ilişki

Bu aşamada hesaplanan otomobil eşdeğerlikleri ile daha önce belirtilen şekilde hesaplanan boyuna eğimler arasındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla otomobil eşdeğerliği ve boyuna eğim bilgileri birer değişken olarak değerlendirilip aralarında mevcut olabilecek istatistik bir ilişkinin şekli, fonksiyon değeri ve kuvveti, regresyon tekniği ile bulunmaya çalışılmıştır. Otomobil eşdeğerliği ve boyuna eğim değişkenleri arasındaki istatistik ilişki Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de verilmiştir.

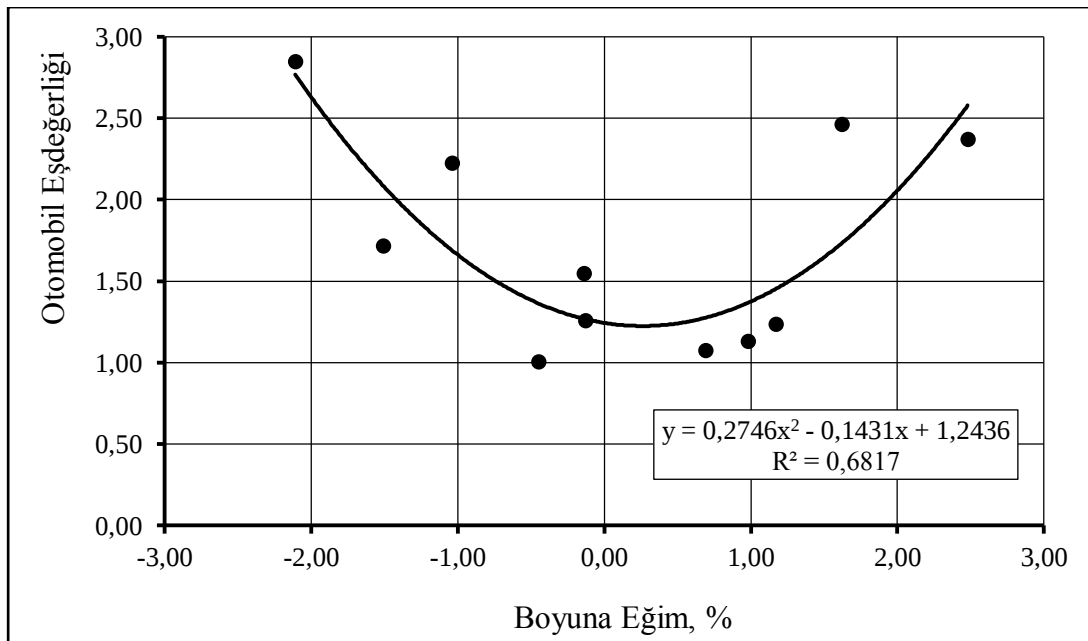


Şekil 6.10: Otoyolun iniş (solda) ve çıkış (sağda) kesimleri için hesaplanan otomobil eşdeğerliği ile boyuna eğim değişkenleri arasındaki doğrusal ilişki.

Şekil 6.10'da, otoyolun iniş ve çıkış eğimli kesimleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Burada; y, ağır taşıtların otomobil eşdeğerliği, x ise % olarak ve işaretiyle alınacak olan boyuna eğim değeridir. İniş eğimli kesimlerde (şekilde sol kısım), boyuna eğim ile otomobil eşdeğerliği arasında; boyuna eğim değeri negatif olarak arttıkça doğrusal artan ve $y = -0,6945x + 1,1415$ şeklinde bir fonksiyona sahip kuvvetli (korelasyon katsayısı 0,83) ilişki olduğu, eğimin sıfır değerini aldığı durumda ağır taşıtların otomobil eşdeğerinin yaklaşık 1,14 olduğu görülmektedir. Çıkış eğimli kesimlerde (şekilde sağ kısım), boyuna eğim ile otomobil eşdeğerliği arasında; boyuna eğim değeri arttıkça doğrusal artan ve $y = 0,8622x + 0,4559$ şeklinde bir fonksiyona sahip kuvvetli (korelasyon katsayısı 0,86) ilişki olduğu ve boyuna eğimin

sıfır değerini aldığı durumda ağır taşıtların otomobil eşdeğerinin yaklaşık 0,46 olduğu görülmektedir.

Şekil 6.11'de, otoyolun iniş ve çıkış eğimli kesimleri birlikte değerlendirilmiştir. Bu durumda boyuna eğim ile otomobil eşdeğerliği arasında; ikinci derece polinom fonksiyon özelliği gösteren ve $y=0,2746x^2-0,1431x+1,2436$ şeklinde bir fonksiyona sahip kuvvetli (korelasyon katsayısı 0,83) bir ilişki ve eğimin sıfır değerini aldığı durumda ağır taşıtların otomobil eşdeğerinin yaklaşık 1,24 olduğu görülmektedir. Ayrıca fonksiyonun ürettiği en küçük otomobil eşdeğerliği, boyuna eğimin yaklaşık %0,26 olduğu değerde ve 1,22 olarak bulunmuştur.



Şekil 6.11: Otoyol kesimleri için hesaplanan otomobil eşdeğerliği ile boyuna eğim değişkenleri arasındaki doğrusal olmayan ilişki.

Şekil 6.10'da, iniş ve çıkış kesimleri ayrı ayrı düşünülerek otomobil eşdeğerliği ile boyuna eğim arasındaki ilişkide, iki sorun göze çarpmaktadır. Birincisi, çıkış eğimli kesimlerde tahmin edilen regresyon modelinin eğimin sıfır olduğu durumda 1'den küçük (0,46) değer almasıdır. Bu, boyuna eğim sıfırken bir ağır taşıtın akım üzerinde yaklaşık 0,46 otomobile eşdeğer nitelikte olumsuz etkisinin olduğu anlamına gelmektedir. Otoyol eğimsiz dahi olsa böyle bir eşdeğerliliğin söz konusu olması mantık dışıdır ve literatürde verilen sonuçlar ile de çelişmektedir. İkincisi; çıkış ve iniş eğimli kesimlere ait regresyon modellerinin boyuna eğimin sıfır olduğu durumda farklı eşdeğerlikler üretmesidir. Boyuna eğimin sıfır olduğu durumda eşdeğerliğin ne alınacağı ikilemi oluşmaktadır. Ayrıca Şekil 6.10'da verilen modellerdeki ilişkinin

kuvveti, Şekil 6.11'de verilen ve ikinci derece fonksiyon ile ifade edilen ilişkinin kuvvetinden çok farklı değildir. Bu nedenlerden ötürü tezin sonraki bölümlerinde karma trafiğin otomobil birimine çevrilmesinde Şekil 6.11'de verilen fonksiyon kullanılmıştır.

Bu aşamada, boyuna eğime bağlı olarak otomobil eşdeğerliğinin tahmininde kullanılacak olan fonksiyonun ürettiği değerler ile HCM'nin önerdiği değerlerin karşılaştırılması faydalı olacaktır. HCM, otomobil eşdeğerliği ile boyuna eğim arasındaki ilişkiyi, bir fonksiyon şeklinde değil; ilgilenilen kesimin boyuna eğimi, uzunluğu ve trafik içerisindeki ağır taşıt oranına bağlı değişen değerler olarak çizelgeler şeklinde vermiştir. HCM'de verilen değişkenlere ek olarak, bazı çalışmalarda; ağır taşıtların otomobil eşdeğerlikleri, akım değerine bağlı olarak da verilmektedir (Webster ve Elefteriadou, 1999). Tez çalışmasında otomobil eşdeğerliği hesaplanan kesimlerdeki en büyük boyuna eğimin % 2,84 olduğu, otoyol kesimlerinin boyuna eğim değerlerinin 1000 m uzunluk için hesaplandığı ve incelenen kesimler için trafik akımındaki ağır taşıt oranlarının %15 ile %23 arasında değiştiği hatırlanarak HCM'nin aynı özelliklere sahip otomobil eşdeğerlikleri ile fonksiyonumuzun ürettiği değerlerin karşılaştırılması Çizelge 6.10'da verilmiştir. Çizelgede, çıkış eğimli otoyol kesimleri için HCM-2000'de verilen değerler ile tez çalışmasında elde edilen fonksiyonun ürettiği değerler karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 6.10: Tez çalışmasında hesaplanan otomobil eşdeğerliği ile HCM tarafından önerilen değerlerin çıkış eğimli kesimler için karşılaştırılması.

Boyuna Eğim (%)	Boyuna Eğim Uzunluğu (km)	Otomobil Eşdeğerliği		
		HCM %15 ağır taşıt	HCM %25 ağır taşıt	Tez Çalışması
1,0	1,0	1,5	1,5	1,4
1,5	1,0	1,5	1,5	1,6
2,0	1,0	1,5	1,5	2,1
2,5	1,0	1,5	1,5	2,6
3,0	1,0	1,5	1,5	3,3
3,5	1,0	2,0	2,0	-

Çizelge 6.10'da, uzunluğu 0,8-1,2 km arasında, ağır taşıt oranı %15-25 arasında değişen ve boyuna eğimi % 3'e kadar olan kesimler için HCM'nin önerdiği otomobil eşdeğerliğinin değişmediği ve 1,5 olduğu, % 3-4 aralığı için ise 2,0 değerinin önerildiği görülebilir. Diğer yandan, kapasitesine yakın akım değerlerinde işletilen otoyol kesimleri için tez çalışmasında tahmin edilen modelin benzer boyuna eğimler için 1,4-4,1 arasında değişen otomobil eşdeğerlikleri ürettiği görülmektedir. Değerler

karşılaştırıldığında, tez çalışmasında tahmin edilen boyuna eğim-otomobil eşdeğerliği modelinin HCM'nin önerdiği değerlere göre daha büyük otomobil eşdeğerlikleri ürettiği görülmektedir.

Tez çalışmasında incelenen kesimler içerisinde, kapasite değerine erişmiş ve boyuna eğimi % 2,84'ten daha büyük olan kesim bulunmadığından, geliştirilen otomobil eşdeğerliği modelinin %3 ve daha küçük boyuna eğimli kesimlerde kullanılabileceği düşünülmektedir.

İniş eğimli kesimler için ağır taşıtların otomobil eşdeğerliğinin hesaplanmasında HCM, uzunluğu 4 km'ye ve boyuna eğimi %4'e kadar olan bütün kesimler için ağır taşıt oranından bağımsız olarak otomobil eşdeğerliğini 1,5 olarak önermektedir. Tahmin edilen model, Çizelge 6.10'da belirtilen boyuna eğim değerlerinin iniş eğimli olması durumunda sırasıyla 1,7; 2,1; 2,6; 3,3 ve 4,1 değerinde olan otomobil eşdeğerlikleri üretmektedir. Bu değerlerin, modelin boyuna eğim değerleri aynı ancak çıkış eğimli olan kesimler için ürettiği eşdeğerliklerden ve HCM'nin iniş eğimli kesimler için önerdiği değerlerden daha büyük olduğu görülmektedir.

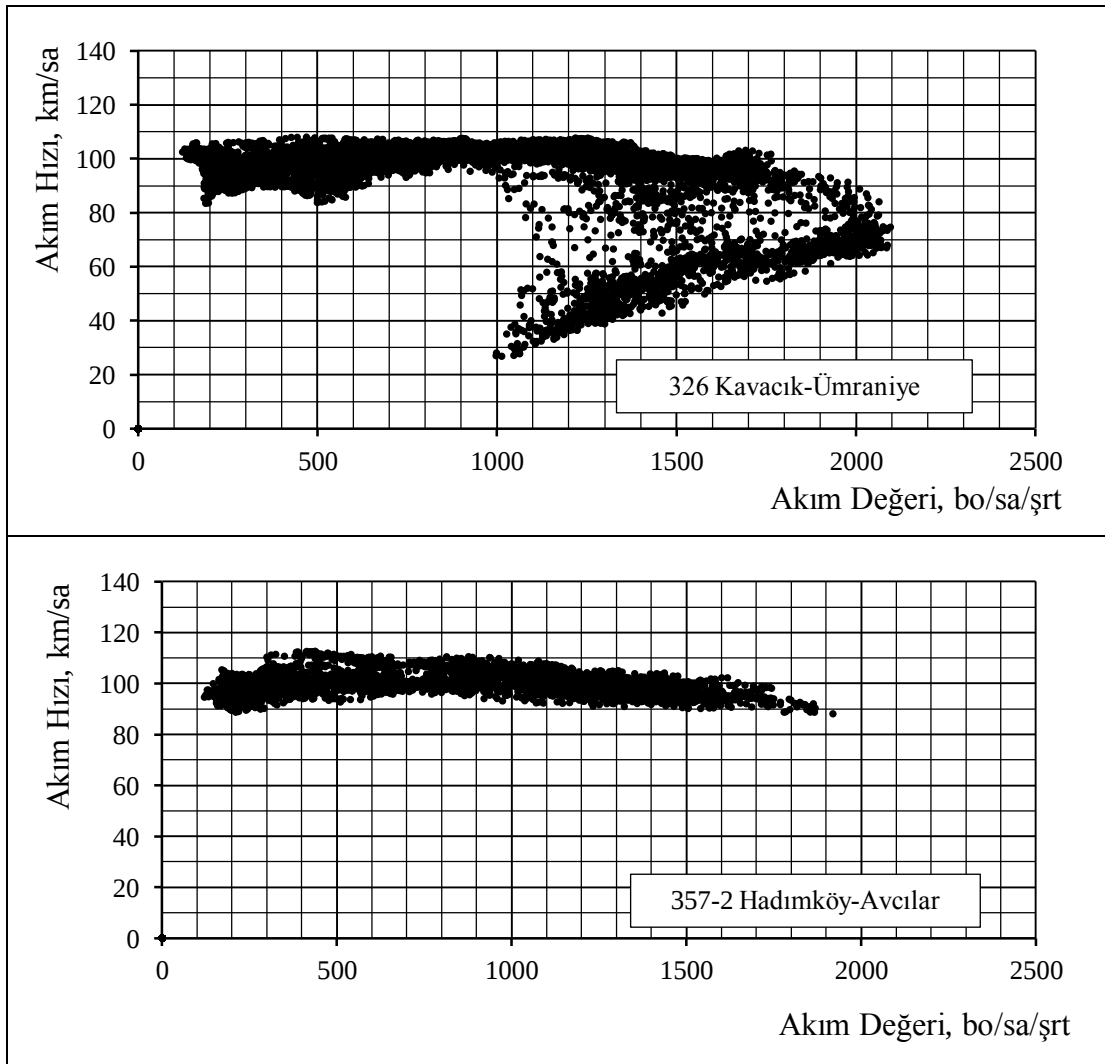
Tahmin edilen modelin hem iniş hem de çıkış eğimli kesimler için HCM önerilerinden daha büyük otomobil eşdeğerliği üretmesi, modelin isabetli tahminler yapamaması ile veya ülkemizdeki yol ve trafik şartlarının bir özelliği olarak açıklanabilir. Hangisinin doğru olduğu bilinemez. Buna rağmen üretilen modelin; iniş ve çıkış kesimlerinde, boyuna eğimin %3'ten daha küçük değerlerinde, ağır taşıtların otomobil eşdeğerliğinin bulunmasında kullanılabileceği düşünülmektedir. Boyuna eğimin %3'ü aştığı iniş ve çıkış kesimleri için modelin kullanılması önerilmemektedir.

6.4 Hız-Akım Fonksiyonlarının Tahmini

Her bir kesimin boyuna eğim değeri otomobil eşdeğerlikleri için geliştirilen ve Şekil 6.11'de verilen modelde yerine konularak kesimler için otomobil eşdeğerlikleri elde edilmiştir. Bu eşdeğerlikler, her bir kesitte ölçülen trafik verisi içerisindeki ağır taşıtların otomobil birimine çevrilmesinde kullanılmış, böylece algılayıcıların akım değerleri otomobil birimine çevrilmiştir. Elde edilen otomobil birimindeki yeni hız-akım değeri verisi Kartezyen Koordinat sisteminde gözlemlenmiş ve her bir kesim için Serbest Akım Hızı (SAH) tahmin edilmeye çalışılmıştır.

6.4.1 Serbest akım hızlarının tahmin edilmesi

Otomobil birimine çevrilen veriden trafik kaza ve olaylarına karşı gelen hız-akım değeri çiftleri, önceki bölümlerde bahsedildiği şekilde aykırı değer olarak tespit edilip veri dizilerinden çıkarılmışlardır. Bu işlemin ardından kalan veri dizisi, Kartezyen Koordinat sistemine atılmış, saçılma şekilleri gözlemlenmiştir. Bu şekillerde, ilgili kesim için trafik akımında tıkanma oluşup oluşmadığı değerlendirilmiştir. Kesimlerin bazılarında tıkanmanın olmadığı, bir kısmında ise tıkanmanın gerçekleştiği görülmüştür. Tıkanma oluşan kesimlerde en büyük akım değeri için gerçekleşen hıza (kapasite hızı, optimum hız) karar verilmiştir. Şekil 6.12'de, birim otomobile çevrilen akım değerleri için tıkanma olayının görüldüğü ve görülmediği iki kesime ait hız-akım verisinin saçılma şekli verilmiştir.



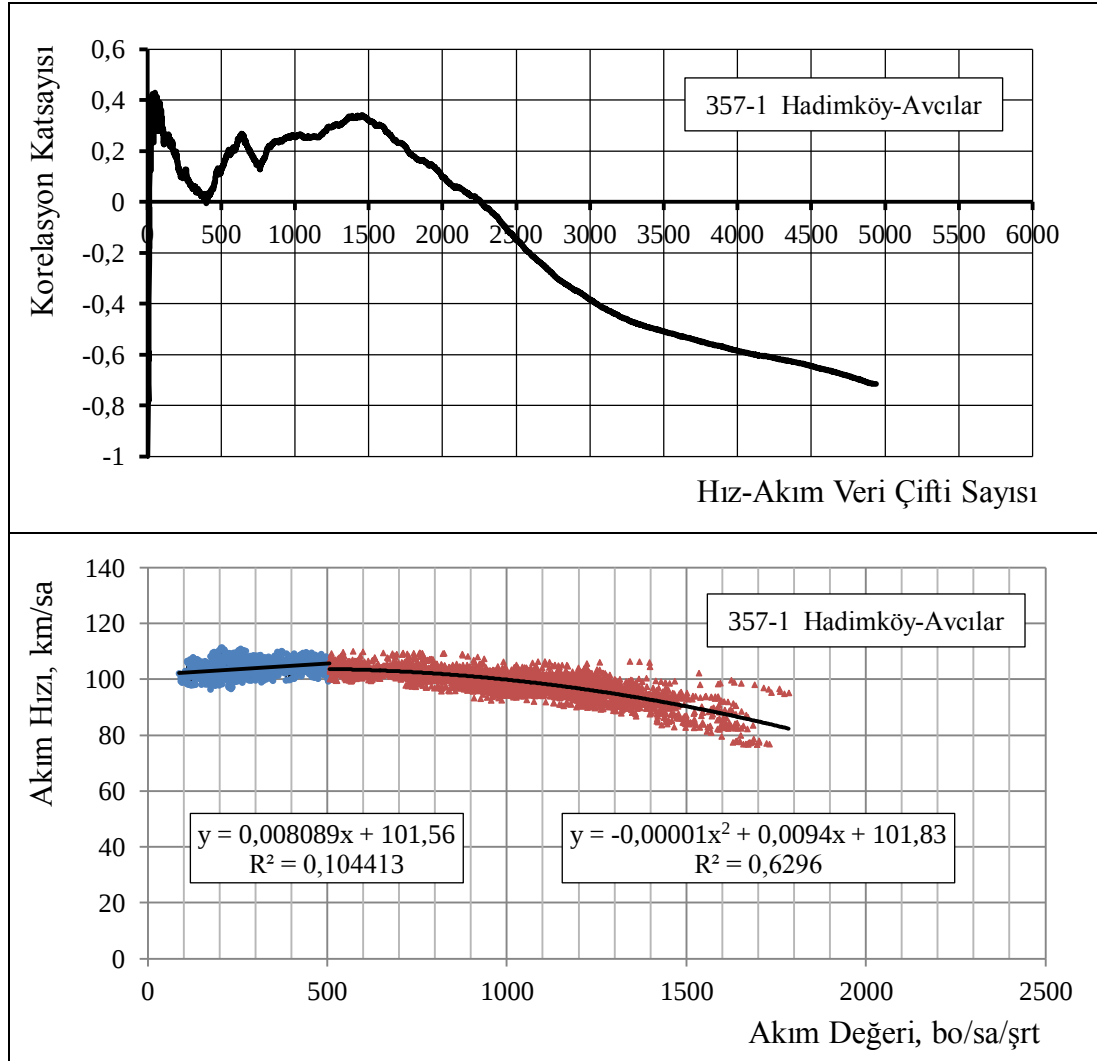
Şekil 6.12: Otomobil biriminde akım için tıkanma olayının görüldüğü (üstte) ve görülmediği (altta) örnek iki kesim.

Şekil 6.12'de, üstte bulunan ve 326b numaralı algılayıcıya ait olan hız-akım şeklinde, akım değerindeki artışın tıkanmaya sebep olduğu görülmektedir. Bu şekil için kapasite hızının 80 km/sa olduğu düşünülmektedir. Öte yandan 357-2 numaralı algılayıcının bulunduğu kesim için aynı durum söz konusu değildir. Bu kesimde trafik talebi, kesimin kapasitesine erişmediğinden tıkanma gerçekleşmemiştir. Bu şekilde, tıkanmanın gerçekleştiği kesimler için kapasite hızına da karar verilerek bütün kesimler değerlendirilmiş, tıkanma görülmeyen kesimler de tespit edilmiştir. Her bir algılayıcı için kapasite hızına karar verildikten sonra veri, serbest akım (doygun olmayan akım) bölgesi ve tıkalı akım (aşırı doygun akım) bölgesi olarak ayrılmıştır. Tezin ilerleyen aşamasındaki bütün değerlendirmeler serbest akım bölgesi için gerçekleştirilmiştir.

Serbest akım bölgesinde oluşturulan hız-akım şekillerinde, serbest akım hızlarının (SAH değerlerinin) bulunması için önceden bahsedilene benzer şekilde korelasyon tekniği kullanılmıştır. Bu amaçla, hız ve akım farklı iki değişken olarak düşünüp dizideki veri sayıları birer arttırılarak gözlemlenmiş bütün veriler için hız-akım çiftlerinin korelasyonu hesaplanmıştır. Ardından bu korelasyon değerleri şekil olarak gözlemlenmiştir. Korelasyon şekillerinde eğilimin değiştiği noktalar, hız-akım çiftleri arasındaki ilişkinin değiştiği yerler olarak değerlendirilmiş ve değişimin olduğu her bir kesim için farklı hız-akım değeri modelleri geliştirilmiştir. Böylelikle SAH değerlerinin hesaplanabilmesi için altyapı oluşturulmuştur. Şekil 6.13'te 357-1 numaralı algılayıcı için korelasyon eğrisi ve saçılma şekli görülmektedir.

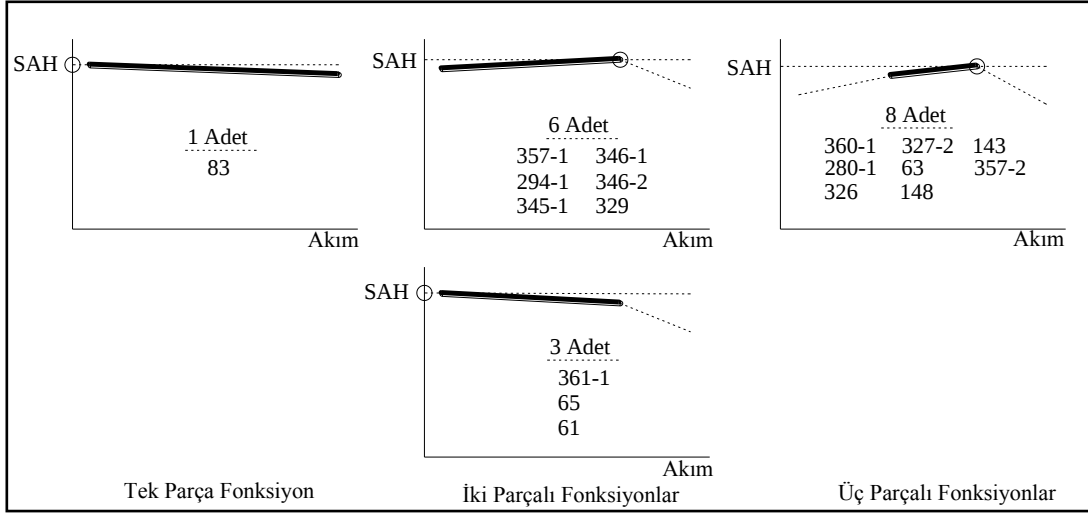
Şekil 6.13'te, üstte kalan parçada, hız-akım çiftlerinden hesaplanan ve hız ile akım değeri arasındaki ilişkiyi veren korelasyon eğrisi görülmektedir. Eğrinin, yatay ekseninde belirtilmiş olan veri çifti sayısının 1500 değerine erişmesinden sonra düşey ekseninde verilen korelasyon katsayısının hızla azaldığı gözlemlenebilir. Bu yeni eklenen her bir verinin hız ile akım değeri arasında azalan bir ilişkiyi kuvvetlendirdiği anlamına gelmektedir. Bir başka deyişle, akımdaki artışın hızı etkilemeye (azaltmaya) başladığını göstermektedir. Böylece bulunan noktadan önceki değerler için hız değeri, akım değerinden etkilenmiyor demektir. Bu noktaya kadar olan veri kullanılarak serbest akım hızı belirlenmiştir. Belirlenen bu noktaya kadar olan veri bir dizi, ötesi ikinci bir dizi halinde; saçılma şekli oluşturulmuş ve Şekil 6.13'te, alt parçada verilmiştir. İlgili şekildeki hız-akım çiftlerinden oluşan

noktalar için uygun regresyon denklemi geçirilmiş, regresyon katsayıları elde edilmiştir.



Şekil 6.13: Korelasyon eğrisi (üstte), saçılma şekli ve regresyon denklemleri (altta).

Tez kapsamında, bütün veriler üzerinde gerçekleştirilen tutarlılık değerlendirmesinden sonra kalan 18 algılayıcı için, serbest akım bölgelerini temsil eden, 1 adet tek parçalı, 9 adet iki parçalı ve 8 adet üç parçalı model, korelasyon tekniği kullanılarak geliştirilmiştir. Şekil 6.14'te çalışmada elde edilen hız-akım fonksiyonları tek, iki ve üç parçalı fonksiyonlar şeklinde sınıflandırılarak verilmiştir. Şekilde önemli olan, serbest akım hızının, fonksiyonun hangi noktası esas alınarak hesaplandığının görülmesidir. Şekilde bu nokta, "çember" içerisine alınarak gösterilmiştir.



Şekil 6.14: Hız-akım fonksiyonları ve serbest akım hızının belirlenme şekli.

Gerçekte bu fonksiyonların her bir parçası birinci veya ikinci dereceden polinom denklemi şeklinde elde edilmiş olmalarına karşın, Şekil 6.14'te temsili olarak birinci dereceden denklem olarak gösterilmiştir. Şekilde verilen fonksiyonlarda sürekli çizgi ile gösterilen kısımlar; hızın, akımdaki artıştan etkilenmediği fonksiyon bölümünü (fark edilmeleri için eğimleri abartılı çizilmiştir), ister fonksiyonun başlangıç bölümünde isterse bitiş bölümünde olsun kesikli çizgi ile verilen kısımlarsa; hızın, akımdaki değişimden etkilendiği fonksiyon bölümünü göstermektedir. Fonksiyonların hızdan etkilenmeyen bölümlerinde fonksiyonun eğimi binde mertebesinde (bin taşıtta birkaç km/sa hız değişimi göstermektedirler).

Şekil 6.14'te verilen 18 algılayıcı için hızın hacimden etkilenip etkilenmediği kararı, bu parçalara ait korelasyon katsayısına ve hız-akım değeri modelinin eğimine bakılarak belirlenmiştir. Hız-akım değeri verileri için hesaplanan korelasyon katsayısının çok küçük olması, bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığını gösterecektir. Başka bir deyişle, akım değerindeki artış, hızı etkilememektedir. Belirli bir değere kadar akım değerindeki artışın hızı etkilemeyeceği şeklindeki teorik bilgiye karşın, bütün algılayıcılar için hız-akım değeri modellerinin çok küçük de olsa bir eğime sahip olduğu görülmüştür. Bu eğimler yani hız-akım değeri modelleri, regresyon yöntemi ile hesaplanmıştır.

Bütün algılayıcılar için serbest akım hızları aşağıda verildiği şekliyle belirlenmiştir.

- Hız-akım değeri modeli azalan bir yapıda ise modelin hız eksenini kestiği noktadaki değer (akım değerinin sıfır olduğu nokta) SAH olarak belirlenmiştir.

- Hız-akım değeri modeli artan bir yapıya sahipse modelin geçerli olduğu son akım değerine karşılık gelen hız değeri hesaplanmış ve bu değer SAH olarak belirlenmiştir.

Bütün algılayıcılar için hesaplanan serbest akım hızları, bu kesimlerin geçerli olduğu akım değerleri, model denklemleri ve belirlilik katsayıları Çizelge 6.11'de verilmiştir.

Çizelge 6.11: Tutarlılık değerlendirmesinden geçen kesimler için serbest akım hızları ve hız-akım değeri model denklemleri.

Algılayıcı No.	Modelin Geçerli Olduğu Aralık		Belirlilik Katsayısı	Model Denklemi	Serbest Akım Hızı (km/sa)
	İlk Akım Değeri (bo/sa/şrt)	Son Akım Değeri (bo/sa/şrt)			
357-1	87	507	0,104413	$U = 0,008089 Q + 101,56$	105,7
360-1	355	827	0,000002	$U = 0,000062 Q + 101,64$	101,7
361-1	114	1240	0,000013	$U = -0,000044 Q + 101,70$	101,7
294-1	131	1312	0,302063	$U = 0,008530 Q + 99,22$	110,4
280-1	246	1236	0,060875	$U = 0,003174 Q + 108,79$	112,8
65	137	1496	0,000909	$U = -0,000174 Q + 85,35$	85,4
83	458	1939	0,016322	$U = -0,002003 Q + 100,00$	100,0
345-1	125	633	0,124095	$U = 0,011458 Q + 101,44$	107,4
346-1	137	628	0,259718	$U = 0,017459 Q + 82,82$	93,8
346-2	281	1180	0,043780	$U = 0,006355 Q + 94,60$	102,2
326	639	1253	0,006229	$U = 0,001339 Q + 101,37$	103,0
327-2	525	1300	0,029380	$U = 0,002751 Q + 107,12$	110,8
63	998	1358	0,001556	$U = 0,001362 Q + 112,12$	114,0
61	130	1201	0,000538	$U = -0,000234 Q + 93,08$	93,1
329	131	1591	0,074133	$U = 0,002018 Q + 99,52$	102,7
148	507	1220	0,080237	$U = 0,006113 Q + 99,43$	106,9
143	757	1106	0,000025	$U = 0,000256 Q + 94,33$	94,6
357-2	336	1119	0,004392	$U = 0,001059 Q + 101,60$	102,8

Çizelge 6.11'de verilen modellerin, geçerli oldukları akım değeri aralığında neredeyse eğimsiz (sabit) bir seyir izledikleri (akım değeri-Q önündeki katsayıların çok küçük olduğu) görülmektedir. Ancak modelin tam olarak sabit bir değer olması ($U=c$ gibi), sahada farklı akım değerleri için tek bir hızın ölçülmesi mümkün olmayacağından söz konusu olamaz. Öte yandan, modelin geçerli olduğu aralık için belirlilik katsayısının küçük değerler üretmesi de beklenen (olması gereken) bir durumdur. Bu durum, geçerlilik aralığı için, akım değerindeki değişimlerin hızı etkilemediğinin bir göstergesidir. Başka bir deyişle, akım değerindeki değişimler akım hızındaki değişimlerin anlamlı bir kısmını açıklamamaktadır. Bu özellik de beklenen bir durumdur.

Literatürde, benzer özellikte otoyollar için değişik serbest akım hızlarının gözlemlendiğine dair çalışmalar mevcuttur. TRB (2010), kent içi otoyollar için temel serbest akım hızını 110 km/sa olarak verirken De Luca ve diğ. (2012), İtalya otoyollarında yaptıkları bir çalışmanın sonucu olarak 3,75 metre şerit genişliğine haiz, alıyanda ve kaplama yüzeyi kuru olan otoyol kesimi için 300 tş/sa/şrt akım değerinde küçük akımlarda otomobillerin hızları ortalaması olarak hesapladıkları serbest akım hızını 131 km/sa olarak vermektedirler. Bu değer, ülkemiz otoyollarında uygulanan yasal hız sınırının (120 km/sa) üzerinde bir değerdir.

6.4.2 Serbest akım hızının geometrik değişkenler ve ağır taşıt oranıyla ilişkisi

Bu bölümde, geometrik değişkenler olan, şerit genişliği, şerit sayısı, banket genişliği, boyuna eğim ve kavşak sıklığının serbest akım hızlarını nasıl etkilediği incelenmiştir. Çizelge 6.12'de, 18 kesim için geometrik değişkenlerin değerleri, ağır taşıt oranları ve serbest akım hızları görülmektedir.

Çizelge 6.12: İncelenen kesimler için serbest akım hızları ve değişkenler.

Trafik Akım Yönü	Algılayıcı No.	Kavşak Bölgesi	Boyuna Eğim (%)	Şerit Sayısı	Banket Genişliği (m)	Ağır Taşıt Oranı (%)	Katlı Kavşak Sıklığı (kavş./km)	Serbest Akım Hızı (km/sa)
Ankara	357-1	Hadımköy-Avcılar	-1,50	3	3,0	22,7	0,4	105,7
Ankara	360-1	Hadımköy-Avcılar	-0,56	3	3,0	18,8	0,5	101,7
Ankara	361-1	Ispartakule-Mahmutbey Batı	-2,11	3	3,0	15,4	0,4	101,7
Ankara	294-1	Gaziosmanpaşa-Kemerburgaz	1,87	4	3,0	18,8	0,7	110,4
Ankara	280-1	Kavacık-Ümraniye	1,17	4	3,0	17,3	0,3	112,8
Ankara	65	Kavacık-Ümraniye	2,48	4	3,0	17,7	0,6	85,4
Ankara	83	Ümraniye-Anadolu Otoyolu	-0,14	4	3,0	17,1	0,5	100,0
Ankara	345-1	Samandıra-Kurtköy	0,67	3	3,2	18,3	0,2	107,4
Ankara	346-1	Samandıra-Kurtköy	0,94	3	3,2	19,4	0,2	93,8
Edirne	346-2	Samandıra-Kurtköy	2,84	3	3,2	22,4	0,2	102,2
Edirne	326	Kavacık-Ümraniye	0,98	4	3,0	16,0	0,5	103,0
Edirne	327-2	Kavacık-Ümraniye	-0,13	4	3,0	16,1	0,4	110,8
Edirne	63	Kavacık-Ümraniye	-0,45	4	3,0	18,1	0,5	114,0
Edirne	61	Kavacık-Ümraniye	-1,04	4	3,0	17,4	0,5	93,1
Edirne	329	Kavacık-Ümraniye	-1,51	4	3,0	16,2	0,2	102,7
Edirne	148	Metris-Gaziosmanpaşa	1,62	4	3,0	15,8	0,6	106,9
Edirne	143	Ispartakule-Mahmutbey Batı	0,69	3	3,0	15,1	0,6	94,6
Edirne	357-2	Hadımköy-Avcılar	2,82	3	3,0	21,5	0,3	102,8

Serbest akım hızları (SAH) belirlenen 18 kesim için değişkenler arasındaki doğrusal ilişkileri gösteren korelasyon matrisi hesaplanarak Çizelge 6.13'te verilmiştir.

Çizelge 6.13: SAH ve etkili değişkenler arasındaki korelasyonlar.

Değişkenler	Banket Genişliği	Şerit Sayısı	Kavşak Sıklığı	Boyuna Eğim %'si	Ağır taşıt %'si	SAH
Banket Genişliği	1,00					
Şerit Sayısı	-0,50	1,00				
Kavşak Sıklığı	-0,64	0,42	1,00			
Boyuna Eğim %'si	0,31	0,00	0,05	1,00		
Ağır taşıt %'si	0,41	-0,48	-0,36	0,30	1,00	
SAH	-0,10	0,18	-0,11	-0,10	0,05	1,00

İncelenen otoyol kesimlerinde şerit genişliği 3,75 m olduğundan bu değişkenin SAH'ı nasıl etkilediği belirlenememiştir. Çizelge 6.13'te banket genişliği ile SAH arasında ters bir ilişki ortaya çıktığı görülmektedir. Bu durum mantıksal olarak yanlıştır. Çünkü banket genişliği arttıkça, banket yanındaki şeritte olan sürücüler kendilerini daha rahat hissedebilecek ve hızlarını arttırma eğilimine gidebileceklerdir. Bu sürücüler hızlarını arttırmaları bile, en azından banket genişliğinin artması nedeniyle hızlarını azaltma eğilimi içinde olmayacaklardır. Banket genişliğinin belli sınırlar içinde SAH ile doğru orantılı olduğu literatürde de yer almaktadır (HCM 2000a, HCM 2010). Bu çalışma kapsamında böylesi bir durumun ortaya çıkmasının en önemli nedeni, incelenen kesimlerde banket genişliğinin yalnızca iki değer almasıdır (3,0 ve 3,2 m). Bu iki değer de birbirine oldukça yakındır. Ayrıca HCM, banket genişliğinin 1,8 metrenin altındaki değerleri için hız ile banket genişliği arasında doğrusal bir ilişki olduğunu, bu değerden daha büyük değerler için hızın banket genişliğinden etkilenmediğini belirtmektedir. SAH ile banket genişliği arasında ters ilişkinin ortaya çıkmasının bir başka nedeni de değişkenler arasındaki içsel bağımlılıktır. Çizelge 6.13'te banket genişliği ile kavşak sıklığı arasında bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Bağımsız değişkenler arasındaki bu tip ilişkiler içsel ilişki olarak tanımlanmakta ve diğer değişkenler arasındaki ilişkileri etkileyebilmektedir. Belirtilen bu nedenlerden dolayı, SAH'ı etkileyen geometrik değişkenlerden banket genişliği çıkartılmıştır. Çizelge 6.13'ten SAH'ın üzerinde en az etkisi olan değişkenin ağır taşıt %'si olduğu görülmektedir. Ayrıca hesaplanan korelasyon katsayısının artı işaretli olması bu ilişkinin doğrusal olduğu anlamına gelmektedir. Başka bir deyişle ağır taşıt %'si arttıkça SAH artmaktadır. Mantık dışı olan bu ilişki ve korelasyon katsayısının çok düşük olması (0,05) nedeniyle bu değişken, SAH'ı etkileyen değişkenler arasından çıkartılmıştır. Öte yandan HCM'de, serbest akım hızında etkili olan değişkenler arasında ağır taşıt oranı değişkeni yer almamaktadır (TRB, 2000). Çizelge 6.13'te, şerit sayısının SAH ile

doğru orantılı; kavşak sıklığı ve boyuna eğimin SAH ile ters orantılı olduğu literatürde yer alan bilgilerle örtüşmektedir.

Korelasyon matrisi, değişkenler arasında yalnızca doğrusal ilişkileri gösterdiğinden, her üç geometrik değişken ile SAH arasında ayrı ayrı saçılma şekilleri çizilmiş ve doğrusal olmayan ilişkiler de (üs, eksponansiyel, polinom ve logaritmik) incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda boyuna eğim ile SAH arasında ikinci dereceden ilişkinin en güçlü ilişki olduğu ve belirlilik katsayısının 0,05 (korelasyon katsayısının 0,223) olduğu hesaplanmıştır.

Geometrik değişkenler ve ağır taşıt oranının SAH'a etkisinin modellenmesi için çok değişkenli regresyon yöntemi kullanılmıştır. Modelleme, SAH ile değişkenler arasındaki korelasyon katsayılarının büyüklüğüne göre, değişkenlerin çok değişkenli regresyon analizine sırayla dahil edilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Modellemede kaç tane değişkenin çoklu regresyon analizine dâhil edileceği, çok değişkenli regresyon modelinin belirlilik katsayısındaki değişime göre yapılmış, yeni bir değişken eklenmesinin belirlilik katsayısında anlamlı bir değişime yol açmadığı değişken sayısı, modeldeki sınır değişken sayısını belirlemiştir. Buna göre çok değişkenli regresyon modeline hangi sırada hangi değişkenlerin eklendiği ve belirlilik katsayıları Çizelge 6.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.14: SAH için geliştirilen çok değişkenli regresyon modelinde bağımsız değişkenler ve karşılık değişkeni ile olan ilişkilerinin kuvveti.

Değişken Sayısı	Eklenen Değişkenin Adı	Belirlilik Katsayısı		Korelasyon Katsayısı	
		18 algılayıcı	16 algılayıcı	18 algılayıcı	16 algılayıcı
1	Boyuna Eğim %'si	0,050	0,113	0,223	0,337
2	Şerit Sayısı	0,066	0,144	0,258	0,380
3	Kavşak Sıklığı	0,113	0,259	0,335	0,509

Çok değişkenli regresyon modelindeki değişkenler ile model çıktıları ise Çizelge 6.15'de verilmiştir.

Her bir değişkenin çok değişkenli regresyon modeline eklenmesi ile korelasyon katsayıları sürekli olarak arttığından çok değişkenli regresyon modeli için 3 değişkenin kullanılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 6.15: Çok değişkenli model değişkenleri, model katsayıları ve tanımlayıcı istatistikler.

	Model Katsayıları	Standart Hata	t-istatistiği	P-değeri
Kesişim	97,167	14,327	6,782	0,000
Şerit Sayısı	4,152	4,039	1,028	0,326
Kavşak Sıklığı	-17,624	13,513	-1,304	0,219
Boyuna Eğim	-0,742	1,499	-0,495	0,631
(Boyuna Eğim) ²	-0,604	0,860	-0,702	0,497

18 algılayıcı ile gerçekleştirilen modelde en büyük hatayı veren 2 algılayıcı çıkartıldığında korelasyon katsayısı 0,509'a çıkmakta ve çok değişkenli regresyon modelinde orta düzeyli (0,5'den büyük olduğu için) bir ilişki oluşmaktadır. Belirtildiği gibi, 16 algılayıcı verisi kullanılarak elde edilen çok değişkenli regresyon modeli, Denklem 6.1'de verilmiştir.

$$SAH = -0,604BE^2 - 0,742BE - 17,624KKS + 4,152SS + 97,167 \quad (6.1)$$

SAH: Serbest akım hızı (km/sa)

BE: Boyuna eğim,% (çıkış kesimlerinde "+", inişlerde "-" işaretiyle alınacak)

KKS: Katlı kavşak sıklığı (kilometredeki kavşak sayısı)

SS: Şerit sayısı

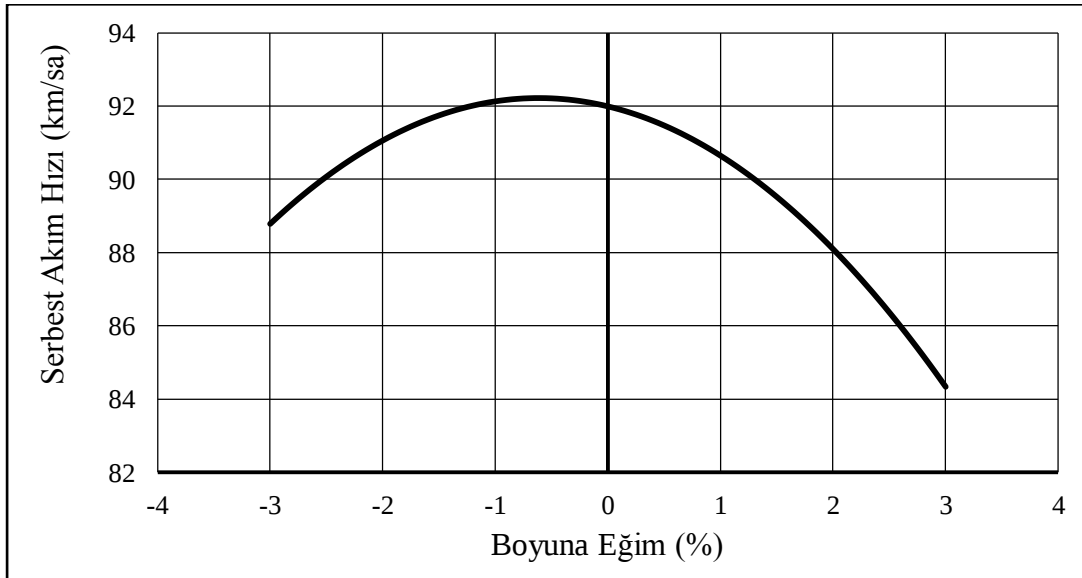
Denklem 6.1'de verilen çok değişkenli regresyon modeline göre katlı kavşak sıklığının 1 birim artması yani kilometre başına 1 katlı kavşak eklenmesi hızda 17,624 km/saatlik bir düşüşe neden olacaktır. Çizelge 6.12 incelendiğinde çalışma alanında kavşak sıklığının 0,2 ile 0,7 arasında değiştiği görülebilir.

Denklem 6.1'de verilen çok değişkenli regresyon modeline göre şerit sayısının 3'ten 4'e çıkması, SAH'ta 4,152 km/saatlik bir hız artışına neden olacaktır. Çalışma alanı içerisindeki bütün otoyollarda şerit sayısı 3 veya 4 olarak değişmektedir. Bu nedenle şerit sayısının 2 veya 4'ün üstünde olması durumlarında bir inceleme yapılamadığından bu denklem, bu değerler için hatalı sonuçlar verebileceği göz ardı edilmeden, kullanılmalıdır.

Denklem 6.1'de verilen çok değişkenli regresyon modelinde boyuna eğim değişkeni ikinci dereceden bir polinom şeklinde yer aldığından, bu değişken ile SAH arasındaki ilişki kolaylıkla görülememektedir. Çok değişkenli regresyon modelinde SAH ile boyuna eğim arasındaki ilişkinin görülebilmesi için diğer iki değişkene sabit

değerler atanmış (katlı kavşak sıklığı=1 ve şerit sayısı=3 için) ve hesaplanan SAH değerlerinin boyuna eğimin değişik değerleri için aldığı değerler Şekil 6.15'de verilmiştir.

Şekil 6.15'de, boyuna eğimin -%3 ile %3 arasındaki değerleri için SAH'lar hesaplanmıştır. Düşey eksenin sağ tarafında (çıkış eğimli kesimlerde) boyuna eğimin artması ile SAH'ın azaldığı görülmektedir. Benzer şekilde, düşey eksenin sol tarafında da (iniş eğimli kesimlerde) negatif eğimlerin artması ile SAH azalmaktadır. Ancak bu azalış pozitif eğimlere göre daha azdır. Bu durum, yani taşıtların iniş eğimli kesimlerde seyrederken hızlarını azalma eğiliminin nedeni; iniş eğimli kesimlerde, yerçekiminin taşıt hızı üzerinde hızlandırıcı etki yapması ve buna karşı sürücülerin taşıt kontrolünü zorlaştıracak tehlikeli hızlara erişmemek için motor veya servis frenini kullanarak ya da vites küçülterek taşıt hızını kontrol altında tutma istekleridir. Bu durum özellikle ağır taşıtlarda daha fazla görülmektedir. Ayrıca çalışma alanındaki boyuna eğimlerin -%3 ile +%3 arasında değiştiği ve otoyollarda en büyük boyuna eğimin %4 olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır. Teorik olarak Şekil 6.15'de verilen eğrinin, boyuna eğimin sıfır olduğu noktada zirve değerine ulaşması beklenirken, mevcut veriler ile yapılan regresyon çalışmasında zirvenin az da olsa kaydığı, buna karşılık bu kaymanın ihmal edilebilecek bir boyutta olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.15: Çok değişkenli regresyon modelinde boyuna eğimin SAH'a etkisi.

SAH'ın geometrik değişkenlerle ilişkisini belirleyen çok değişkenli regresyon modeli bir örnek üzerinde sayısal olarak gösterilmiştir: Boyuna eğim değerinin %2,5 olduğu

3 şeritli bir temel otoyol kesiminde 5 km öncesinde 1 adet ve 5 km sonrasında 2 adet katlı kavşak bulunması durumunda SAH değeri ne olacaktır? Katlı kavşak sıklığı, ilgilenilen nokta için, noktanın 5 km akım yukarı ve 5 km akım aşağı yönünde bulunan katlı kavşak sayısının 10 km'ye bölünmesi ile elde edilmektedir. Buna göre kavşak sıklığı 0,3 $[(1+2)/10]$ olarak hesaplanır. Denklem 6.1'de bilinen değerler yerine konursa, SAH değeri 98,7 km/sa olarak hesaplanır.

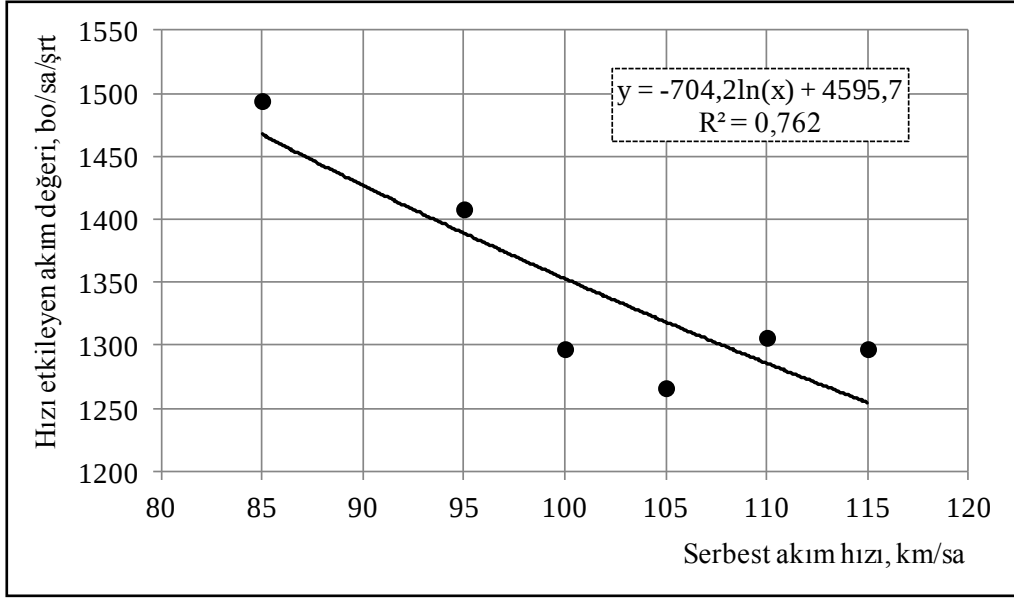
6.4.3 Serbest akım hızının azalmaya başladığı akım değerinin belirlenmesi

Hızın akımdan etkilenmeye başladığı akım değerini hesaplamaya yönelik genel bir ifade elde etmek amacıyla Çizelge 6.12'de verilen serbest akım hızları ve (bu hızların hesaplandığı kesimler için) hızın akımdan etkilenmeye başladığı akım değerleri, 5 km/sa hız aralıklı gruplara ayrılmıştır. Çizelge 6.16'da her bir gruba ait veriler görülmektedir.

Çizelge 6.16: Serbest akım hızını etkilemeye başlayan akım değerinin belirlenmesi için gruplama ve grup bilgileri.

SAH Grup Aralığı	SAH (km/sa)	Dilimdeki Algılayıcı Sayısı	SAH'ı Etkileyen En Küçük Akım Değeri (bo/sa/şrt)
82,5-87,5	85	1	1494
87,5-92,5	90	-	-
92,5-97,5	95	3	1408
97,5-102,5	100	4	1297
102,5-107,5	105	6	1266
107,5-112,5	110	2	1306
112,5-117,5	115	2	1297

Bu amaca yönelik olarak SAH'ların aldığı değerler incelenmiş, aralarında bir regresyon ilişkisi olup olmadığı araştırılmıştır. SAH'lar 5 km/sa aralık genişliği olan ve orta değerleri 85, 90, 95, 100, 105, 110 ve 115 km/sa değerlerine karşılık gelen 7 grup oluşturulmuş; grupların hız ve akım değeri ortalamaları elde edilmiş ve bu ortalama değerler üzerinden regresyon tekniği ile ilişki elde edilmiştir. Bu şekilde bir yöntem izlendiğinde değişkenler arasında kuvvetli ve logaritmik bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Bu ilişki yardımıyla hızın akımdan etkilenmeye başladığı akım değerlerini tahmine yönelik bir regresyon bağıntısı elde edilmiştir. Şekil 6.16'da, regresyon tekniği kullanılarak hızın akımdan etkilenmeye başladığı akım değerlerini tahmin etmede kullanılan regresyon bağıntısı görülmektedir.



Şekil 6.16: Hızın akımdan etkilenmeye başladığı akım değerlerinin regresyon tekniği ile tahmin edilmesi.

Şekil 6.16'da verilen regresyon bağıntısı yardımıyla hızın akımdan etkilenmeye başladığı akım değeri tahminleri çeşitli serbest akım hızları için Çizelge 6.17'de verilmiştir. Çizelgede farklı SAH'lar için HCM-2000 ve HCM-2010'da verilen değerler de gösterilmiştir. Tahmin edilen değerler ile HCM değerleri karşılaştırıldığında, modelin ürettiği ve buna bağlı olarak önerilen değerlerin daha küçük olduğu görülür. Bu durum, incelenen otoyollarda akım değerinin artışının akım hızını daha kolay etkilediği, dolayısıyla ülkemiz sürücülerinin HCM önerilerine temel teşkil eden Kuzey Amerika sürücülerini ile karşılaştırıldığında taşıt trafiği artışından daha çabuk etkilendiği ve bu artışa tepki olarak hızlarını azalttıkları anlamında yorumlanabilir. Serbest akım hızının sabit kaldığı, akımdan etkilenmediği akım değerleri olarak ülkemiz otoyollarında kullanılabilecek değerler, "önerilen hızı etkileyen akım değeri" sütununda verilmiştir.

Çizelge 6.17: Serbest akım hızlarını etkileyen akım değerleri.

Serbest Akım Hızı (km/sa)	Modelden Üretilen Hızı Etkileyen Akım Değeri (bo/sa/şrt)	Önerilen Hızı Etkileyen Akım Değeri (bo/sa/şrt)	HCM-2000'de Önerilen Akım Değeri (bo/sa/şrt)	HCM-2010'de Önerilen Akım Değeri (bo/sa/şrt)
85	1467	1470	-	-
90	1427	1430	1750	1800
95	1389	1390	-	-
100	1353	1350	1600	1600
105	1318	1320	-	-
110	1286	1290	1450	1400
115	1254	1260	-	-
120	-	-	1300	1200

6.4.4 Kapasitenin belirlenmesi

Literatürde, serbest akım bölgesinde, hızın hacimden etkilenmeye başladığı hacim değerlerinden itibaren hacim ile hız arasında azalan eğrisel bir ilişkini olduğu belirtilmektedir. Tez kapsamında, incelenen 18 kesim için çizilen hız-akım değeri şekillerinde benzer yapıda bir ilişki gözlenmiştir. Buna karşın tez kapsamında incelenen 18 kesimden yalnızca 8 kesimde tıkanıklık olduğu görülmüştür. Diğer 12 kesimde hacmin artmasıyla hızda bir düşüş gözlemlenmesine karşılık, talebin yeteri kadar büyümemesinden dolayı, tıkanıklık gözlemlenmemiştir. Bu nedenle kapasite arayışları yalnızca 8 kesim için gerçekleştirilebilmiş ve buradan bir genellemeye gidilmiştir.

Kapasiteler, başlık 6.4.3 bölümünde verilen SAH grupları için belirlenmesi amaçlanmışsa da her bir aralığa çok az sayıda (en fazla 2, bazen 1, bazense 0) algılayıcının düşmesi nedeniyle SAH'nın 10 km/saatlik aralıklı dilimleri olan 90, 100 ve 110 km/sa değerleri için kapasiteler hesaplanabilmiştir. Bu dilimler için kapasite hızları da gruplanmıştır. Bu aralıklarda hangi algılayıcıların olduğu Çizelge 6.18'de verilmiştir.

Çizelge 6.18: Kapasitenin belirlenmesi için serbest akım hızlarına göre algılayıcı verilerinin gruplanması.

SAH Aralığı	SAH (km/sa)	Kapasite Hızları (km/sa)	Aralıktaki Algılayıcı Sayısı (adet)	Aralıktaki Algılayıcıların Adları
85-95	90	70	3	65, 61, 143
95-105	100	80	2	326, 361-1
105-115	110	90	3	148, 280-1, 327-2

Her bir SAH aralığı için kapasitelerin belirlenebilmesi amacıyla, serbest akım bölgesinde, hızın hacimden etkilendiği akım değerinden itibaren tüm akım değeri-hız verileri, aralıkta bulunan algılayıcılar için ortak değerlendirilmiştir. Böylelikle literatürde yer aldığı şekliyle farklı SAH değerleri için farklı kapasite değerleri hesaplanabilmiştir.

Akım değeri-hız arasındaki regresyon analizi ile en yüksek belirlilik katsayıları ikinci dereceden polinom denklemleri ile elde edilebilmiştir. Her bir aralık için kapasite akım değeri, hız-akım değeri modellerinde kapasite hızının kullanılması ile hesaplanmıştır. Üç SAH aralığı için kapasite hızları, matematiksel model, belirlilik katsayıları ve hesaplanan kapasite değerleri Çizelge 6.19'da verilmiştir.

Çizelge 6.19: Üç farklı serbest akım hızı için kapasite değerleri.

SAH (km/sa)	Kapasite Hızları (km/sa)	Modelin Geçerli Olduğu Akım Değeri (bo/sa/şrt)	Hız (U) – Akım Değeri (Q) İlişkisi	Belirlilik Katsayısı	Kapasite (bo/sa/şrt)	
					Hesap	Öneri
90	70	$Q \geq 1.430$	$U = -0,0000106Q^2 + 0,0190157Q + 83,5$	0,408	2.335	2.340
100	80	$Q \geq 1.350$	$U = -0,0000154Q^2 + 0,0324018Q + 84,7$	0,305	2.240	2.240
110	90	$Q \geq 1.290$	$U = -0,0000183Q^2 + 0,0423365Q + 85,4$	0,157	2.199	2.200

Çizelge 6.19'da farklı SAH değerleri için farklı hız-akım modellerinin önerildiği görülebilir. Modelin geçerli olduğu akım değerinden daha küçük hacimlerde hızın hacimden etkilenmediği ve buradaki hız değerinin SAH'a eşit olduğu Başlık 5.9.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 6.19'da ayrıca, SAH'ın artması durumunda hız-akım değeri arasındaki ilişki için hesaplanan belirlilik katsayısının giderek azaldığı görülmektedir. Bu durum, yüksek hız yapılması mümkün olan kesimlerde, taşıt hızları arasındaki farkın daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bu farklılık, doğal olarak bu kesimler için geliştirilen modellerin gücünü azaltmaktadır.

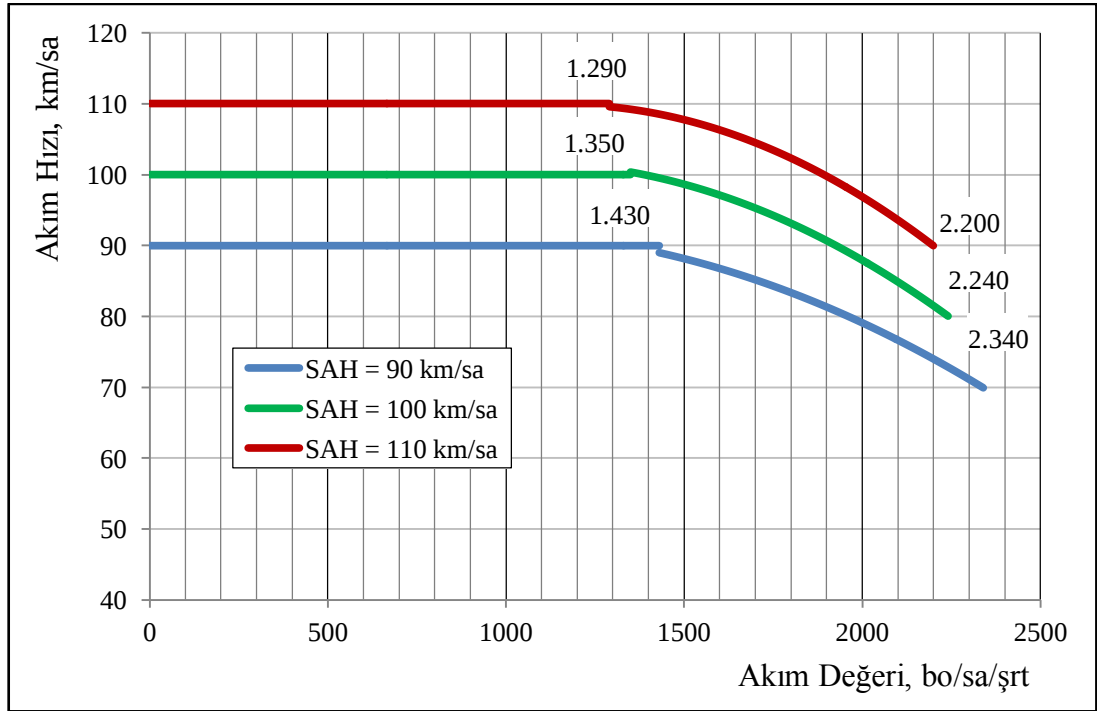
Elde edilen kapasite değerlerinin HCM ile karşılaştırılması Çizelge 6.20'de görülmektedir.

Çizelge 6.20: Kapasite değerlerinin karşılaştırılması.

SAH (km/sa)	Kapasite (bo/sa/şrt)	
	Tez Çalışması	HCM-2000 HCM-2010
90	2.340	2.250
100	2.240	2.300
110	2.200	2.400

Tez çalışmasında belirlenen kapasite değerleri HCM değerlerine yakın olmakla birlikte HCM'de verilen SAH-kapasite ilişkisinin tam tersi bir durum elde edilmiştir. HCM, SAH'ın artması durumunda kapasitenin de arttığını belirtmektedir. Gerçekte bu sonuç; kapasitenin, yoğunluğun 28 bo/km/şrt olması durumunda gerçekleşeceği savına dayanmaktadır. Tez çalışması kapsamında ise İstanbul'da SAH'ın artmasının kapasiteyi azaltacağı gibi bir sonuç ortaya çıkmıştır. Bu durum, geometrik olarak daha yüksek hızların yapılabildiği kesimlerde sürücülerin düşük hızlı kesimlere göre daha yoğun bir dikkat harcadıkları, bu nedenle hacim artışı sırasında dikkatlerinin daha kısa sürede bozulduğu ve tıkanmanın daha düşük hacimlerde gerçekleştiği şeklinde yorumlanabilir.

Tez kapsamında geliştirilen akım değeri-hız modelleri ve modellerin başlangıç ve sınır değerleri Şekil 6.17'de görülmektedir. Şekilde hızın akımdan etkilenmeye başladığı noktadaki süreksizlikler, hızın hacimden etkilendiği kesimdeki matematik modellerin, regresyon yöntemi ile hesaplanmasından kaynaklanmaktadır. Regresyon denklemi ile belirlenen model, hataların karelerini en küçüklediğinden, başlangıç noktasında tam olarak SAH'a karşılık gelememiştir. 90, 100 ve 110 km/sa değerindeki SAH için model bölümleri arasındaki hız farkı, sırasıyla, -1,0; +0,6 ve -0,4 km/sa kadardır. Bu hatanın ihmal edilebilecek boyutta olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.17: Geliştirilen akım değeri-hız modelleri.

6.4.5 Hizmet düzeyi ile ilgili değerlendirme

Her bir SAH için, kapasite değerleri ve hacmin hız çarpı yoğunluğa eşit olduğu bilgisi kullanılarak, optimum yoğunluklar; 90, 100 ve 110 km/sa SAH için sırasıyla 33, 28 ve 24 bo/km/şrt şeklinde hesaplanabilmektedir. Bu durumda, HCM'nin farklı SAH'lar için tek bir optimum yoğunluk değeri almak şeklindeki yaklaşımının, en azından İstanbul şartlarında, doğru olmadığı görülmektedir. Benzer yaklaşımla; HCM'nin farklı SAH'lar için, hizmet düzeylerinin sınır değerleri için öngördüğü servis hacimlerinin hesaplanmasında kullandığı yoğunluk değerlerinin de SAH'lara göre değişmesi gerektiği düşünülmektedir. Zaten hizmet düzeylerini ayıran yoğunluk

değerleri, hesaplamalara değil trafik uzmanlarının ortak görüşüyle oluşturulduğundan doğrulukları tartışmalıdır.

Hizmet düzeyinde önemli olan kavram aslında hızın hangi akım değerinden sonra azalmaya başladığı ve hangi hacimde tıkanıklığın oluşacağıdır. Çizelge 6.19'daki denklemler veya Şekil 6.17 kullanılarak yapılması planlanan yeni bir otoyolda hangi hacim değerinde, hızın nasıl değişeceğinin belirlenmesi mümkün olacaktır. Bu sayede karar vericiler, talebe ve yoldaki hızın ne olması gerektiğine karar vererek, otoyoldaki şerit sayısını belirleyebileceklerdir.

7. SONUÇLAR

Kent içi otoyolların kavşaksız kesimlerinin serbest akım hızını ve kapasitesini etkileyen faktörlere ülkemiz yol ve trafik özelliklerini temsil eden değerler tahmin edilmesine yönelik bu tez çalışmasında, incelenen kesimlerin özellikleri çerçevesinde çeşitli sonuçlara ulaşılmıştır.

Şişeboynu etkisinde olmayan ve kapasiteye erişen hız-akım fonksiyonlarının gözlemlendiği kesimlerde, hafta içi (Pazartesi-Cuma) ve gündüz saatlerinde (06.00-20.00) en büyük akım değerinin 1882-2287 tş/sa/şrt değerleri arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Hafta sonu (Cumartesi) ve gündüz saatlerinde (06.00-20.00) aynı kesimlerde gözlemlenmiş en büyük akım değeri ise 1814-2069 tş/sa/şrt değerleri arasında gerçekleşmiştir. Bu değerler "taşıt" biriminde olmalarına karşın, literatürde belirtilen en büyük akım değerlerinden düşüktür. Son 10 yıllık rakamların ortalaması göz önünde tutulduğunda; ülkemizde trafiğe çıkan taşıtların % 60,2'sinin ithal olduğu ve taşıt ithalatının serbest olduğu düşünülürse ülkemizdeki taşıtların, özellikle manevra kabiliyetlerinin (hızlanma ve yavaşlama performansının) diğer ülkelerdeki taşıtlardan farklı olmayacağı varsayılabilir. gözlemlenen akım değerlerinin düşük oluşu, sürücülerimizin otoyolları etkin bir düzeyde kullanmadığının bir göstergesi olabilir. Sürücülerimizde sıkça gördüğümüz şerit takip etmeme, sık şerit değiştirme, ortalama akım hızından çok yüksek seyrederek daha kısa sürede yolculuğunu tamamlama isteği gibi davranışların akımda düzensizliklere ve dalgalanmalara yol açarak kapasite kaybına sebep olduğu düşünülebilir.

Hafta sonu ve hafta içi aynı kesimde gözlemlenen en büyük akım değerlerinin birbirine oranları hesaplandığında, bu oranın 0,82-0,97 arasında değerler aldığı görülmüştür. Zorunlu yolculukları (hafta içi yapılan yolculuklar) gerçekleştiren sürücüler ile zorunlu olmayan yolculukları (hafta sonu yapılan yolculuklar) gerçekleştiren sürücülerin kapasiteyi etkin kullanma konusunda farklılık gösterdiği HCM ve literatürde belirtilmiştir. Hafta sonu sürücülerinin otoyol kapasitesini ancak %85 oranında kullanılabildiği (kapasite kaybı olduğu) belirtilmiş ve sürücü türü (driver population) değişkeninin 0,85-1,00 arasında değerler atanabileceği

bildirilmiştir. İstanbul'da temel otoyol kesimlerinde sürücü türü değişkenin 0,82-0,97 arasındaki değerlerin atanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

İstanbul ili kent geçiş otoyollarında toplam taşıt trafiği içerisinde ağır taşıt oranlarının payının % 15-23 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu aralıkta değişen ağır taşıt oranlarının serbest akım hızını etkilediğine dair anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

İncelenen otoyollar üzerindeki her bir temel otoyol kesimi için ağır taşıtların otomobil eşdeğerlikleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamada ilke olarak; kapasitesine erişen kesimler için kapasitenin tanımı gereği ilgili yolu kullanan toplam taşıt sayısının (birim otomobil türünde) sabit olması gerektiği kabulü yapılmış ve ağır taşıt sayısındaki artışın (geçen toplam taşıt sayısı sabit olacağından) otomobil sayısını azaltacağı düşünülerek otomobil eşdeğerlikleri regresyon analizi ile bulunmuştur.

Her bir kesim için bulunan otomobil eşdeğerlikleri ile kesimin boyuna eğimi arasında regresyon tekniği ile Denklem 7.1'de verilen bağıntı geliştirilmiştir.

$$BE \leq \mp\%3 \text{ için } E = 0,2746BE^2 - 0,1431BE + 1,2436 \quad (7.1)$$

Burada BE, ilgilenilen kesim için boyuna eğimin yüzde türünde ifadesi olmak üzere E, otomobil eşdeğerliği bilgisidir. Denklem, incelenen kesimlerdeki en büyük boyuna eğim değeri nedeniyle %3'e kadar olan otoyollar için geçerlidir.

İncelenen kesimler tek tek ele alındığında serbest akım hızlarının, 85-114 km/sa değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Düşük akım değerlerinde otomobillerin ortalama hızı anlamına gelen serbest akım hızlarının akımdan etkilenmeye başladığı akım değerinin tahmininde, akım değeri ile SAH arasındaki ilişki, verilerin 5 km/sa genişliğindeki kümelerle ayrılmasıyla, regresyon tekniği kullanılarak araştırılmıştır. Bu yöntem izlendiğinde değişkenler arasında kuvvetli ve logaritmik bir ilişkinin olduğu görülmüş ve hızın akımdan etkilenmeye başladığı akım değerlerini tahmine yönelik bir regresyon bağıntısı elde edilmiştir. Serbest akım hızının akımdan etkilenmeye başladığı akım değerini tahmine yönelik bağıntı Denklem 7.2'de verilmiştir.

$$Q = -704,2\ln(\text{SAH}) + 4595,7 \quad (7.2)$$

Burada SAH, ilgilenilen kesim için serbest akım hızını (km/sa); Q ise akım değerini (bo/sa/şrt) göstermektedir. Denklem yardımıyla temel otoyol kesimlerinde 90, 100 ve 110 km/sa değerindeki serbest akım hızları için hızın etkilenmeye başladığı akım değeri olarak sırasıyla 1430, 1350 ve 1290 bo/sa/şrt değerleri önerilmiştir.

Serbest akım hızı ve kapasiteyi etkileyen faktörler (banket genişliği, şerit genişliği, şerit sayısı, boyuna eğim, kavşak sıklığı, ağır taşıt oranı) arasında çok değişkenli regresyon ilişkisi incelenmiş, korelasyon matrisi elde edilmiştir

İncelenen otoyol kesimlerinde şerit genişliği farklı değerler almadığından (tamamında 3,75 m olduğundan), bu etkenin serbest akım hızı üzerindeki etkisi irdelenememiştir. Ayrıca banket genişliği O3 ve O2 otoyollarında 3,0 metre, O4 otoyolunda 3,2 metre değerinde olmakla birlikte sürüş özelliklerini etkileyecek kadar küçük olmadığı ve diğer faktörlere içsel bağımlı olduğu görüldüğünden SAH'ı etkileyen geometrik değişkenler arasında yer almamıştır. Başka bir deyişle, banket genişliği ile serbest akım hızı arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

SAH üzerinde en az etkisi olan değişkenin ağır taşıt oranı olduğu, aralarındaki ilişkinin doğrusal ancak çok zayıf bir ilişki olduğu görülmüştür. Bu nedenle ağır taşıt oranı, SAH'ı etkileyen değişkenler arasında yer almamıştır.

Çok değişkenli regresyon çalışmasında değişkenler arasındaki ilişki kuvvetini veren korelasyon matrisinden şerit sayısının SAH ile doğru orantılı; kavşak sıklığı ve boyuna eğimin SAH ile ters orantılı olduğu görülmüştür.

Bu değişkenlerle SAH arasında çok değişkenli regresyon modeli geliştirilmiştir. 18 algılayıcı ile gerçekleştirilen modelde en büyük hatayı veren 2 algılayıcı çıkartıldığında korelasyon katsayısı 0,509'a çıkmakta ve çok değişkenli regresyon modelinde orta düzeyli (0,5'den büyük olduğu için) bir ilişki oluşmaktadır. Bu çok değişkenli regresyon modeli, Denklem 7.3'te verilmiştir.

$$\text{SAH} = -0,604\text{BE}^2 - 0,742\text{BE} - 17,624\text{KKS} + 4,152\text{SS} + 97,167 \quad (7.3)$$

SAH: Serbest akım hızı (km/sa)

BE: Boyuna eğim (%)

KKS: Katlı kavşak sıklığı (kilometredeki kavşak sayısı)

SS: Şerit sayısı

Çalışma alanı içerisindeki bütün otoyollarda şerit sayısı 3 veya 4 olarak değişmektedir. Bu nedenle şerit sayısının 2 ve 4'ün üstünde olması durumlarında bir inceleme yapılamadığından Denklem 7.3'ün bu değerler için hatalı sonuçlar verebileceği göz önünde tutulmalıdır.

Temel otoyol kesimlerinde kapasiteler, Denklem 7.4'te verilen hız (U) - akım değeri (Q) fonksiyonlarında, hız yerine kapasite hızının konulmasıyla elde edilmiştir. Bu fonksiyonlar farklı serbest akım hızı (SAH) değerleri için hesaplanmıştır.

$$\text{SAH} = 90 \text{ km/sa ve } Q \geq 1430 \text{ bo/sa/şrt için } U = -0,0000106Q^2 + 0,0190157Q + 83,5$$

$$\text{SAH} = 100 \text{ km/sa ve } Q \geq 1350 \text{ bo/sa/şrt için } U = -0,0000154Q^2 + 0,0324018Q + 84,7 \quad (7.4)$$

$$\text{SAH} = 110 \text{ km/sa ve } Q \geq 1290 \text{ bo/sa/şrt için } U = -0,0000183Q^2 + 0,0423365Q + 85,4$$

Temel otoyol kesimlerinde 90, 100 ve 110 km/sa değerindeki serbest akım hızları için kapasite hızları (70, 80, 90 km/sa) ve denklemler yardımıyla hesaplanan kapasite değerleri sırasıyla 2340, 2240 ve 2200 bo/sa/şrt değerleri önerilmektedir. Bu kapasite değerleri için hesaplanan optimum yoğunluklar; sırasıyla 33, 28 ve 24 bo/km/şrt şeklinde hesaplanmıştır. Bu durumda HCM'nin farklı SAH'lar için 28 bo/km/şrt olarak önerdiği tek bir optimum yoğunluk değerinin en azından İstanbul şartlarında doğru olmadığı görülmektedir. Bu nedenle; HCM'nin hizmet düzeyi sınırlarında farklı SAH'lar için önerdiği tek yoğunluk değerinin doğru olmadığı düşünülmektedir.

Hizmet düzeyinde önemli olan kavram aslında hızın hangi akım değerinden sonra azalmaya başladığı ve hangi hacimde tıkanıklığın oluşacağıdır. Bu tez kapsamında geliştirilen ve Denklem 6.4'te verilen bağıntılar kullanılarak hacmin hızı nasıl etkilediği İstanbul otoyolları için belirlenebilecektir.

Türkiye'deki otoyollar için, ileriye yönelik bir "kapasite el kitabının" geliştirilebilmesi amacıyla benzer çalışmaların İstanbul ili dışında kalan diğer otoyollar için de yapılması ve sonuçların birlikte değerlendirilmesi uygun olacaktır.

Temel otoyol kesimleri için yapılan bu çalışmaya benzer çalışmalar otoyolların giriş ve çıkış rampalarının bulunduğu kesimlerinde de gerçekleştirilmelidir.

Mikroskobik akım değişkenlerinin farklı boyuna eğime sahip temel otoyol kesimlerinde toplanarak otomobil eşdeğerliklerinin hesaplanması ve tez kapsamında geliştirilen otomobil eşdeğerlikleri ile karşılaştırılması uygun olacaktır.

Tez çalışması, sürücü davranışlarını ortaya çıkaracak ayrıntıda bilgi içermeyen veri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu davranışı ortaya koyacak ayrıntıda verinin ne olacağı ve sürücü davranışlarının serbest akım hızı ve kapasite üzerindeki etkilerinin incelenmesi, üzerinde durulması ve araştırılması gereken ileri düzeyde bir konudur.

Tez çalışması, yol yüzeyinin kuru, görüşün açık olduğu yağışsız yaz günlerinde toplanan trafik akım verileri için gerçekleştirilmiştir. Benzer bir çalışma yağış etkisinin akım özelliklerini değiştirdiği durumlar için de gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- AASHTO** (2001). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (4th Ed.). Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Akçelik, R.** (2011). Roundabout metering signals: Capacity, performance and timing, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 16, 686-696.
- Akın, D., Sisiopiku, V. P. ve Skabardonis, A.** (2011). Impacts of weather on traffic flow characteristics of urban freeway in Istanbul, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 16, 89-99.
- Al-Kaisy, A., Hall, F. L. ve Reisman, E. S.** (2002). Developing passenger car equivalents for heavy vehicles on freeways during queue discharge flow, *Transportation Research: Part A*, Vol. 36, 725-742.
- Athol, P.** (1965). Interdependence of certain operational characteristics within a moving traffic stream, *Highway Research Record*, Vol. 72, 58-87.
- Bains, M. S., Ponnu, B. ve Arkatkar, S. S.** (2012). Modelling of traffic flow Indian expressways using simulation technique, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 43, 475-493.
- Banks, J. H.** (1989). Freeway speed-flow-concentration relationships: More evidence and interpretations, *Transportation Research Record*, Vol. 1225, 53-60.
- Bayazıt, M.** (1996). *İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri*, İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Chin, H. C. ve May, A. D.** (1991). Examination of the speed-flow relationship at the Caldecott tunnel, *Transportation Research Record*, Vol. 1320, 75-82.
- Chung, K., Rudjanakanoknad, J. ve Cassidy, M. J.** (2006). Relation between traffic density and capacity drop at three freeway bottlenecks, *Transportation Research: Part B*, Vol. 41, 82-95.
- Çalışkanelli, S. P., Tanyel, S. ve Varlıorpak, Ç.** (2005). Sinyalize kavşakların denetimsiz kavşak kapasitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi, 4. *Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu*, Eskişehir: 15-16 Aralık.
- De Luca, M., Lamberti, R. ve Dell' Acqua, G.** (2012). Freeway free flow speed: A case study in Italy, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 54, 628-636.
- Demarchi, S. H. ve Setti, J. R.** (2003). Limitations of passenger-car equivalent derivation for traffic streams with more than one truck type, *Transportation Research Record*, Vol. 1852, 96-104.
- Devore, J. L.** (1995). *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences* (4th Ed.). California, USA: Duxbury Press.

- Dowling, R. G., Kittelson, W., Zegeer, J. ve Skabardonis, A.** (1997). *Planning Techniques to Estimate Speeds and Service Volumes for Planning Applications*, NCHRP Report 387, Washington, D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.
- Drake, J. S., Schofer, J. L. ve May, A. D.** (1967). A statistical analysis of speed density hypotheses, *Transportation Research Record*, Vol. 154, 53-87.
- Duncan, N. C.** (1976). A note on speed/flow/concentration, *Traffic Engineering and Control*, Vol. 17, No. 1, 34-35.
- Duncan, N. C.** (1979). A further look at speed/flow/concentration, *Traffic Engineering and Control*, Vol. 20, No. 10, 482-483.
- Edde, B.** (1993). *Radar: Principles, Technology, Applications*, New Jersey: Prentice Hall.
- EIS** (2003). *ITS Designer's Guide to RTMS Products*, (Issue 2). Toronto, Ontario: Electronic Integrated Systems Inc.
- Elefteriadou, L., Roess, R. P. ve McShane, W. R.** (1995). The probabilistic nature of breakdown at freeway-merge junctions, *Transportation Research Record*, Vol. 1484, 80-89.
- Elefteriadou, L., Tobric, D. ve Webster, N.** (1997). Development of passenger car equivalents for freeways, two-lane highways, and arterials, *Transportation Research Record*, Vol. 1572, 51-58.
- Elefteriadou, L. ve Lertworawanich, P.** (2003). Defining, measuring and estimating freeway capacity, In TRB's 2003 Annual Meeting CD-ROM (pp. 1-17), *82nd Annual Meeting*, Transportation Research Board, Washington, D.C.: January 12-16.
- Ergun, G., Gün, F. ve Çalışkan, B.** (2007). Link-kapasite fonksiyonlarının geliştirilmesi, *Rapor*, Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bebek, İstanbul: İstanbul Metropolitan Planlama ve Kentsel Tasarım Merkezi.
- Fan, H. S. L.** (1990). Passenger car equivalents for vehicles on Singapore expressways, *Transportation Research: Part A*, Vol. 24A, No. 5, 391-396.
- FHWA** (2006). *Traffic Detector Handbook*, (3rd Ed.). Washington, D.C.: Federal Highway Administration.
- Gartner, N., Messer, C. J. ve Rathi, A. K.** (Ed.). (2001). *Traffic Flow Theory – A State-of-the-Art Report*. Washington, D.C.: Federal Highway Administration.
- Gedizlioğlu, E.** (1988). Traffic flow on Bosphorous Bridge and approaches, In Y. Candemir, N. Y. Çoban ve L. Özkale (Ed.), *International Symposium on Approaches to Regional Transport Problems: Middle East Requirements*, (pp. 455-463). İstanbul Technical University Transportation and Vehicles Research Center, İstanbul: May 23-26.
- Gedizlioğlu, E. ve Akad, M.** (1992). Kent içi şiseboynu kesimlerde kapasite kullanımı: Boğaziçi köprüsü örneği. İçinde A. M. Ansal ve E. Gedizlioğlu (Ed.), *İstanbul 2. Kentiçi Ulaşım Kongresi Bildiriler*

- Kitabı*, (s. 323-338). TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Ayazağa, İstanbul: 16-18 Aralık.
- Geistefeldt, J.** (2009). Estimation of passenger car equivalents based on capacity variability, *Transportation Research Record*, Vol. 2130, 1-6.
- Gerlough, D. ve Huber, M. J.** (1975). *Traffic Flow Theory – A Monograph*, Special Report 165, Washington, D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.
- Greenshields, B. D.** (1935). A study of traffic capacity, *Highway Research Board Proceedings*, Vol. 14, 448-477.
- Günay, B.** (2004). An investigation of lane utilisation on Turkish highways, *ICE Journal of Transport*, Vol. 157, No. 1, 43-49.
- Hall, F. L., Allen, B. L. ve Gunter, M. A.** (1986). Empirical analysis of freeway flow-density relationships, *Transportation Research: Part A*, Vol. 20A, No. 3, 197-210.
- Hall, F. L. ve Hall L. M.** (1990). Capacity and speed-flow analysis of the Queen Elizabeth Way in Ontario, *Transportation Research Record*, Vol. 1287, 108-118.
- Hall, F. L., Hurdle, V. F. ve Banks, J. H.** (1992). Synthesis of recent work on the nature of speed-flow and flow-occupancy (or density) relationships on freeways, *Transportation Research Record*, Vol. 1365, 12-18.
- HRB** (1965). *Highway Capacity Manual*, Special Report 87, Washington D.C.: Highway Research Board, National Research Council.
- Huber M. J.** (1982). Estimation of passenger-car equivalents of trucks in traffic stream, *Transportation Research Record*, Vol. 869, 60-70.
- İBB-TKM** (2011). Veri Temini, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Kontrol Merkezi, Ek Hizmet Binası, Merter, İstanbul.
- KGM** (2009). 2009 Yılı Çalışmaları, *Faaliyet Raporu*, Karayolları Genel Müdürlüğü, 17. Bölge Planlama Başmühendisliği, Zincirlikuyu, İstanbul.
- KGM** (2010). Arşiv Araştırması, Karayolları Genel Müdürlüğü, 17. Bölge, Zincirlikuyu, İstanbul.
- KGM** (2011). Veri Temini, Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü Trafik Yönetim Merkezi, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü Gişeler Bölgesi, Etiler, İstanbul.
- Kutlu, K.** (1993). *Trafik Tekniği*, İstanbul: İTÜ Matbaası.
- Lawrence, A. K.** (1997). *Millimeter-Wave and Infrared Multisensor Design and Signal Processing*, Norwood, Massachusetts: Artech House Inc.
- Lorenz, M. R. ve Elefteriadou, L.** (2001). Defining freeway capacity as function of breakdown probability, *Transportation Research Record*, Vol. 1776, 43-51.
- May, A. D., Athol, P., Parker W. ve Rudden, J. B.** (1963). Development and evaluation of Congress Street Expressway pilot detection system, *Highway Research Record*, Vol. 21, 48-68.

- May, A. D.** (1990). *Traffic Flow Fundamentals*, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Mu, R. ve Yamamoto, T.** (2012). An analysis on mixed traffic flow of conventional passenger cars and microcars using a cellular automata model, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 43, 457-465.
- Murat, Y. Ş.** (1998). Denizli şehir içi kavşaklarındaki trafik akımının incelenmesi. İçinde G. Evren, E. Gedizlioğlu (Ed.) 4. *Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı I*, (s. 121-133). TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Denizli: 3-5 Haziran.
- Murat, Y. Ş.** (2001). Sinyal devre tasarımının kavşak kapasitesine etkisi, *III. Ulaşım ve Trafik Kongre ve Sergisi*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara: 18-20 Mayıs.
- Normann, O. K. ve Walker, W. P.** (1949). Highway Capacity: Practical Applications of Research, *Public Roads- A Journal of Highway Research*, Vol. 25, No. 10, 201-236.
- Ozan, C.** (2009). İzmir – Aydın otoyolu kapasite analizi. İçinde Ö. Z. Alku (Ed.), *İzmir Ulaşım Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, (s. 603-612). TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir: 8-9 Aralık.
- Öğüt, K. S.** (1998). Trafik akımlarının spektral analiz yöntemi ile modellenmesi. İçinde G. Evren, E. Gedizlioğlu (Ed.) 4. *Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı I*, (s. 147-155). TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Denizli: 3-5 Haziran.
- Öğüt, K. S.** (2004). Toll plazası at Bosphorous Bridge, *6th International Congress on Advances in Civil Engineering*, Bogazici University, Bebek, İstanbul: October 6-8.
- Persaud, B. N. ve Hurdle, V. F.** (1991). Freeway capacity: Definition and measurement issues. In U. Brannolte (Ed.), *Highway Capacity and Level of Service. Proceedings of the International Symposium on Highway Capacity*, (pp. 289-307). Karlsruhe, Germany: July 24-27.
- Schoen, J., May, A., Reilly, W. ve Urbanik, T.** (1995). Speed-flow relationships for basic freeway sections, *Final Report*, NCHRP Project 3-45, Tucson, Arizona: JHK and Associates.
- Şahin, İ.** (2001). İstanbul Boğaziçi Köprüsü bağlantı yollarında kapasite kullanım düzeyinin araştırılması. İçinde G. Evren ve E. Gedizlioğlu (Ed.) 5. *Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı*, (s. 223-230). TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Beşiktaş, İstanbul: 30-31 Mayıs.
- Şahin, İ., Akyıldız, G., Zorer, A. ve Gedizlioğlu, E.** (2004). Uzun otoyol kuyruklarının incelenmesi ve iyileştirme stratejilerinin araştırılması, *TÜBİTAK Proje Raporu*, (Proje No. 101|061). İnşaat ve Çevre Teknolojileri Araştırma Grubu, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, İstanbul.
- Şen, Z.** (2011). Kişisel görüşme. 14 Nisan, İstanbul.
- Tanyel, S., Çalışkanelli, S. P., Aydın, M. M. ve Utku, S. B.** (2013). Yuvarlakada kavşaklardaki ağır araç etkisinin incelenmesi, *İMO Teknik Dergi*, Cilt 24, Sayı 4, 6479-6504.

- Thenoux, G. ve Lastra, S.** (2005). Producing a free-flow model for the first Chilean freeway using Highway Capacity Manual 2000, *Technical Note, ASCE Journal of Transportation Engineering*, Vol. 131, No. 12, 961-962.
- TRB** (1985). *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, (3rd Ed.). Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.
- TRB** (1994). *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, (3rd Ed., 1st Update). Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.
- TRB** (1997). *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, (3rd Ed., 2nd Update). Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.
- TRB** (2000). *Highway Capacity Manual*, S.I. Units, (4th Ed.). Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.
- TRB** (2010). *Highway Capacity Manual*, Transportation Research Board, (5th Ed.). Washington D.C.: National Research Council.
- Umar, F.** (1951). *Yolların Kapasitesi*, İstanbul: Teknik Üniversite Matbaası.
- Url-1** < <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/DevletliYolEnvanter/SatihYolAgiUzunlugu.pdf> >, erişim tarihi 01.01.2013.
- Url-2** < <http://www.tcdd.gov.tr/Upload/Files/ContentFiles/2010/istatistik/20082012yillik.pdf> >, erişim tarihi 12.11.2013.
- Url-3** < <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Kurumsal/KanunMevzuat/kanun1593.pdf> >, erişim tarihi 12.11.2013.
- Url-4** < <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=1.5.2918&MevzuatIliski=0&source XmlSearch=>> >, erişim tarihi 12.11.2013.
- Url-5** < http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c4/Highway_map_of_Turkey.png >, erişim tarihi 22.11.2013.
- Url-6** < <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/OtoyolEnvanterBilgisi/YillitibariOtoyolUzunlugu.pdf> >, erişim tarihi 12.11.2013.
- Url-7** < <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionImages/KGMimages/Otoyollar/istanbul2013.jpg> >, alındığı tarih: 12.11.2013.
- Webster, N. ve Elefteriadou, L.** (1999). A simulation study of truck passenger car equivalents (PCE) on basic freeway sections, *Transportation Research: Part B*, Vol. 33, 323-336.
- Yalçın, C. C.** (1975). *Yolların Kapasitesi*, Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Mustafa TANIŞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Kayseri, 1974

Adres: Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı 67100 İncivez Zonguldak

E-Posta: tanis@itu.edu.tr; tanis@beun.edu.tr

Lisans: K.T.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 1998

Yüksek Lisans: İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Mühendisliği Programı, 2002

Mesleki Deneyimler ve Ödüller:

Yayın ve Patentler:

Yayın Listesi:

Tezcan, H. O. ve **Taniş, M.** (2011). Does the academic rank matter? Study on the trip preferences of academicians from different ranks employed at Istanbul Technical University, *ASCE Journal of Urban Planning and Development*, Vol. 137, No. 3, 272-280.

Öğüt, K. S. ve **Taniş, M.** (2008). Yaya hareket alanları, *Bodrum Yarımadasının Çevresel ve Yapısal Geleceği Sempozyumu*, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Bodrum, Muğla: 6-9 Mart.

Taniş, M. ve Öğüt, K. S. (2008). Küçük ölçekli yerleşimlerde ara toplu taşıma sistemleri, *Bodrum Yarımadasının Çevresel ve Yapısal Geleceği Sempozyumu*, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Bodrum, Muğla: 6-9 Mart.

Taniş, M. ve Öğüt, K. S. (2007). Orta ölçekli kentler için toplu taşıma seçeneklerinin teknik ve mali karşılaştırması, *5. Kentsel Altyapı Sempozyumu*, İnşaat Mühendisleri Odası Hatay Şubesi, Antakya, Hatay: 1-2 Kasım.

