

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAĞ YOLCULUK SÜRELERİNİN ÖLÇÜM VE MODELLEME KAPSAMINDA
İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Göker AKSOY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAĞ YOLCULUK SÜRELERİNİN ÖLÇÜM VE MODELLEME KAPSAMINDA
İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Göker AKSOY
(501091456)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hilmi Berk ÇELİKOĞLU

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091456 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Göker AKSOY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BAĞ YOLCULUK SÜRELERİNİN ÖLÇÜM VE MODELLEME KAPSAMINDA İRDELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Hilmi Berk ÇELİKOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ergun GEDİZLİOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Serhan TANYEL
Dokuz Eylül Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **07 Haziran 2012**

Aileme,

ÖNSÖZ

Özellikle İstanbul gibi nüfusu ve yolculuk ihtiyacı sürekli artan şehirlerde ulaştırma sistemlerine ait güvenilirlik ve yolculuk süresi kavramları büyük öneme sahiptir. Günümüzde yol kullanıcıları, bir noktadan başka bir noktaya olan güzergâh tercihlerinde mesafenin yanı sıra yolculuk süresi bilgisini daha çok sorgulamaktadırlar. Bu tez ile bağ yolculuk sürelerini yüksek duyarlılıkla belirleyebilmek ve gerçek zamanlı yolculuk süresi bilgisini kullanıcılara sunmak için en doğru kestirimi yapabilmek adına bir yol gösterilmiştir. Çalışma güzergâhı olarak, İstanbul ve Türkiye ulaşım ağının en önemli parçası olan TEM Otoyolu seçilmiş ve üzerinde belirlenen bağlarda çalışmalar yürütülmüştür.

Küresel Konumlandırma Sistemi, Bluetooth trafik algılayıcıları gibi trafik mühendisliği çalışmalarında son dönemlerde kullanılmaya başlayan teknolojilerden faydalanarak yolculuk süresi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, mikrodalga trafik algılayıcılarıyla trafik akımına ait eş zamanlı toplanan veriler de kullanılarak yolculuk süresi türetimi ve kestirimi üzerine incelemeler gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada sınanan veriler ve faydalanılan yazılım/donanım, AB COST aksiyonu ile 111M415 sayılı ve ‘Ağ akım yayılımının analizi: model geliştirme ve kalibrasyonda benzetim modelleri uygulaması’ başlıklı TÜBİTAK COST projesi kapsamında elde edilmiştir.

Mayıs 2012

Göker AKSOY
(Harita ve İnşaat Mühendisi)

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca desteğini ve anlayışını hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve deneyimi ile çalışmamı yönlendiren, sağladığı imkânlarla tezin gelişmesinde büyük emeği olan ve ihtiyaç duyduğum her an yanımda bulunan hocam, Sayın Doç. Dr. Hilmi Berk ÇELİKOĞLU'na,

Görüş ve önerileriyle beni aydınlatan, verdiği tavsiyelerle çalışmamın gelişmesinde katkısı olan ve öğrendiğim birçok bilgiyi borçlu olduğum Sayın Prof. Dr. Ergun GEDİZLİOĞLU'na,

Programlama bilgisiyle gereken algoritmaların yazımında ve grafiklerin çiziminde, ayrıca yapılan saha ölçümlerinde yardımlarıyla destek olan Araş. Gör. Onur DENİZ'e,

Manevi desteklerini her an hissettiğim çalışma arkadaşlarım, Araş. Gör. Sabahat TOPUZ KİREMİTÇİ'ye, Araş. Gör. Can Arda KİREMİTÇİ'ye ve Araş. Gör. Fatih YONAR'a,

Bugünlere gelmemde her türlü fedakârlığı gösteren ve attığım her adımda desteklerini esirgemeyen canım annem Ümmügülsüm AKSOY'a, değerli babam Erdoğan AKSOY'a ve sevgili kardeşim Gözde AKSOY'a, Sayın KAFADAR, ÇELİK ve ALFERT ailelerine,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2012

Göker AKSOY
(Harita ve İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Katkısı.....	1
1.2 Tezin Organizasyonu.....	2
2. TRAFİK AKIM DİNAMİKLERİNİN TEMELİ	5
2.1 Trafik Akım Dinamikleri	5
2.1.1 Asal değişkenler	6
2.1.1.1 Yol – zaman gösterimi	6
2.1.1.2 Taşıt sayısı - zaman gösterimi.....	8
2.1.2 Türetilmiş Değişkenler.....	12
2.1.2.1 Akım hacmi	13
2.1.2.2 Yoğunluk.....	14
2.1.2.3 Hız	15
2.1.3 Türetilmiş Değişkenler Arasındaki İlişkiler.....	15
2.1.3.1 Hız – yoğunluk ilişkisi	16
2.1.3.2 Akım hacmi – yoğunluk ilişkisi	17
2.1.3.3 Hız – akım hacmi ilişkisi	18
3. YOLCULUK SÜRESİNİN BELİRLENMESİ.....	21
3.1 Yolculuk Süresinin Doğrudan Türetme Yöntemleriyle Belirlenmesi.....	22
3.1.1 KKS donanımlı gözlem aracı ile yolculuk süresinin belirlenmesi.....	24
3.1.2 Bluetooth trafik algılayıcıları ile yolculuk süresinin belirlenmesi.....	25
3.1.3 Diğer yöntemler ile yolculuk süresinin belirlenmesi	27
3.2 Yolculuk Süresinin Dolaylı Türetme Yöntemleriyle Belirlenmesi.....	28
3.2.1 Yörünge temelli modeller	28
3.2.1.1 Sabit hız varsayımı yöntemleri	30
3.2.1.2 Değişken hız varsayımı yöntemi.....	34
3.2.2 Trafik akım kuramı temelli yöntemler	36
3.2.3 Diğer yöntemler	38
4. VERİ ÇÖZÜMLEMESİ, MODEL KALİBRASYONU VE UYGULAMA	
ÇALIŞMASI.....	41
4.1 Faydalanılan Modelleme Yöntemlerinin Kuramsal Yapısı.....	41
4.1.1 Kaba-boyut yaklaşımda doğrusal bağ başarımlı fonksiyonu	42
4.1.2 İnce boyut yaklaşım trafik benzetim modeli.....	45
4.1.2.1 Araç izleme modeli	45

4.1.2.2 Şerit değiştirme modeli	50
4.2 Sayısal Uygulama İçin Alan alışması	52
4.2.1 rnek yol kesimi ve geometrisi	55
4.2.2 Veri toplanması ve veriye ait temel bilgiler	56
4.2.3 Seçilen yöntemlerle yolculuk süresinin belirlenmesi.....	63
4.2.3.1 Doğrusal bağ başarım fonksiyonu ile modelleme	65
4.2.3.2 Seçilen akım üretme modelinin kalibrasyonu ve retimi	68
4.2.3.3 Sabit hız varsayımli ekstrapolasyon yöntemleri ile yolculuk süresi türetimi	70
4.2.3.4 Değişken hız varsayımı ile yolculuk süresi türetimi	77
4.2.4 Sınamalar ve karşılaştırmalı başarım değerlendirilmesi	79
4.3 Seçilen Yöntemlerin Bileşeni Olduğu Yolculuk Süre Bilgisi Yayımlı Sürecine Yönelik Yaklaşım nermesi	82
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	85
KAYNAKLAR.....	87
EKLER.....	93
ZGEMİş.....	107

KISALTMALAR

GPS	: Global Positioning System
KKS	: Küresel Konum Belirleme Sistemi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
MAC	: Media Access Control
FSM	: Fatih Sultan Mehmet
TEM	: Trans European Motorway
WGS-84	: World Geodetic System 1984
GSM	: Global System For Mobile Mobile Communications
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
RFID	: Radio-Frequency Identification
DTA	: Dinamik Trafik Ataması
DAY	: Dinamik Ağ Yükleme

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Mikrodalga trafik algılayıcısı ile elde edilen örnek veri dosyası	57
Çizelge 4.2 : KKS cihazı ile toplanan örnek veri dosyası.	58
Çizelge 4.3 : İşlenmemiş örnek Bluetooth veri dosyası.	59
Çizelge 4.4 : Birbiriyle eşleştirilmiş Bluetooth veri dosyası ve yolculuk süreleri	59

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Yol – zaman gösterimi (Daganzo, 1997).	7
Şekil 2.2 : Yol – zaman eğrileri (Cassidy, 1999).....	8
Şekil 2.3 : Taşıt sayısı - zaman ve eklenik taşıt sayısı - zaman gösterimi.	8
Şekil 2.4 : Eklenik taşıt sayısı fonksiyonunun elde edilmesi (Daganzo, 1997).	9
Şekil 2.5 : İki gözlem kesitinden elde edilen eklenik taşıt sayısı fonksiyonları.	10
Şekil 2.6 : Ötelenmiş eklenik taşıt sayısı eğrisi.	10
Şekil 2.7 : Ölçeklendirilmiş eklenik taşıt sayısı - zaman eğrisi.	12
Şekil 2.8 : Hız – yoğunluk ilişkisi.	16
Şekil 2.9 : Akım hacmi – yoğunluk ilişkisi.	17
Şekil 2.10 : Hız – akım hacmi ilişkisi.	18
Şekil 2.11 : Temel eğriler arasındaki ilişkiler.	19
Şekil 3.1 : Türetim ve kestirim yöntemleri arasındaki fark (van Lint, 2004).	22
Şekil 3.2 : Bluetooth algılayıcılar ile yolculuk süresi tespiti.	26
Şekil 3.3 : Ekstrapolasyon yöntemlerinin açıklanması için şematik gösterim.	31
Şekil 3.4 : Değişken hız yönteminde hız ve yolculuk süresi değişimi.	35
Şekil 3.5 : Taşıt yörüngesi değişiminin hücrelerle gösterimi (van Lint, 2004).	36
Şekil 3.6 : Üçgensel akım hacmi – yoğunluk ilişkisi (Coifman, 2002).	38
Şekil 4.1 : Dinamik trafik ataması süreci (Çelikoğlu, 2009).	43
Şekil 4.2 : Taşıt izleme modeli (PTV AG, 2011).	50
Şekil 4.3 : Vissim şerit değiştirme modelleri.	52
Şekil 4.4 : 4 – 8 Temmuz 2011 haftasına ait ölçüm güzergâhı.	53
Şekil 4.5 : 23 – 26 Ocak 2012 haftasında ait ölçüm güzergâhı.	55
Şekil 4.6 : Seçilen çalışma güzergâhı.	55
Şekil 4.7 : Çalışma güzergâhı ve oluşturulan bağlar.	56
Şekil 4.8 : Mikrodalga algılayıcılar ve numaraları.	57
Şekil 4.9 : KKS ile elde edilen yön 1 için sabah zirve saatteki hız değişimi.	60
Şekil 4.10 : KKS ile elde edilen yön 1 için akşam zirve saatteki hız değişimi.	60
Şekil 4.11 : KKS ile elde edilen yön 2 için sabah zirve saatteki hız değişimi.	61
Şekil 4.12 : KKS ile elde edilen yön 2 için akşam zirve saatteki hız değişimi.	61
Şekil 4.13 : Yön 1 için sabah zirve saatteki yol-zaman gösterimi.	62
Şekil 4.14 : Yön 1 için akşam zirve saatteki yol-zaman gösterimi.	62
Şekil 4.15 : Yön 2 için sabah zirve saatteki yol-zaman gösterimi.	63
Şekil 4.16 : Yön 2 için akşam zirve saatteki yol-zaman gösterimi.	63
Şekil 4.17 : 4 Temmuz 2011 sabah yön 1 için yolculuk süresi değişimleri.	66
Şekil 4.18 : 4 Temmuz 2011 sabah yön 2 için yolculuk süresi değişimleri.	66
Şekil 4.19 : 4 Temmuz 2011 akşam yön 1 için yolculuk süresi değişimleri.	67
Şekil 4.20 : 4 Temmuz 2011 akşam yön 2 için yolculuk süresi değişimleri.	67
Şekil 4.21 : 4 Temmuz 2011 sabah yön 1, Vissim ile elde edilen yolculuk süreleri.	69
Şekil 4.22 : 4 Temmuz 2011 sabah yön 2, Vissim ile elde edilen yolculuk süreleri.	69

Şekil 4.23 :	4 Temmuz 2011 akşam yön 1, Vissim ile elde edilen yolculuk süreleri.	70
Şekil 4.24 :	4 Temmuz 2011 akşam yön 2, Vissim ile elde edilen yolculuk süreleri.	70
Şekil 4.25 :	En küçük hız yöntemiyle sabah yön 1 için elde edilen dağılımlar.	71
Şekil 4.26 :	En küçük hız yöntemiyle sabah yön 2 için elde edilen dağılımlar.	72
Şekil 4.27 :	En küçük hız yöntemiyle akşam yön 1 için elde edilen dağılımlar.	72
Şekil 4.28 :	En küçük hız yöntemiyle akşam yön 2 için elde edilen dağılımlar.	73
Şekil 4.29 :	Yarı mesafe yöntemiyle sabah yön 1 için elde edilen dağılımlar.	73
Şekil 4.30 :	Yarı mesafe yöntemiyle sabah yön 2 için elde edilen dağılımlar.	74
Şekil 4.31 :	Yarı mesafe yöntemiyle akşam yön 1 için elde edilen dağılımlar.	74
Şekil 4.32 :	Yarı mesafe yöntemiyle akşam yön 2 için elde edilen dağılımlar.	75
Şekil 4.33 :	Ortalama hız yöntemiyle sabah yön 1 için elde edilen dağılımlar.	75
Şekil 4.34 :	Ortalama hız yöntemiyle sabah yön 2 için elde edilen dağılımlar.	76
Şekil 4.35 :	Ortalama hız yöntemiyle akşam yön 1 için elde edilen dağılımlar.	76
Şekil 4.36 :	Ortalama hız yöntemiyle akşam yön 2 için elde edilen dağılımlar.	77
Şekil 4.37 :	Değişken hız yöntemiyle sabah yön 1 için elde edilen dağılımlar.	77
Şekil 4.38 :	Değişken hız yöntemiyle sabah yön 2 için elde edilen dağılımlar.	78
Şekil 4.39 :	Değişken hız yöntemiyle akşam yön 1 için elde edilen dağılımlar.	78
Şekil 4.40 :	Değişken hız yöntemiyle akşam yön 2 için elde edilen dağılımlar.	79
Şekil 4.41 :	Yolculuk süresi kestirim süreci.	84

BAĞ YOLCULUK SÜRELERİNİN ÖLÇÜM VE MODELLEME KAPSAMINDA İRDELENMESİ

ÖZET

Ulaştırma mühendisliği açısından temel bir ölçü olan ‘yolculuk süresi’ kavramı; kullanıcılar, yöneticiler ve ulaştırma mühendisleri gibi geniş bir kitle tarafından en kolay anlaşılan ve belirlenebilen bir ölçüttür. Hem başarımlı ölçütü olarak hem de kullanıcıların güzergâh seçim karar verme aşamasında önemli bir yeri olan yolculuk süresi, akıllı ulaştırma sistemleri uygulamalarında kullanıcılara çevirim içi bilgi sağlamak amacıyla da kullanılmaktadır. Bu çalışma ile yolculuk süresi türetme yöntemlerinin en doğru şekilde kullanılmasıyla, kullanıcılara sunulan yolculuk süresi kestirimindeki doğruluk payını arttırmak hedeflenmiştir.

Ulaştırma sistemlerinin temel amacının kullanıcılara fayda sağlamak olduğu düşünüldüğünde, özellikle iş ve okul yolculukları gibi zirve saat trafiğinin büyük bir kısmını oluşturan yolculuklarda, yolculuk süresinin belli sınırlar içerisinde kalması gerektiği görülür. Ulaştırma sistemi kullanıcıları için bu derece rijit bir yapısı olan yolculuk süresi, plansız büyüyen ve karayolu ulaştırması baskın kentsel alanlar söz konusu olduğunda, katlanılamaz seviyelere çıkmaktadır. Güncel ekonomik gelişmelerle eşzamanlı olarak artan ve farklılaşan hizmet türleri ile bunların seçeneklerinin, planlama politikalarından yoksun biçimde arazi kullanımına etkimesi sonucu, dengesiz ve abartılmış trafik talebi meydana gelmekte, ayrıca nüfus artışı gibi demografik özelliklerin değişimi karşısında ulaştırma sistemi altyapısı da yetersiz kalabilmekte ve dolayısıyla çözülemez tıkanıklıklara neden olmaktadır.

Bu çalışmada; yolculuk sürelerinin, ölçüm yöntemleri ve trafik algılayıcıları verilerinden türetilmesi üzerinde yoğunlaşmış, yolculuk süresi kestirim sürecine yönelik bir yaklaşım önerilmiş ve gerçek hayattaki olası uygulama alanlarından bahsedilmiştir. Yolculuk sürelerinin türetimi ve kestirimi arasındaki ayrım ortaya konarak, türetim/modelleme kapsamında yapılan çalışmalar irdelenmiştir. Seçilen farklı yöntemlerle türetilen yolculuk süreleri, gerçek yolculuk süreleri ile karşılaştırılmıştır.

Trafik akım dinamiklerinin anlatıldığı bölüm sonrası yolculuk süresinin doğrudan türetilmesi, başka bir deyişle gelişmiş teknolojiler yardımıyla ölçülmesi anlatılmıştır. Bu yöntemlerden küresel konumlandırma sistemi (KKS) donanımlı gözlem aracı ve Bluetooth trafik algılayıcılarından faydalanarak alan çalışması ile yolculuk süresi ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Yolculuk süresinin türetilmesinde kullanılan yörünge temelli yöntemler, trafik akım kuramı temelli yöntemler ve diğer yöntemler, ilgili temel çalışmalara değinilerek ayrıntılı biçimde irdelenmiştir. Çalışmada da kullanılan, sabit ve değişken hız varsayımli yörünge temelli yöntemler ile yolculuk süresinin türetimine ilişkin ayrıntılı açıklamalara yer verilmiştir. Yolculuk süresi türetim duyarlılığını arttırmak için, trafik akımının dinamik özelliğini dikkate alan yaklaşımlardan bahsedilmiştir.

Kullanılan kaba-boyut ve ince-boyut modellerin kuramsal yapıları, girdi verisi olarak kullanılan değişkenler ve modelleme için yapılan varsayımlar açıklanmış ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Yolculuk süresi çalışmaları için ince-boyut benzetim modelinden var olan bir yazılımla (Vissim); kaba-boyut modelden ise kuramsal yapısının kodlanması ile faydalanılmıştır.

Kaba boyut model olarak Friesz ve diğerlerinin doğrusal yolculuk süresi modeli kullanılmıştır. Gün-içi yolculuk sürelerinin dağılımını belirleyebilmek için ağ modellerinde sıkça faydalanılan bu model ile yolculuk sürelerini akşam ve sabah zirve saatleri için hesaplanmıştır.

İstanbul TEM Otoyolu üzerinde belirlenen çalışma güzergâhında mikrodalga trafik algılayıcıları ile toplanan trafik akım verisi kullanılarak, ince-boyut akım modelinin benzetildiği yazılımın kalibrasyonu yapılmıştır. İnce-boyut benzetim modelinde gerçek konumlarına yerleştirilen trafik algılayıcılarıyla trafik akımına ait tekrar üretilen veriler, belirli bir zaman aralığında toplulaştırılmıştır. Yeniden üretilen algılayıcı verileri ile yörünge temelli yöntemler kullanılarak bağlar için yolculuk süreleri türetilmiştir.

Katılma ve ayrılma bölgesinin olmadığı çalışma güzergâhı, ince-boyut benzetim modelinde, çalışma için oluşturulan bağların öncesinde ve sonrasında bulunan, Ümraniye ve Kavacık Kavşağı'nı kapsayan bir alan boyunca modellenmiştir.

Temmuz 2011 ve Ocak 2012 tarihlerinde belirlenen bir hafta boyunca, çalışma güzergâhında KKS donanımlı gözlem aracı ile yolculuk süresi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Ocak 2012 ölçüm haftasında KKS ile eş zamanlı olarak Bluetooth trafik algılayıcıları kullanılarak da yolculuk süreleri ölçülmüştür.

Yörünge temelli yöntemler ile üretilen yolculuk süreleri, ince-boyut benzetim yazılımından elde edilen yolculuk süreleriyle karşılaştırılmıştır. Gerçek yolculuk süreleriyle ekstrapolasyon yöntemleriyle üretilen yolculuk sürelerinin istatistiksel analizleri yapılarak başarımları sınanmıştır.

KKS donanımlı gözlem aracıyla ölçülen gerçek yolculuk süreleri; ince-boyut benzetim modelinden elde edilen ve Friesz ve diğerlerinin doğrusal yolculuk süresi modeli ile hesaplanan yolculuk süreleriyle karşılaştırılmıştır. Her iki model sonucunun, yolculuk süresi üretimindeki başarımları değerlendirilmiştir.

Gerçek yolculuk süresi bilgisi, mikrodalga trafik algılayıcıları gibi yol kenarına yerleştirilen Bluetooth trafik algılayıcıları ile ölçülebilir. KKS ile taşıtlardan sağlanan verilerin bir merkez istasyona aktarılmasıyla, yolculuk süresi ve hız gibi bilgiler yüksek duyarlılıkla ve çevirim içi belirlenebilir. Daha basit bir yaklaşımla, yol boyunca belirli kesitlere yerleştirilen trafik algılayıcılarından elde edilen taşıt sayıları kullanılarak; yol kesiminin kapasite, tıkanıklık yoğunluğu ve şerit sayısı gibi özellikleri göz önüne alınarak, yolculuk süresi, matematik yöntemlerle de türetilir.

Türetilen yolculuk süreleri, var olan trafik koşullarının değişmeyeceği varsayımıyla bağ yolculuk süreleri hakkında bilgi sağlamaktadırlar. Gerçekte ise kullanıcı, güzergâhını tamamlayana kadar akım koşullarında değişiklik meydana gelebilir. Bu da, var olan akım koşulları için türetilen yolculuk süresi ile kısa bir süre sonra gerçekleştirilecek olan yolculuğun süresi arasında farka yol açabilmektedir. Bu nedenle kullanıcılar için yolculuk süresinin üretimi yerine, kısa bir süre sonraki zaman aralıklarına dair yolculuk süresi kestirimi daha fazla yarar sağlayabilir.

Yolculuk süresi kestirim süreci, trafik algılayıcılarından elde edilen gerçek zamanlı ve geçmiş trafik akımına ait verilerle akıllı ulaştırma sistemlerinin bir bileşeni olarak uygulanabilir. Trafik akımına ait geçmiş veriler, Bluetooth trafik algılayıcılarıyla ve KKS donanımlı araçlarla ölçülen yolculuk süresi bilgileriyle birlikte kullanılarak, gerçek zamanlı elde edilen trafik algılayıcı verileriyle yolculuk süresi kestirimi yapılabilir.

Tüm bu yöntemlerin bileşeni olduğu yolculuk süresi kestirimi süreciyle elde edilen değerler, kullanıcılara, güzergâh seçimlerinde kullanmaları için çevirim içi olarak sunulabilir. Böylece, özellikle yoğun kentsel alanlarda, kullanıcılar güzergâh seçerken uzaklık bilgisinin yanında yolculuk süresi bilgisini de göz önünde bulundurabilirler.

Trafik akımının dinamik özelliğini dikkate alarak ve var olan teknolojilerden en uygun biçimde faydalanarak kullanıcılara en doğru yolculuk süresi bilgisi sunabilmek, güzergâh seçimi ve kullanıcıların ulaştırma sisteminden elde edeceği faydayı enbüyüklemek bakımından önemlidir. Bu nedenle, özellikle kent içi karayolu ağlarında, talebin yoğun olduğu bölgelerde kullanıcılara sunulan yolculuk süresi bilgisinin önemi daha da artmaktadır.

EXPLICIT ANALYSIS ON LINK TRAVEL TIMES WITHIN MEASURING AND MODELLING ISSUES

SUMMARY

The basic purpose of a transportation system is to maximize the utility of its users. Considering that the travel time measure should be kept in certain limits especially for the trips comprising a large amount of the peak hour traffic, such as home based school trips and home based work trips, this measure becomes intolerable for system users where the cities grow unplanned with a road-dependent transportation.

‘Travel time’ which is a basic concept in terms of transportation engineering is the most apparent and identifiable quantity that can be easily understood by a large mass of people such as users, administrators, and transportation engineers. The travel time is an important measure, both as a performance indicator and a route choice decision variable, and can be used for the purpose of providing online information in Intelligent Transportation Systems' applications. The motivation of the present study is to justify the accurate use of the travel time estimation (or reconstruction) methods which consequently yields to increases on the accuracy of travel time prediction.

In this study; estimation approaches on travel time and relevant reconstructions based on traffic detector data is focused. An approach related to travel time prediction process and its possible application fields in real life are suggested. By introducing the difference between travel time estimation and prediction, studies within estimation/modelling are examined. Reconstructed travel times and real values are compared with the selected different methods.

After the chapter related to traffic flow dynamics are represented, direct reconstruction of travel times, in other words, reconstruction with measuring methods by means of advanced technology is explained. The field study on travel time measurement is carried out utilizing a Global Positioning System (GPS) equipped observation tool and a Bluetooth traffic detector.

Travel time reconstruction methods including trajectory methods, methods based on traffic flow theory and other methods are reviewed referring to both fundamental and relevant specific studies. The trajectory methods selected for reconstruction performance analyses, i.e., the hypothetical constant and the variable speed based methods, are explained in details. In order to increase travel time reconstruction accuracy, approaches considering the dynamic features of traffic flow are also reviewed.

The theoretical structure of the macroscopic and microscopic models used and assumptions for modelling are explained preceding the evaluation of results obtained. In reconstruction studies; microscopic modelling approach is employed using an

existing commercial simulation software (PTV AG VISSIM) and macroscopic modelling approach is employed by coding its theoretical structure.

As the macroscopic model, linear travel time function based model of Friesz et al has been utilized. Travel time distributions are sought considering evening and morning peak hours in order to figure out the daily variation of travel time for network-wide purposes.

The calibration of microscopic simulation software is done by sourcing data collected by microwave traffic sensors at specified links on İstanbul Trans European Motorway (TEM). Traffic flow data obtained at microwave sensors are utilized locating sensors to actual locations in the microscopic simulation model. Following, traffic flow data is reproduced in specified time intervals. Travel time is reconstructed according to trajectory methods for links by using sensor data which are reproduced in microscopic simulation.

In microscopic simulation model, the study links without merges and diverges are modelled in an area bounded by Ümraniye and Kavacık Junctions.

On one hand, travel time measurements are carried out with a GPS equipped probe vehicle on the freeway route of our interest throughout one week's time both in June 2011 and in January 2012. On the other hand, travel times are alternatively measured by Bluetooth traffic detectors; those are processed simultaneously with probe vehicle measurements in January 2012.

Travel times reconstructed by trajectory methods are compared with the travel times obtained by the microscopic simulation software. Statistical analyses are carried out to justify the performance of travel time reconstructions with respect to actual measurements.

Travel times can be accurately measured by using Bluetooth traffic detectors that may be easily fixed to roadsides just as other types of traffic detectors/sensors. Travel times can be alternatively reconstructed by indirect methods such as mathematical models.

Assuming that existing traffic flow condition is stationary, reconstructed travel times provide information on link travel times. In practice there may be variations on flow conditions while a user is traversing a route. This may yield to mismatching between the reconstructed travel time for actual situation and the travel time to be experienced in short-term. Therefore, information provision by short-term travel time predictions is more beneficial for users than the information of reconstructed travel times.

Travel time prediction can be performed as a part of intelligent transportation systems' applications by using real-time and historical traffic detector data. Historical measurements on travel times obtained by Bluetooth detectors and GPS equipped probe vehicles can be used to reconstruct, in a meaning to calibrate, a model and feeding this model with real-time traffic data enables a prediction process.

Measures resulting from travel time prediction process that incorporates all the methods of measurement and reconstruction may be disseminated to users online via

intelligent systems so that interactive decision makings relying on current flow conditions can be made. Therefore, especially in dense urban areas, users can be able to consider travel time information in addition to the length of the trip.

Accurate and reliable travel time information dissemination to users by using the existing technology appropriately and considering the dynamic features of traffic flow is substantial to maintain route choice decisions that consequently yield to maximization in users' utilities on a transportation system. Therefore, the importance of travel time information dissemination to users increases especially in urban road networks and in areas where the demand is high.

1. GİRİŞ

Ulaştırma mühendisliği açısından temel bir ölçü olan “yolculuk süresi” kavramı; kullanıcılar, yöneticiler ve ulaştırma mühendisleri gibi geniş bir kitle tarafından en kolay anlaşılan ve belirlenebilen bir ölçüttür. Hem başarımlı ölçütü olarak hem de kullanıcıların karar verme aşamalarında önemli bir yeri olan yolculuk süresi; akıllı ulaştırma sistemleri uygulamasının bir parçası olarak, yolcu bilgilendirme sistemlerinde ve güzergâh seçimlerinde çevirim içi olarak kullanılmaktadır. Ulaştırma sistemlerinin temel amacının insanlara fayda sağlamak olduğu göz önüne alınırsa, yolculuk sürelerinin –günden güne veya gün içerisinde– belirli sınırlar içerisinde kalması ulaştırma sisteminin başarımının sınanmasında ve güvenilirliğinin irdelenmesi bakımından önem kazanmaktadır.

1.1 Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Katkısı

“Yolculuk süresi” kent içi yolculuklarında özellikle ulaştırma türlerinin başarımının sınanmasında önemli bir değerlendirme ölçütüdür. İş ve okul yolculukları gibi zirve saat trafiğinin büyük bir kısmını oluşturan yolculuk amaçları yönünden irdelendiğinde, yolcuların sosyo-ekonomik özellikleri (gelir, hane halkı tipi ve büyüklüğü vb. gibi) ne olursa olsun, yolculuk süresinin belirli sınırlar içerisinde kalması gerektiği görülür. Ulaştırma sistemi kullanıcıları için bu derece rijit bir yapısı olan ‘yolculuk süresi’; plansız büyüyen ve karayolu ulaştırması baskın kentsel alanlar söz konusu olduğunda, katlanılamaz seviyelere çıkmaktadır. Güncel ekonomik gelişmelerle eşzamanlı olarak artan ve farklılaşan hizmet türleri ile bunların alternatiflerinin, planlama politikalarından yoksun biçimde arazi kullanımına etkimesi sonucu, dengesiz ve abartılmış trafik talebi meydana gelmekte, ayrıca nüfus artışı gibi demografik özelliklerin değişimi karşısında ulaştırma sistemi altyapısı da yetersiz kalabilmekte ve dolayısıyla çözülemez tıkanıklıklara neden olmaktadır.

Gerek ulaştırma sistem başarımı değerlendirmesinde gerekse tıkanıklığı ifade eden önemli bir ölçü olan yolculuk süresi üzerine yapılan bu çalışmanın temel amacı;

karayolu ağlarının önemli bileşenleri olan bağlar ve ardışık bağlardan oluşan güzergâhlar üzerinde söz konusu olan bağ-güzergâh yolculuk sürelerinin belirlenmesinde ölçüm ve modelleme uygulamalarını ayrıntıda inceleyerek, seçilen yöntemler ile otoyol yolculuk sürelerinin gerçekçi olarak belirlenebilmesine yönelik irdellemeler yapmak ve uygun yaklaşımlar önermektir.

Çalışma kapsamında; yolculuk süresinin öncelikle bir akım dinamiği ve bağ başarımı ölçüsü olarak trafik akım özellikleri çerçevesinde tanımlandığı ve diğer trafik ölçüleriyle ilişkilerinin irdelendiği bölüm sonrasında, yolculuk süresi ölçümüne yönelik faydalanılan teknolojiler ve araçlar incelenmiş, yolculuk süresi belirlemesine yönelik yapılan modelleme çalışmaları, ağırlıklı olarak sayısal uygulamalı kaynakların araştırılması kapsamında irdelenmiştir. Alan çalışması için belirlenen yol kesimi, kesim akım özellikleri ve yolculuk süresi modelleme aşamasında faydalanılan diğer akım değişkenlerinin ölçümü ile ilgili bilgiler verilmiştir. Amaca yönelik yaklaşım oluşturma aşamasında faydalanılan ve başarımı, gerek seçilen modellerle göreceli gerekse elde edilen gözlem değerleriyle sınanan türetme yönteminin kuramsal temeli açıklanmıştır. Seçilen yöntemin gerçek ölçümlerle karşılaştırılması yapılmış ve başarımı sınanmıştır. Kestirim yönteminin de bir bileşeni olduğu yolculuk süresi belirleme sürecine yönelik bir yaklaşım geliştirilmiş ve gerçek hayattaki olası uygulama alanları, ağırlıklı olarak akıllı sistemlerle trafik yönetimi kapsamında tartışılmıştır.

1.2 Tezin Organizasyonu

Yapılan çalışmanın amacı ve kapsamının anlatıldığı birinci bölümün ardından, ikinci bölümde trafik akım dinamiklerinin ve sonraki bölümlerde sıkça kullanılan terimlerin tanımlaması yapılmıştır. Üçüncü bölümde, yolculuk süresinin günümüz teknolojisinin izin verdiği -en iyi şekilde- nasıl ölçülebileceği, her yöntemin sağladığı getiri ve götürü irdelenerek anlatılmıştır. Bu bölümün devamında yolculuk süresinin türetimi için kullanılan yöntemler ve literatürde yapılmış çalışmalardan bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde, çalışma kapsamında yolculuk süresi türetimi için kullanılan modellerin kuramsal yapıları ve İstanbul İkinci Çevreyolu üzerine seçilen örnek bir kesim üzerinde gerçekleştirilen sayısal uygulama anlatılmıştır. Gerçekleştirilen sayısal uygulamalarla kullanılan modellerin kalibrasyonu ve seçilen yöntemlerin yolculuk süresi belirlemedeki başarımlar değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar ve önerilerden bahsedilmiş ayrıca gelecek çalışmalar için ne gibi katkılar sağlanabileceği irdelenmiştir.

2. TRAFİK AKIM DİNAMİKLERİNİN TEMELİ

Trafik akımı, her bir sürücü ve bunların birbirleriyle olan etkileşimleri ve yol kesiminin geometrik özellikleri ile tanımlanabilir. Fakat sürücüler, araçlar ve yol kesimleri arasında farklılık olabileceğinden trafik akımının her zaman aynı özelliklerde olmayacağı açıktır. Bu durum ise, trafik akımının karmaşık bir yapıya sahip olmasına neden olmaktadır. Bir ulaştırma sisteminin tasarımı, planlanması ve en iyi şekilde hizmet sunmasını sağlayabilmek için trafik akım özelliklerinin doğru ve gerçekçi biçimde belirlenmesi oldukça önemlidir.

Trafik akımını modelleyebilmek, daha anlaşılır duruma getirebilmek için birçok yaklaşım geliştirilmiştir. Trafik akımı, kaba boyut yaklaşımıyla bir bütün olarak ele alınabileceği gibi ince boyut yaklaşımıyla her bir taşıt ölçeğinde incelenebilir. Ayrıca karma boyut modelleme yaklaşımı ile ince boyut yaklaşımıyla belirlenen taşıt dinamikleri, kaba boyut ölçeğinin bir fonksiyonu gibi tanımlanabilmektedir.

2.1 Trafik Akım Dinamikleri

Trafik akımının temsili için değişkenler iki ana sınıfa ayrılabilir: asal değişkenler ve türetilmiş değişkenler. Trafik akımının asal değişkenleri uzunluk (x), zaman (t) ve trafik birimi -taşıt- (n) olmak üzere, trafik akımının türetilmiş değişkenleri, trafik akımlarıyla ilgili olayları tanımlayabilmek için asal değişkenlerden türetilmektedir; bunlar, akım hacmi (q), yoğunluk (k) ve hız (u) olarak adlandırılır (Şahin ve diğ., 2004).

Bu bölümde ilk olarak asal değişkenlerden ve nasıl elde edilebileceklerinden bahsedilmiş, ardından ilgili değişken gösterimlerinden nasıl faydalandığı anlatılmıştır. Daha sonra türetilmiş değişkenlerin elde edilmesi ayrıntılı olarak incelenmiş ve son olarak türetilmiş değişkenler arasındaki ilişkiler açıklanmıştır.

2.1.1 Asal değişkenler

Trafik akımında gözlemler yapmak istediğimizde toplayabileceğimiz üç tür veri vardır. Bunlar, trafik akımının daha küçük bileşenlerine ayrılamayan asal değişkenleri olan yol boyu (x), (m, km, vb.), zaman (t), (sn, dk, saat), ve trafik birim sayısı (n), (taşıt) 'dır. Trafik akımının asal değişkenleri tek başlarına anlamlı değildirler ve yeterli bilgi vermezler. Başka bir deyişle, trafik akımının asal değişkenleri yardımıyla matematik modeller oluşturulamaz. Yalnızca değişken değerlerinin girdi olduğu benzetim modelleri kalibre edilebilir (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2009).

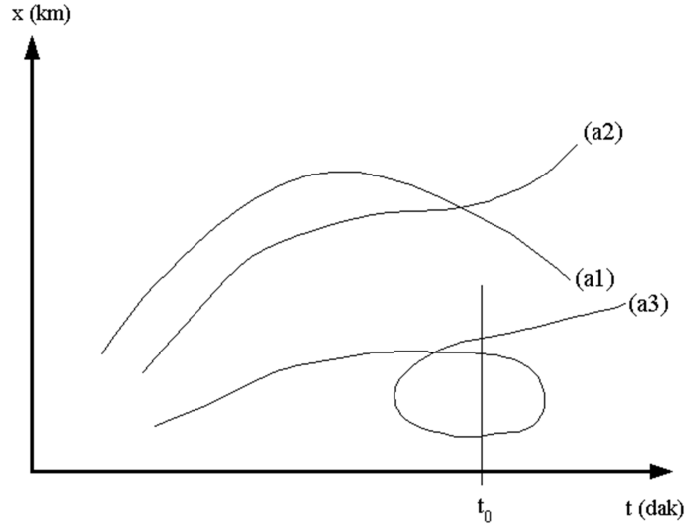
Asal değişkenlerin analitik düzleme taşınması ile elde edilen grafikler, trafik akımına ilişkin çeşitli çıkarımlar yapılmasında kullanılmaktadır. Alt bölümlerde bu grafikler tanımlanmış ve ilgili çıkarımlardan bahsedilmiştir.

2.1.1.1 Yol – zaman gösterimi

Trafik birimi (taşıt, yaya, yük) hareketleri, zamana ve uzunluğa bağlı düzlemde koordinatlara ilişkili tanımlanabilir (Cassidy 1999). Yatay eksenin zamanı, dişey eksenin ise uzunluğu ifade etmesi durumunda; $x(t)$, x 'in t 'ye göre fonksiyonunun, (t, x) düzlemindeki grafik gösterimi olan eğriye "yörünge" denir (Daganzo, 1997).

şekil 2.1'de gösterilen eğrilerden ikisi taşıt hareketini açık şekilde ifade etmektedir. Örneğin (a_1) eğrisi belirli bir yönde ilerlemekte, daha sonra yavaşlamakta ve son olarak yönünü değiştirip ters yönde ilerlemektedir. Diğer bir eğri olan (a_2) ise kısa bir süre durmasına rağmen sürekli aynı yönde hareket etmektedir. Son olarak (a_3) eğrisi ise bir yörüngeyi temsil edemez. Çünkü (a_1) ve (a_2)'nin aksine, (a_3) eğrisi bir t_0 anında birden fazla konumda bulunmaktadır. Geçerli bir taşıt yörüngesi her t değeri için ayrı bir x değeri ortaya koymalıdır (Daganzo, 1997).

Taşıt yörüngesine herhangi bir noktada çizilen teğetin eğimi, başka bir deyişle, o noktadaki türevi taşıtın söz konusu kesitte ve söz konusu andaki nokta hızı değerini vermektedir. Nokta hız, bir taşıtın herhangi bir anda sahip olduğu hızdır. Bu tanıma en yakın hızı mikrodalga trafik algılayıcıları gibi yol kenarını veya üzerinden sabit bir noktadan yapılan ölçümlerle elde etmek mümkündür. Çizilen teğetin ikinci türeviyse anlık ivmeyi ifade etmektedir (Daganzo, 1997). Bağıntı (2.1), i taşıtının nokta hız değerinin (u_i), uzunluğun zamana göre türevi olduğunu göstermektedir. Bağıntı (2.2) ise, i taşıtının anlık ivmesini vermektedir.



Şekil 2.1 : Yol – zaman gösterimi (Daganzo, 1997).

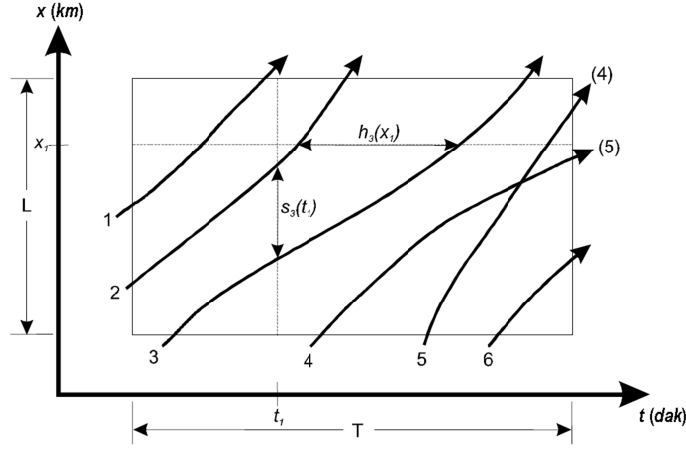
$$u_i = \frac{dx}{dt} \quad (2.1)$$

$$a_i = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2.2)$$

Şekil 2.2’de L uzunluğundaki kesimde T zaman aralığı süresince taşıt, yaya ya da yük olarak tanımlanabilecek trafik birimlerine ait yörüngeler ifade edilmektedir. Her yörünge, gözlemlenen sıra ile isimlendirilmiştir. Eğer bir birim, diğerini yakalayıp geçerse, 4. ve 5. yörüngelerde olduğu gibi isimleri de değişir (Cassidy, 1999).

Yol – Zaman eğrilerden faydalanarak nokta hız ve ivme değerlerinden başka, ileriki bölümlerde anlatılan zaman cinsinden taşıt izleme aralığı (*headway*) ve uzunluk cinsinden taşıt izleme aralığı (*spacing*) değerleri elde edilebilir. Bu iki değer, türetilmiş değişkenler olan akım hacmi ve yoğunluk değerlerinin hesaplanmasında kullanılabilmektedir.

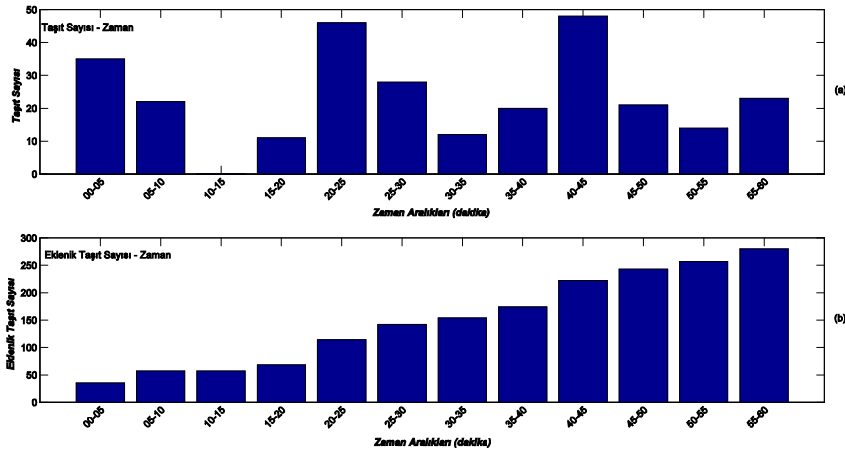
Şekil 2.2’de h_3 olarak gösterilen değer, 3 numaralı taşıt ile 2 numaralı taşıt arasındaki aralığı zaman cinsinden ifade eden değerdir. Başka bir deyişle zaman cinsinden taşıt izleme aralığıdır. Düşey yönde ise s_3 olarak gösterilen değer ise 3 numaralı taşıt ile 2 numaralı taşıt arasındaki aralığı uzunluk olarak ifade eder, başka bir deyişle uzunluk cinsinden taşıt izleme aralığıdır.



Şekil 2.2 : Yol – zaman eğrileri (Cassidy, 1999).

2.1.1.2 Taşıt sayısı - zaman gösterimi

Taşıt sayısı - zaman gösterimi, küçük zaman aralıklarında (örneğin, 5dk veya 15dk) geçen taşıt sayılarının zamana bağlı olarak ifadesidir (Şekil 2.3a). Eklenik taşıt sayısı - zaman gösterimi ise, küçük zaman aralıklarında, belirli bir noktadan geçen taşıt sayılarının yığışimli toplamlarının zamana bağlı olarak ifadesidir (Şekil 2.3b). Eklenik taşıt sayısı - zaman değişimlerinin birden fazla kesitte çizilmesiyle, -taşıt sayısı zaman değişiminden elde edilemeyen- kesitler arası taşıt sayısı, taşıtlara ait o yol kesimi için yolculuk süresi gibi değerler bulunabilir. Ayrıca taşıt sayısı - zaman ve eklenik taşıt sayısı - zaman gösterimleri Şekil 2.3'deki gibi histogram şeklinde de çizilebilir.

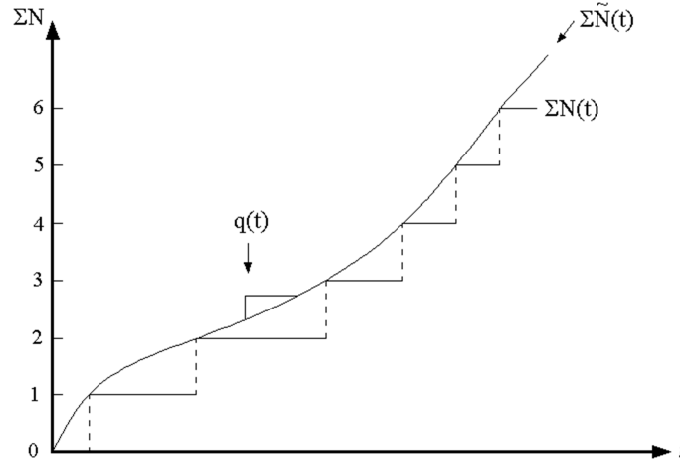


Şekil 2.3 : Taşıt sayısı - zaman ve eklenik taşıt sayısı - zaman gösterimi.

Şekil 2.3a'daki gösterim, toplam 1 saat gözlem yapılan kesitten her 5 dakika geçen taşıt sayılarını göstermektedir, başka bir deyişle taşıt sayısı - zaman değişimini ifade etmektedir. Şekil 2.3b'deki gösterim ise taşıt sayısı - zaman gösteriminin yığışimli

olarak çizilmesiyle elde edilen, eklenik taşıt sayısı - zaman gösterimini (ΣN -T) ifade etmektedir.

Şekil 2.4’de gösterilen eklenik taşıt sayısı fonksiyonu $\Sigma N(t)$, her bir t anındaki taşıt sayılarının yığışımli olarak toplanmasıyla Şekil 2.3’e benzer şekilde elde edilmiştir.



Şekil 2.4 : Eklenik taşıt sayısı fonksiyonunun elde edilmesi (Daganzo, 1997).

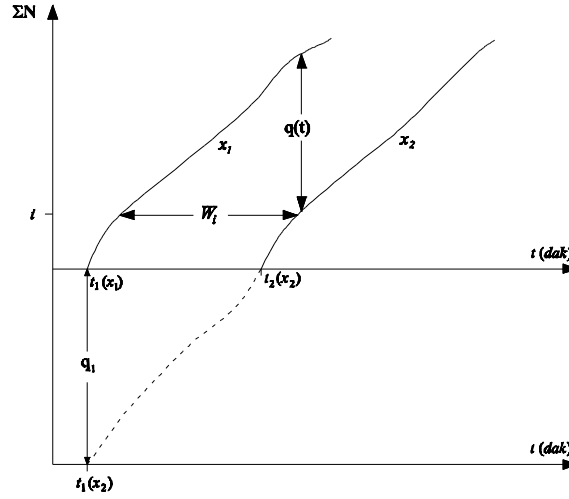
Hem küçük zaman aralıklarında değişimin kolay izlenebilmesi için, hem de diferansiyel hesap yapabilme özelliğinin olabilmesi için basamak şeklindeki $\Sigma N(t)$ fonksiyonu interpolasyon yolu ile düzeltilmiş $\Sigma \tilde{N}(t)$ fonksiyonu haline getirilmiştir (Şekil 2.4). Böyle bir eğri, her basamağın tepe noktasından geçen bir interpolasyon eğrisi biçimindedir (Daganzo 1997). $\Sigma \tilde{N}(t)$ sürekli fonksiyonun t 'ye göre türevi, bağıntı (2.3)'de verilen anlık akım hacmi $q(t)$ 'yi ifade etmektedir.

$$q(t) = \frac{d \tilde{N}(t)}{dt} \quad (2.3)$$

Aynı zaman aralıklarında iki veya daha fazla kesitte yapılan gözlemlerle çeşitli büyüklükler elde edilebilir. Şekil 2.5’de x_1 den x_2 ye doğru akan trafikte bu iki gözlem kesitine ait taşıt gelişlerinin eklenik taşıt sayısı eğrileri görülmektedir. Burada; herhangi bir t anında iki eğri arasındaki fark $q(t)$, x_1 ve x_2 kesitleri arasındaki taşıt sayısını, W_i , i taşıtı için x_1 ve x_2 eğrileri (kesitleri) arasındaki yolculuk süresini, bütün W_i ’lerin toplamı x_1 ve x_2 kesitleri arasındaki toplam yolculuk süresini verir. Ortalama yolculuk süresi de, W_i ’lerin toplamının ya da x_1 ve x_2 eğrileri arasındaki alanın değerlendirmeye alınan toplam taşıt sayısına bölünmesiyle elde edilir (Şahin ve diğ, 2004).

Toplam yolculuk süresi de bağıntı (2.4) yardımıyla belirlenebilir.

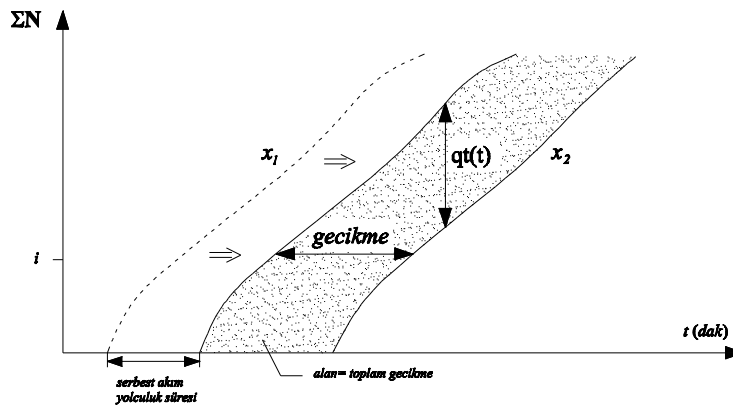
$$\sum_{j=1}^n [t_j(x_2) - t_j(x_1)] = \sum_{j=1}^n t_j(x_2) - \sum_{j=1}^n t_j(x_1) \quad (2.4)$$



Şekil 2.5 : İki gözlem kesitinden elde edilen eklenik taşıt sayısı fonksiyonları.

Şekil 2.5’de 1 kesitinde gözlemlenen akım x_1 eğrisiyle, 2 kesitinde gözlemlenen de x_2 eğrisiyle yığışımlı olarak gösterilmektedir. Eğer iki kesitte de gözlem aynı t_1 anında başlatılırsa, t_1 anında iki kesit arasında bulunan taşıt sayısı, q_1 , bilinmelidir. Ancak, bir t_1 anında iki kesit arasındaki taşıt sayısını bilmek çok zor olduğundan gözlemler, 1 kesitinde t_1 , 2 kesitinde ise t_2 anından itibaren yığışımlı olarak çizilmektedir.

Şekil 2.6’da gösterildiği biçimde, x_1 eğrisi akım yönünde (x_2 ’ye doğru) serbest akımda yolculuk süresi kadar ötelenirse, yatay yönde elde edilen farklar taşıtlar için gecikme süresini, düşey yöndeki farklar ise o andaki geciken taşıt sayısını, $qt(t)$ verir.



Şekil 2.6 : Ötelenmiş eklenik taşıt sayısı eğrisi.

Şekil 2.6’da iki eğri arasında kalan alan da toplam gecikmeyi vermektedir. Ayrıca x_2 kesitinde $qt(t)$ adet taşıt sayılmamış olacaktır. Çünkü yolculuk süresi içinde x_2 kesitinden geçmemiş taşıtlar bulunmaktadır. Dolayısıyla kuyruk uzunluğu, serbest akım yolculuk süresi kadar ötelenmiş eğriler arasındaki düşey fark olacaktır.

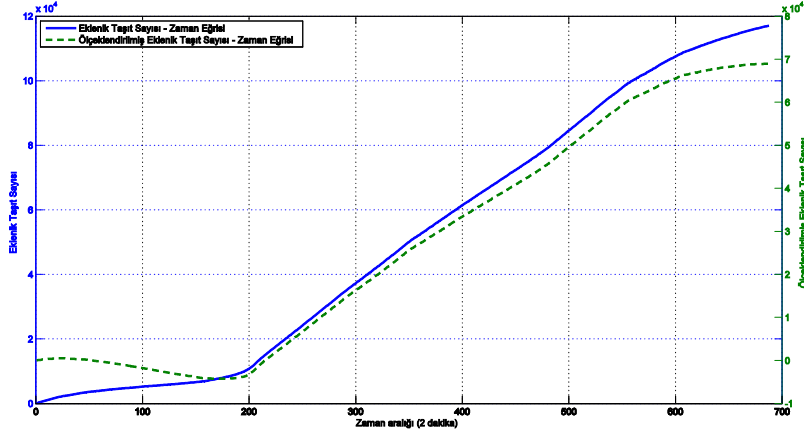
Birim zaman aralığının kısa ve gözlem süresinin uzun olduğu durumlarda, grafik üzerinde her bir zaman dilimi verisine karşılık gelen noktalar birbirine çok yakın olacağı için, $\tilde{\Sigma N}(x, t)$ eğrilerinden taşıt sayısı değişimine ilişkin çıkarım yapmak zor olmaktadır. Gözlem süresi kısa olsa da, bu yöntemle çizilen eklenik taşıt sayısı eğrisi neredeyse doğrusal bir eğilim gösterir. Başka bir deyişle, akımdaki zamana bağlı değişimleri gözlemek pek olağan değildir. Bu nedenle, akımdaki değişimleri gözleyebilmek için ölçeklendirilmiş eklenik taşıt sayısı eğrisi çizilir (Şahin, 2001).

Eklenik taşıt sayısı eğrisini ölçeklendirme için öncelikle gözlem süresi içerisinde kesitte birim zamanda geçen q_0 kıyas (referans) akım hacmi değeri seçilir. Ardından sayımın başlangıcında $t=0$ olmak üzere, her birim zaman artışına karşılık gelen $\Sigma N(x,t)$ değerinden, sayımın başlangıcından t anına kadar kesitten geçen taşıt sayısı, $(q_0.t)$ değeri çıkarılır. Elde edilen $\Sigma N(x,t) - q_0.t$ değerine ait farklar eğrisi çizilir. Bu eğri, $\Sigma N(x,t)$ eğrisinin ölçeklendirilmiş durumu olup zamana bağlı değişimleri belirlemeye olanak verir.

Şekil 2.7’de İstanbul TEM Otoyolu üzerinde var olan bir mikrodalga algılayıcı ile elde edilen 24 saatlik araç sayısına göre çizilen eklenik taşıt sayısı - zaman ve ölçeklendirilmiş eklenik taşıt sayısı - zaman eğrileri görülmektedir. Ölçeklendirme için kıyas akım hacmi değeri 35 taşıt/dakika olarak alınmıştır. Ölçeklendirilmiş eklenik taşıt sayısı - zaman eğrileri ile kapasite kullanımı daha kolay anlaşılabilir. Ayrıca ardışık iki kesitte yapılan gözlemlere ait eklenik taşıt sayısı - zaman eğrileri yaklaşık aynı olduğundan, bu eğrilere bir kıyas akım hacmi değerine göre ölçeklendirme yaparak aralarındaki farkı anlamak daha kolay olmaktadır.

Şekil 2.7’de eklenik taşıt sayısı eğrisinin eğimi yaklaşık 200. zaman aralığına kadar düşük, bu noktadan sonra daha yüksek seyretmiş ve günün sonuna doğru tekrar eğimi azalmıştır. Bu durumun talepteki değişime göre şekillendiği açıktır. Ölçeklendirilmiş eklenik taşıt sayısı-zaman eğrisinde ise yaklaşık 200. zaman dilimine kadar eğim negatif, bu noktadan sonra ise işaret değiştirilerek pozitif yönde artarak değişmekte ve

gün sonunda çok düşük bir yine pozitif eğim değeri almaktadır. Bu değerlendirmelere göre, negatif eğime sahip zaman aralıklarında ölçeklendirilmiş taşıt sayısı eğrisinde, talebin seçtiğimiz kıyas akım hacminin altında olduğu ve gün sonuna doğru azalan eğiminin de talebin azaldığı anlamı taşıdığı söylenebilir.



Şekil 2.7 : Ölçeklendirilmiş eklenik taşıt sayısı - zaman eğrisi.

2.1.2 Türetilmiş Değişkenler

Asal değişkenlerin trafik akımını istenilen düzeyde ifade edememesi, bu üç değişkenden herhangi birinin sonsuz küçük olduğu varsayılarak, diğer ikisi arasındaki ilişkinin incelenmesi ile farklı değişkenler türetilmesi gereksinimini ortaya koymuştur. Örneğin; yol uzunluğunu asal değişkeni x , sonsuz küçük varsayıldığında n ile t asal değişkenleri arasındaki ilişki ile “akım hacmi” türetilmiş değişkeni bağıntı (2.5)’deki gibi elde edilir.

$$(x \rightarrow \Delta x) \Rightarrow q = n / t \quad (2.5)$$

Benzer yaklaşımla t sonsuz küçük varsayıldığında n ile x arasındaki ilişki ile bağıntı (2.6)’da ifade edilen “yoğunluk”, n sonsuz küçük varsayıldığında ($n=1$) ise de x ile t arası ilişki ile “hız” türetilmiş değişkeni bağıntı (2.7) ile elde edilir (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2009).

$$(t \rightarrow \Delta t) \Rightarrow k = n / x \quad (2.6)$$

$$(n=1) \Rightarrow u = x / t \quad (2.7)$$

2.1.2.1 Akım hacmi

Belirli bir yol kesitinden birim sürede geçen taşıt sayısıdır. Burada birim zaman genellikle bir saat olarak alınır. Yolun belirli bir kesitindeki tüm şeritlerin toplamı veya bir şeridi için tanımlanabilir. Trafiğin asal değişkenleri kullanılarak $q = n / t$ olarak ifade edilir; burada, n taşıt -sayısı- ve t zaman olduğundan, taşıt/saat birimi elde edilir.

Taşıtların birbirlerini güvenle izlemeleri için ardı ardına iki taşıt arasında güvenle bulunması gereken zaman cinsinden aralığa “zaman cinsinden izleme aralığı” (*headway*) denir. Akım içerisinde sürücülerin izleme aralıklarının birbirine yakın olması, sürücü davranışlarının birbirine benzer olduğu anlamına gelir. Dolayısıyla, akım hacmi ile zaman cinsinden izleme aralığının doğrudan ilişkisi bulunmaktadır. Toplam gözlem süresi T , bağıntı (2.8)’de ifade edildiği gibi her sürücü için zaman cinsinden izleme aralıklarının (h_i) toplamından oluşmaktadır.

$$T = \sum_{i=1}^n h_i \quad (2.8)$$

Bağıntı (2.5) ve (2.8) birlikte kullanıldığında zaman cinsinden izleme aralığı ile akım hacmi arasındaki bağıntı (2.9)’daki gibi elde edilir.

$$q = \frac{n}{t} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n h_i} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i} = \frac{1}{\bar{h}} \quad (2.9)$$

Akım hacmi, bağıntı (2.9)’da görüldüğü üzere zaman cinsinden ortalama izleme aralığının tersine eşittir. Sürekli sayım sırasında bir saat boyunca geçen trafik hacmi daha küçük zaman dilimlerinde (5’ veya 15’ gibi) ele alındığında değişken olduğu görülür. Herhangi bir saatlik zaman içerisinde, söz konusu daha küçük zaman dilimleri boyunca yapılan sayımda, dilimlerde sayılan en büyük değerın saatlik eşdeğeri “akım oranı” olarak adlandırılır. Sayım zirve saatte yapılmış ise, en çok taşıt geçen zaman diliminin saatlik eşdeğeri ise “zirve akım oranı” olarak adlandırılmaktadır. Zirve saatte gözlenen akım hacminin, zirve akım oranına bölünmesi ile elde edilen değere “Zirve Saat Katsayısı” adı verilmektedir (HCM, 2000).

2.1.2.2 Yoğunluk

Yoğunluk (k), herhangi bir anda bir yolun birim uzunluğunda (genellikle 1 km) bulunan taşıt sayısıdır. Trafik akımının asal değişkenleri kullanılarak $k = n / x$ olarak ifade edilir. Buna göre x , km cinsinden yol uzunluğu olduğunda, taşıt/km birimi elde edilir.

Taşıtların birbirini güvenle izlemeleri için ardı ardına iki taşıt arasında bulunması gereken uzunluk cinsinden aralığa “uzunluk cinsinden izleme aralığı” (*spacing*) denir. Bir taşıtın ön ucundan diğer taşıtın ön ucuna olarak tanımlayabileceğimiz bu uzunluk, gözlem yapılan yol kesimi boyunca her taşıt için toplandığında bağıntı (2.10)’daki gibi yol uzunluğu elde edilir.

$$x = \sum_{i=1}^n s_i \quad (2.10)$$

Bağıntı (2.6) ve (2.10) birlikte kullanıldığında, uzunluk cinsinden izleme aralığı ile yoğunluk arasındaki ilişki bağıntı (2.11)’deki gibi elde edilir. Yoğunluk, bağıntı (2.11)’de, uzunluk cinsinden ortalama izleme aralığının tersi alınarak bulunmuştur.

$$k = \frac{n}{x} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n s_i} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i} = \frac{1}{s} \quad (2.11)$$

Yoğunluk, bulunması ve ölçülmesi çok zor bir değişken olmasından dolayı, bunun yerine ölçüm uygulamalarında daha uygun olan işgal kavramı tanımlanmıştır. İşgal terimi uzunluğa veya süreye bağlı olarak tanımlanabilir. Uzunluğa bağlı işgal, bir anda bir yolda bulunan taşıtların boylarının toplamının bu yol boyuna oranı olarak ifade edilebilir. Zamana bağlı işgal (o) ise, algılayıcılar üzerinde (hareketli) taşıt bulunma sürelerinin, t_i , toplam gözlem süresine T , oranlanması ile bağıntı (2.12)’deki gibi elde edilir.

$$o = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T} \quad (2.12)$$

2.1.2.3 Hız

Hız, bir trafik biriminin zamana göre yer değiştirmesidir. Zaman olarak genellikle 1 saat veya 1 saniye dikkate alınır. Bu değişken, nokta hız, ticari (ortalama) hız, akım hızı ve yolculuk hızı gibi farklı olarak belirlenebilmektedir. Nokta hız, yol-zaman eğrilerinden bağıntı (2.1) yardımıyla da hesaplanabilmektedir. Ticari hız, durma sürelerini de göz önüne alarak, toplam alınan mesafenin toplam yolculuk süresine bölünmesiyle elde edilir. Yolculuk hızı, durma sürelerini dikkate almadan ticari hıza benzer şekilde hesaplanabilir.

Ortalama hız değerinin hesabı için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan ilki nokta hız değerlerinin bağıntı (2.13)'de verildiği üzere aritmetik ortalamaları alınarak elde edilen “zaman ortalama hız” (*time mean speed*) değeridir.

$$\bar{u}_{zoh} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \quad (2.13)$$

Zaman ortalama hız, yol kenarında sabit noktalardan yapılan ölçümlerle, algılayıcılarla ölçülen hızdır. Bu değer tek taşıt hızı (nokta hız)'dır. Dolayısıyla aritmetik ortalamasını almak anlamlıdır (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2009).

Diğer bir ortalama hız ölçüsü “uzunluk ortalama hız” (*space mean speed*)'dır. Bu hız tek taşıt hızlarının harmonik ortalaması alınarak bağıntı (2.14)'de gösterildiği gibi elde edilir.

$$\bar{u}_{uoh} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i \in n} \frac{1}{u_i}} \quad (2.14)$$

Uzunluk ortalama hız, trafik akımının hızı (akım hızı) olarak kabul edilir. Taşıt hızından farklıdır ve bu hızı ölçmek olanaksızdır. Matematik olarak hesaplanan ve elektronik donanımlarla ölçülen hızlarla akım hızı kestirilmeye çalışılır. Trafik mühendisliği çalışmaları bakımından önemli olan uzunluk ortalama hız değerleridir.

2.1.3 Türetilmiş Değişkenler Arasındaki İlişkiler

Trafik akımını tanımlayabilmek için kullanılan türetilmiş değişkenler (akım hacmi, yoğunluk, hız) arasında, bağıntı (2.15)'de ifade edildiği üzere geçerli bir ilişki vardır (Daganzo, 1997).

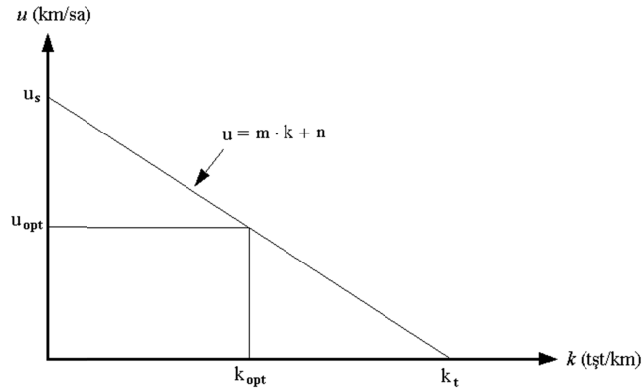
$$q = u \cdot k \quad (2.15)$$

Bu bağıntı trafik akımının temel bağıntısı olarak adlandırılır. Bu bağıntı; $k=f(u)$ veya $u=f(k)$ biçiminde yazılarak, q-u ve q-k arası ilişkiler de elde edilebilir.

2.1.3.1 Hız – yoğunluk ilişkisi

Bir akımın (ya da bir taşıtın), yol geometrisinin ve araç motorunun izin verdiği ölçüde, yolda herhangi bir kısıt, engel gibi hız azalmasına bir neden yoksa yapabileceği en yüksek hız değerine “serbest akım hızı” (*free-flow speed*), u_s , adı verilir. Serbest akım hızına erişilebilmesi için yolda çok az taşıt olması ve taşıtların birbirlerini etkilememesi gerekir. Bu durumda yoğunluğun yaklaşık sıfır olduğu kabul edilebilir. Başka bir deyişle bu an u-k eksen takımında $(u_s, 0)$ noktası olarak tanımlanır (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2009).

Yolda taşıtların tampon tampona olmaları, başka bir deyişle yolun tam dolu olması durumunda ise yoldaki hız yaklaşık sıfır olarak kabul edilebilir. Taşıtların hızları bu durumda zaman zaman sıfır olur. Ancak gerçekte akım hızı sıfır olmamakla birlikte akım duruyor gibi görünür. Bu nokta da u-k eksen takımında k_t noktası, tıkanıklık yoğunluğu değeridir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 : Hız – yoğunluk ilişkisi.

Serbest akım hızı ve tıkanıklık yoğunluğu noktalarından geçen bir u-k ilişkisi (eğrisi) vardır. Bu eğrinin kutupsal eksen takımının (+,+) çeyreğinde ekstremumu (türevinin eğimi sıfır olan nokta) olamaz. Bu durumda, belirlenmiş iki noktadan geçen bir eğri çizilebilir. En basit olanı, bu iki noktayı birleştiren doğru parçasıdır (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2009).

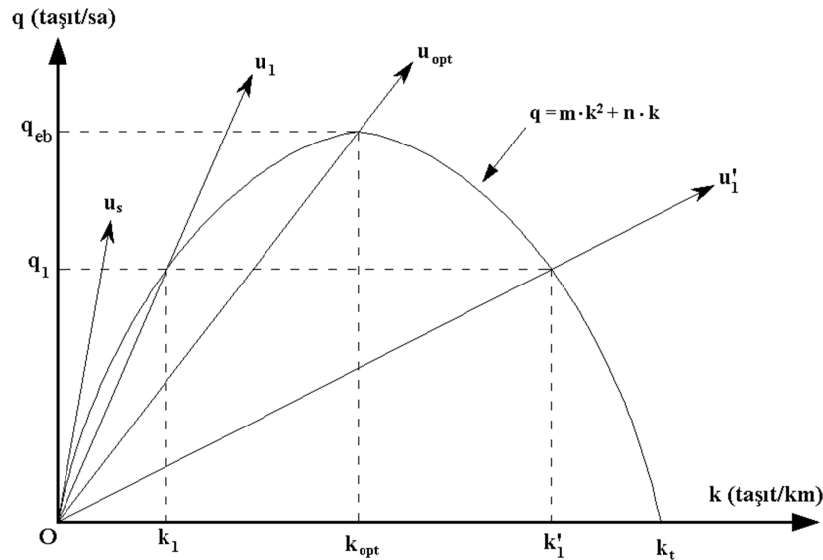
2.1.3.2 Akım hacmi – yoğunluk ilişkisi

Hız ile yoğunluğu ifade eden bağıntı, (2.15) bağıntısında yerine yazılırsa ve k bağımsız olacak şekilde çözülmüşse, q - k arasındaki bağıntı (2.16)'da verildiği biçimde türetilir (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2009).

$$q = f(k) \Rightarrow q = u \cdot k \text{ ve } u = m \cdot k + n \Rightarrow q = m \cdot k^2 + n \cdot k \quad (2.16)$$

$q=f(k)$ eğrisi; $q = 0$ (yolda yok denecek kadar az taşıt olduğunda) ve dolayısıyla $k = 0$ olan $(0, 0)$ noktasından başlayan ve $k = k_t$ (yol dolu olduğu anda) olduğu durum için akımın durma noktasına geldiği (yoldan geçen taşıt sayısının yaklaşık olarak yine sıfır olduğu, $q=0$) anda $(0, k_t)$ noktasından geçen ve ikisinin arasında maksimum yapan eğridir (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2009).

Şekil 2.9'da q - k eğrisine orijinde çizilen teğetin eğimi serbest akım hızını, herhangi bir noktayı orijine birleştiren doğrunun eğimi de akım hızını vermektedir. Aynı akım hacmi değerine (q_1) birden fazla yoğunluk değeri (k_1 ve k'_1) karşı gelmektedir. Bu yoğunluk değerlerinden birincisi; akım henüz optimum yoğunluğa ulaşmamışken başka bir deyişle kararlı durumdayken; ikincisi ise optimum yoğunluğu aştığı noktaya, kararsız akım bölgesine karşılık gelmektedir. q_{eb} ise bu yolun bir saat gibi belirli bir süre içerisinde geçirebileceği en fazla taşıt sayısını (kapasite) ifade etmektedir.



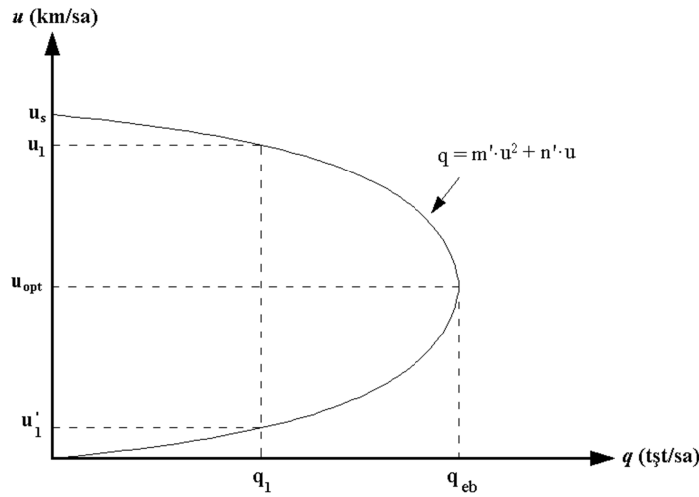
Şekil 2.9 : Akım hacmi – yoğunluk ilişkisi.

2.1.3.3 Hız – akım hacmi ilişkisi

Hız ile yoğunluğu ifade eden bağıntı, (2.15) bağıntısında yerine yazılırsa ve hız(u) bağımsız olacak şekilde çözülürse, hız ve akım hacmi arasındaki bağıntı (2.17)'de olduğu gibi türetilir.

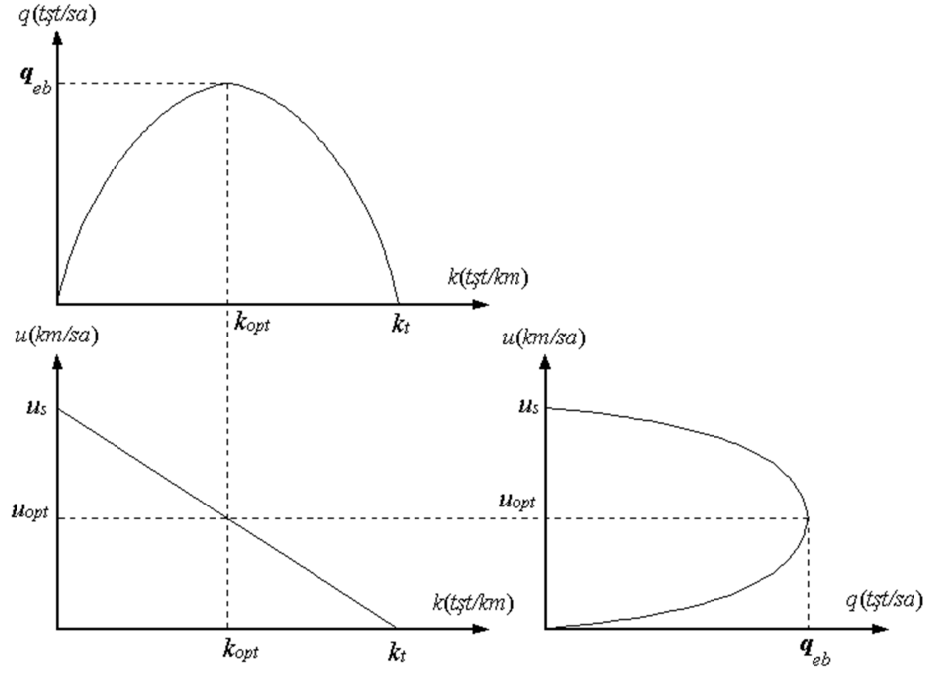
$$q = f(u) \Rightarrow q = u \cdot k \text{ ve } k = m' \cdot u + n' \Rightarrow q = m' \cdot u^2 + n' \cdot u \quad (2.17)$$

$q = f(k)$ eğrisi; $q = 0$ (akım hacmi yaklaşık olarak sıfır) iken, yolun boş olmasından dolayı $u = u_s$ olduğu $(0, u_s)$ noktasından başlayan ve yol dolduğu zaman (akımın durma noktasına geldiği an), yoldan geçen taşıt sayısının yaklaşık olarak yine sıfır olduğunda ($q=0$) akım hızının da yaklaşık sıfır olduğu $(0, 0)$ noktalarından geçen ve ikisinin arasında bir maksimum yapan eğridir. Hız ile akım hacmi arasındaki ilişki Şekil 2.10 'da gösterildiği şekildedir.



Şekil 2.10 : Hız – akım hacmi ilişkisi.

Akım hacmi-yoğunluk, hız-yoğunluk ve hız-akım hacmi arasındaki ikili ilişkilerin birbirleriyle olan gösterimi Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11 : Temel eğriler arasındaki ilişkiler.

3. YOLCULUK SÜRESİNİN BELİRLENMESİ

Yolculuk süresi, bir kullanıcı için A noktasından B noktasına giderken sadece kendisine ait olan güzergâh, hız, vb. gibi seçimlerine bağlı değildir. Aynı zamanda ulaştırma sistemini kullanan diğer tüm kullanıcıların yaptığı seçimlerden de etkilenmektedir (van Lint, 2004). Bu derece değişken olan ve tıkanıklığın ifadesinde önemli bir etkiye sahip olan yolculuk süreleri dolaylı ve doğrudan türetme yöntemleri ile belirlenebilir. Doğrudan türetme yöntemleri, yolculuk süresinin gözlemler ile sahadan toplanmasını içerir. Bu işlem, Küresel konumlandırma sistemi (KKS) donanımlı gözlem araçlarıyla, plaka tanılama sistemleriyle, radyo frekansı ile araç tanılama (RFID) yöntemleriyle gerçekleştirilebilir. Dolaylı türetme yöntemleri ise, mikrodalga veya loop trafik algılayıcılarıyla elde edilen hız, taşıt sayısı ve işgal gibi trafik akımına ait verileri kullanarak ilgili bağa için yolculuk süresinin belirlenmesini kapsamaktadır.

Yolculuk süresi türetimi (*estimation, reconstruction*) ve kestirim (*prediction*) kavramlarının ayrımının yapılması önemli bir konudur. Yolculuk süresi türetimi, tecrübe edilmiş yolculuklardan, (ortalama) yolculuk süresinin saptanması veya matematiksel olarak (ortalama) yolculuk süresiyle ilişkili olan trafik algılayıcılarından elde edilen hız, akım hacmi ve diğer trafik değişkenleri gibi bilinen trafik koşulları altında yolculuk süresinin hesaplanmasıdır (van Lint, 2004). Başka bir deyişle, yolculuk süresi türetimi, bir takım trafik akımına ait verileri ve bunların birbirleriyle olan ilişkileriyle mevcut durumun bir çeşit haritasını çıkartmaktır. Bunun aksine yolculuk süresi kestirimi ise Şekil 3.1’de ifade edildiği gibi bilinmeyen gelecek trafik koşulları altında yolculuk süresini belirlemeye çalışmaktır.

Şekil 3.1’de geçmişe yönelik (tecrübe edilen) bilinen trafik koşulları altında yolculuk sürelerinin türetimi, gelecekteki henüz tecrübe edilmemiş bilinmeyen trafik koşullarında ise yolculuk süresinin kestirimi süreci gösterilmiştir. Yolculuk sürelerinin türetimi, çevirim dışı olarak yapılabilmektedir. Türetim yolu ile elde edilen yolculuk süreleri ulaştırma sistemlerinin başarımının sınanmasında –yolculuk sürelerinin değişimini ve sınırlarını ifade ettiğinden– önemli bir yere sahiptir.

İçerisinde cep telefonu kullanıcısı ya da ilgili bir telefon modülü bulunan araçlar, kablosuz iletişim ağı kuramında tanımlanan hücreler ve bu hücreler içindeki konumlarına göre izlenebilirler (Astarita ve Florian, 2001; Yim, 2003; Pathirana ve diğ., 2006; Bar-Gera, 2007). Araç konumunu belirlemekteki doğruluk, ağırlıklı olarak cep telefonu ağı büyüklüğüne ve iletim kalitesine dayansa da, gezgin (mobile) iletişim sisteminin yüksek yayılma oranı ve düşük iletim maliyeti özellikleri, hücre (cep telefonu) temelli teknolojiyi etkin bir seçenek olarak kılmaktadır (Pathirana ve diğ., 2006).

Bir diğer yaklaşım ise; araç kimliği ya da plaka sayısı gibi araç özelliklerinin yerel olarak saptanmasıdır. Bu yaklaşımı destekleyen teknolojiler; otomatik araç kimlik tanılama, örneğin Turner ve diğ. (1998); plaka tanılama, örneğin Anagnostopoulos ve diğ. (2006); etiket okuma ve Bluetooth gibi iletişim teknolojileridir, örneğin Haghani ve diğ. (2010). Otomatik araç kimliği tanılama teknolojileri; araç tanılamadaki hata, kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı için, yolculuk süresi türetimine uygundur. Fakat bu gibi sistemlerin ek altyapı maliyetleri, uygulama örneklerini kısıtlamaktadır. Gizlilik (özel hayat) gibi konular ise, plaka tanılama uygulamalarının kısıtlı kullanımının nedenidir.

Yol ağları üzerindeki yolculuk süreleri, seçenek olarak akım içerisine bırakılan araç ('probe' ya da 'floating car' olarak adlandırılan) ölçümleri yardımıyla türetilir. Bir KKS bileşeni ile bir iletim ara yüzü ile donatılmış araçlar, konumlarına ve hızlarına ilişkin bilgiyi veri depolanan ve işleyen bir merkeze iletebilirler (Quiroga ve Bullock, 1998; Yim ve Cayford, 2001; Brockfeld ve diğ., 2007). Trafik koşullarını belirlemek için; KKS verisi, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) teknolojileri ile bütünleştirildiğinde konumsal harita içerikleri ile eşleştirilebilmektedir. KKS ve CBS teknolojilerinden faydalanarak yolculuk süresi türetimi yapan yöntemler var olduğu gibi, örneğin Quiroga ve Bullock (1998); bu teknolojiler yardımıyla yalnızca veri toplanan çalışmalar da söz konusudur (Zito ve diğ., 1995; Liu ve Haines, 1996; Turner ve diğ., 1998). KKS bileşeni içeren yeterli sayıda aracın konumlarına ilişkin araç izleme bilgileri, genellikle merkezi bir yere iletilir (örneğin, Boyce ve diğ., 1993). Bu yaklaşımın uygulamaları; gerçek-zamanlı dinamik trafik yönetiminden, yolculuk süresi bilgisi yardımıyla eksik başlangıç-son matrislerinin tamamlanması ve doğruluğunun denetlenmesine kadar çeşitlenebilmektedir. Algoritmalar ve veri işleme yöntemleri, bir yol kesimi üzerinde belirli bir zamandaki konum

farklılaşmasının gösterimini yapabilir. Dolayısıyla, benzeri bilgilerin toplanması; yolculuk süresinin, zamansal farklılaşmalara göre davranışını belirlemede faydalı olur.

3.1.1 KKS donanımlı gözlem aracı ile yolculuk süresinin belirlenmesi

Orijinal adı “*NAVSTAR/GPS*” (Navigation satellite timing and ranging / global positioning system) olan Küresel Konumlandırma Sistemi, ABD Savunma Dairesi (*Department of Defance*) tarafından geliştirilen, KKS alıcısı olan herhangi bir kullanıcının, uydu sinyalleri yardımıyla; herhangi bir yer ve zamanda, her türlü hava koşulunda, dünya çapında bir koordinat sisteminde (WGS-84), yüksek duyarlılıkta, ekonomik olarak anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlemesinde olanak veren bir radyo navigasyon sistemidir (Kahveci ve Yıldız, 2005).

KKS uyduları altı farklı yörünge düzlemi üzerine yerleştirilmiş, toplamda 24 uydudan oluşacak şekilde planlanmıştır. Yeryüzünden 20200 km uzaklıkta olan KKS uyduları yörüngelerinde 12 saatte bir tam tur yapmaktadırlar. Yer küre üzerinde 3-boyutlu (enlem, boylam ve yükseklik) konum belirlenebilmesi için en az dört uydu gerekmektedir. Üç konum bilinmeyenine ek olarak tek yönlü sinyal gönderen KKS uydularından sinyalin gönderilme zamanının da bilinmesi gereklidir. Bu nedenle 3-boyutlu konum belirleme için en az dört uydudan sinyal almak gerekmektedir. KKS alıcısının daha fazla uydudan sinyal alması konum duyarlılığını arttırmaktadır.

KKS ile gözlem aracının her saniyedeki konum bilgisi kaydedilmektedir. Böylece ardışık iki nokta arasındaki uzunluk farkı yardımıyla, gözlem aracının hızı, yoldaki konumuna ve zamana (saat, dakika, saniye) göre metre/saniye cinsinden bilinmektedir. KKS ile toplanan veriler çevirim içi (*online*) ve/veya çevirim dışı (*offline*) olarak işlenebilir. Gerçek zamanlı verileri işlemek için KKS alıcısına ek olarak toplanan verileri bir merkeze aktaran birimin de olması gerekmektedir.

KKS ile trafik akımına ait veri toplamanın; düşük işletme maliyeti, yolculuk süresinin ölçüldüğü kesim boyunca ayrıntılı ve sürekli bilgi sağlaması, veri toplamanın otomatik olarak gerçekleşmesi gibi getirileri vardır. Buna karşın, KKS sinyalleri kentsel alanlarda yüksek binalar dolayısıyla kesilebilir, KKS ile trafik verisi toplanırken farklı sürücüler arasında değişik sürüş teknikleri açısından tutarlılık sağlamak zordur, çevirim içi veri transferi için merkezle bir iletişim sistemi

gereksinimi ve KKS alıcılarının pahalı ilk alım fiyatları gibi götürüleri de vardır (Turner ve diğ, 1998).

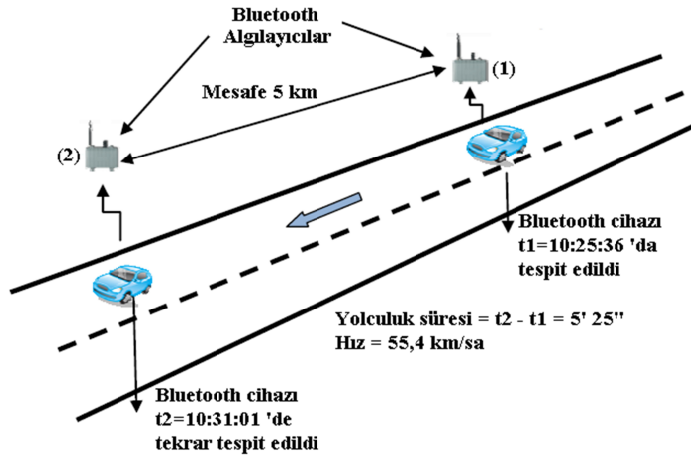
KKS donanımlı gözlem aracı verileriyle literatürde yapılmış, farklı amaçlarda ve farklı sistemlerde kullanılabilirliğinin karşılaştırıldığı birçok çalışma vardır. KKS özelliği olan cep telefonlarıyla toplanan anlık veriler ile oluşturulan bağlar üzerinde çevirim içi yolculuk süresi türetimi yapan ve kullanıcılara bilgi olarak sunan bir çalışma Hunter ve diğ. (2009) tarafından Nokia işbirliği ile gerçekleştirilmiştir. Tek bir KKS donanımlı gözlem aracıyla elde edilen verileri bulanık mantık kümeleri oluşturarak yolculuk süresi türetiminde kullanılan modeller de vardır (Li ve McDonald, 2002). D'Este ve diğ. (1999), ulaştırma sistemlerinin başarımlarını sınamaları için akıllı ulaştırma sistemlerinin bir bileşeni olarak KKS kullanmışlardır. Çalışmada, tıkanıklığın bir sonucu olarak artan yolculuk süreleri ve azalan ortalama hızlar KKS donanımlı gözlem aracı ile ölçülerek, tıkanıklık hakkında kullanıcıları bilgilendirmeyi amaçlamışlardır. Quiroga ve Bullock (1998), KKS ile CBS teknolojilerinin birlikte kullanılabilirliğini tanımlamaya çalışmışlardır. KKS ve CBS ilişkilendirilmesinde veri toplanması, toplanılan verilerin belirli zaman aralıklarında toplulaştırılması ve toplanılan verilerin bir merkeze aktarılması gibi konular üzerinde durmuşlardır. KKS cihazının taşıtlarda kullanımının dışında, her bir bireyin günlük yaptığı yolculukları modelleyebilmek için kullanıldığı alanlarda olmuştur (örneğin, Draijer ve diğ, 2000; Wolf ve diğ, 2003; Jan ve diğ, 2000). Gurusinghe ve diğ. (2002), daha yüksek duyarlılıkta ölçüm yapan KKS alıcısı kullanarak, 10 gözlem aracı ile trafik verisi toplamıştır. İzleme aralığı, hız, göreceli hız, ivmelenme gibi sürüş özelliklerinin yüksek duyarlılıkla elde edilebileceğini göstermişlerdir. KKS ile farklı amaçlarda yapılmış trafik verisi toplama çalışmaları da mevcuttur. Örneğin, KKS cihazlarının konum ve hız belirlemedeki duyarlılıklarının trafik çalışmalarında kullanılabilirliği Ogle ve diğ. (2002) tarafından karşılaştırılmıştır.

3.1.2 Bluetooth trafik algılayıcıları ile yolculuk süresinin belirlenmesi

Bluetooth, birçok elektronik cihaz arasında, kablo bağlantısı olmadan iletişim kurmak, veri transferi yapabilmek için geliştirilmiş kısa mesafe radyo frekansı teknolojisinin adıdır. Bluetooth sinyali yayan her cihazın kendine has bir MAC (*Media Access Control*) adresi bulunmaktadır. Bu adres cihazların birbirlerinden ayırt edilmesi için gerekli bilgiyi içermektedir.

Günümüzde bu teknoloji, kişisel bilgisayarlarda, cep telefonlarında, tablet bilgisayarlarda, motorlu araçlarda cep telefonlarıyla iletişim kurabilmek için ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Bu kadar geniş bir kullanım alanı olan Bluetooth teknolojisi, trafik mühendisliği çalışmalarında da etkili bir kullanım alanına sahiptir.

Şekil 3.2’de iki kesite yerleştirilen Bluetooth algılayıcılar ile yolculuk süresinin nasıl belirlendiği gösterilmiştir. Birinci algılayıcı tarafından, Bluetooth sinyali yayan cihazın MAC adresi tespit edilip zamana göre kayıt altına alınmaktadır. Belli bir süre sonra (iki kesit arası yolculuk süresi) cihaz, ikinci algılayıcıdan geçerken aynı şekilde MAC adresi zamana göre kayıt altına alınmaktadır. Çevirim içi çalışmalarda, tespit edilen MAC adresleri bir iletişim sistemi (mobil şebekeler) aracılığıyla merkeze aktarılmakta, burada MAC adreslerinin eşleştirilmesi yapılmaktadır. Eşleştirilen MAC adresleri ile Bluetooth sinyali yayan araca ait tecrübe edilmiş yolculuk süresi belirlenir. Çevirim dışı çalışmalarda ise, her bir algılayıcı tespit ettiği MAC adreslerini zamana göre kaydetmekte ve ofis çalışmasıyla iki algılayıcıyla elde edilen adresler eşleştirilerek yolculuk süreleri belirlenmektedir.



Şekil 3.2 : Bluetooth algılayıcılar ile yolculuk süresi tespiti.

Bluetooth trafik algılayıcıları ile trafik akımına ait veri toplamanın getirileri olarak, güvenilir bilgi toplanması, taşınabilir ve kolay kullanımı olması, diğer algılayıcılara (RTMS, loop algılayıcı) göre daha ucuz olması, bakım gerektirmemesi ve en önemlisi her bir taşıta ait bilgi toplanması gösterilebilir. Ayrıca bir kesite yerleştirilen Bluetooth trafik algılayıcısı her iki yön için bilgi toplayabilmektedir. Götürüleri olarak ise, yerleştirildiği kesitten geçen tüm taşıtlara ait bilgi toplayamaması, sadece Bluetooth sinyali yayan taşıtlardan bilgi toplayabilmesi ve özellikle kentsel

alanlarda, toplu taşıma araçlarından veya yayalardan gelen sinyaller ile yanlış sonuçlar elde edilmesi örnek verilebilir.

Bluetooth algılayıcılar ile kentsel alanlarda yolculuk süresi bilgisi toplamak, sinyalizasyon kavşaklar, motosiklet ve yayalar gibi etkenlerden dolayı otoyol kesiminde toplanan yolculuk sürelerine göre daha büyük hatalar içermektedir (Wasson ve diğ., 2008). Kentsel alanlarda, özellikle yaya ve toplu taşıma hareketliliğinin yoğun olduğu kesimlerde Bluetooth algılayıcılar yerine KKS donanımlı gözlem araçlarıyla yolculuk süresi toplamak daha doğru sonuçlar verebilmektedir (Jie ve diğ., 2011). Gerçek zamanlı yolculuk süresi bilgisi toplama ve Kalman filtresi yöntemiyle gelecek yolculuk sürelerini kestirim yöntemlerinde de Bluetooth trafik algılayıcıları kendilerine kullanım alanı bulmuşlardır (Bercolo ve diğ., 2010). Ayrıca, ince boyut emisyon tahmin modellerine girdi verisi sağlamak amacıyla da Bluetooth trafik algılayıcıları kullanılabilir (örneğin, Bigazzi ve diğ., 2011). Bluetooth algılayıcılarının ölçtüğü yolculuk sürelerini, otomatik plaka tanılama sistemlerinin ölçtüğü sürelerle karşılaştıran Wang ve diğ. (2011), Bluetooth algılayıcıların yolculuk sürelerini %8 daha fazla ölçtüğünü sonucuna ulaşmışlardır.

3.1.3 Diğer yöntemler ile yolculuk süresinin belirlenmesi

Bir yol ağı üzerinde, araç konumları GSM (*Global system for mobile communications*) şebekeleri ile yaklaşık olarak tespit edilebilir. Böylece kişinin, başlangıç ve son noktası arasındaki yolculuk süresi bulunabilir. GSM şebekeleri kullanılarak yolculuk sürelerini hesaplamak kolay, uygulanabilir ve ucuz bir yöntem olarak görülmektedir. Fakat araçlara ait konum bilgilerinin yeteri duyarlılıkta bilinmemesi, yolculuk süresinin belirlenmesindeki hatayı arttırmaktadır (Catalano ve van der Zijpp, 2002).

Bluetooth trafik algılayıcılarına benzer bir diğer yaklaşım ise, araçlarda bulunan ve manyetik sinyal yayan RFID (*Radio-frequency identification*) cihazlarının aracılığıyla yolculuk sürelerinin bulunmasıdır. Otomatik araç tanılama (*Automatic vehicle identification, AVI*) olarak da anılan bu yöntem ile RFID cihazları bulunan araçlar, yol üzerinde belirli kesitlere yerleştirilen algılayıcılar ile tespit edilip eşleştirilerek yolculuk süresi elde edilir (Kwong ve diğ., 2009). Ayrıca, RFID teknolojisi yardımıyla akıllı ulaştırma sistemleriyle bütünleşik trafik yönetimi çalışmaları da yapılabilir (Wen, 2010).

Plaka eşleştirme (*license plate matching*) yöntemi, yolculuk süresi ölçülmesinde kullanılan bir diğer yöntemdir. Eşleştirme, elle yol kenarında durularak, video kayıtları ile ya da görüntü işleme teknikleri ile otomatik bir şekilde yapılabilir. Birden fazla kesitte zamana göre kayıt altına alınan plakalar, diğer kesitlerdeki geçiş zamanlarıyla eşleştirilerek yolculuk süresi belirlenmektedir. Bu yöntemin getirileri, ölçüm zamanına ait geniş bir örnekleme oranı sağlaması, görüntü işleme ve otomatik eşleştirme kullanıldığında pratik ve hızlı olması gösterilebilir. Buna karşın, ilk kurulum maliyeti yüksektir, sadece bir uçtan bir uca olan yolculuk süresini vermesi, başka bir deyişle bağ üzerindeki taşıt hareketlerini yansıtamaması gibi götürüleri de vardır (Turner, 1996).

3.2 Yolculuk Süresinin Dolaylı Türetme Yöntemleriyle Belirlenmesi

Tam olarak bir kümeye dâhil edilemeyen istatistik, örneğin Dailey (1993) ve stokastik örneğin, Yeon ve diğ. (2008) yaklaşımlar göz ardı edildiğinde; dolaylı yolculuk süresi türetme yöntemleri, yörünge temelli ve trafik akım modeli temelli olarak iki başlık altında incelenebilir.

3.2.1 Yörünge temelli modeller

Yörünge temelli bir yöntem; zaman-ortalama hız girdisinin, uzunluk-ortalama hız türetimine dönüşümünün gerektiği, nokta hız ölçümlerine dayanan bir yöntemdir. Yörünge temelli yöntemler; trafik algılayıcı (*sense*) ve saptayıcı (*detect*) verilerinden, yolculuk süresi türetmenin en sık ve yaygınca kabul görmüş yöntemleri olarak bilinir (Turner ve diğ, 1998). Turner ve diğ. (1998), yörünge temelli modellerin, trafik algılayıcı verisinden yolculuk süresi belirlemede en geniş kullanım alanı ve basit bir yöntem olduğunu belirtmektedir. İki ölçüm noktası arasındaki uzaklığın bilinmesiyle; yolculuk süresi, bu uzaklığın, ölçüm noktaları arasında sabit olduğu varsayılan hıza bölünmesiyle hesaplanabilir (Dailey, 1997; Lindveld ve diğ, 2000; Cortes ve diğ, 2001). Dolayısıyla, yörünge temelli yöntemler; hız üzerindeki noktasal türetimlerin, ardışık ölçüm noktaları arasında kalan kesimin ortalama hızını temsil ettiği varsayımına göre işler. Yörünge temelli bir yolculuk süresi türetme çalışmasında genellikle; yarı mesafe, ortalama hız ve en küçük hız olarak adlandırılan üç temel ekstrapolasyon yönteminden biri kullanılır.

Yörünge temelli yöntemlerdeki en basit yaklaşımda; akım aşağı ve akım yukarı yöndeki kesitler arası uzaklığın, bu kesitlerde ölçülen hızların ortalamasına bölünmesiyle yolculuk süresi türetilir. Böyle bir çalışma için, söz konusu olabilecek tüm bağlarda belirli zamanlarda hız ölçülmesi gereklidir. Bu yönetime dayalı geliştirilen ‘anlık’ yolculuk süresi türetimi modellerinin, ancak, durağan ve tıkalı olmayan akım koşulların için uygun olduğu belirlenmiştir (Lindveld ve diğ., 2000). ‘Anlık’ modelinin az da olsa farklı bir türü; hız değişkeninin zamana bağlı farklılaşmasını hesaba almaya çalışan ‘*zaman dilimi*’ modelidir (Li ve diğ., 2006). İlk bağdaki yolculuk süresini ‘anlık’ model yaklaşımına göre türeten ‘*zaman dilimi*’ yaklaşımıyla; araç yörüngeleri, akım-aşağı kesit hız ölçümlerine göre türetilir. Burada türetme, bağın, araçlarca kat edildiği zaman aralığı için söz konusu olmaktadır. Cortes ve diğ. (2001) ‘*zaman dilimi*’ yönetimini; birkaç bağdan oluşan güzergâh yolculuk sürelerinin türetilmesi için geliştirmiştir. Bu çalışmada; her bir kesimin akım-aşağı ölçüm kesitindeki bağ yolculuk süresi anlık türetimleri, özyineli (recursive) bir formülasyonla çalışılmıştır. Yöntemde, her bir kesimin uzunluğu ve kesimi sınırlayan kesit ölçüm noktalarındaki hız ölçümlerinin farklılaşması dikkate alınmıştır. Türetilen hızın kesim boyunca konumsal değişimini dikkate almayan modellerin aksine, Van Lint ve Van der Zijpp (2003); ardışık ölçüm kesitlerinin sınırladığı kesim üzerinde, ardışık anlar arasında hızın doğrusal olarak enterpole edildiği gelişmiş bir yörünge yöntemi önermişlerdir. Van Lint (2004); parçalı doğrusal enterpolasyon yöntemi ile parçalı sabit enterpolasyon yöntemini karşılaştırmalı olarak ayrıntılı biçimde irdelemiştir. Li ve diğ. (2006); plaka tanımlama ve geniş etiketleme yöntemleriyle elde edilen gerçek yolculuk sürelerine göre dört farklı yörünge temelli yöntemin başarımını sınamıştır. Bu çalışmada; ‘anlık’, ‘*zaman dilimi*’, ‘dinamik *zaman dilimi*’ ve “parçalı doğrusal enterpolasyon” yöntemlerinin, otoyol yolculuk sürelerini türetme başarımında çok az farklılıklar gösterdiği ve aralarında açık bir ayırım yapılamadığı belirtilmiştir. Ayrıca, zirve ve zirve olmayan zaman aralıklarındaki türetme hatalarının, akım koşullarının değişimine oldukça duyarlı olduğu belirlenmiştir (Li ve diğ., 2006).

Sun ve diğ. (2008); hız için sabit ve doğrusal enterpolasyon yöntemlerine, örneğin Van Lint ve Van der Zijpp (2003) ve Van Lint (2004)’e göre daha gelişmiş bir kuadratik enterpolasyon yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntemde; bir aracın, farklı akım koşullarındaki geçişlere uyarlanmışçasına, hız farklılığı davranışı dikkate

alınmaktadır. Doğrusal enterpolasyon ile; sürücünün, önündeki trafiğe göre hızını uyarlamasında kabul edilemez anlık değişimler söz konusu olduğundan, kuadratik yaklaşım ile kesitler arası sabit enterpolasyona, eğrisel ve daha yumuşak bir yakınsama elde edildiği ifade edilmiştir. Fakat, akım koşullarında geçişlerin olması durumunda bu yöntemle elde edilen çözümün de yetersiz kaldığı görülmüştür (Sun ve diğ, 2008).

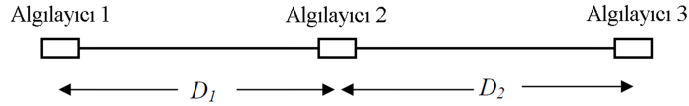
Soriguera ve Robuste (2011)'nin yörünge temelli yöntemler üzerinde yakın zamanda yaptığı karşılaştırmalı bir çalışmada; gelişmiş enterpolasyon yöntemlerinin, temelde, sabit enterpolasyonu, zaman ya da konum boyutunda yumuşattığını, fakat gerçek trafik akım dinamiklerini temsil edemediği sonucu elde edilmiştir. Bu çalışmada aynı zamanda; sabit olmayan enterpolasyon yöntemlerinin, bağ başarımlarının konumsal ya da konum-zamansal değişimini ifade edemediği de belirtilmektedir. Önceki ilgili çalışmalarına da atıflar yapan ve sabit, doğrusal ve eğrisel enterpolasyon yöntemleriyle elde ettikleri yolculuk süresi türetmelerinden elde ettikleri ve belirleyici olduğunu düşündükleri en önemli etkenin, verisi işlenecek ardışık algılayıcılar arasındaki uzaklık olduğunu belirtmişlerdir. Türetmelerdeki hatanın büyüklüğünün doğrudan, algılayıcı aralığına bağlı olduğu yorumunu yapmışlardır.

Akım koşullarındaki değişimin göreceli olarak daha az olduğu, zirve olmayan aralıklar gibi zamanlar için yörünge yöntem uygulamasının uygun olduğu belirtilmektedir (Lindveld ve diğ, 2000; Li et al, 2006). Yörünge yöntemlerinin en önemli götürüsü, varsayılan ekstrapolasyon yönteminden kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni; sabit hız varsayımının, kısa bir kesim boyunca ve ivmelenmelerin sık görüldüğü göreceli olarak tıkalı akım koşullarında uygun ve tutarlı olmayışdır. Sabit hız varsayımının, ancak, akım koşullarının tıkalı olmadığı ve durağan olduğu durumlarda tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Dolayısıyla, yörünge yöntemleriyle yolculuk süresi türetiminde hata; yöntemin, kesim boyunca değişim gösteren tıkanıklık sürecini yakalayamaması nedeniyle artmaktadır.

3.2.1.1 Sabit hız varsayımı yöntemleri

Turner ve diğ. (1998), trafik algılayıcısı verisinden yolculuk süresi türetmenin en etkili ve kabul görmüş yolunun ekstrapolasyon (dış değer bulma, dış değer kestirimi) yöntemleri olduğunu belirtmektedir. Sabit hız varsayımlı ekstrapolasyon yöntemlerinde yapılan kabul, hız ölçümü yapılan iki trafik algılayıcısı ile sınırlanan

kesim üzerinde hızın sabit olduğudur. Böylece iki kesit arasındaki mesafenin bilinmesiyle, yolculuk süresi kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Bu bölüm altında üç farklı ekstrapolasyon yaklaşımından söz edilmiştir. Bunlar; yarı mesafe yaklaşımı, ortalama hız yaklaşımı ve en küçük hız yaklaşımlarıdır. Şekil 3.3’de örnek olarak, trafik verisi toplayan 3 tane trafik algılayıcısı ve bu algılayıcıların sınırlarını oluşturduğu 2 tane bağ gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Ekstrapolasyon yöntemlerinin açıklanması için şematik gösterim.

İlk ekstrapolasyon yöntemi olan “yarı mesafe yaklaşımı”, bir algılayıcı ile ölçülen hızın, algılayıcıdan önce ve sonra gelen bağ üzerinde, bağ uzunluklarının yarısı kadar bir mesafede geçerli olduğunu kabul etmektedir. Bağntı (3.1)’de yarı-mesafe yaklaşımı ile bağ yolculuk süresi hesabı gösterilmiştir.

$$t_{1-2} = \frac{1}{2} \left(\frac{D_1}{v_1} + \frac{D_1}{v_2} \right) \quad (3.1)$$

Bağntı (3.1)’de v_1 ve v_2 sırasıyla 1 ve 2. algılayıcı ile toplulaştırma zaman aralığında ölçülen ortalama hızları, D_1 iki algılayıcı arası uzunluğu, t_{1-2} ise 1 ve 2 numaralı algılayıcıların sınırladığı bağ üzerindeki yolculuk süresini ifade etmektedir.

Bir diğer ekstrapolasyon yöntemi “ortalama hız yaklaşımı”dır. Bu yaklaşım ile bağ üzerindeki hız, bağı sınırlayan kesitlerde algılayıcı ile ölçülen hızların ortalaması olarak kabul edilmektedir. Bağntı (3.2)’de ortalama hız yaklaşımı ile bağ yolculuk süresi hesabı gösterilmektedir.

$$t_{1-2} = \frac{D_1}{(v_1 + v_2) / 2} \quad (3.2)$$

Bağntı (3.2)’de v_1 ve v_2 sırasıyla 1 ve 2. algılayıcı ile ölçülen ortalama hızları, D_1 iki algılayıcı arası uzunluğu, t_{1-2} ise 1 ve 2 numaralı algılayıcıların sınırladığı bağ üzerindeki yolculuk süresini ifade etmektedir.

Son ekstrapolasyon yöntemi ise “en küçük hız yaklaşımı”dır. Bu yaklaşım ile bağ üzerindeki hız, algılayıcılardan elde edilen hızlardan küçük olanı olarak kabul edilir.

Bağıntı (3.3)'de v_{ek} , bağı sınırlayan algılayıcılardan elde edilen ortalama hızlardan en küçüğü, D_l iki algılayıcı arası mesafe ve t_{l-2} ise yolculuk süresini ifade etmektedir.

$$t_{l-2} = \frac{D_l}{v_{ek}} \quad (3.3)$$

Ekstrapolasyon yöntemlerinin en önemli götürüsü, artan talep koşulları altında gerçekten uzak değerler vermeleridir. Özellikle zirve saatlerde, ekstrapolasyon yöntemleri ile hesaplanan yolculuk süreleriyle gerçek yolculuk süreleri arasında büyük farklılıklar olmaktadır. Bu nedenle ekstrapolasyon yöntemlerinin, talepteki değişimin az olduğu, zirve saatler dışında daha doğru sonuçlar verdiği söylenebilir. Ayrıca iki algılayıcı arasında hızın sabit kaldığı varsayımı ancak düşük ve değişmeyen akım şartlarında geçerli olmaktadır. Tıkanıklık durumunda, küçük bağı uzunlukları kullanılsa bile, hızların sabit bir ortalama değerde kalacağı varsayımı yanlış olacağından ekstrapolasyon yöntemleri, gerçeği yansıtmakta yetersiz kalmaktadır (Vanajakshi, 2004).

Sabit hız varsayımı ile yörünge temelli modellerin doğruluğunu arttırabilmek için, algılayıcı verilerini zamana göre değişken şekilde kullanan üç yardımcı yöntem tanımlanabilir. Bu yöntemlerin temel amacı, trafik akımının dinamik özelliğini, yolculuk süresi türetimine yansıtabilmektir.

Yörünge temelli yöntemlerdeki en basit yaklaşımla 'anlık' model, bir k anında ilk bağı girerek yolculuğuna başlayan taşıta ait yolculuk süresini, bu andaki trafik koşullarının taşıtın güzergâhı boyunca değişmeyeceği kabulüyle hesaplamaktadır. Bağıntı (3.4)'de bu yöntemin ortalama hız yaklaşımına göre gösterimi verilmiştir.

$$t(j, k) = \frac{2l_j}{v(j_a, k) + v(j_b, k)} \quad (3.4)$$

Burada; $v(j_a, k)$ ve $v(j_b, k)$, j bağındaki akım yukarı ve akım aşağı yönlerinde, k anında trafik algılayıcıları tarafından ölçülen ortalama hızlar, l_j bağı uzunluğu, $t(j, k)$ ise k anında j bağındaki taşıt için türetilen yolculuk süresini göstermektedir. Bir k anı için var olan trafik durumu taşıt, yolculuğunu bitirene kadar değişeceğinden, bu k anındaki trafik durumuna göre taşıtın güzergâhına ait yolculuk süresinin türetilmesi hatayı arttıracaktır. Bir güzergâh için toplam yolculuk süresi, ardışık bağılardaki yolculuk sürelerinin toplanmasıyla bağıntı (3.5)'deki gibi elde edilir.

$$T(k) = \sum_{j=1}^n t(j, k) \quad (3.5)$$

Burada, $T(k)$, bir k anında yolculuğuna başlayan taşıt için n tane bağ boyunca olan toplam yolculuk süresini ifade etmektedir. Anlık model, bir anı dikkate aldığından, gerçek zamanlı uygulamalar için uygun bir yöntemdir.

Yörünge temelli bir diğer yaklaşım ‘*zaman dilimi*’ modeli, hızda zamanla meydana gelen değişimleri dikkate almaktadır. Birinci bağ için yolculuk süresi, anlık model kullanılarak türetilir. Taşıtın birinci bağdaki yolculuk süresi $t(1, k)$ olmak üzere, bu taşıt ikinci bağa $k+t(1, k)$ anında girecektir. Bu durumda ikinci bağ için yolculuk süresi, ortalama hız yaklaşımına göre bir düzenlemeyle bağıntı (3.6)’da gösterildiği şekilde türetilir.

$$t(2, t_2) = \frac{2l_2}{v[2_a, k + t(1, k)] + v[2_b, k + t(1, k)]} \quad (3.6)$$

Bağıntı (3.6)’daki gösterim genel terimlerle ifade edilerek zaman dilimi modeline ait yolculuk süresi türetimi bağıntı (3.7)’deki gibi yazılabilir.

$$t(n, t_n) = \frac{2l_n}{v(n_a, t_n) + v(n_b, t_n)} \quad (3.7)$$

Burada, $t_n = k + t(1, k) + \sum_{i=2}^{n-1} t(i, t_i)$ ifade eder. Anlık modelin aksine, taşıt güzergâhına ait yolculuk süresi türetimi bir k anı için değil, taşıtın her bağa girişindeki zaman değerine karşılık gelen algılayıcı verisi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Anlık modelde olduğu gibi bir yolculuğa ait yolculuk süresi tüm bağlardaki yolculuk süreleri toplanarak elde edilir. Bu model, zamana göre değişen hız verilerini kullanmasından dolayı, anlık modele göre yolculuk sürelerinin türetiminde daha üstündür. Eğer zamana göre yol boyunca hızlar değişmiyorsa zaman dilimi modeli, anlık model gibi sonuçlar verecektir.

Yolculuk süresinin türetimi için, zaman dilimi modeline, anlık modele göre daha çok zaman aralığını kapsayan, daha kapsamlı veri gerekmektedir. Bu yüzden zaman dilimi modeli çevirim içi türetimler yerine, çevirim dışı türetimlerde daha kullanışlıdır.

Yörünge temelli son yaklaşım ‘*dinamik zaman dilimi*’ modeli, özyineli (*recursive*) bir formülasyonla çalışmakta ve zaman dilimi metodunu iyileştirmek için önerilmiştir. Yöntemde, her bir kesimin uzunluğu ve kesimi sınırlayan kesit ölçüm noktalarındaki hızın zamanla değişimi dikkate alınmıştır. Bağın giriş kesitinde (a), taşıtın hızı $v(j_a, t_j)$, çıkış kesitinde (b) ise $v[j_b, t_j + t(j, t_j)]$ olduğunu varsayarak, yolculuk süresi, ortalama hız yaklaşımına göre bağıntı (3.8)’de gösterildiği şekilde türetilir.

$$t(j, t_j) = \frac{2l_j}{v(j_a, t_j) + v[j_b, t_j + t(j, t_j)]} \quad (3.8)$$

Burada, $t(j, t_j)$, j bağına t_j anında giren taşıta ait yolculuk süresini ifade etmektedir. Zaman dilimi modelinden farklı olarak, dinamik zaman dilimi modelinde bağ çıkış kesitinde hesapta kullanılacak olan hız değeri, taşıtın bağı kat etme süresiyle ilişkilidir. $t(j, t_j)$ iteratif bir algoritma ile bulunabilir. Algoritma, $t(j, t_j)$ ’nin başlangıç değerine ve hesaplama öncesi hassasiyet eşik değerine gereksinim duymaktadır. Bağ yolculuk süreleri iteratif olarak hesaplandığından, iterasyon sayısı, hızın hesaplanmasını ve duyarlılığı için önemlidir. Anlık ve zaman dilimi modellerinde olduğu gibi bir yolculuğa (güzergâha) ait süre, tüm bağlardaki yolculuk sürelerin toplanması ile elde edilebilir. Dinamik zaman dilimi modeli de, zaman dilimi modeli gibi ayrıntılı veri gereksinimi duymakta ve gerçek zamanlı türetim için aynı eksik yönleri barındırmaktadır.

3.2.1.2 Değişken hız varsayımı yöntemi

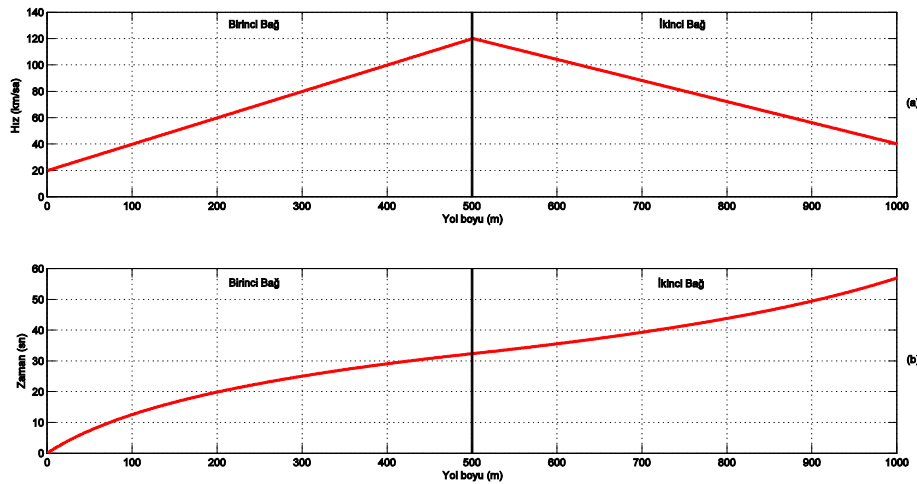
Bağ üzerinde sabit bir ortalama hız yerine, hızın bağı sınırlayan akım aşağı ve akım yukarı yöndeki trafik algılayıcılar arasında doğrusal olarak değiştiğini kabul eden modeli van Lint ve van der Zijpp (2003) önermişlerdir. Bu modele göre hız, bağı sınırlayan iki kesit arasında yol boyuna bağlı olarak doğrusal bir şekilde değişmektedir (artmakta ve azalmaktadır). Parçalı doğrusal hız temelli model (*piecewise linear speed based, PLSB*) adını verdikleri yaklaşıma göre bağ üzerinde herhangi bir noktadaki hız, bağıntı (3.9)’da verildiği gibi hesaplanır.

$$v(j, t) = v(j_a, t) + \frac{x(j, t) - X(j_a)}{l_j} \cdot [v(j_b, t) - v(j_a, t)] \quad (3.9)$$

Burada, $x(j,t)$ bir t anında j bağı üzerinde aracın bulunduğu konumu, $X(j_a)$ j bağında akım yukarı yöndeki trafik algılayıcısının konumunu belirtmektedir. Parçalı doğrusal hız modeli hızdaki ani değişimlerden kaçınmaktadır. Tüm güzergâh boyunca hız değişimi sanki tecrübe edilmiş (ölçülmüş) biçimde türetmektedir. Bu durumda, l_j uzunluğunda bir j bağına ait yolculuk süresi bağıntı (3.10)'daki gibi hesaplanabilir.

$$t_j(l_j) = \int_{x(j,0)}^{l_j} \frac{dl_j}{v_j(l_j)} \quad (3.10)$$

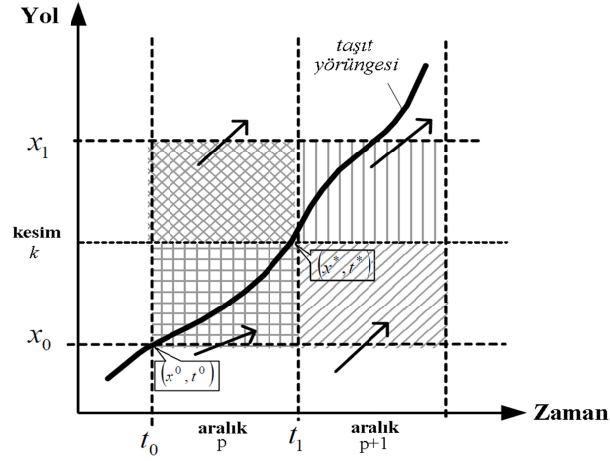
Şekil 3.3'de D_1 ve D_2 uzunlukları 500m ve algılayıcılar ile ölçülen hızların sırasıyla 20 km/sa, 120 km/sa ve 40 km/sa olduğu kabul edilirse, bağıntı (3.9)'da gösterilen bağ boyunca hız ve bağıntı (3.10)'da ifade edilen bağ üzerindeki yolculuk süresi değişimleri Şekil 3.4a ve Şekil 3.4b'deki gibi elde edilir.



Şekil 3.4 : Değişken hız yönteminde hız ve yolculuk süresi değişimi.

Şekil 3.4a'da birinci bağa girişte 20 km/sa ölçülen hız değeri birinci bağ sonunda (ikinci bağ başlangıcında) 120 km/sa, ikinci bağ sonunda ise 40 km/sa olarak ölçülmüştür. Değişken hız varsayımı yöntemine göre, bağ üzerindeki hız, bir sonraki kesitte ölçülen hız değerine kadar, yol boyunca, doğrusal bir şekilde artmakta veya azalmaktadır. Şekil 3.4a'daki yol boyunca değişen hız değerlerine ait yolculuk süresinin zamana göre değişimi ise Şekil 3.4b'de gösterildiği şekildedir.

Parçalı doğrusal hız temelli modelde yol-zaman değişimleri Şekil 3.5'de gösterildiği şekilde hücrelere bölünmüştür. Her bir $\{k,p\}$ hücresinde, hızların, parçalı doğrusal olarak değiştiği düşünülmüştür. Taşıtların, hücreye girdiği nokta (x^0, t^0) olarak, hücreden çıktıkları nokta ise (x^*, t^*) şeklinde ifade edilmiştir.



Şekil 3.5 : Taşıt yörüngesi değişiminin hücrelerle gösterimi (van Lint, 2004).

3.2.2 Trafik akım kuramı temelli yöntemler

Dolaylı yolculuk süresi türetiminde bir diğer yöntem kümesi; trafik akım kuramı temelli ve bir akım modeli uygulaması içeren yöntemleri içerir. Bu yöntemler; başlangıç ve sınır koşulları ile akım korunumu gibi temel akım yayılım ilkelerinin tutarlı olduğu varsayımıyla uygulanabilmektedir (Bovy ve Thijs, 2000). Nam ve Drew (1996, 1998); ardışık algılayıcı verileriyle çizilen eklenik taşıt sayısı eğrilerinden faydalandıkları, otoyol yolculuk süresi türetimine örnek bir kaba-boyut (makroskopik) trafik akım modeli uygulaması yapmışlardır. Akım-yukarı algılayıcı kesitini belirli bir zaman içerisinde geçen araçların, yolculuk süresine ilişkin ortak bir olasılık dağılım fonksiyonu olduğu varsayımıyla Petty ve diğ. (1998), yolculuk süresi türetimi için, doğrudan akım hacmi ve işgal verileriyle hesap yapan akım modeli temelli bir yöntem önermişlerdir. Hoogendoorn (2000), farklı kullanıcı türlerine (araç sınıfına) özel yolculuk süresi türetimi yapan akım modeli temelli bir yöntemden faydalanmıştır. Çalışmada, serbest ve serbest civarı koşullarda uygun sonuçlar alınırken, hata, tıkalı akım koşullarına geçiş süreçlerinde artmıştır.

Coifman (2002), yolculuk süresi türetimini ardışık döngü algılayıcı verisiyle yapan ve sadeleştirilmiş iki fazlı bir temel eğri varsayımıyla kesim içi yerel özellikleri kesim boyuna yayan pratik ve etkin bir yöntem önermiştir. Coifman (2002), varsaydığı doğrusal yaklaşıklanmış iki fazlı temel eğri yardımıyla yaptığı türetmenin, tıkalı koşullarda da uygun sonuçlar verdiğini göstermiştir. Fakat yöntemin, özellikle, çok farklı akım koşulları arasındaki ani geçişlerde çok uygun sonuçlar veremediği tartışılmıştır.

Oh ve diğ. (2003) temel akışkan ifadelerinden faydalandıkları modellerinde, kesimi sınırlayan ardışık kesit algılayıcı verilerinden elde edilen gerçek yoğunluk değerlerini kullanarak yolculuk süresi türetimini çalışmışlardır. Vanajakshi ve diğ. (2009), özellikle, farklı akım koşulları arasındaki geçiş süreçlerin etkin yolculuk süresi türetimi yapmak amacıyla Nam ve Drew (1996)'un akım modelinin farklı bir yapısından faydalanmışlardır. Bu çalışmada; Oh ve diğ. (2003)'nin yoğunluk yaklaşımından da faydalanılmış, fakat yoğunluk; işgal, ortalama araç boyu ve algılama alanı uzunluğu ölçülerinin bir fonksiyonu olarak türetilmiştir. Bu çalışmada Nam ve Drew (1996, 1998)'un geliştirilmiş modelinin, tüm akım koşullarının var olduğu trafikte uygun sonuçlar verdiği Vanajakshi ve diğ. (2009) tarafından belirtilse de, girdi olan temel trafik ölçümleriyle, trafik üretici bir yazılımın kalibrasyonu yapılarak türetilmiş veri kullanılmıştır. Ayrıca, bu çalışmada; ele alınan kesimde akım korunmadığı (katılmalar ve ayrılmalar bulunduğu) için, veri, bir eniyileme yöntemiyle işlenmiştir.

Trafik akım modeli temelli yolculuk süresi türetim yöntemlerinin en önemli getirisi; sürekli akış kuramını temel alarak değişen akım özelliklerini, yörünge temelli yöntemlere göre çok daha iyi yakalayabilmeleridir. Yolculuk süresi türetimi için önerilmiş çoğu kuramsal yöntem, yalnızca belirli akım koşullarında tatmin edici olabilmektedir. Bazı modeller yalnızca serbest ve serbest civarı (*near free*) akım koşulları için tutarlı sonuçlar verirken, örneğin Nam ve Drew (1996), Hoogendoorn (2000), Oh ve diğ. (2003); bazıları ise yalnızca tıkalı akım koşullarında etkin olabilmektedir (Nam ve Drew, 1998).

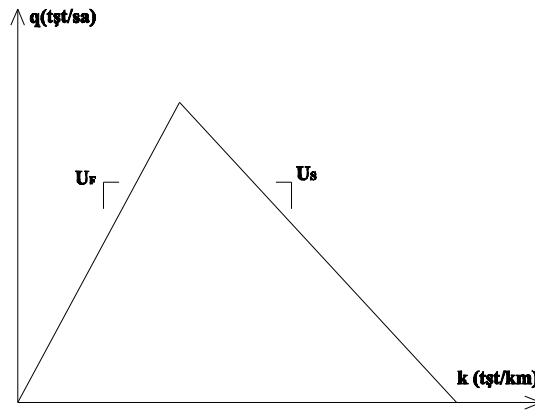
Farklılaşan akım koşullarında etkin yolculuk süresi türetimi yapabilen yalnızca birkaç yöntem vardır. Coifman (2002)'ın, basitleştirilmiş doğrusal iki fazlı temel eğri yaklaşımıyla yerel özellikleri kesim boyuna yayan çalışmasına ek olarak, Treiber ve Helbing (2002); tıkalı ve serbest koşullardaki akım yayılım hızları yardımıyla, akım koşullarına konum-zamansal bir uyarlamalı yumuşak yaklaşımlama yöntemi geliştirmiştir. Gerek Coifman (2002)'ın gerekse Treiber ve Helbing (2002)'in geliştirdiği yöntemler, saf akım modelleri olmasa da, akım kuramını temel alan yöntemler olarak ayrılabilirler.

Coifman (2002), Şekil 2.9'da açıklanan akım hacmi - yoğunluk ilişkisinin, benzer şekilde iki bölgeden oluştuğunu fakat üçgensel yaklaşımla, aralarında doğrusal bir ilişki olduğunu varsaymıştır. Şekil 3.6'da gösterilen bu yaklaşımda, üçgenin her bir

tarafında trafik koşullarının sabit kaldığı ve kararlı akımda hızın sabit ve U_F ; kararsız akımda ise hızın sabit ve U_S olduğu kabul edilmiştir. Yol – zaman düzleminde taşıt yörüngelerinin oluşturulması bağıntı (3.11)’da verilen diferansiyel eşitliğin çözümüyle gerçekleştirilir.

$$\frac{dx}{dt} = v(x, t) \quad (3.11)$$

Şekil 3.6’da ifade edilen akım hacmi – yoğunluk ilişkisindeki U_F ve U_S hızları ve trafik algılayıcılarıyla elde edilen taşıtlara ait ortalama hızlar ile taşıt yörüngeleri oluşturulur. Yörüngesi oluşturulan aracın bağ yolculuk süresi de ilgi yörüngesinin bir kesitten başlayıp diğer kesite ulaşması arasında geçen süredir.



Şekil 3.6 : Üçgensel akım hacmi – yoğunluk ilişkisi (Coifman, 2002).

3.2.3 Diğer yöntemler

Yolculuk süresinin, bilinmeyen gelecek trafik koşulları altında kestirimi için kullanılan bazı modeller (sinir ağları, zaman serileri, kalman filtresi, istatistik yöntemler, vb.) zaman zaman yolculuk süresinin türetilmesi amaçlı da kullanılmışlardır. Literatürde, bu modellerle yapılan yolculuk süresi türetimi, kestirime göre çok daha az olsa da, yolculuk süresi türetimi çalışmalarında kullanılmışlardır. Yolculuk süresi kestirimi bu çalışma kapsamında incelenmediği için bu başlık altında, yolculuk süresi kestirim yöntemlerinin, yolculuk süresi türetiminde kullanıldığı çalışmalara değinilmiştir.

İstatistik yöntemler, yolculuk sürelerinin var olan trafik verilerinden türetilmesi için önerilmiş yöntemlerdir. Örneğin, Zhang (1999), bağ hızlarını, hacim/kapasite oranı ve trafik algılayıcıları tarafından ölçülen hacim ve işgal değerlerinin bir fonksiyonu

olarak kabul ederek türetmiştir. Günlük yolculuk sürelerinin dağılımını belirlemek için Fosgerau ve Fukuda (2012), istatistiksel olarak yolculuk sürelerini türetmişlerdir.

Kaba boyut ölçeğinde, trafik algılayıcılarıyla toplanan hız, taşıt sayısı ve yoğunluk gibi trafik akımına ait verileri, istatistiksel olarak, değişik tıkanıklık koşulları altında toplanan ince boyut sürüş özellikleri ile ilişkilendiren çalışmalar da vardır (Barth ve diğ., 1996). Bu şekilde, araçlardan atmosfere yayılan emisyon miktarlarını tahmin eden modeller için daha yüksek duyarlılıkta girdi verisi sağlamak amaçlanmıştır. İnce boyut sürücü özellikleri KKS donanımlı gözlem araçlarıyla elde edilmiş ve eş zamanlı olarak trafik algılayıcılarından trafik verileri de toplanmıştır. KKS ile elde edilen hızdaki değişimlerin istatistiksel analizleri kaba boyut ölçeğinde hız, taşıt sayısı ve yoğunluk ile ilişkilendirilmiştir.

Liang ve Ling-xiang (2006), KKS donanımlı gözlem aracından toplanan yolculuk süreleri ve sabit trafik algılayıcıları (loop) ile toplanan trafik akımına ait verilerini, sinir ağları yöntemiyle birleştirip yolculuk süresi türetimi yapan bir model kullanmışlardır. Çalışmalarında, gözlem araçlarından sağlanan konuma dayalı anlık verilerin getirileri, sabit bir noktada trafik verisi toplayan trafik algılayıcılarla geri yayımlı sinir ağları yöntemiyle birleştirilerek, yolculuk süresi türetimindeki duyarlılığın artırılması amaçlanmıştır.

Kent içi ulaştırma ağlarında, trafik uyarımlı sinyalizasyon kavşaklarında yolculuk süresi türetimi için sinir ağları yöntemi kullanılabilir (Anderson ve Bell, 1997). Ayrıca, çevirim içi olarak, başlangıç-son yolculuk süresi türetiminde de yapay sinir ağları yöntemi kullanılabilmektedir (Fu ve Rilett, 1995).

Çevirim içi elde edilen trafik algılayıcı verilerinin, geçmiş trafik algılayıcı verileriyle birlikte işlenmesiyle yolculuk süresi kestirimi çalışmalarında kullanım alanı olan Kalman filtreleme tekniği, yolculuk süresi türetim çalışmalarında da kullanıldığı alanlara literatürde rastlanmaktadır. Hu ve Chen (2004), önerdikleri genişletilmiş Kalman filtresi ile çevirim içi yolculuk süresi türetimi yapmışlar ve başlangıç-son akımlarını bulmuşlardır. Önerilen Kalman filtresi, trafik akımında meydana gelen değişimleri dikkate alabildiğinden, çevirim içi trafik kontrol çalışmalarında kullanılabilmektedir. Çevirim içi yolculuk hızı (dolayısıyla yolculuk süresi) türetimi

de KKS donanımlı gözlem aracıyla toplanan veriler kullanılarak Kalman filtresi yöntemiyle yapılabilmektedir (Wei ve diğ, 2010).

Yolculuk süresi kestirimi ile ilgili ayrıntılı çalışmalara; Vanajakshi (2004), van Lint (2004) kaynaklarından ulaşılabilir.

4. VERİ ÇÖZÜMLEMESİ, MODEL KALİBRASYONU VE UYGULAMA ÇALIŞMASI

Yolculuk süresi türetimi için gerekli olan trafik algılayıcı verileri elde edebilmek amacıyla, ilk olarak trafik üretici yazılımın mikrodalga trafik algılayıcıları ile kalibrasyonu yapılmıştır. Mikrodalga trafik algılayıcılarının trafik akımına ait ölçtükleri veriler kendi aralarında (çalışma güzergâhı boyunca) tutarsızlık gösterdiğinden, trafik üretici yazılımda gerçek konumlarına yerleştirilen (sanal) trafik algılayıcıları ile trafik akımına ait veriler (taşıt sayısı, hız ve işgal) tekrar üretilmiştir. Trafik akımına ait üretilen veriler, gerçek mikrodalga algılayıcılar ile toplanan verilerle karşılaştırılmıştır. Friesz ve diğ. (1993)'nin modelinde ve yolculuk süresi türetme yöntemlerinde trafik üretici yazılımdan elde edilen trafik algılayıcı verileri girdi verisi olarak kullanılmıştır. Ekstrapolasyon yöntemleriyle türetilen yolculuk sürelerinin, ince-boyut benzetim modeli ortamında taşıtların tecrübe ettikleri gerçek yolculuk süreleriyle karşılaştırmaları yapılmış ve başarımları sınanmıştır. Ayrıca, saha gözlemleriyle ölçülen gerçek yolculuk süreleri de trafik üretici yazılım ile elde edilen yolculuk süreleriyle karşılaştırılmıştır.

4.1 Faydalanılan Modelleme Yöntemlerinin Kuramsal Yapısı

Bağ üzerindeki yolculuk sürelerinin belirlenebilmesi kadar, bağ üzerindeki yolculuk sürelerinin gün içerisindeki veya gün içerisinde belirli bir zaman aralığındaki dağılımlarının belirlenmesi de ulaştırma sisteminin başarımının sınanması bakımından önemlidir. Ağ modellerinde, kaba boyut ölçekte, dinamik trafik atamasında kullanılan Friesz ve diğ. (1993)'nin doğrusal yolculuk süresi modeli yolculuk sürelerinin dağılımlarının belirlenmesinde de kullanılmaktadır (Aksoy ve Celikoglu, 2012). Bu model için, belirlenen ayrıklaştırma zaman aralığında bağa giren taşıt sayıları, trafik üretici yazılım ile elde edilmiştir. 4.2.3 başlığı altında, trafik üretici olarak kullanılan yazılımla verilerin nasıl üretildiği ayrıntılı biçimde açıklanmaktadır.

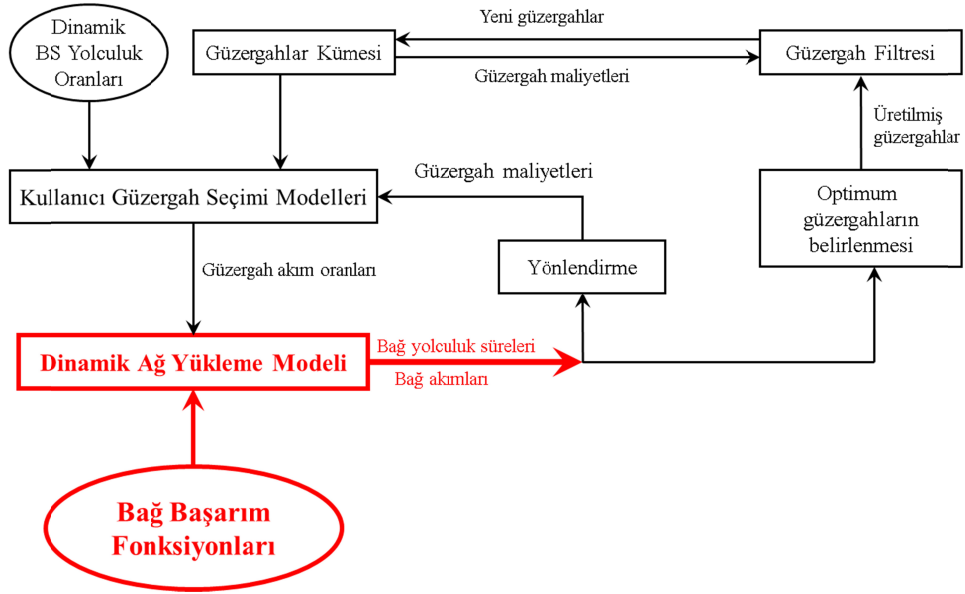
Taşıtların, pozitif veya negatif ivmelenmesi, birbirleri arasındaki etkileşim gibi ince boyut akım özelliklerini kaba boyut yaklaşımlar yansıtamamaktadır. İnce boyut ölçekteki yaklaşımlarda en küçük trafik birimi taşıttır ve her bir taşıta ait ivmelenme, şerit değiştirme gibi tüm dinamik özellikler dikkate alınmaktadır. İnce-boyut benzetim modelin kodlandığı PTV AG firmasının ürettiği Vissim yazılımıyla çalışma güzergâhına ait ince-boyut benzetim modeli oluşturulmuştur. Bu model, hem trafik üretici olarak hem de benzetim ortamında taşıtların tecrübe ettikleri gerçek bağ yolculuk sürelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır.

4.1.1 Kaba-boyut yaklaşımda doğrusal bağ başarıml fonksiyonu

Dinamik trafik atama problemi için Friesz ve diğ. (1993) tarafından geliştirilen model, bağ dinamiklerini, akım korunumunu, akım yayılımını ve sınır koşullarını ifade eden denklemler sistemi olarak formülleştirmişlerdir. Bu modelde, bir bağ için yolculuk süresinin, bağ üzerindeki araç sayısı ile doğrusal olarak değiştiğini kabul edilmiştir. Friesz ve diğ. (1993)'nin modeli, bağ yolculuk sürelerinin, gün içerisindeki veya günün belirli saatlerindeki dağılımları hakkında gerçekçi bilgiler sunmaktadır (Aksoy ve Celikoglu, 2012).

Dinamik Trafik Ataması (DTA), değişken arz ve talep etkileşiminin sonucu olarak, yol ağı üzerindeki trafik yapısını zaman içerisinde tanımlamaktır. DTA'nda zaman boyutunun değerlendiriliyor olması; güzergâh ve ayrılma zamanı seçimi gibi gerçeğe ilişkin durumları ve daha ayrıntılı trafik dinamiklerini ifade edebilmeyi sağlar. DTA uygulaması yapabilmek için Dinamik Ağ Yükleme (DAY) problemini çözmek gereklidir. DAY problemi, verilen başlangıç-son talepleri ve kullanıcı seçimi bilgileri ile bağ başarımlarının ifade edilmesidir. DAY modelleri bağıntı (4.1)'de verilen akım korunum bağıntısı temelli diferansiyel denklem sisteminin çözümünü gerektirir. Bu çözüm, bağ çıkış fonksiyonu ve yolculuk zamanı fonksiyonu temelli iki farklı bağ başarıml fonksiyonu varsayımına göre yapılabilir (Çelikoğlu, 2009).

Çalışmada kullanılan Friesz ve diğ. (1993)'nin doğrusal yolculuk süresi modeli, Şekil 4.1'de gösterilen DTA süreci içerisinde, yolculuk süresi fonksiyonu temelli bağ başarımlını ifade etmektedir.



Şekil 4.1 : Dinamik trafik ataması süreci (Çelikoğlu, 2009).

Bağıntı (4.1)'de verilen akım korunum bağıntısında; $n(t)$ bağ üzerindeki araç sayısını, $u(t)$ ve $w(t)$ sırasıyla bir t anında bağa giren ve bağdan çıkan akım hacmini ifade etmektedir.

$$\frac{dn(t)}{dt} = u(t) - w(t) \quad (4.1)$$

Bağ çıkış fonksiyonu temelli formülasyonlarda, $w(t)$, bağıntı (4.2)'de gösterildiği üzere $n(t)$ 'nin fonksiyonu olduğu kabul edilir.

$$w(t) = g(n(t)) \quad (4.2)$$

Bağıntı (4.2)'de gösterilen bağ çıkış fonksiyonu, negatif olmayan, sürekli, azalmayan ve $n(t)$ ile sınırlanmış olması gerekmektedir. İlk bağ çıkış fonksiyonu temelli formülasyon Merchant ve Nemhasuer (1978) tarafından önerilmiştir. Bu formülasyon her zaman ilk giren ilk çıkar (İĞİÇ) kuralının geçerli olacağını garanti etmemektedir.

İkinci yaklaşım, yolculuk süresi fonksiyonu olarak benimsenmiştir. Yolculuk süresi, $\tau(t)$, t anında bağa giren trafik akımı için bağıntı (4.3)'teki gibi ifade edilir.

$$\tau(t) = f(n(t), u(t), w(t)) \quad (4.3)$$

Birçok yolculuk süresi fonksiyonu bağıntı (4.3)'ün özel bir halidir. Bağıntı (4.3)'teki bağımsız değişkenler hepsi birlikte, ayrı ayrı, ya da ikili olarak bağ yolculuk süresi

hesaplanması için kullanılabilirler. Friesz ve diğ. (1993), bağıntı (4.3)'e dayanarak, bağıntı (4.4)'de verilen doğrusal yolculuk süresi fonksiyonunu önermişlerdir.

$$\tau(t) = f(n(t)) \quad (4.4)$$

Burada; bağa ait yolculuk süresi, bir t anındaki bağ üzerindeki taşıt sayısının fonksiyonudur ve $f(\cdot)$, sürekli, azalmayan, pozitif ve türevlenebilir bir fonksiyondur.

Bağıntı (4.4)'ü geliştirerek, doğrusal biçimde ifadesiyle bağıntı (4.5) elde edilir. Bağıntı (4.5)'de τ_{ff} serbest akım yolculuk süresini, n_{eb} ise bağın tutabileceği en fazla araç sayısını ifade etmektedir. Bağ üzerindeki taşıt sayısı n_{eb} 'e ulaştığında, yolculuk süresi, serbest akım yolculuk süresinin iki katı değerini almaktadır.

$$\tau(t) = \left(\tau_{ff} \cdot \frac{n(t)}{n_{eb}} \right) + \tau_{ff} \quad (4.5)$$

Bağ üzerinde, $s < t$ olmak üzere t anındaki araç sayısı, bağıntı (4.6)'da gösterildiği şekilde elde edilir.

$$n(t) = n(0) + \int_0^t (u(s) - w(s)) ds \quad (4.6)$$

Friesz ve diğ. (1993), $f(\cdot)$ doğrusal olduğunda, modelin, tüm sürekli giren akım durumlarında İGİÇ kuralına uyduğunu ispatlamışlardır. İGİÇ kuralı geçerli olduğunda ve akım korunduğunda bağıntı (7) yazılabilir.

$$n(0) + \int_0^t u(s) ds = \int_0^{t+\tau(t)} w(s) ds \quad (4.7)$$

Bağıntı (4.7)'nin t 'ye göre türevi alınarak bağıntı (4.8) elde edilir.

$$w(t + \tau(t)) = \frac{u(t)}{1 + \tau'(t)} = \frac{u(t)}{1 + f'(n)(u(t) - w(t))} \quad (4.8)$$

Burada $\tau'(t) = d\tau / dt$ ve $f'(x) = df(x) / dx$ 'dir. Bir t anı için $u(t)$, $w(t)$ ve $n(t)$ verildiğinde, bağıntı (4.8) yardımıyla $w(t + \tau(t))$, başka bir deyişle $\tau(t)$ süre sonra için $w(t)$ bulunabilir. Dolayısıyla, bağıntı (4.4) ve bağıntı (4.6) sırasıyla zamana göre çözüldüğünde, $w(t)$, her t zamanı için önceden bilinmektedir. O halde, her t anı için,

$w(t)$ bilineniyle ve $u(t)$ verildiğinde $t=0$ 'dan $t=T$ 'ye kadar bağıntı (4.6) ile $n(t)$, bağıntı (4.4) ile $\tau(t)$ hesaplanabilir (Carey ve Ge, 2003).

4.1.2 İnce boyut yaklaşım trafik benzetim modeli

Benzetim modellerinin temel amacı, insan sürüş davranışını modelleyebilmek ve bu davranışı bağ veya ağ boyunca diğer taşıtlarla olan etkileşimlerini de dikkate alarak uygulayabilmektir. İnce boyut benzetim modellerinde, en küçük model birimi taşıttır ve her bir taşıt sürücüsü için tepki ile algısal eşik değerlerinin göz önüne alınması gerekmektedir. İnce boyut benzetim modelinin kodlandığı Vissim yazılımında benzetim modeli, R. Wiedemann'ın sürücü davranışını irdeleyen araç izleme modeli ve aracın yanal hareketlerini irdeleyen şerit değiştirme modeli çalışmalarına dayanmaktadır (Wiedemann, 1974; Wiedemann, 1991; Wiedemann ve Reiter, 1992).

4.1.2.1 Araç izleme modeli

Araç izleme modeli, boyuna taşıt hareketinin, aynı şeritteki öndeki taşıt tarafından etkilenmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Harekete olan etki, öndeki taşıtla olan hız farkından dolayı aradaki mesafenin azalması şeklinde ortaya çıkan algısal süreçle ilişkilidir. İnsanın çevresindeki değişimleri fark edebilmesi için fiziksel etkilerin eşik değer denilen en küçük değeri geçmesi gerekmektedir. İnsan algısındaki sınırlamalar araç izleme modellerini etkilemektedir. Vissim'de insan davranışının doğallığının (veya rastgele olma özelliğinin) normal dağılıma uyduğu kabulüyle eşik değerler ve sürüş karakteristiği modellenmeye çalışılmıştır.

İnsan algısı ve tepkisi bazı eşik değerlerle ve arzu edilen mesafelerle temsil edilmiştir. Bu eşik değerler, öndeki taşıt ile izleyen taşıt arasındaki etkileşimi değişik durumlar altında sınırlamaktadır: taşıtın öndeki herhangi bir taşıt tarafından etkilenmediği, öndeki taşıtın yavaş seyrettiğini algılayan izleyen taşıtın sürücüsünün bilinçli olarak yavaşlayarak etkilenmesi, öndeki taşıtı izleme sürecinde olan aracın farkında olmadan etkilenmesi veya aracın acil bir durum altında olması. Farklı sürüş teknikleri aşağıda açıklanan durumlarla ilişkili olarak değişmektedir. Eşik değerler aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

“M” duran taşıtlar arasında olması arzu edilen mesafe olarak tanımlanmaktadır (bir taşıtın önünden diğer taşıtın önüne kadar). Bu mesafe, öndeki taşıtın boyu “L” ile arkadaki taşıtın önü ile öndeki taşıtın arkası arasındaki (*front-to-rear distance*) I taşıt

sürücüsünün arzu ettiği mesafeyi içerir. Bu mesafe taşıt sürücüsünün güvenlik tedbirlerine göre normal dağılımla ifade edilir, $NOR1(I)=N(0,5-0,15)$, 0 ile 1 arasında değerler alır ve 0,5 ortalamaya 0,15 standart sapmaya sahiptir. M mesafesi bağıntı (4.9) ‘deki gibi ifade edilir. Burada, Me ve Mc kalibrasyon parametreleridir.

$$M = L + Me + RND1(I) \cdot Mc \quad (4.9)$$

“MN” küçük hız farklarındaki arzu edilen en küçük izleme mesafesidir. Bağıntı (4.10)’da verilen MN, yukarıda tanımlanan M terimini ve hıza bağlı değişen bir ifadeyi içerir. Bu ifadenin en küçük değerleri, sürücünün güvenlik tedbirlerine göre normal dağılımla ($NOR1(I)$) ifade edilmiştir.

Ne ve Nc kalibrasyon parametreleri, “V” ise öndeki taşıta yaklaşma sırasında iken öndeki taşıtın hızı, öndeki taşıt ile aranın açılması halinde ise taşıtın kendi hızı olmak üzere “N”, bağıntı (4.11) ile belirlenebilir.

$$MN = M + N \quad (4.10)$$

$$N = (Ne + Nc \cdot NOR1(I)) \cdot \sqrt{V} \quad (4.11)$$

Bağıntı (4.12)’te verilen “P” uzun mesafelerde hız farkını algılayabilme eşik değerini ifade etmektedir. Bu eşik değer, sürücünün önünde daha yavaş seyreden taşıta yaklaştığını işaret etmektedir. Eğer şerit değiştirmek olası değilse, sürücü, bu durum karşısında hızını düşürecek ve aralarındaki mesafenin “MN”den daha büyük olmasını sağlayacak şekilde karşılık verecektir. $NOR1(I)$ terimine ek olarak sürücünün tahmin yeteneği normal dağılıma uyan ve $NOR1(I)$ ile aynı standart sapma ve ortalama değerlerine sahip $NOR2(I)$ terimiyle temsil edilmiştir. P eşik değerinin hesabında kullanılan “C” değişkeni de bağıntı (4.13)’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$P = \left(\frac{D - M}{C} \right)^2 \quad (4.12)$$

$$C = Cs \cdot (Ce + Cc \cdot (NOR1(I) + NOR2(I))) \quad (4.13)$$

Burada, “D” gerçek mesafe (*actual distance*), Cs , Ce ve Cc ise eşik değerin değişim aralığını belirten kalibrasyon parametreleridir. Bağıntı (4.13) ile elde edilen “C” değerinin 25 ile 75 arasında değişen değerler almaktadır.

“R” izleme sürecinde öndeki taşıtla aradaki mesafenin açıldığını belirten algılama eşik değeridir. Bu eşik değeri sayesinde sürücü, öndeki taşıta göre çok geride kalması ile izleme sürecinden çıktığının farkına varmaktadır. Bağntı (4.14)’de verilen “R”, aynı sürücü için bile değişik değerler alabileceğinden NNOR terimi bu değişimi yansıtmak için kullanılmaktadır.

İyi tahmin yeteneğine sahip sürücüler için bağntı (4.15)’de ifade edilen NOR2(I) terimi 1.0’e yakın değerler alacak ve böylece “R” küçük olacaktır. Burada E_e ve E_c eşik değerin değişim aralığını tanımlayan kalibrasyon parametreleridir.

$$R = M + E \cdot N \quad (4.14)$$

$$E = E_e + E_c \cdot (NNOR - NOR2(I)) \quad (4.15)$$

“S” küçük hız farklarının kısa ve azalan mesafelerde algılanabilmesi için eşik değeri ifade etmektedir. Küçük hız farklarının söz konusu olduğu durumlarda sürücü yaklaştığını algılamakta ve olası bir kazadan kaçınmak için yavaşlayarak tepki vermektedir. Bağntı (4.16)’da verilen “S”, “P” ye benzer niteliktedir ancak “S”nin değişim aralığı daha büyüktür.

$$S = P \cdot E^2 \quad (4.16)$$

“T” küçük hız farklarının kısa fakat artan mesafelerde algılanabilmesi için eşik değeri ifade etmektedir. Bu değerin değişim aralığı “S”den daha büyüktür. Aynı sürücü için değişik durumları yansıtabilmesi için, yine NNOR terimi bağntı (4.17)’de verilen “T” içerisinde tanımlanmaktadır. Burada; T_e ve T_c değişim aralığını tanımlayan kalibrasyon parametreleridir.

$$T = S \cdot (-T_e - T_c \cdot NNOR) \quad (4.17)$$

Yukarıda tanımlanan eşik değerler 4 farklı sürücü davranışını ifade etmektedir. Bunlar; etkilenmemiş sürüş (*un-influenced driving*), yaklaşma süreci (*closing process*), izleme süreci (*following process*) ve acil frenleme (*emergency braking*)’dir.

Bağntı (4.18)’de verilen “Z” terimi, pozitif ve negatif ivmelenmenin en küçük değerlerini yansıtmaktadır. Burada, NOR4(I) değişkeni sürücünün ivmelenmeyi kontrol edebilme yeteneğini temsil etmektedir.

$$Z = Z_c \cdot (NOR4(I) + NNOR) \quad (4.18)$$

Etkilenmemiş Sürüş: Sürücü arzu edilen hızında (*desired speed*) ilerlemeye ya da o hıza ulaşmaya çalışır. Hızdaki değişim “Z” teriminin pozitif veya negatif değerleri ile modellenir. Etkilenmemiş sürüş davranışındaki en önemli terim en büyük ivmelenme değeridir. Bu değer hem taşıt özelliklerine göre hem de sürücünün bu özellikleri kullanabilme yeteneklerine göre değişmektedir. En büyük ivme değeri taşıtın var olan hızı ve en büyük hız değerinin bir fonksiyonudur. Ağır taşıtlar içinse en büyük ivme değeri taşıtın motor gücü ve taşıdığı yükün bir fonksiyonudur. Otomobiller için azami ivme değeri (i_{eb}) bağıntı (4.19)’daki gibi hesaplanabilir. Bağıntı (4.19)’da kullanılan V_{etken} değişkeni bağıntı (4.20)’de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$i_{eb} = i_{eb} \cdot C \cdot (V_{eb} - V \cdot V_{etken}) \quad (4.19)$$

$$V_{etken} = \frac{V_{eb}}{V_{ist} + V_{etken} \cdot C \cdot (V_{eb} - V_{ist})} \quad (4.20)$$

Burada; “ V_{eb} ” en büyük hız, “ V_{ist} ” arzu edilen hız, “V” taşıtın o anki hızı ve diğer tüm değişkenler kalibrasyon parametreleridir.

Yaklaşma Süreci: “P” eşik değerinin aşılmasıyla sürücü öndeki taşıta yaklaşma sürecinde olduğunu fark etmektedir. Tepki süresi sonrasında sürücü, taşıtın hızını öndeki taşıtla arasında “MN”den daha büyük bir mesafeyi koruyacak şekilde yavaşlatmaktadır. Bu sürecin kinematik eşitliği bağıntı (4.21)’de verilmektedir.

$$i(I) = \frac{1}{2} \cdot \frac{VF^2}{MN - D} + i(I-1) \quad (4.21)$$

Burada; “VF” var olan durumdaki hız farkı, “D” taşıtlar arası var olan uzunluk, $i(I-1)$ ise öndeki taşıtın ivmelenme değeridir. Sürücüler genellikle deterministik davranmazlar. Bu nedenle, insan davranışının tahmin edebilme ve sürüş yeteneklerinin normal dağılıma uyduğu kabul varsayılmaktadır. Burada tahmin edilen değerler olan “D”, “VF” ve “ $i(I-1)$ ” için bağıntı (4.22)’ye $i(I)$ terimi eklenerek insan tahmin hatası modellenmeye çalışılmıştır.

$$i(I)_{insan} = i(I) + \frac{(1 - NOR2(I)) \cdot (1 - 2 \cdot NNOR)}{K(I)} \quad (4.22)$$

Burada; “K(I)” yaklaşma sırasındaki öğrenme sürecini ifade etmektedir. En büyük yavaşlama ivmesi (i_{ek}) taşıt özelliklerine, sürücünün taşıt özelliklerini kullanabilme yeteneğine ve yol koşullarına göre değişmektedir. Bu değişimler, bağıntı (4.23)’de gösterilmiştir.

$$i_{ek} = -i_{ek} e^{-i_{ek} \cdot c \cdot NOR3(I)} + i_{ek} \cdot c \cdot V \quad (4.23)$$

Burada; NOR3(I) taşıt özelliklerini ve sürücünün bu özellikleri kullanabilme yeteneğini normal dağılımla ifade etmektedir.

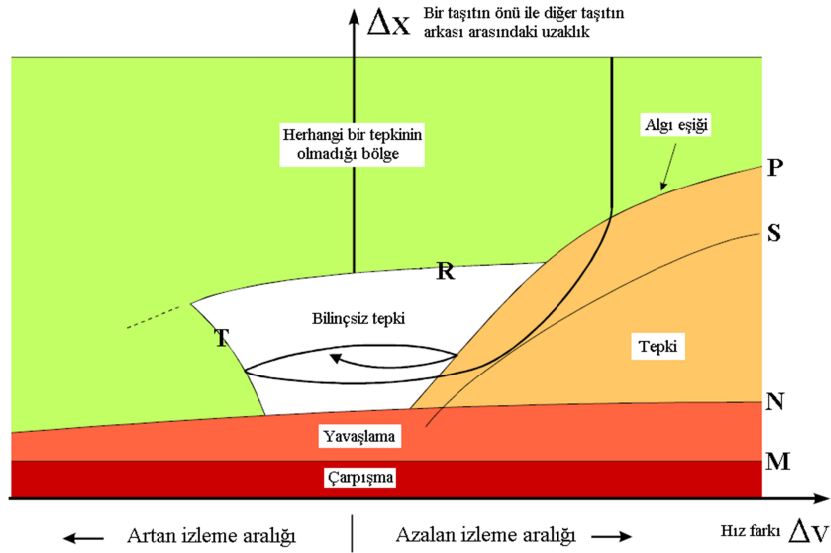
İzleme Süreci: Bir taşıt sürücüsü, genellikle, öndeki taşıtı sabit bir hızla izleme eğilimindedir. Sürücü öndeki taşıtın hareketlerine bilinçli olarak tepki vermeyerek ivmesini düşük tutmaya çalışır. Bu değer, pozitif ve negatif ivmenin en küçük değerlerini ifade eden “Z” ile belirlenir. En küçük ivme değeri, “S”, “T”, “MN” ya da “R” eşik değerlerinden herhangi biri aşıldıkça kadar sabit tutulur.

Acil Frenleme: Öndeki taşıtın aniden yavaşlaması trafik içerisinde tehlikeli bir durum yaratacağından, sürücü bu duruma, hızını yavaşlatarak tepki verecektir. Ayrıca sürücü, öndeki taşıt ile arasında arzu edilen en küçük izleme aralığından daha uzun bir aralık bırakmaya çalışacaktır. Bu durum bağıntı (4.24)’de ifade edilmiştir.

$$i(I) = \frac{1}{2} \cdot \frac{VF^2}{M - D} + i(I - 1) + i_{ek} \cdot \frac{MN - D}{N} \quad (4.24)$$

Bağıntı (4.24)’deki birinci terim yavaşlamanın kinematik eşitliğini ifade etmektedir. Buradaki uzunluk “M”dir. Çünkü “MN” mesafesi çoktan aşılmıştır. Bağıntı (4.24)’deki ikinci terim ise, arzu edilen mesafenin ne derece aşıldığına göre yavaşlama ivmesini ifade etmektedir.

Araç izleme modeli ve bu başlık altında tanımlanan eşik değerlerin birlikte gösterimi Şekil 4.2’deki gibidir.



Şekil 4.2 : Taşıt izleme modeli (PTV AG, 2011).

4.1.2.2 Şerit değiştirme modeli

Şerit değiştirme modeli, insan algısının taşıt hareketleriyle olan temsili şeklinde tanımlanabilir. Bundan dolayı, şerit değiştirme modeli araç izleme modeli ile yakından ilişkilidir. Şerit değiştirme bazı kararlar sonucunda gerçekleşmektedir. Her sürüş durumunda bu kararların alınmasında sürücünün kendine sorduğu sorular genellikle şunlardır:

- Şerit değiştirmek gereklimi?
- Şu anki sürüş şekline göre yan şerit daha mı uygun?
- Yan şeride geçiş mümkün mü?

Bu üç sorunun cevapları olumlu ise şerit değiştirilmektedir.

İki farklı şerit değiştirme tanımı yapılmıştır. Bunlar; hızlı şeritten yavaş şeride ya da yavaş şeritten hızlı şeride yapılan şerit değiştirme hareketleridir. Her iki şerit değiştirme de, ancak tehlikeli bir durum oluşmayacaksa gerçekleşir.

Araç izleme modelinde önde seyreden yavaş taşıttan etkilenme eşik değeri uzunluk cinsinden “R” ve hız farkı cinsinden “P” ile tanımlanmıştır. İnsan, şerit değiştirme kararı modelindeki bu tip etkilere asıl etki (*actual influence*) denmektedir. Sürücü çevresindeki taşıtları, hızları ve mesafeleri sürekli izlemektedir. Sürücü, gelecekteki olası durumları düşünerek şerit değiştirme kararı alacaktır. Bu durum ise potansiyel etki (*potential influence*) ile tanımlanmaktadır. Herhangi bir anda sürücü önündeki

taşıttan etkilenmemiş, fakat yakın bir gelecekte etkilenecekse, bu etkiyi belirten yeni eşik değerler “RP” ve “PP” bağıntı (4.25) ve (4.26)’da verilmektedir.

$$RP = M + F_1 \cdot N \quad (4.25)$$

$$PP = F_2 \cdot P \quad (4.26)$$

Burada; “F₁” ve “F₂” çarpanları, çevredeki taşıtlara göre çeşitlilik göstermektedir. Potansiyel etki, asıl etkiye göre daha duyarlı olduğundan, insan şerit değiştirme kararı için oluşturulan modelde potansiyel etki asıl etkiye ek olarak kullanılmaktadır.

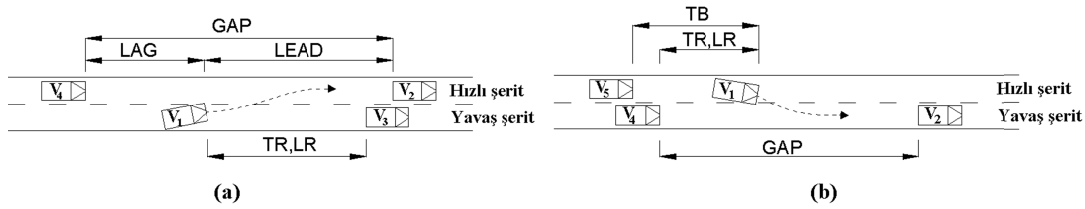
Yavaş şeritten hızlı şeride geçiş için dört, hızlı şeritten yavaş şeride geçiş içinse iki farklı şerit değiştirme tanımı yapılmıştır.

Hızlı şeride yapılan şerit değiştirme: Şerit değiştiren taşıtın önü ile bulunduğu şeritte öndeki taşıtın arkası arasındaki saniye cinsinden tepki için geçen süre “TR”, metre cinsinden tepki için alınan mesafe “LR”, şerit değiştiren taşıtın önü ile hızlı şeritteki öndeki taşıtın arkası arasındaki saniye cinsinden zaman aralığı “LEAD”, şerit değiştiren taşıtın önü ile hızlı şeritteki arkadaki taşıtın önü arasındaki saniye cinsinden zaman aralığı “LAG”, hızlı şeritte öndeki taşıtın arkası ile izleyen taşıtın önü arasındaki saniye cinsinden zaman aralığı “GAP” şeklinde tanımlanmıştır. Şekil 4.3a’da; “V₄”, hızlı şeritte izleyen taşıt; “V₁”, şerit değiştiren taşıt; “V₃”, bulunduğu şeritte öndeki taşıt; “V₂” ise hızlı şeritte önde giden taşıttır.

Yavaş şeride yapılan şerit değiştirme: Şerit değiştiren taşıtın önü ile yavaş şeritteki arkadaki taşıtın önü arasındaki saniye cinsinden tepki için geçen süre “TR”, metre cinsinden tepki için alınan mesafe “LR”, yavaş şeritte öndeki taşıtın arkası ile takip eden taşıtın önü arasındaki saniye cinsinden aralık “GAP” ve bulunduğu şeritte şerit değiştiren taşıtın önü ile izleyen taşıtın önü arasındaki saniye cinsinden aralık “TB” şeklinde tanımlanmıştır. Şekil 4.3b’de “V₅”, bulunduğu şeritte izleyen taşıt; “V₄”, yavaş şeritte izleyen taşıt; “V₂”, yavaş şeritte öndeki taşıt; “V₁” ise şerit değiştiren taşıttır.

Saniye cinsinden şerit değiştirme için geçen süre “TS” ve geçen mesafe ise “LS” olmak üzere hızlı şeride yapılan dört farklı şerit değiştirme türü; “serbest şerit değiştirme”, “LEAD” şerit değiştirme, “LAG” şerit değiştirme ve “GAP” şerit değiştirmedir. Serbest şerit değiştirmede; şerit değiştiren taşıt, yalnızca bulunduğu

şeritte öndeki taşıt tarafından etkilenmektedir. Hızlı şeritteki öndeki ve arkadaki taşıtlar şerit değiştirme hareketini etkilememektedir. LEAD şerit değiştirmede; hızlı şeritte ilerleyen öndeki taşıt ile şerit değiştiren taşıt arasındaki mesafe, bulunduğu şeritte ilerleyen öndeki taşıttan daha azdır. Aynı zamanda, hızlı şeritte arkadan gelen taşıt, şerit değiştiren taşıtı etkilememektedir. LAG şerit değiştirmede; hızlı şeritte izleyen taşıt, şerit değiştirmeden etkilenmektedir. Ayrıca bulunduğu şeritteki öndeki taşıt, hızlı şeritteki öndeki taşıttan daha yakındır. GAP şerit değiştirmede ise hızlı şeritte izleyen taşıt, şerit değiştirmeden etkilenmektedir. Ayrıca, hızlı şeritteki öndeki taşıt ise, şerit değiştiren taşıtı etkilemektedir. Bu tür şerit değiştirme LEAD ve LAG şerit değiştirme modellerinin birleşimidir.



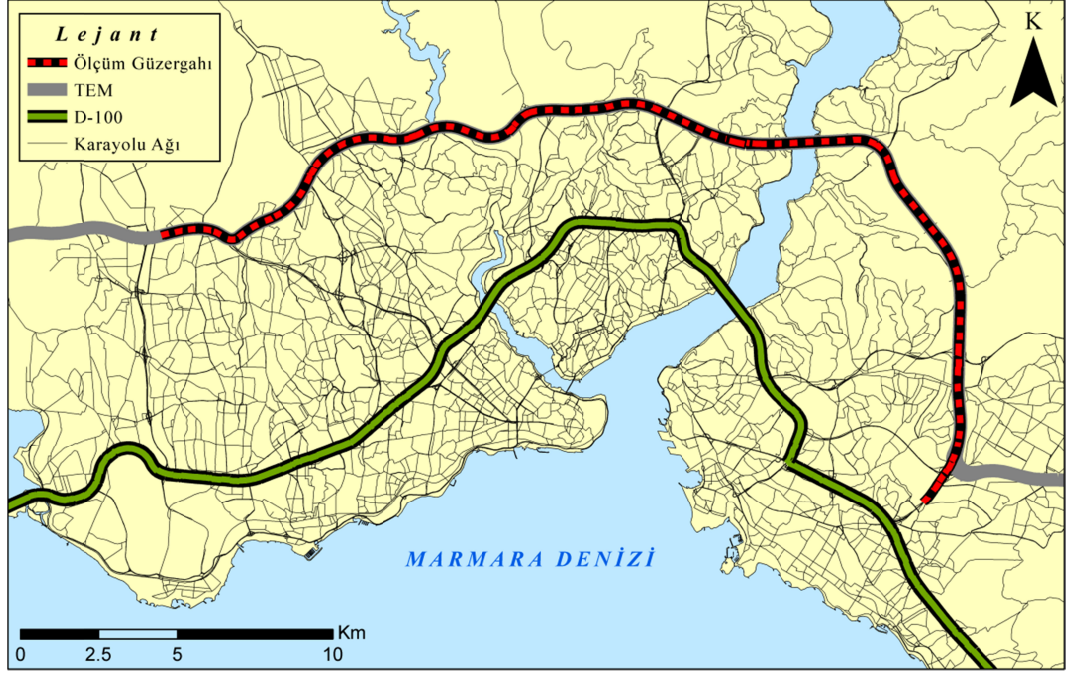
Şekil 4.3 : Vissim şerit değiştirme modelleri.

Yavaş şeride yapılan iki farklı şerit değiştirme türü; “serbest şerit değiştirme” ve “ACCEL şerit değiştirme”dir. Serbest şerit değiştirmede; şerit değiştiren taşıt, bulunduğu şeritteki izleyen taşıttan etkilenmemektedir. ACCEL şerit değiştirmede ise; bulunduğu şeritte izleyen taşıt, şerit değiştiren taşıtı etkilemektedir.

4.2 Sayısal Uygulama İçin Alan Çalışması

Bağ yolculuk sürelerinin ölçümü için seçilen 4 – 8 Temmuz 2011 ve 23 – 26 Ocak 2012 haftasına ait KKS donanımlı araç ile sabah ve akşam trafik saha ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca 23 – 26 Ocak 2012 haftasında örnek olarak seçilen yol kesiminde Bluetooth trafik algılayıcılarıyla yolculuk süresi bilgileri toplanmıştır.

Çalışma güzergâhı olarak, 4-8 Temmuz 2011 haftası ölçümlerinde İstanbul İkinci Çevreyolu üzerinde uzun bir yol kesimi belirlenmiştir. Şekil 4.4’de gösterilen ölçüm güzergâhı batıda, Avrupa yakasında Mahmutbey gişelerini Anadolu yakası yönüne doğru yaklaşık 1,5 km geçtikten sonra başlamakta ve doğuda, Anadolu yakasında Kozyatağı kavşağına 1 km kala Ataşehir ayrımında son bulmaktadır. Belirlenen güzergâh üzerinde bir hafta içi sabah ve akşam zirve saatleri olmak üzere toplam beş güne ait ölçüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.4 : 4 – 8 Temmuz 2011 haftasına ait ölçüm güzergâhı.

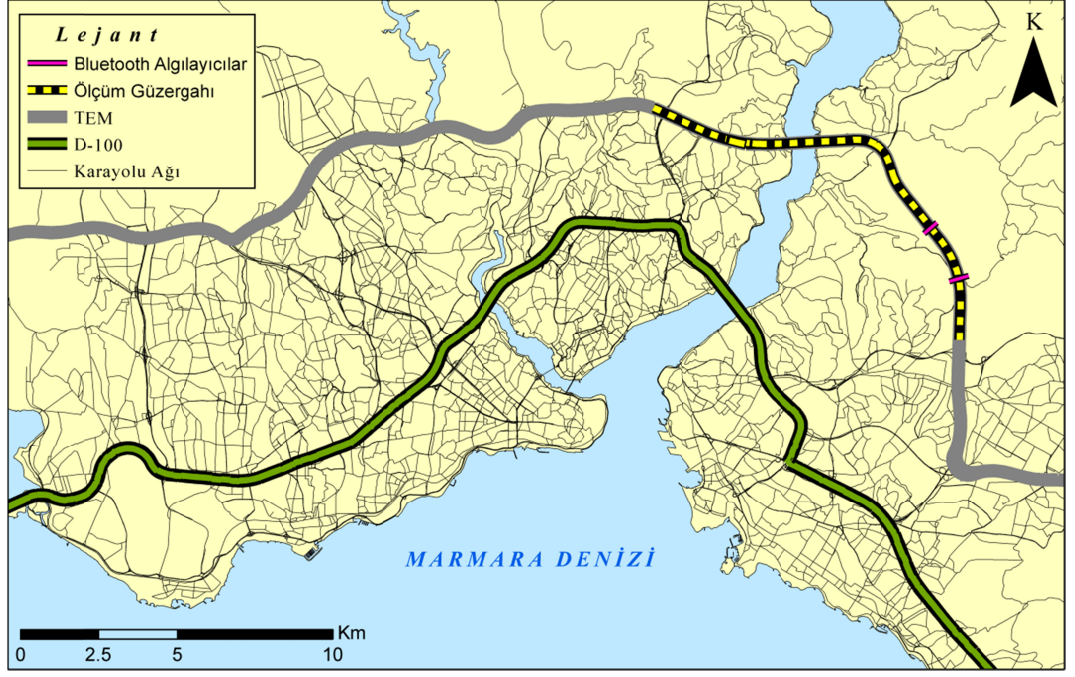
Şekil 4.4’de belirtilen güzergah için tek yöndeki uzunluk yaklaşık 38 km’dir. İki yön toplamında 80’den fazla trafik algılayıcısı trafik akımına ait veri (taşıt sayısı, hız ve işgal) toplamaktadır. Ayrılma ve katılma bölgeleri D-100 yoluna göre daha az ve FSM gişeler haricinde önemli bir darboğaz kesimi olmamasından dolayı ölçüm güzergâhı olarak TEM Otoyolu seçilmiştir. Sabah yoğun trafik talebi Anadolu yakasından Avrupa yakası yönüne olduğu için saha ölçümü ilk önce Kozyatağı Kavşağı’ndan Mahmutbey gişelere doğru ardından Mahmutbey gişelerden Kozyatağı Kavşağı’na doğru yapılmıştır. Akşam yoğun trafik talebi ise sabahın tam tersi olduğundan, akşam ölçümü ilk olarak Mahmutbey gişelerden Kozyatağı Kavşağı’na doğru yapılmış ve ardından tekrar Mahmutbey gişeler yönüne doğru gidilerek ölçümler tamamlanmıştır.

4 - 8 Temmuz 2011 ölçüm haftasında ölçümlerde günden güne tutarlılık sağlamak amacıyla her gün aynı saatte trafiğe çıkmıştır. Sabah ölçümlerinde saat 07.00’de, akşam ise saat 17.00’de İTÜ Ayazağa kampüsünden hareket edilmiştir. Sabah ve akşam ölçümlerinde başlangıç noktasının farklı olmasından ötürü iki farklı rota oluşmuştur. Sabah başlangıç noktasına ulaşmak için ilk olarak Maslak’tan Kozyatağı Kavşağı’na gidilip oradan ölçüme başlayarak Kozyatağı - Mahmutbey gişeler - Kozyatağı güzergâhı tamamlandıktan sonra tekrar Maslak İTÜ Ayazağa kampüsüne dönmüştür. Toplamda bu güzergâh 130 km tutmaktadır. Akşam ise, başlangıç

noktası olan Mahmutbey gişelere gidilip Mahmutbey gişeler – Kozyatağı – Mahmutbey gişeler güzergâhı tamamlandıktan sonra Maslak İTÜ Ayazağa kampüsüne geri dönmüştür. Akşam rotası ise 125 km uzunluğundadır. Bu şekilde 5 gün toplamında 1300 km'ye yakın yol alınmış ve 29 saatten fazla zaman harcanmıştır. KKS donanımlı araç ile saha ölçümleri yapılırken, gereksiz şerit değiştirmeden kaçınılmış ve yasal hız limitleri de aşılmamıştır. Böylece trafik akımını en doğru temsil edecek şekilde yol alınmıştır.

İkinci ölçüm haftasını olan 23 – 26 Ocak tarihinde Bluetooth trafik algılayıcılarının da kullanılacak olmasından dolayı, birinci güzergâha göre daha kısa bir güzergâh seçilmiştir. Güzergâh, batıda, Avrupa yakasında TEM Otoyolu Harp Akademileri Girişi ile başlamakta, FSM Gişeler, Kavacık Kavşağı yönünde ilerleyerek doğuda, Anadolu yakasında, Ümraniye Kavşağı'nda son bulmaktadır. Belirtilen güzergâh üzerinde KKS donanımlı araç ile hafta içi toplam dört güne ait sabah ve akşam zirve saatlerde ölçümler yapılmıştır. Olumsuz hava şartlarından dolayı planlanan beş günlük ölçüm gerçekleştirilememiştir. Bu güzergâhta, TEM Otoyolu'nun Anadolu yakası üzerinde bulunan Elmalı ve Çavuşbaşı bölgelerinde bulunan üstgeçitlerde, Şekil 4.5'de gösterildiği gibi Bluetooth trafik algılayıcıları yerleştirilerek yolculuk süresi ölçümü yapılmıştır. Birinci ölçüm haftasından farklı olarak, sabah ve akşam ölçümlerinde ilk önce Bluetooth algılayıcılarının yerleştirileceği kesitlere gidilmiştir. Dolayısıyla KKS ile yapılan ölçümler sabah ve akşam zirve saatleri için Ümraniye Kavşağı'ndan başlamış, FSM köprüsünü Avrupa yönüne doğru geçtikten sonra Seyrantepe'de Harp Akademileri Kavşağı'ndan dönülüp tekrar Ümraniye Kavşağı'na doğru gidilerek tamamlanmıştır. Ölçümlerde günden güne tutarlılık sağlayabilmek için sabah 06:30'da, akşam ise 16:30'da İTÜ Ayazağa Kampüsü'nden hareket edilmiştir. İkinci ölçüm haftasında toplamda 800 km yol alınmış ve 32 saatten fazla ölçüm yapılmıştır.

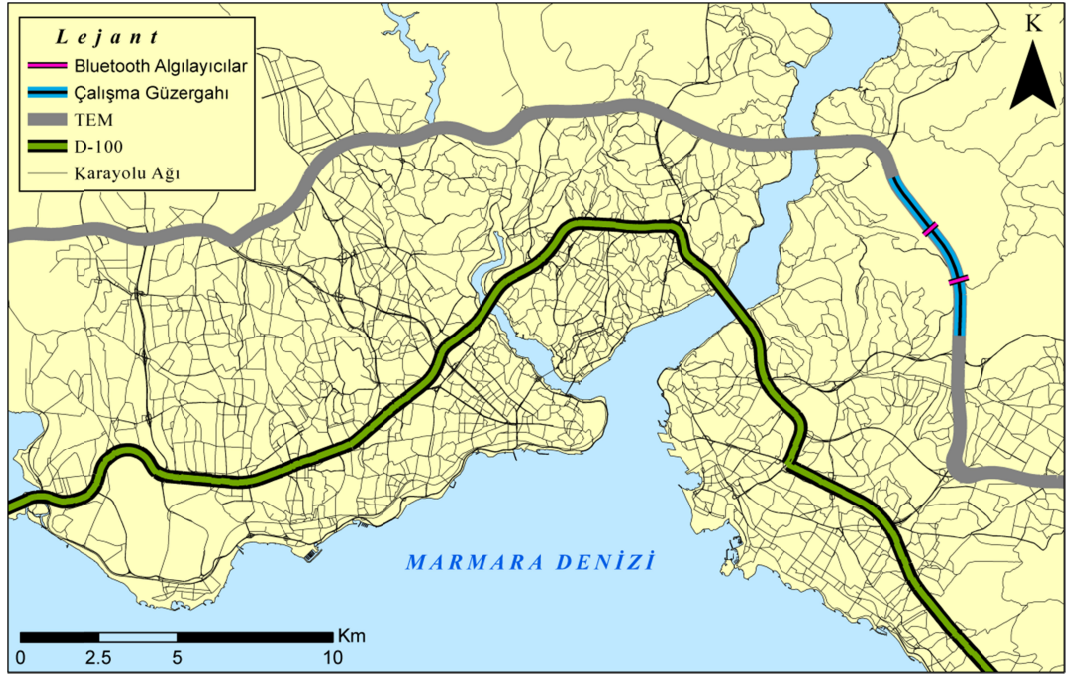
Bluetooth trafik algılayıcıları ile Şekil 4.5'da gösterilen kesitlerde sabah ve akşam üçer saate yakın ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bluetooth algılayıcılar ile elde edilen veriler çevirim dışı değerlendirileceğinden, algılayıcılarda herhangi bir veri aktarım bileşeni olmayıp sadece gözlem anında geçen taşıtlardan bilgi toplamaktadırlar.



Şekil 4.5 : 23 – 26 Ocak 2012 haftasında ait ölçüm güzergâhı.

4.2.1 Örnek yol kesimi ve geometrisi

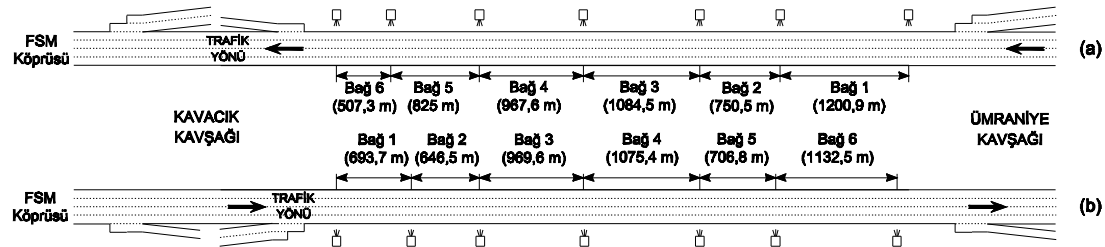
Şekil 4.4 ve 4.5’de belirtilen güzergahlara ait veriler toplandıktan sonra, ayrılma, katılma bölgelerinin ve darboğaz kesimi olmayan bir çalışma güzergahı Şekil 4.6’deki gibi belirlenmiştir.



Şekil 4.6 : Seçilen çalışma güzergâhı.

Şekil 4.6’de seçilen çalışma güzergahının, uzunluğu yaklaşık beş kilometre ve her iki yönde dörder şeridi bulunmaktadır. Trafik verisi toplayan mikrodalga algılayıcıların (RTMS) bulunduğu kesitler bağ başlangıç ve son noktaları olarak kabul edilmiştir. Böylece, Ümraniye – Kavacık ve Kavacık – Ümraniye yönünde farklı uzunluklarda altışar tane bağ oluşturulmuştur.

Çalışma güzergahı, mikrodalga algılayıcılarının yerleri ve her iki yönde de oluşturulan bağların uzunlukları Şekil 4.7’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Her iki yönde altı tane olmak üzere toplam oniki bağ oluşturulmuştur. Trafik algılayıcılarının konumlarına göre bağlar belirlendiğinden her bağ birbirinden farklı uzunluğa sahiptir.

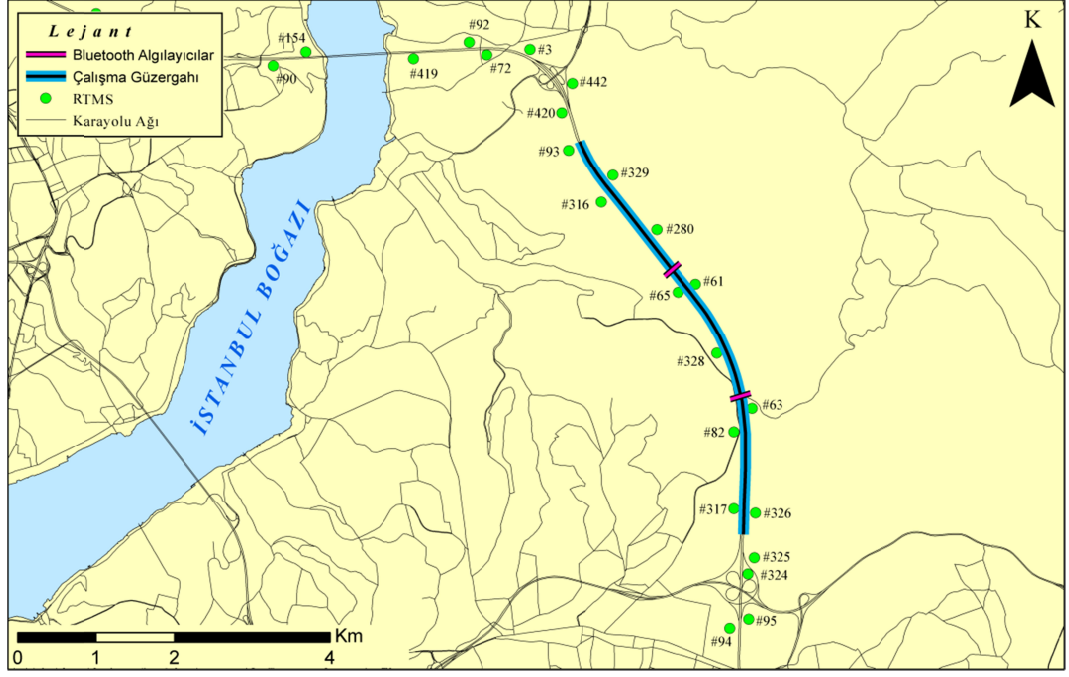


Şekil 4.7 : Çalışma güzergâhı ve oluşturulan bağlar.

Şekil 4.7a’da FSM Köprüsüne gidiş, akım aşağı yön, yön 1 olarak; Şekil 4.7b’de gösterilen diğer yön ise yön 2 olarak adlandırılmıştır.

4.2.2 Veri toplanması ve veriye ait temel bilgiler

Çalışma güzergahı üzerinde trafik verisi toplayan mikrodalga trafik algılayıcıların konumları Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Bu güzergâh seçilirken; yolun ayrılma ve katılma olmayan kısımlarının yanı sıra, güzergâh üzerinde trafik akımından yeteri kadar bilgi elde edebileceğimiz mikrodalga algılayıcıların olmasına dikkat edilmiştir. Belirlenen yol kesimi üzerinde bazıları çift yönlü bilgi toplayan 11 tane mikrodalga trafik algılayıcısı bulunmaktadır.



Şekil 4.8 : Mikrodalga algılayıcılar ve numaraları.

Mikrodalga trafik algılayıcıları iki dakikada toplulaştırılmış olarak, her şerit için taşıt sayısı (taşıt ve uzun taşıt olarak iki sınıf altında), işgal ve ortalama hız değerlerini kaydetmektedir. Çizelge 4.1’de örnek bir mikrodalga algılayıcı (RTMS) veri dosyası verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Mikrodalga trafik algılayıcısı ile elde edilen örnek veri dosyası.

Mesaj Zamanı	VL1	VL2	VL3	VL4	V1	V2	V3	V4	O1	O2	O3	O4	S1	S2	S3	S4
06.07.2011 00:00:17.000	14	9	3	2	25	20	31	28	9	7	6	4	105	105	109	101
06.07.2011 00:02:17.000	15	12	3	0	23	22	27	26	9	8	5	3	98	102	112	110
06.07.2011 00:04:18.000	10	10	5	0	24	29	32	20	10	9	6	2	97	102	101	105
06.07.2011 00:06:18.000	9	13	4	1	21	24	35	33	8	8	6	4	97	105	106	108
06.07.2011 00:08:17.000	9	9	8	0	23	27	33	25	8	7	7	3	102	105	115	119
06.07.2011 00:10:17.000	10	7	3	1	15	25	32	26	6	6	6	3	102	112	116	125

Çizelge 4.1’de verilen örnek mikrodalga algılayıcı dosyasında; mesaj zamanı, iki dakikada toplulaştırılmış olarak gelen verilerin alınma zamanını, “VL” uzun taşıt sayısını, “V” taşıt sayısını, “O” yüzde olarak işgal değerini, “S” ortalama hızları, her ifadenin yanında bulunan rakamlar ise şerit numaralarını ifade etmektedir.

KKS cihazı ile Şekil 4.4 ve 4.5’de gösterilen güzergahlar üzerinde toplanan trafik verisine ait örnek veri dosyası Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : KKS cihazı ile toplanan örnek veri dosyası.

Sıra	Enlem	Boylam	Kayıt Zamanı	Yükseklik	Başlangıca Uzaklık	Sonraki Noktaya Uzaklık
1	41.062150	28.817720	05.07.2011 17:32:14	122	0.000	6.617
2	41.062180	28.817800	05.07.2011 17:32:15	122	6.617	7.274
3	41.062200	28.817880	05.07.2011 17:32:16	123	13.892	8.073
4	41.062220	28.817970	05.07.2011 17:32:17	123	21.965	8.472
5	41.062240	28.818070	05.07.2011 17:32:18	123	30.438	9.255
6	41.062270	28.818170	05.07.2011 17:32:19	123	39.693	9.771
7	41.062290	28.818280	05.07.2011 17:32:20	123	49.463	9.837
8	41.062320	28.818390	05.07.2011 17:32:21	123	59.300	10.058

Çizelge 4.2’de verilen örnek veri dosyasında, her saniyeye ait enlem, boylam ve yükseklik bilgisi kaydı görülmektedir. Enlem, boylam ve yükseklik KKS sisteminin kullandığı referans yüzeyine göre (WGS-84 elipsoidi) yapılmaktadır. KKS verilerinin işlendiği bir yazılımla enlem ve boylam düzlem koordinatlara dönüştürülmekte ve böylece her saniye kayıt altına alınan ardışık iki nokta arasındaki mesafe hesaplanabilmektedir. “Başlangıca Uzaklık” kolonunda başlangıç noktasına olan mesafeler metre cinsinden her bir saniye için yer almaktadır. Başlangıca olan uzaklık değerlerini kullanarak, 2.1.1.1 başlığı altında anlatılan yol-zaman gösterimini yüksek duyarlılıkla çizmek mümkün olabilmektedir. Taşıt, herhangi bir sebepten ötürü yol üzerinde durduğunda, kayıt devam edecek (zaman) fakat başlangıca olan uzaklık (yol) değişmeyecektir. Bu durum, yol-zaman değişiminde yatay eksene paralel bir doğru şeklinde görülecektir. Başlangıca olan uzaklık kolonunda ardışık iki noktanın farkı alınarak “Sonraki Noktaya Uzaklık” kolonu elde edilmektedir. Metre cinsinden ifade edilen başlangıca uzaklık kolonundaki ardışık değerlerin farklarının alınması, taşıtın bir saniyede gittiği yol uzunluğunu vermektedir. Dolayısıyla taşıtın yol üzerindeki konumuna bağlı olarak her saniyedeki anlık hızı m/sn cinsinden bilinmektedir.

Bluetooth algılayıcılar ile toplanan işlenmemiş örnek veri Çizelge 4.3’de verilmiştir. Burada, “MAC” sütununda Bluetooth sinyali ile tespit edilen cihazların MAC (*Media access control*) adresleri, zaman sütununda ise bu cihazların tespit edildiği tarih ve saat görülmektedir.

Çizelge 4.3’de verilen bilgiler bir kesitteki Bluetooth algılayıcı ile tespit edilen, Bluetooth sinyali yayan cihazların kendilerine özgü adreslerini (MAC) göstermektedir. Bu değerler tek başına bir anlam taşımamaktadır. Yolculuk süresi çalışmalarında, en az iki kesite yerleştirilen Bluetooth algılayıcıları ile tespit edilen

adresler birbirleriyle eşleştirilerek taşıtların iki kesit arasındaki yolculuk süreleri bulunabilir.

Çizelge 4.3 : İşlenmemiş Bluetooth veri dosyası.

Zaman	MAC
26 Ocak 2012 7:09:41	5C:4C:A9:4A:CB:EC
26 Ocak 2012 7:09:42	FC:A1:3E:64:FE:4D
26 Ocak 2012 7:09:47	90:4C:E5:F3:E0:74
26 Ocak 2012 7:09:47	29:BB:6B:4E:66:01
26 Ocak 2012 7:09:50	C8:7E:75:01:0D:E0
26 Ocak 2012 7:09:53	C0:CB:38:D5:8A:AD

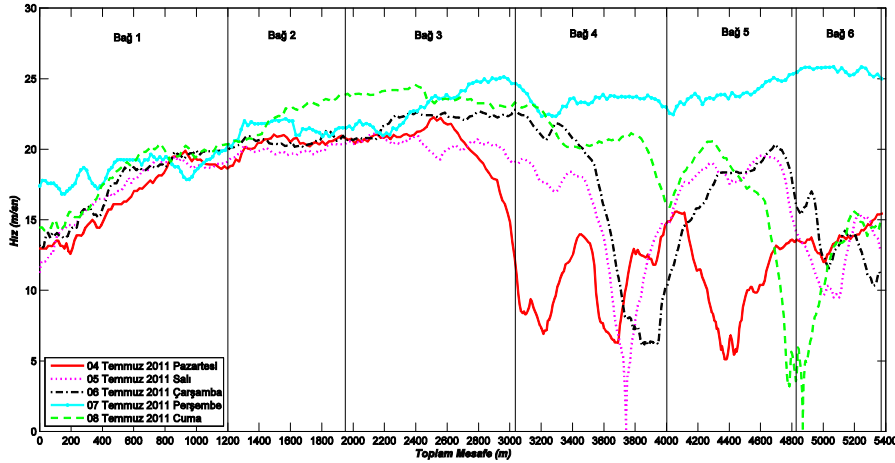
Çizelge 4.4’de, iki kesite yerleştirilen Bluetooth trafik algılayıcılarının tespit ettiği cihazların eşleştirilmiş ve yolculuk sürelerinin hesaplanmış şekli verilmiştir. Kodlanan basit bir programla, iki kesitten elde edilen veriler işlenmektedir. Aynı MAC adresli cihazın bir ve ikinci kesitte görülme zamanlarının farkı, Bluetooth sinyali yayan taşıt için bu iki kesit arasındaki yolculuk süresini vermektedir.

Çizelge 4.4 : Birbiriyle eşleştirilmiş Bluetooth veri dosyası ve yolculuk süreleri.

Yön	MAC	1.Kesit Görülme	2. Kesit Görülme	Fark
0	2C:A8:35:81:8D:93	23.01.2012 07:08:31	23.01.2012 07:10:52	141
0	00:1E:E1:64:94:9A	23.01.2012 07:08:41	23.01.2012 07:11:03	142
0	00:23:3D:16:8D:0B	23.01.2012 07:08:30	23.01.2012 07:11:09	159
1	78:47:1D:17:1E:9C	23.01.2012 07:11:26	23.01.2012 07:10:19	67
1	00:03:19:0E:ED:BF	23.01.2012 07:13:32	23.01.2012 07:12:29	63
1	00:03:19:18:27:BF	23.01.2012 07:18:56	23.01.2012 07:17:48	68

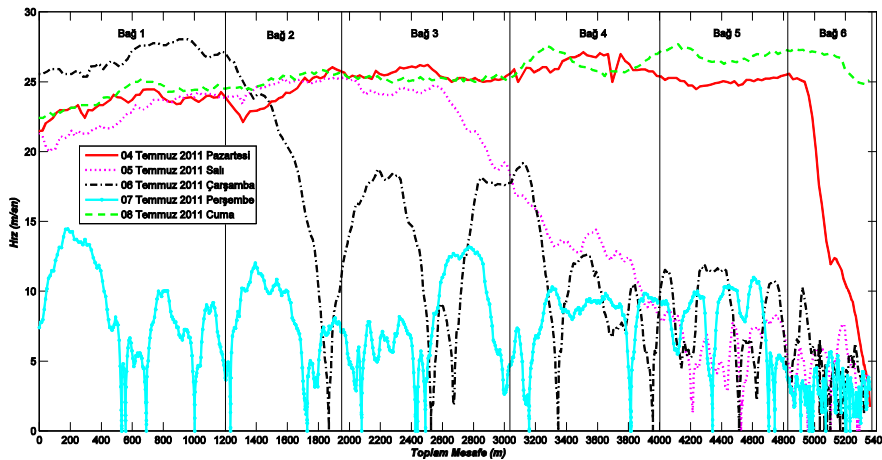
Çizelge 4.4’de eşleştirilen MAC adresleri ve “Fark” sütununda yolculuk süreleri saniye cinsinden görülmektedir. Her gün, aynı kesitte aynı Bluetooth algılayıcısı kullanıldığından, kodlanan bir algoritma ile MAC adresleri eşleştirildikten sonra Bluetooth sinyali yayan cihazın ilk ve ikinci görülme zamanı arası farkın negatif veya pozitif olmasına göre taşıtın hangi yöne gittiği ayırt edilmekte ve “Yön” sütununa işlenmektedir. Burada 0, taşıtın, Çavuşbaşı-Elmalı yönünde (Ümraniye – Kavacık Kavşağı yönü), 1 ise Elmalı-Çavuşbaşı yönüne (Kavacık – Ümraniye Kavşağı yönü) gittiği anlamı taşımaktadır. Aralarında yaklaşık 1700 metre bulunan Bluetooth trafik algılayıcılarıyla, ikinci ölçüm haftasında ölçülen yolculuk sürelerinden 25 Ocak 2012 Çarşamba gününe ait örnek bir ölçüm EK A.3’de verilmiştir. Burada yatay eksen ölçüm yapılan günün saatini, dikey eksen ise saniye cinsinden gözlem yapılabilen her taşıtın gerçek yolculuk süresini ifade etmektedir.

KKS donanımlı gözlem aracına ait sabah ve akşam zirve saatleri için her iki yönde toplanan veriler işlenerek örnek güzergâh boyunca hızların değişimleri elde edilmiştir. KKS alıcısı sadece hızların değişimini değil, hızların konuma ve zamana göre olan değişimlerini de kayıt altına almaktadır. Böylece ayrıntılı olarak hız-zaman ve yol-zaman değişimleri elde edilebilmektedir. Şekil 4.7a’da ifade edilen yön 1 için sabah zirve saatteki hızın yol boyuna göre değişimi Şekil 4.9’da, akşam zirve saatteki hızın yol boyuna göre değişimi de Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 : KKS ile elde edilen yön 1 için sabah zirve saatteki hız değişimi.

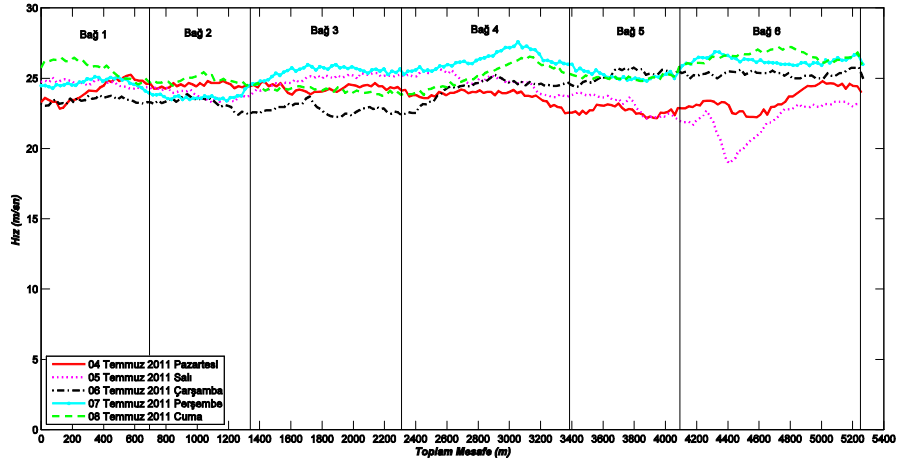
Şekil 4.9’da hızın, hem günden güne hem de farklı bağlarda nasıl değiştiği detaylı olarak çizilmiştir. Hızın en yüksek olduğu günün 7 Temmuz 2011 olduğu, buna karşın 5 ve 8 Temmuz 2011 günlerine ait ölçümlerde hızların sıfıra kadar düştüğü görülmektedir. Şekil 4.9’da ifade edilen hızlar taşıtın her saniye sahip olduğu m/sn cinsinden gerçek hızlarıdır.



Şekil 4.10 : KKS ile elde edilen yön 1 için akşam zirve saatteki hız değişimi.

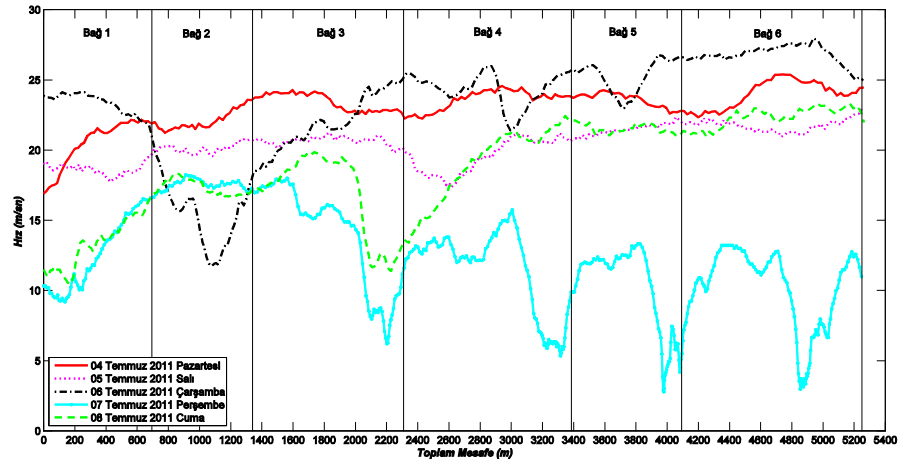
Şekil 4.10'da hızların 5, 6 ve 7 Temmuz 2011 günleri için çok düşük, 8 ve 4 Temmuz 2011 günleri yüksek değerlerde değiştiği söylenebilir. Hızlar, 5, 6 ve 7 Temmuz 2011 günlerinde birçok noktada sıfıra kadar düşmektedir.

Şekil 4.7b'de ifade edilen yön 2 için sabah ve akşam zirve saatleri için hızların yol boyuna göre değişimleri Şekil 4.11 ve 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 : KKS ile elde edilen yön 2 için sabah zirve saatteki hız değişimi.

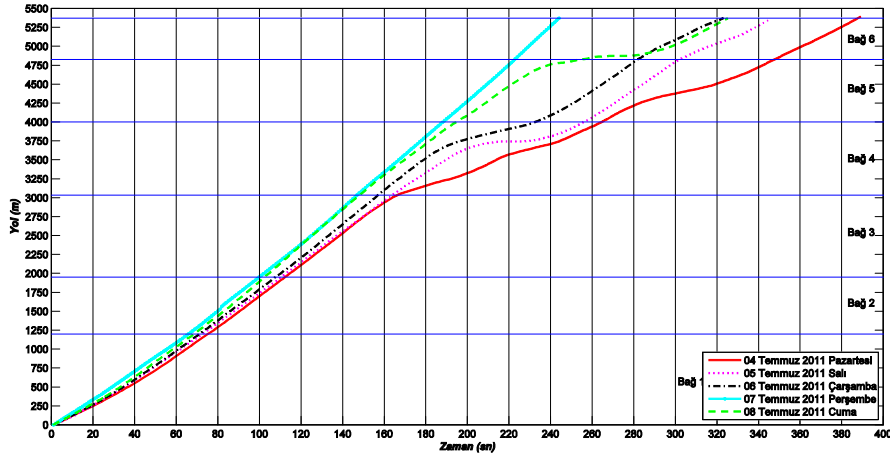
Sabah zirve saatinde talebin diğer yöne göre daha düşük olduğu yön 2'de, hızlar her gün için Şekil 4.11'de görüldüğü şekilde yüksek seviyelerdedir.



Şekil 4.12 : KKS ile elde edilen yön 2 için akşam zirve saatteki hız değişimi.

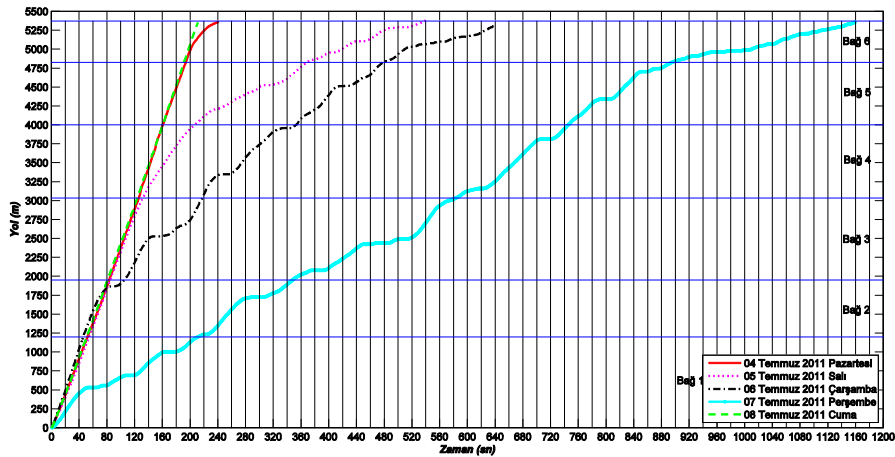
Şekil 4.12'de en düşük hız, 7 Temmuz 2011 günü için ölçülmüştür. Şekil 4.11'deki yön 2 için sabah zirve saatteki hız değişimine kıyasla, akşam zirve saatte çok daha değişken bağ hızları ölçülmüştür.

Sabah ve akşam zirve saatler için konuma göre hız değişimleri gösterilen yönlerin, 2.1.1.1 başlığı altında anlatılan yol-zaman değişimleri de çizilebilir. Şekil 4.9 ve 4.10'daki hız değişimlerine ait yol-zaman değişimleri Şekil 4.13 ve 4.14'de gösterildiği biçimdedir. Yol-zaman gösterimleri, 20 saniyelik zaman aralıklarına bölünerek çizilmiştir. Böylece, türetilen yolculuk süreleri ve KKS ile ölçülen yolculuk süreleri toplulaştırılmış belirli bir zaman aralığında karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.13 : Yön 1 için sabah zirve saatteki yol-zaman gösterimi.

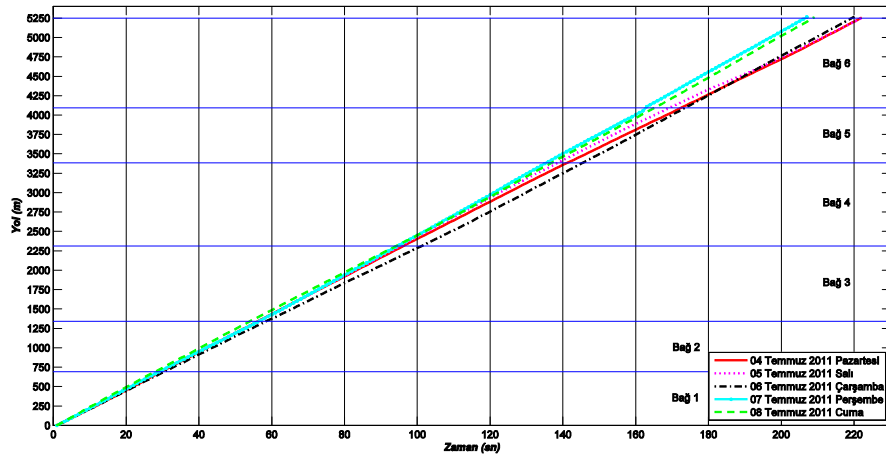
Şekil 4.13'de yol-zaman gösteriminde, tüm bağların, yüksek hızların elde edildiği 7 Temmuz 2011 günü en hızlı, 4 Temmuz 2011 günü ise en yavaş tamamlandığı görülmektedir.



Şekil 4.14 : Yön 1 için akşam zirve saatteki yol-zaman gösterimi.

Şekil 4.10'da hız değişimlerinden de görüldüğü üzere, hızların en değişken ve yavaş olduğu 4, 5, 6 Temmuz 2011 günleri tüm bağlar üzerinde daha büyük yolculuk süreleri olduğu Şekil 4.14'den anlaşılmaktadır.

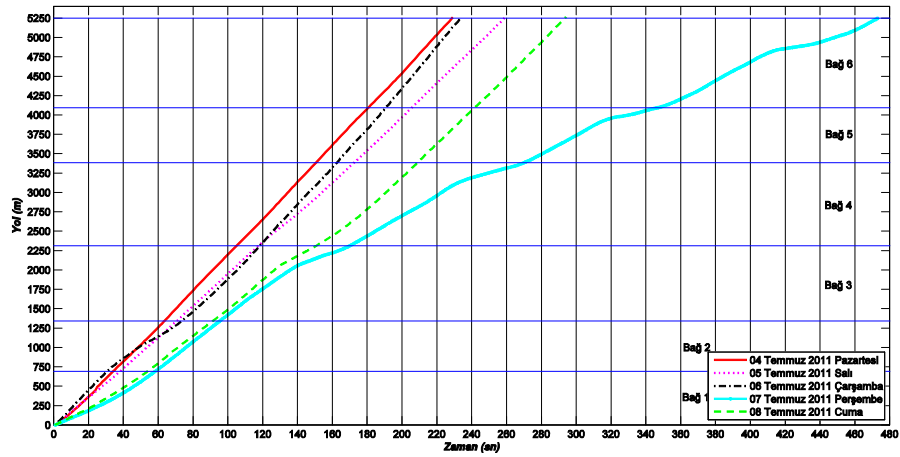
Şekil 4.11 ve 4.12’de hız değişimleri verilen yön 2 için, yol-zaman gösterimleri Şekil 4.15 ve 4.16’da, 20 saniyelik zaman aralıklarında bölünerek gösterilmiştir.



Şekil 4.15 : Yön 2 için sabah zirve saatteki yol-zaman gösterimi.

Hız değişimlerinin az ve hızların yüksek olduğu yön 2 için, Şekil 4.11’de verilen hız değişimlerine ait yol-zaman gösterimi Şekil 4.15’deki gibi elde edilmiştir.

Şekil 4.12’de ifade edilen hız değişimlerine ait yol-zaman gösterimi Şekil 4.16’daki gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.16 : Yön 2 için akşam zirve saatteki yol-zaman gösterimi.

4.2.3 Seçilen yöntemlerle yolculuk süresinin belirlenmesi

Şekil 4.5’de gösterilen Ümraniye – Kavacık kavşakları arasında belirlenen çalışma güzergahı üzerindeki mikrodalga algılayıcılar, gerekli kalibrasyonları yapılmadığından trafik akımıyla ilgili birbirlerine göre tutarsız bilgi toplamaktadırlar. Bu nedenle, meydana gelecek olası bir hatanın önüne geçebilmek amacıyla, her iki kavşakta da ana akım ve bağlantı yolları üzerindeki mikrodalga trafik

algılayıcılardan elde edilen trafik verileri ile (taşıt sayıları ve taşıt kompozisyonları) ince-boyut benzetim modeli Vissim kalibre edilmiştir. Mikrodalga algılayıcıların gerçekte bulunduğu konumlara, benzetim modelinde algılayıcılar yerleştirilmiş ve trafik akımına ait veriler tekrar üretilmiştir.

Sabah ve akşam zirve saatlerini içerecek şekilde, her gün için dörder saatlik zaman aralıkları ince benzetim modeliyle modellenmiştir. Kavşaklarda, ana akım kolu için ve bağlantı yolları için, benzetim modeline toplamda 4,5 saatlik trafik verisi girilmiştir. İnce boyut benzetim modellerinde, oluşturulan ağda hiç taşıt yokken çalıştırılan benzetim modelinden ne kadar süre sonra veri toplanabileceğini ifade eden zamana, ısınma zaman aralığı (*warmup period*) adı verilmektedir. Luk ve diğ. (2008) ısınma zaman aralığının en az, ağdaki en yavaş taşıtın ağı bir uçtan diğer uca kat ettiği sürenin iki katı kadar alınmasını önermişlerdir. Bu çalışmada, benzetim modelinin ısınma zaman aralığı 30 dakika olarak seçildiğinden, yerleştirilen algılayıcılardan dört saate ait -tekrar üretilen- trafik verisi elde edilmiştir.

Mikrodalga algılayıcılardan benzetim modeline yüklenen trafik verisi, toplamda 4 tane kesitten (iki kesit yön 1 ve iki kesit yön 2 için) elde edilen, ikişer dakikalık zaman aralıklarında toplulaştırılmış taşıt sayıları ve taşıt kompozisyonlarıdır. Mikrodalga algılayıcılar taşıtları boylarına göre uzun ve kısa taşıt olarak sınıflamaktadırlar. Bu algılayıcılardan elde edilen ham veri dosyası Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

İnce-boyut benzetim modeli, bağ üzerindeki yolculuk süresini, her bir taşıt ölçeğinde ölçerek bulmakta ve istenilen toplulaştırma zaman aralığına göre ortalama değerlerini alarak bir çıktı dosyasında sunmaktadır. Başka bir deyişle, ince benzetim modelinde bağ üzerindeki yolculuk süresi herhangi bir kuramsal yapıya dayanmamakta, benzetilen model üzerinde taşıtların tecrübe ettikleri yolculuk sürelerini vermektedir (PTV AG, 2011). İnce-boyut benzetim modeli, taşıtı, bağa girdiği zaman aralığına göre izlemektedir. Bir taşıtın, bağ üzerindeki yörüngesini çizerek tecrübe ettiği gerçek yolculuk süresini belirleyip, bağa girdiği zaman aralığına ait yolculuk süresi olarak vermektedir.

Tecrübe edilmiş, gerçek yolculuk süreleri olarak elde edilen trafik üretici yazılımın belirlediği yolculuk süreleriyle, göreceli olarak, ekstrapolasyon yöntemleriyle türetilen yolculuk süreleri karşılaştırılmıştır.

4.2.3.1 Doğrusal bağ başarımlı fonksiyonu ile modelleme

Friesz ve diğ. (1993)'nin modelinde, u ve k arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu ve Şekil 2.11'de gösterildiği şekilde q - k değişiminin optimum yoğunluk (k_{opt}) noktasında göre, u - q değişiminin ise optimum hız (u_{opt}) noktasında göre simetrik olduğu kabul edilmiştir. Dolayısıyla, bağıntı (4.27) ve (4.28)'de ifade edildiği gibi optimum yoğunluk, tıkanıklık yoğunluğunun (k_t) yarısı ve optimum hız, serbest akım hızının (u_s) yarısı olmaktadır.

$$k_{opt} = \frac{k_t}{2} \quad (4.27)$$

$$u_{opt} = \frac{u_s}{2} \quad (4.28)$$

Şekil 2.11'de gösterildiği gibi, bir yolun geçirebileceği en büyük akım değeri (kapasite), q_{eb} , optimum hız ve yoğunluk değerlerinde elde edilebilmektedir. Bağıntı (4.27) ve (4.28), trafik akımının temel bağıntısı, bağıntı (2.15)'de yazılırsa, bağıntı (4.29) elde edilir.

$$q_{eb} = \frac{u_s}{2} \cdot \frac{k_t}{2} \quad (4.29)$$

Friesz ve diğ. (1993)'nin modelinde, trafik akımına ait girdi verileri olarak, kapasite ve tıkanıklık yoğunluğu değerleri gerekmektedir. İstanbul Çevre Yolları için kapasite değerleri 2000 tş/sa/şerit ve tıkanıklık yoğunluğu değeri ise 70 tş/km/şerit alınmıştır (Şahin ve diğ, 2004; HCM, 1985). Dolayısıyla, bağıntı (4.29)'da tek bilinmeyen, serbest akım hızı, bağıntı (4.30)'da gösterildiği gibi hesaplanır.

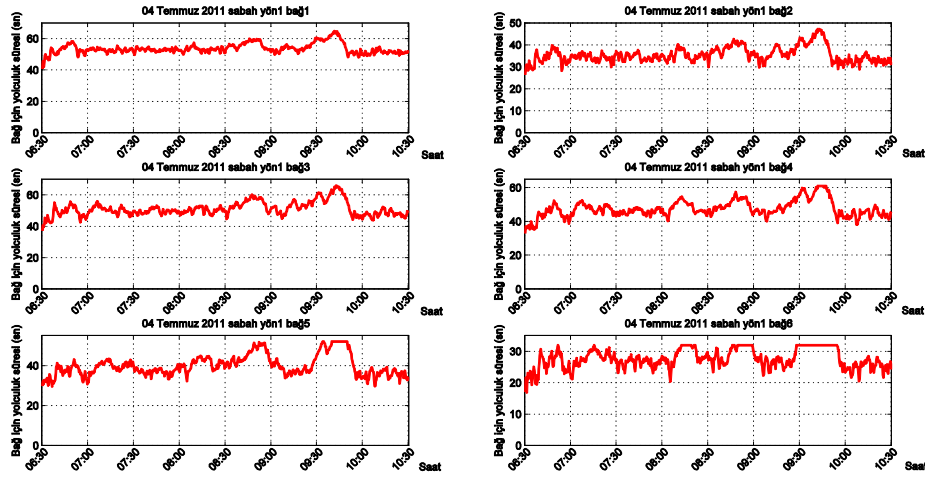
$$u_s = \frac{4 \cdot q_{eb}}{k_t} \quad (4.30)$$

Bağıntı (4.30)'da kapasite değeri, 2000 tş/sa ve tıkanıklık yoğunluğu değeri, 70 tş/km yazıldığında serbest akım hızı, u_s , yaklaşık 115 km/sa bulunmaktadır. Bu değer de otoyol hız kısıtına (120 km/sa) çok yakın bir hızdır.

Friesz ve diğ. (1993)'nin modeline girdi olarak verilmesi gereken diğer değişkenler ise, ilgili bağ uzunluğu, trafik algılayıcılarından elde edilen belirli bir zaman aralığı için (örneğin, 20 saniye boyunca) bağa giren akım hacmi, $u(t)$, ve ayırıklaştırma

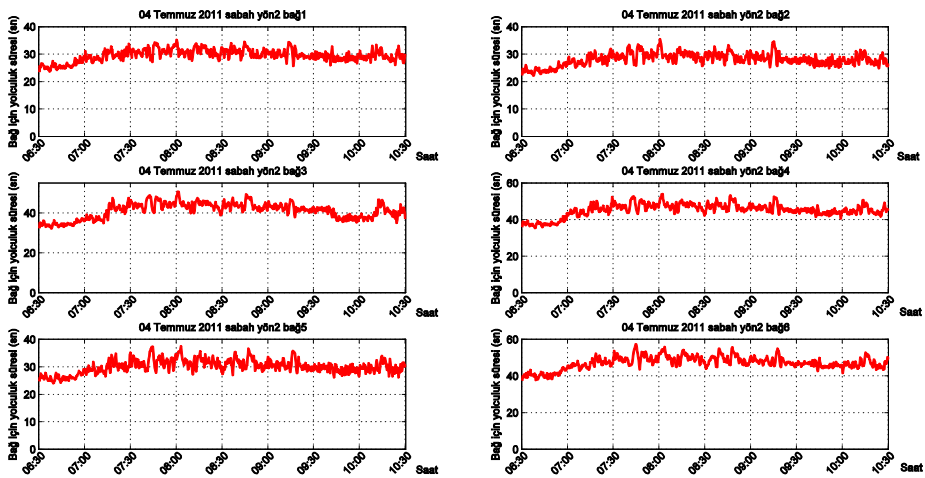
zamanı değeri, bağıntı (4.1)'de verilen dt ($dt=20/3600$)'dir. Bağıntı (4.5)'de belirtilen bağ üzerinde bulunabilecek en büyük taşıt sayısı, n_{eb} , bağ uzunluğu ile tıkanıklık yoğunluğunun çarpımıyla elde edilmektedir.

İnce-boyut benzetim modelinden 20 saniyelik zaman aralıklarında toplulaştırılmış olarak elde edilen taşıt sayıları Friesz ve diğ. (1993)'nin modeline girdi verisi olarak kullanılarak sabah ve akşam zirve saatleri için yolculuk sürelerinin her bağ için olan değişimleri hesaplanmıştır. Şekil 4.17'de 4 Temmuz 2011 sabah zirve saatinde yön 1 için hesaplanan yolculuk sürelerinin değişimleri verilmiştir.



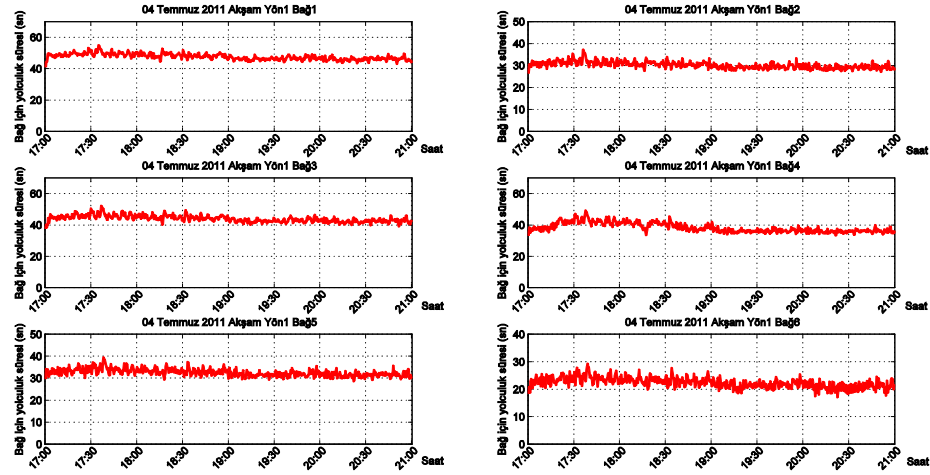
Şekil 4.17 : 4 Temmuz 2011 sabah yön 1 için yolculuk süresi değişimleri.

Şekil 4.18'de 4 Temmuz 2011 sabah zirve saatinde yön 2 için her bağ üzerinde hesaplanan yolculuk sürelerinin değişimleri gösterilmiştir.



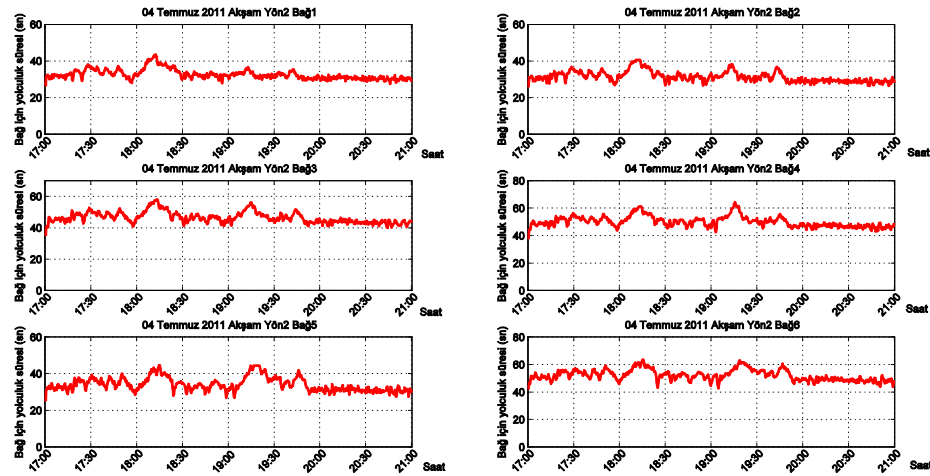
Şekil 4.18 : 4 Temmuz 2011 sabah yön 2 için yolculuk süresi değişimleri.

Şekil 4.19’da 4 Temmuz 2011 akşam zirve saatinde yön 1 için hesaplanan yolculuk sürelerinin değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.19 : 4 Temmuz 2011 akşam yön 1 için yolculuk süresi değişimleri.

Şekil 4.20’de 4 Temmuz 2011 akşam zirve saatinde yön 2 için hesaplanan yolculuk sürelerinin değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.20 : 4 Temmuz 2011 akşam yön 2 için yolculuk süresi değişimleri.

Sabah trafik talebinin yoğun olduğu Anadolu-Avrupa Yakası yönünde (yön 1) hesaplanan yolculuk süresi değişimlerinin aynı yönde akşam zirve saatte hesaplanan değişimlere göre daha fazla olduğu Şekil 4.17 ve 4.19’da görülmektedir. Akşam zirve saatinde, sabah zirve saatte oluşan trafik talebinin tersi yönünde (yön 2) meydana gelen talep artışının etkileri Şekil 4.18 ve 4.20’de yolculuk sürelerinin değişimleri ile görülmektedir.

Friesz ve diğ. (1993)’nin doğrusal yolculuk süresi modeliyle elde edilen yolculuk sürelerinin dağılımları EK A.2’de verilmiştir. Dağılımlarda, yatay eksen saniye

cinsinden yolculuk sürelerinin sınıf aralıklarını, düşey eksen ise tekrarlanma sıklığını ifade etmektedir.

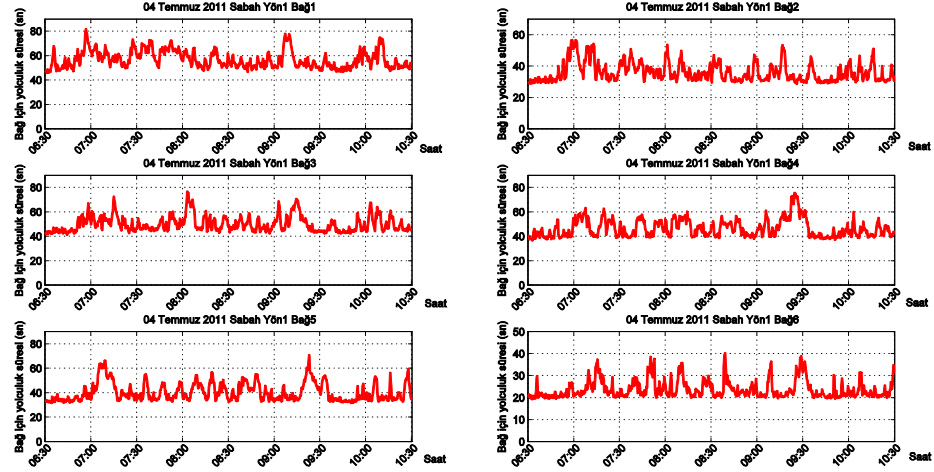
Friesz ve diğ. (1993)'nin modelinde girdi verisi olarak kullanılan taşıt sayılarının 2.1.1.2 başlığı altında anlatıldığı biçimde eklenik taşıt sayısı - zaman ve ölçeklendirilmiş eklenik taşıt sayısı – zaman değişimleri çizdirilmiş ve EK A.5'de gösterilmiştir. Burada, 4 Temmuz 2011 sabah zirve saati yön 1 için kıyas akım hacmi değeri 42 taşıt/20saniye; yön 2 için için 32 taşıt/20saniye alınmıştır. Aynı gün akşam zirve saati içinse, yön 1 için kıyas akım hacmi 29 taşıt/20saniye; yön 2 için 41 taşıt/20saniye olarak alınmıştır.

4.2.3.2 Seçilen akım üretme modelinin kalibrasyonu ve üretimi

Akım üretme modeli olarak, bölüm 4.1.2'de kuramsal yapısı anlatılan PTV AG firmasının üreticiliğini yaptığı Vissim ince-boyut benzetim modeli kullanılmıştır. Vissim ile algılayıcılardan trafik akımına ait hız, taşıt sayısı ve işgal değişkenleri 20 saniyede toplulaştırılmış olarak tekrar üretilmiştir. Daha küçük zaman aralığı kullanılarak veriler toplulaştırıldığı taktirde, hiç taşıtın geçmediği bir zaman aralığında hız ve taşıt sayısı sıfır değerini almakta, bu durum ise yörünge temelli yöntemler ile yolculuk süresi türetimi yapılırken hatayı arttırmaktadır. Toplulaştırma zamanının daha büyük alınmasıyla da trafik akımındaki değişim gözlenememektedir. Bu nedenlerden ötürü toplulaştırma süresi 20 saniye olarak belirlenmiştir. Böylece, dört saatlik benzetim modeli süresince trafik akımına ait 720 farklı zaman aralığında veriler toplanmıştır.

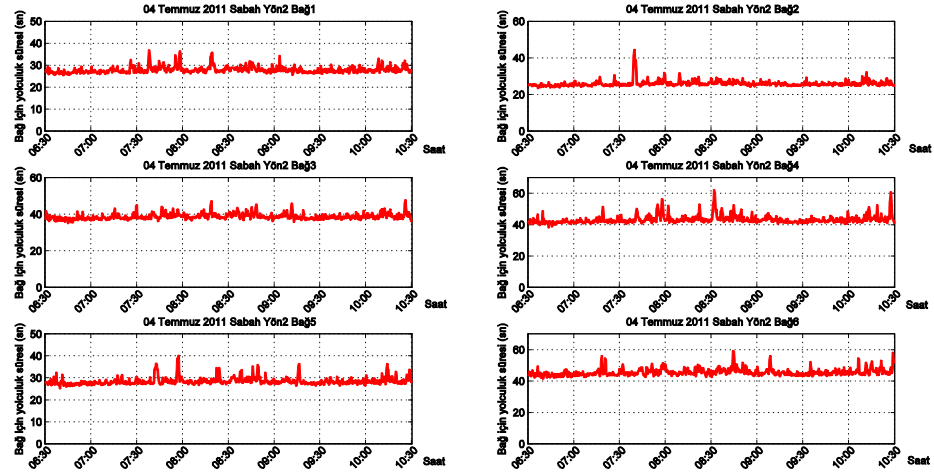
İnce-boyut benzetim modeline, gerçek trafik koşullarının daha iyi benzetim modelini oluşturabilmek için Vissim içerisinde sürücü ve araç davranışlarını belirlemeye yarayan birtakım değişiklikler yapılmıştır. Çalışma güzergâhı TEM Otoyolu üzerinde olduğu için, otoyollarda yapılabilen yasal hız kısıtlarına göre, taşıtların en fazla 120 km/h hız yapmalarına izin verilmiştir. Kuramsal yapısı anlatılan sürücü davranışının rastgele olma özelliğinin yansıtıldığı modelde bir taşıtın hızı, benzetim modelinde en küçük 85 km/sa'den en büyük 120 km/sa değerine kadar normal dağılıma göre belirlenen bir rastgelelikle belirlenmektedir. Ağır taşıtlar için otoyollarda hız kısıtının 90 km/sa olmasına rağmen, TEM Otoyolu'ndaki gerçek durumu daha iyi yansıtabilmek için bu değişim aralığı, ağır taşıtlar için 75 km/sa ile 110 km/sa olarak benzetim modeline girilmiştir.

İnce boyut benzetim modelinde trafik algılayıcılarının sınırlarını oluşturduğu bağlar üzerindeki yolculuk süreleri 20 saniyede toplulaştırılmış olarak elde edilmiştir. İnce boyut benzetim modeli, Vissim’den elde edilen yolculuk süreleri ve değişimleri 4 Temmuz 2011 sabah zirve saatinde yön 1 için şekil 4.21’deki gibi elde edilmiştir.



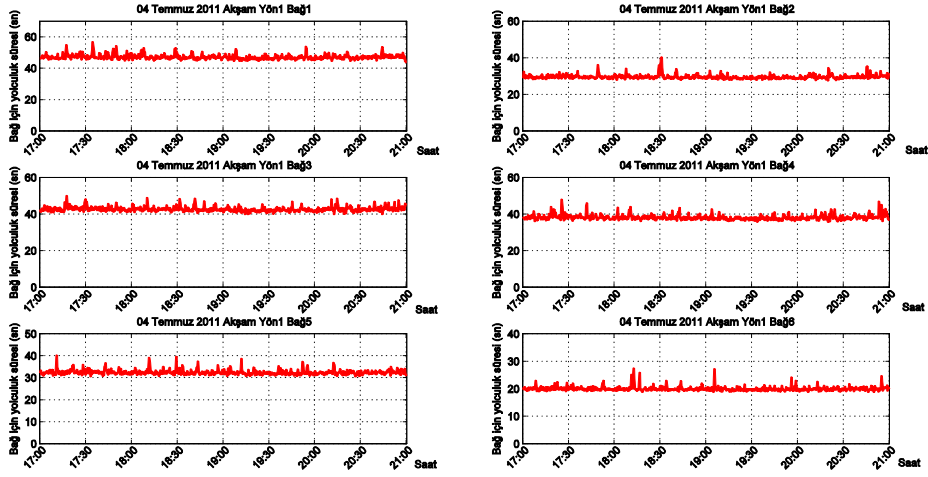
Şekil 4.21 : 4 Temmuz 2011 sabah yön 1, Vissim ile elde edilen yolculuk süreleri.

Şekil 4.22’de 4 Temmuz 2011 sabah zirve saatinde yön 2 için Vissim ile elde edilen yolculuk süreleri ve değişimleri görülmektedir. Sabah talebin daha az olduğu yön 2’deki yolculuk sürelerinin zamana göre değişimleri yön 1’e göre daha az olmaktadır.



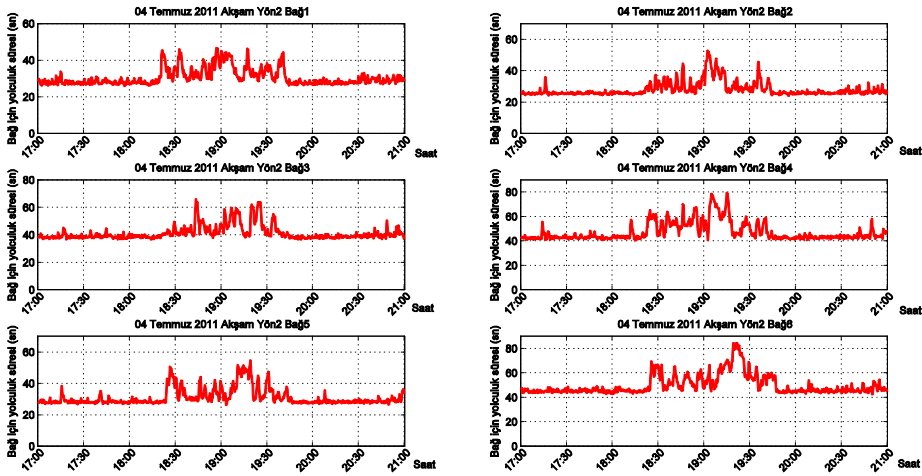
Şekil 4.22 : 4 Temmuz 2011 sabah yön 2, Vissim ile elde edilen yolculuk süreleri.

Şekil 4.23’de 4 Temmuz 2011 akşam zirve saatinde yön 1 için Vissim ile elde edilen yolculuk sürelerinin değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.23 : 4 Temmuz 2011 akşam yön 1, Vissim ile elde edilen yolculuk süreleri.

Şekil 4.24’de 4 Temmuz 2011 akşam zirve saati yön 2 için Vissim ile elde edilen yolculuk sürelerinin değişimleri verilmiştir. Şekil 4.23’de verilen yön 1 için akşam zirve saatteki yolculuk süresi değişimlerinin, Şekil 4.24’de verilen yön 2’ye göre daha az olduğu söylenebilir. Bunun nedeni ise akşam trafik talebinin yön 2’de daha fazla olmasıyla açıklanabilir.



Şekil 4.24 : 4 Temmuz 2011 akşam yön 2, Vissim ile elde edilen yolculuk süreleri.

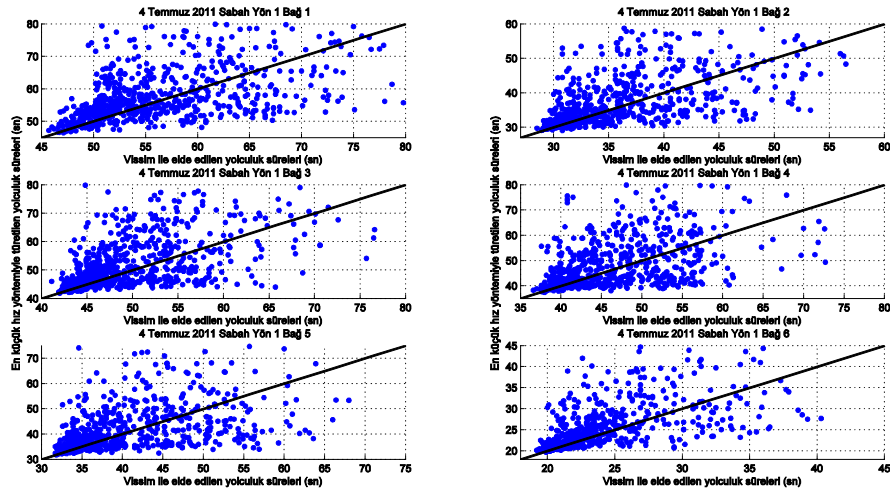
4.2.3.3 Sabit hız varsayımı ekstrapolasyon yöntemleri ile yolculuk süresi türetimi

Trafik algılayıcıları ile ölçülen ve belirli sürelerde toplulaştırılmış hız verilerinden ekstrapolasyon yöntemleriyle yolculuk sürelerinin türetimi 3.2.1.1 bölümünde detaylı olarak anlatılmıştı. İnce benzetim modelinde, trafik algılayıcılarından 20 saniyede toplulaştırılmış olarak elde edilen hız verileri ile, yarı mesafe, ortalama hız ve en küçük hız yaklaşımlarına göre yolculuk süreleri türetilmiştir. Her üç yöntemle ve her

20 saniyelik zaman aralıkları için türetilen yolculuk süreleri, ince boyut benzetim modelinin her bağ için aynı zaman aralıklarında belirlediği, model ortamında taşıtlar tarafından tecrübe edilmiş yolculuk süreleriyle karşılaştırılmıştır. Türetilen sürelerin, gerçek yolculuk süreleriyle olan değişimleri çizilmiş, istatistik hata terimleri ve korelasyon katsayıları hesaplanarak hangi yöntemin gerçek yolculuk sürelerine daha yakın sonuçlar verdiği araştırılmıştır.

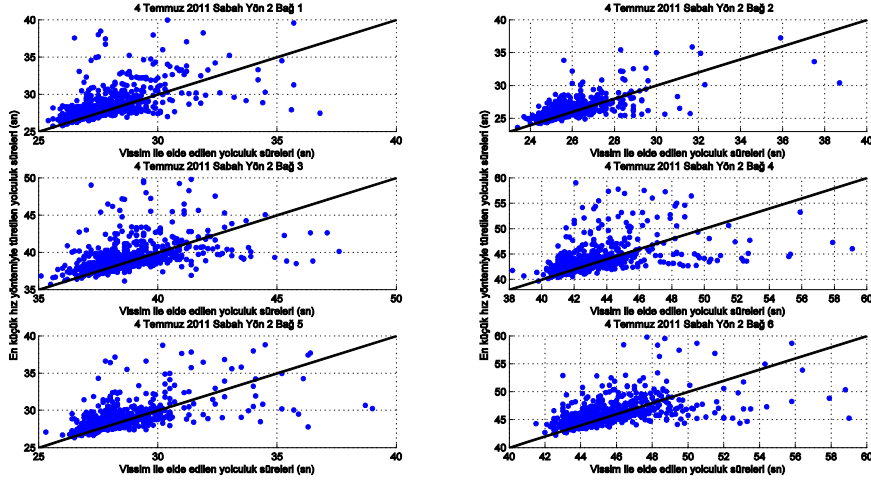
4 Temmuz 2011 gününe ait sabah ve akşam zirve saatlerinde, yön 1 ve yön 2 için ince boyut benzetim modelinde taşıtların tecrübe ettikleri gerçek yolculuk süreleriyle, yarı mesafe, ortalama hız ve en küçük hız yöntemleri kullanılarak türetilen yolculuk sürelerinin dağılımları her yöntem için ayrı ayrı oluşturulmuştur.

Şekil 4.25’de 4 Temmuz 2011 için sabah zirve saatinde yön 1 için, en küçük hız yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinin Vissim ile elde edilen yolculuk sürelerine göre dağılımları görülmektedir. Her dağılımda $y=x$ doğrusu çizilerek, türetilen yolculuk sürelerinin, gerçek yolculuk süresi değerlerinden sapma miktarları gösterilmiştir.



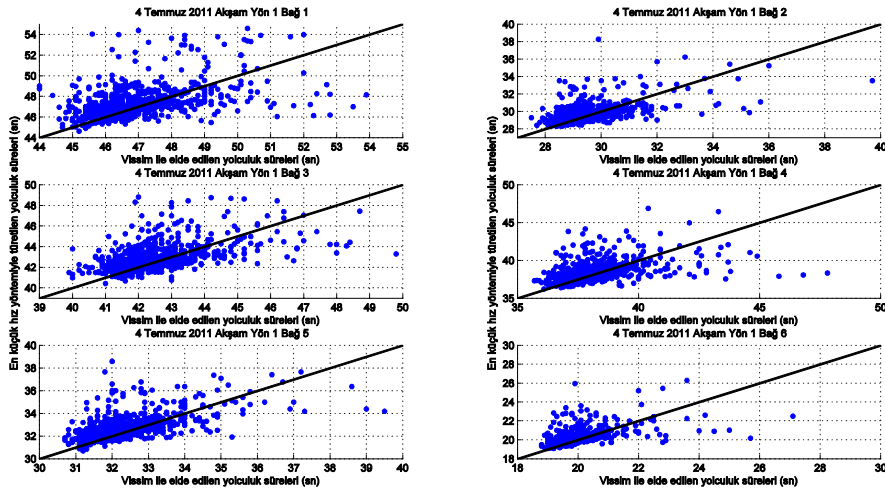
Şekil 4.25 : En küçük hız yöntemiyle sabah yön 1 için elde edilen dağılımlar.

Şekil 4.26’da 4 Temmuz 2011 sabah zirve saatinde yön 2 için en küçük hız yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinin Vissim’in belirlediği yolculuk süreleriyle olan dağılımları verilmiştir.



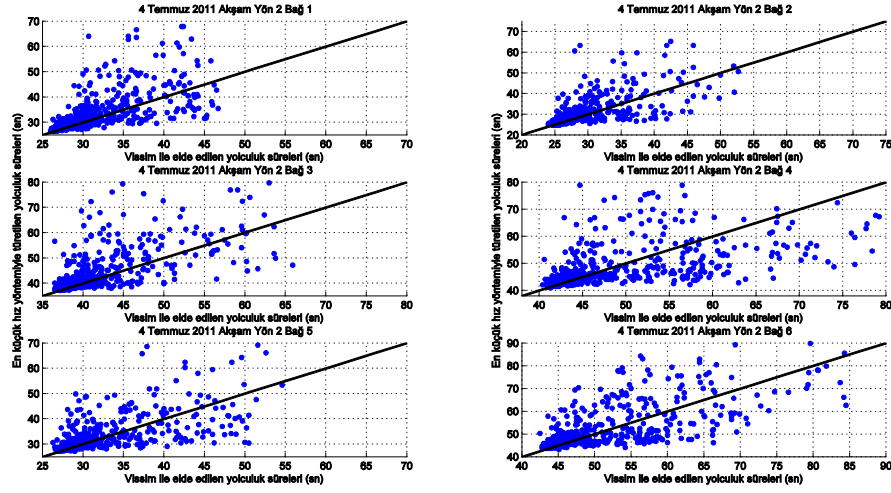
Şekil 4.26 : En küçük hız yöntemiyle sabah yön 2 için elde edilen dağılımlar.

Şekil 4.27’de 4 Temmuz 2011 akşam zirve saatinde yön 1 için en küçük hız yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinin Vissim’in belirlediği yolculuk süreleriyle olan dağılımları verilmiştir.



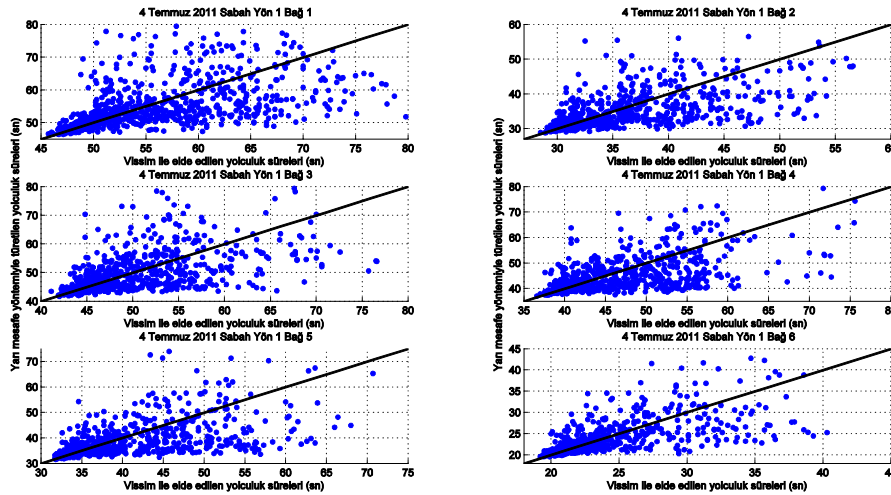
Şekil 4.27 : En küçük hız yöntemiyle akşam yön 1 için elde edilen dağılımlar.

Şekil 4.28’de 4 Temmuz 2011 akşam zirve saatinde yön 2 için en küçük hız yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinin Vissim’in belirlediği yolculuk süreleriyle olan dağılımları verilmiştir.



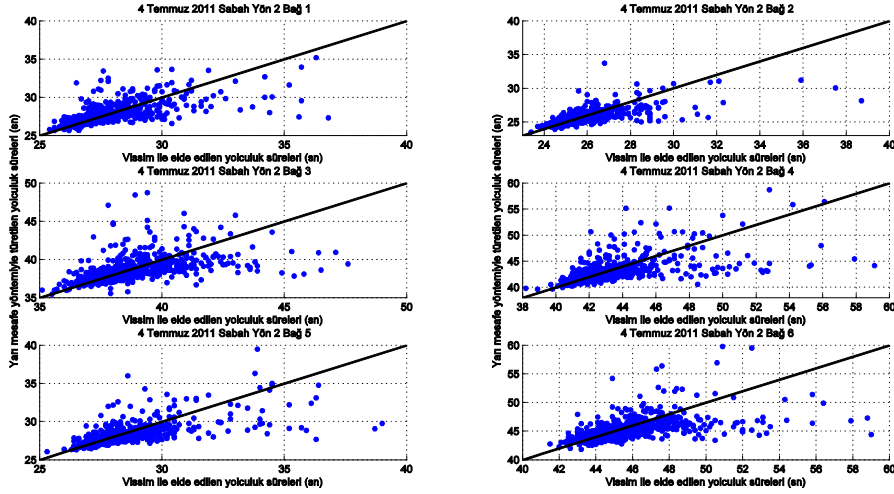
Şekil 4.28 : En küçük hız yöntemiyle akşam yön 2 için elde edilen dağılımlar.

Şekil 4.29’da 4 Temmuz 2011 sabah zirve saatinde yön 1 için yarı mesafe yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinin Vissim’in belirlediği yolculuk süreleriyle olan dağılımları verilmiştir.



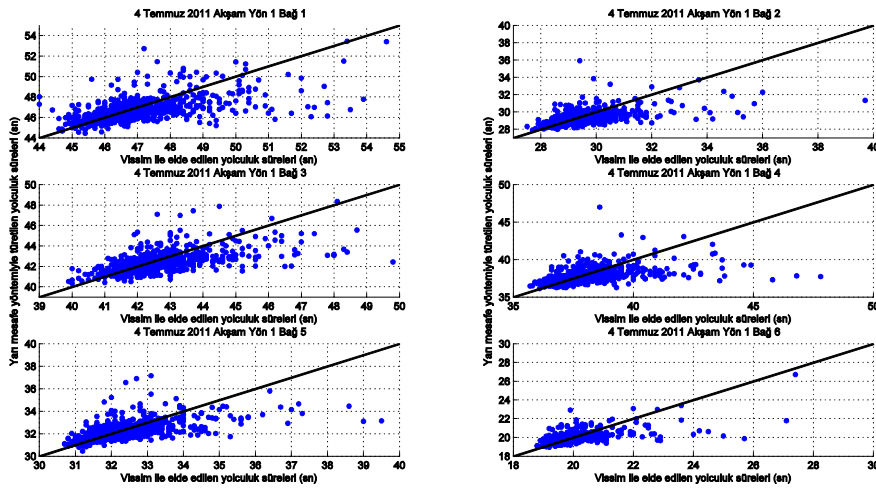
Şekil 4.29 : Yarı mesafe yöntemiyle sabah yön 1 için elde edilen dağılımlar.

Şekil 4.30’da 4 Temmuz 2011 sabah zirve saatinde yön 2 için yarı mesafe yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinin Vissim’in belirlediği yolculuk süreleriyle olan dağılımları verilmiştir.



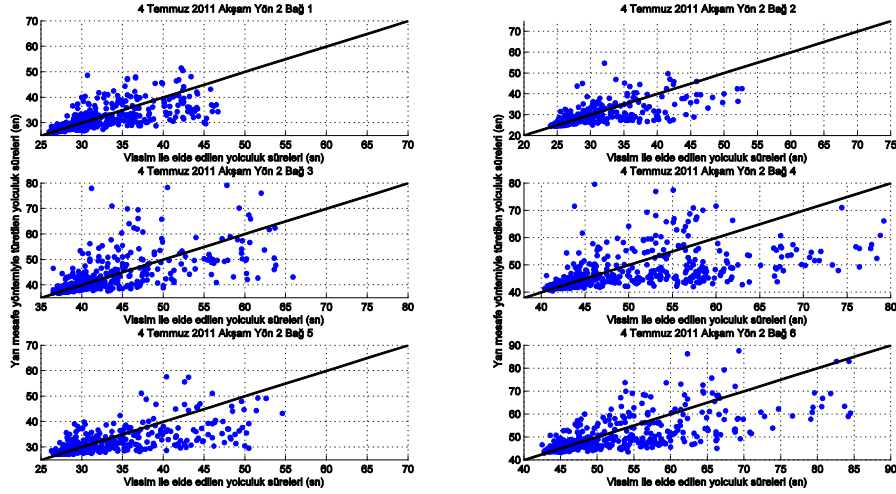
Şekil 4.30 : Yarı mesafe yöntemiyle sabah yön 2 için elde edilen dağılımlar.

Şekil 4.31’de 4 Temmuz 2011 akşam zirve saatinde yön 1 için yarı mesafe yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinin Vissim’in belirlediği yolculuk süreleriyle olan dağılımları verilmiştir.



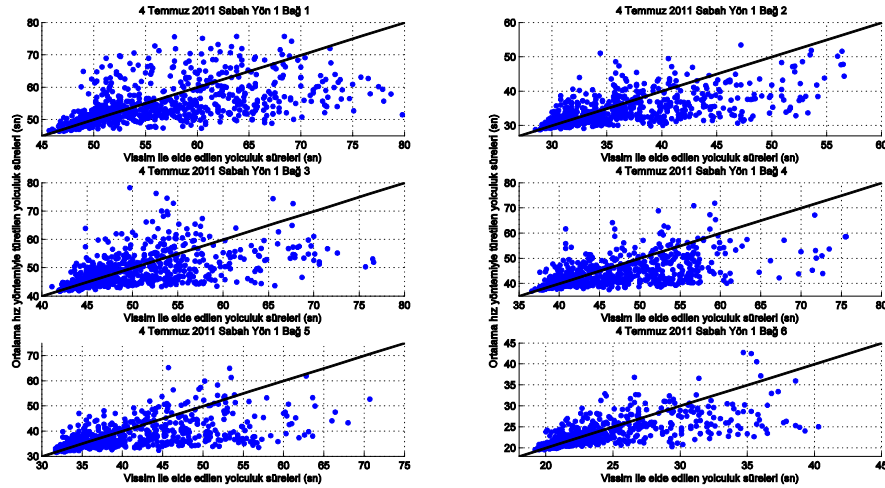
Şekil 4.31 : Yarı mesafe yöntemiyle akşam yön 1 için elde edilen dağılımlar.

Şekil 4.32’de 4 Temmuz 2011 akşam zirve saatinde yön 2 için yarı mesafe yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinin Vissim’in belirlediği yolculuk süreleriyle olan dağılımları verilmiştir.



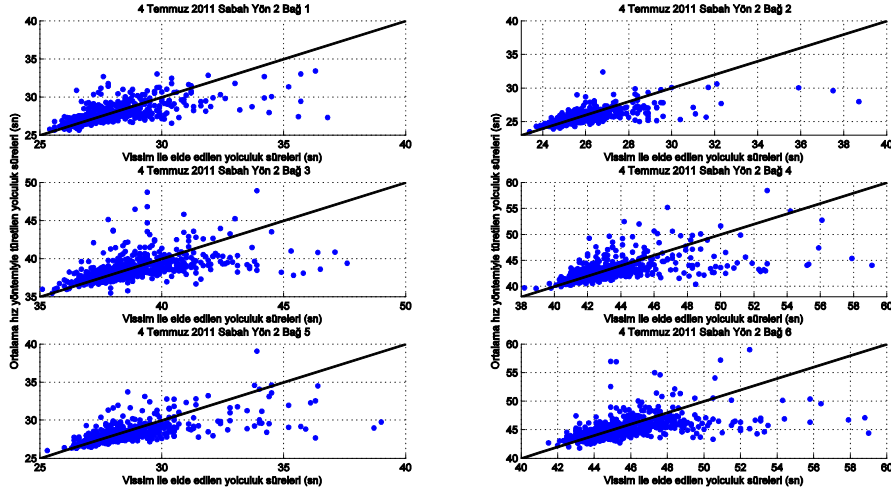
Şekil 4.32 : Yarı mesafe yöntemiyle akşam yön 2 için elde edilen dağılımlar.

Şekil 4.33’de 4 Temmuz 2011 sabah zirve saatinde yön 1 için ortalama hız yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinin Vissim’in belirlediği yolculuk süreleriyle olan dağılımları verilmiştir.



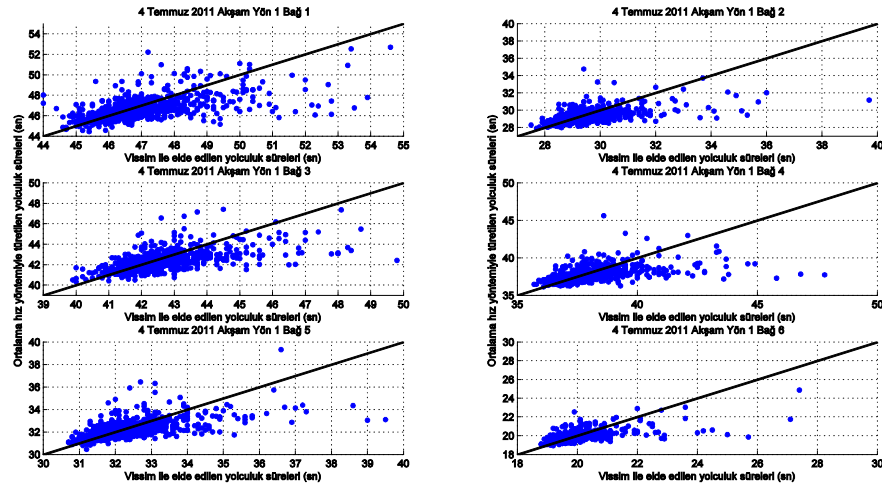
Şekil 4.33 : Ortalama hız yöntemiyle sabah yön 1 için elde edilen dağılımlar.

Şekil 4.34’de 4 Temmuz 2011 sabah zirve saatinde yön 2 için ortalama hız yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinin Vissim’in belirlediği yolculuk süreleriyle olan dağılımları verilmiştir.



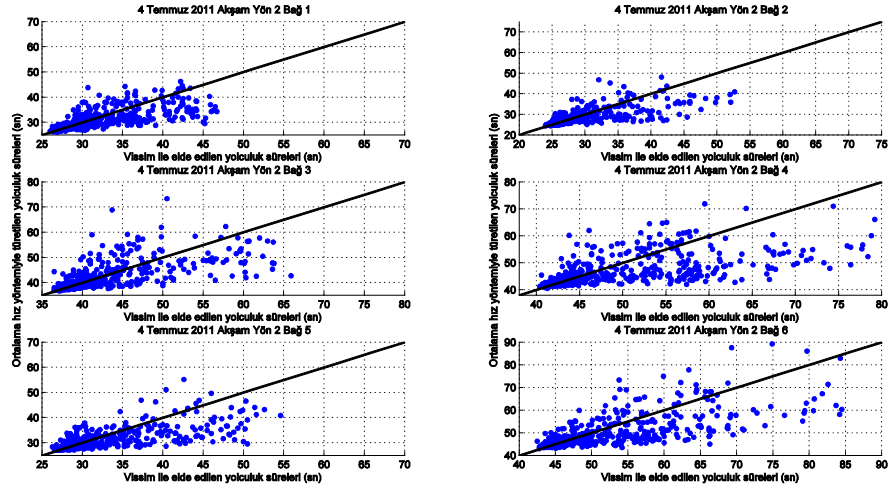
Şekil 4.34 : Ortalama hız yöntemiyle sabah yön 2 için elde edilen dağılımlar.

Şekil 4.35’de 4 Temmuz 2011 akşam zirve saatinde yön 1 için ortalama hız yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinin Vissim’in belirlediği yolculuk süreleriyle olan dağılımları verilmiştir.



Şekil 4.35 : Ortalama hız yöntemiyle akşam yön 1 için elde edilen dağılımlar.

Şekil 4.36’da 4 Temmuz 2011 akşam zirve saatinde yön 2 için ortalama hız yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinin Vissim’in belirlediği yolculuk süreleriyle olan dağılımları verilmiştir.

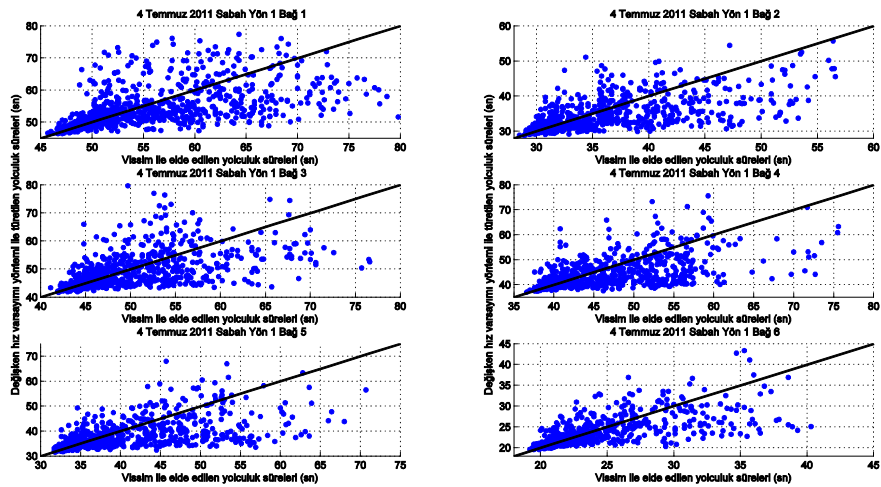


Şekil 4.36 : Ortalama hız yöntemiyle akşam yön 2 için elde edilen dağılımlar.

4.2.3.4 Değişken hız varsayımı ile yolculuk süresi türetimi

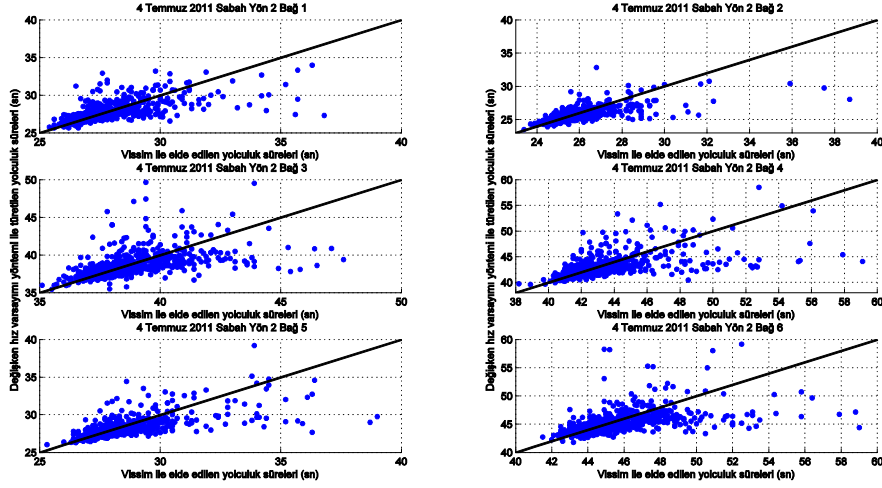
Trafik algılayıcıları ile ölçülen hızların, bağ üzerinde doğrusal olarak değiştiği kabulüyle, bağ yolculuk süreleri 3.2.1.2 başlığı altında anlatıldığı şekilde, ince-boyut benzetim modelinde algılayıcılar ile elde edilen hızlar kullanılarak, değişken hız varsayımı yöntemiyle türetilmiştir. Türetilen yolculuk süreleri, ince boyut benzetim modelinin her bağ için aynı zaman aralıklarında belirlediği, taşıtlar tarafından tecrübe edilmiş yolculuk süreleriyle karşılaştırılmış, istatistiksel hata terimleri, korelasyon katsayıları hesaplanmıştır.

Şekil 4.37’de 4 Temmuz 2011 sabah zirve saati yön 1 için değişken hız yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinin, Vissim’in belirlediği yolculuk süreleriyle olan dağılımları verilmiştir.



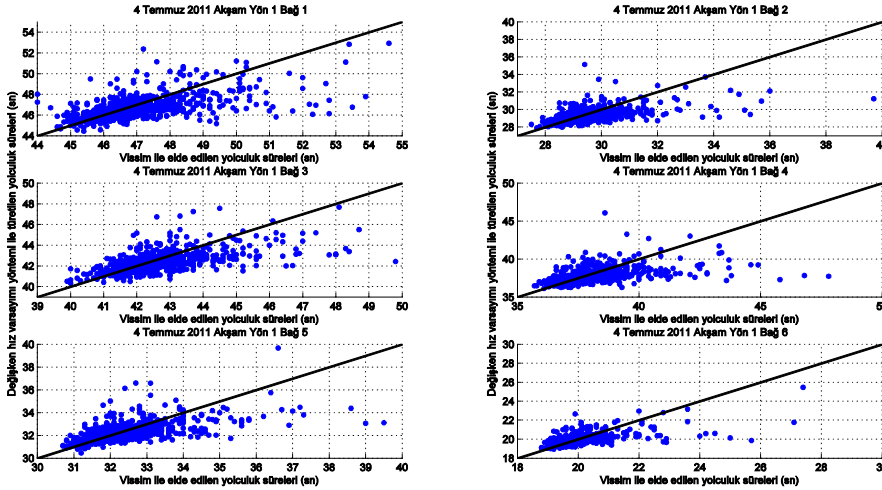
Şekil 4.37 : Değişken hız yöntemiyle sabah yön 1 için elde edilen dağılımlar.

Şekil 4.38’de 4 Temmuz 2011 sabah zirve saati yön 2 için değişken hız yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinin, Vissim’in belirlediği yolculuk süreleriyle olan dağılımları verilmiştir.



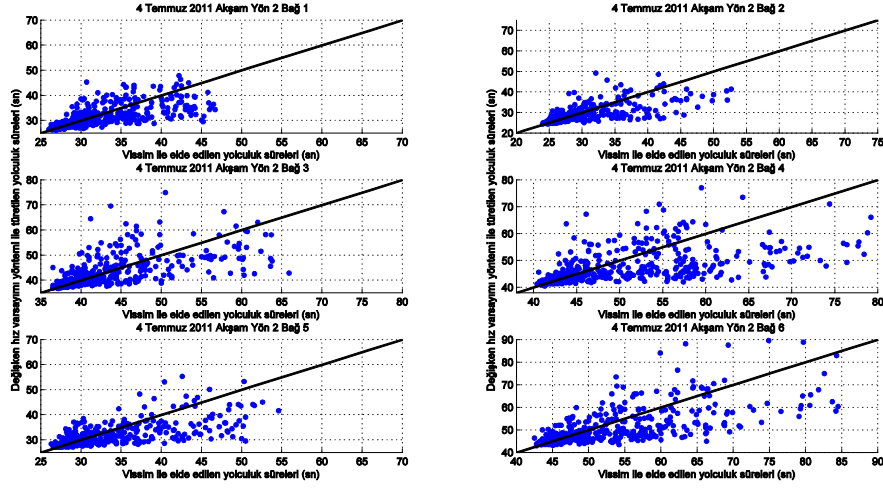
Şekil 4.38 : Değişken hız yöntemiyle sabah yön 2 için elde edilen dağılımlar.

Şekil 4.39’da 4 Temmuz 2011 akşam zirve saati yön 1 için değişken hız yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinin, Vissim’in belirlediği yolculuk süreleriyle olan dağılımları verilmiştir.



Şekil 4.39 : Değişken hız yöntemiyle akşam yön 1 için elde edilen dağılımlar.

Şekil 4.40’da 4 Temmuz 2011 akşam zirve saati yön 2 için değişken hız yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinin, Vissim’in belirlediği yolculuk süreleriyle olan dağılımları verilmiştir.



Şekil 4.40 : Değişken hız yöntemiyle akşam yön 2 için elde edilen dağılımlar.

Sabah zirve saatinde talebin fazla olduğu yön 1’de ve akşam zirve saati için talebin fazla olduğu yön 2’de elde edilen dağılımlar incelendiğinde, Şekil 4.37 ve 4.40’da görüldüğü üzere gerçek değerlerden daha çok saptığı sonucuna varılabilir. Bu duruma, bağ üzerindeki taşıt hızlarının değişken olması örnek gösterilebilir. Bağ üzerinde, taşıtlar, zaman zaman durma noktasına kadar yavaşlamaktadırlar. Fakat değişken hız yöntemi bu değişimleri dikkate alamadığından gerçek yolculuk sürelerinden uzak sonuçlar vermektedir. Bu farklılıklar, bir sonraki bölümde istatistiksel analizlerle daha aydınlatıcı şekilde incelenecektir.

Bu bölümde gösterilen dağılımlar ve hesaplanan hata terimleri hakkında bir fikir vermesi bakımından sabit ve değişken hız varsayımlı ekstrapolasyon yöntemleriyle türetilen yolculuk sürelerinin Vissim ile elde edilen gerçek yolculuk süreleriyle olan değişimleri 4 Temmuz 2011 sabah ve akşam zirve saatleri için 3 boyutlu grafikler şeklinde EK A.4’de gösterilmiştir.

4.2.4 Sınamalar ve karşılaştırmalı başarımlar değerlendirilmesi

Bu bölümde ilk olarak, trafik algılayıcılarıyla belirlenen hızlar ile ekstrapolasyon yöntemleri kullanılarak türetilen yolculuk sürelerinin, ince-boyut benzetim modelinde taşıtların tecrübe ettikleri yolculuk süreleriyle karşılaştırması yapılmıştır.

İnce-boyut benzetim modelinde, taşıtların tecrübe ettikleri gerçek bağ yolculuk süreleriyle; Friesz ve diğ. (1993)’nin modelinden hesaplanan yolculuk süreleri ve yarı-mesafe, ortalama hız, değişken hız ve en küçük hız yöntemleri kullanılarak türetilen bağ yolculuk sürelerine ait istatistiksel hata terimleri ve korelasyon

katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan korelasyon katsayıları ve saniye cinsinden hata miktarları EK A.1’de verilmiştir.

İstatistiksel hata terimleri, Ortalama Mutlak Hata (OMH), Ortalama Mutlak Görelî Hata (OMGH) ve Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (OKHK), sırasıyla, bağıntı (4.31), (4.32) ve (4.33)’de verildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$OMH = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |\tilde{v}_i - v_i| \quad (4.31)$$

$$OMGH = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{\tilde{v}_i - v_i}{v_i} \right| \quad (4.32)$$

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\tilde{v}_i - v_i)^2} \quad (4.33)$$

Burada, $\tilde{v}_i$, her yöntemle türetilen yolculuk sürelerini; v_i , ince boyut benzetim modelinde taşıtların tecrübe ettikleri gerçek yolculuk sürelerini, n ise toplam gözlem sayısını göstermektedir.

İstatistik hata terimlerine ek olarak, iki yada daha çok veri kümesi arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayısı, r , bağıntı (4.34)’de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısı, iki veri kümesi arasındaki ilişkiye göre -1 ile +1 arasında değişen değerler alabilmektedir. Pozitif değerler aynı yönlü doğrusal ilişkiyi, negatif değerler ise ters yönlü doğrusal ilişkiyi belirtmekte, korelasyon katsayısının sıfır olması ise iki veri kümesi arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığı anlamı taşımaktadır.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{v}_i - v_i) \cdot (\bar{\tilde{v}}_i - \tilde{v}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\bar{v}_i - v_i)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{\tilde{v}}_i - \tilde{v}_i)^2}} \quad (4.34)$$

Burada, $\bar{v}_i$, ince boyut benzetim modelinde taşıtların tecrübe ettikleri gerçek yolculuk süresi kümesinin; $\bar{\tilde{v}}_i$, yolculuk süresi türetme yöntemiyle türetilen yolculuk süresi kümesinin ortalamasını göstermektedir.

Talebin fazla olduğu, sabah zirve saatinde yön 1 ve akşam zirve saatinde yön 2 için tüm yöntemler için hesaplanan hata terimlerinin, aynı günlerde talebin az olduğu diğer yöne göre daha fazla olduğu görölmektedir. Bağlar üzerinde değışken olan akım koşullarına bağı olarak, taşıtlar zaman zaman durma noktasına kadar yavaşlamakta bu durum ise türetilen yolculuk süreleriyle tecrübe edilen yolculuk süreleri arasında farkın büyük olmasına neden olmaktadır.

Sabit hız varsayımıyla yolculuk süresi türetme yöntemleri olan yarı-mesafe, ortalama hız ve en küçük hız yöntemleriyle türetilen yolculuk süreleri karşılaştırıldığında; en küçük OMH, OMGH ve OKHK hatalarının; her iki yön, sabah ve akşam zirve saatleri için ortalama hız yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinden elde edildiğı görölmektedir.

Sabit hız varsayımıyla yöntemler arasından, en küçük hata terimleri hesaplanan ortalama hız yöntemiyle, değışken hız yönteminin yolculuk süresi türetmedeki başarımları karşılaştırılmıştır. Hesaplanan hata terimleri incelendiğinde, sabah ve akşam zirve saatlerinde ve her iki yön için daha küçük hata terimlerinin yine ortalama hız yöntemiyle elde edildiğı görölmüştür. Değışken hız varsayımı yöntemi, yarı mesafe ve en küçük hız yöntemlerine göre daha az hatayla yolculuk süresini türetebilmekte, buna karşın ortalama hız yönteminden daha iyi sonuç verememektedir.

İnce-boyut benzetim modeli Vissim ile, model ortamında taşıtların tecrübe ettikleri yolculuk süreleri ve kaba-boyut ölçekte, Friesz ve diğ (1993)'nin doğrusal yolculuk süresi modeli ile hesaplanan yolculuk sürelerinin başarımları, KKS ile ölçülen gerçek yolculuk süreleriyle sınanmıştır. Saniye cinsinden hesaplanan hata terimleri EK A.1'de verilmiştir.

KKS donanımlı gözlem aracıyla, bağ üzerinde ölçülen hızlar Şekil 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12'de; bu hız değışimine ait ayrıntılı yol-zaman gösterimi de Şekil 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16'da verilmiş ve KKS ile, taşıtın bağ içerisindeki konumuna göre hız bilgilerinin ayrıntılı şekilde elde edilebileceğı açıklanmıştı. Dört saatlik benzetim modeli süresinde, KKS donanımlı gözlem aracının bir yönde tüm bağlardan geçtiğı toplam süre, günden güne dört ile yirmi dakika arasında değışiklik göstermektedir. KKS ile her saniyede elde edilen hız bilgileri, 20 saniyelik zaman aralıklarında

toplulaştırılıp bu zaman aralığında taşıt için ortalama hız hesaplanmıştır. Elde edilen ortalama hız kullanılarak, taşıtın, bulunduğu bağ için yolculuk süresi belirlenmiştir.

KKS ile, Şekil 4.11’de gösterildiği şekilde ölçülen hızların en yüksek değerlerinde olduğu, günden güne ve farklı bağlarda çok az değiştiği sabah zirve saatinde ve yön 2 için elde edilen yolculuk süreleriyle ince-boyut ve kaba-boyut modellerden elde edilen yolculuk süreleri karşılaştırıldığında en küçük hata terimlerinin hesaplandığı görülmüştür. Buradan, ince-boyut ve kaba-boyut modellerin serbest akım koşullarında, tecrübe edilmiş yolculuk sürelerine yakın sonuçlar vermekte oldukları sonucu çıkarılabilir.

Buna karşın, değişken akım koşullarının olduğu, özellikle, 5, 6 ve 7 Temmuz 2011 akşam zirve saati yön 1 için KKS ile elde edilen süreler model sonuçlarıyla karşılaştırıldığında çok büyük hatalar hesaplanmıştır. Akşam zirve saati için talebin fazla olduğu yön olmamasına rağmen, hızlar bağ üzerinde çok değişken ölçülmüştür. Trafik algılayıcıları tarafından ölçülen taşıt sayılarına göre de, talebin sabah zirve saate göre az olmasına rağmen, gerçek şartlar altında bağlar üzerinde hızlar yer yer durma noktasına kadar azalmıştır. Bu durum, trafik akımının dinamik özelliğine verilebilecek en iyi örnektir ve gerek ince-boyut gerekse kaba-boyut modeller ile yansıtılamamaktadır.

KKS ile ölçülen gerçek yolculuk süreleriyle, ince-boyut benzetim modeli Vissim’in ve kaba-boyut ölçekte Friesz ve diğ. (1993)’nin doğrusal yolculuk süresi modelleriyle türetilen yolculuk süreleri karşılaştırıldığında, akım koşullarına göre bazı günlerde, örneğin, 5 Temmuz 2011 akşam zirve saati yön 2 için Friesz ve diğ. (1993)’nin modeliyle türetilen yolculuk sürelerinin; bazı günlerde ise, örneğin, 4 Temmuz 2011 akşam zirve saati yön 2 için Vissim ile elde edilen sürelerin daha küçük hataları olduğu görülmüştür.

4.3 Seçilen Yöntemlerin Bileşeni Olduğu Yolculuk Süre Bilgisi Yayımı Sürecine Yönelik Yaklaşım Önermesi

Ekstrapolasyon yöntemleriyle türetilen yolculuk süreleri, var olan trafik durumunun değişmeyeceği yaklaşımıyla bağ yolculuk süreleri hakkında bilgi sağlamaktadırlar. Gerçekte ise kullanıcı, güzergâhını tamamlayana kadar trafik akımı üzerinde değişim meydana gelebilir. Bu durum, geçerli durum için türetilen yolculuk süresi ile kısa bir

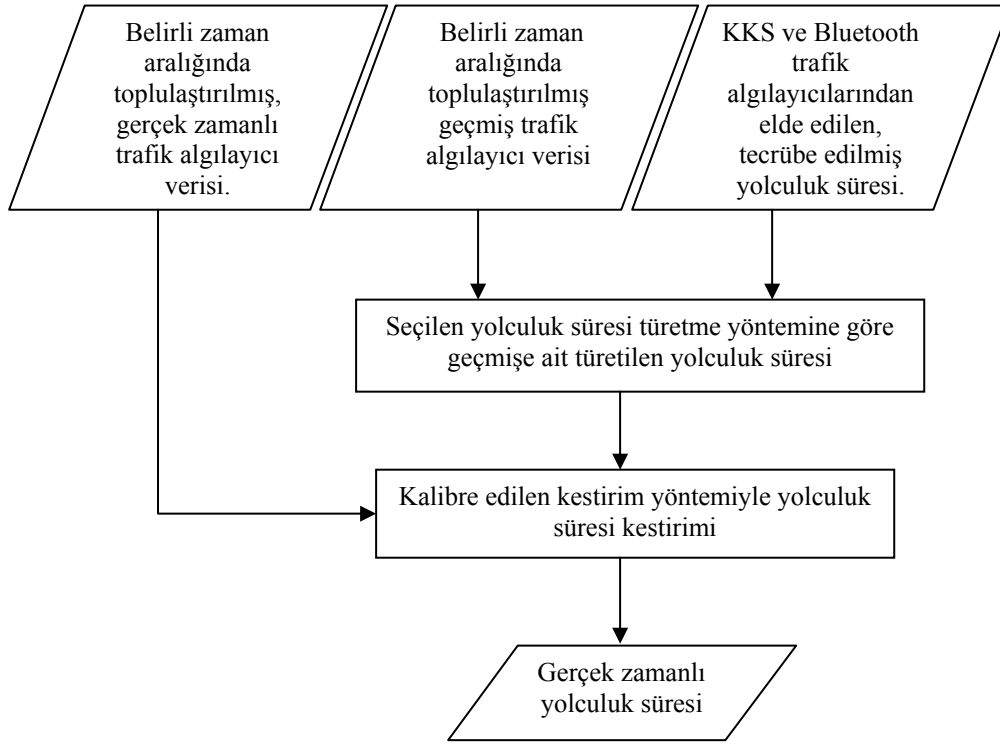
süre sonra gerçekleştirilecek olan yolculuğun süresi arasında farka yol açabilmektedir. Bu nedenle yolculuk süresinin türetimi yerine, kısa bir süre sonraki zaman aralıkları için yolculuk süresi kestirimi kullanıcılar için daha fazla yarar sağlayabilir.

Yolculuk süresi kestirim süreci, trafik algılayıcılarından elde edilen gerçek zamanlı ve geçmişe yönelik toplanmış trafik verileriyle akıllı ulaşırma sistemlerinin bir bileşeni olarak uygulanabilir. Geçmiş zamana ait trafik algılayıcılarından toplanan trafik verisi, Bluetooth trafik algılayıcılarından ve KKS donanımlı araçlardan elde edilen tecrübe edilmiş yolculuk süresi bilgileri kullanılarak kestirim yöntemi kalibre edilebilir. Kalibre edilen yolculuk süresi kestirim yöntemiyle gerçek zamanlı trafik algılayıcı verileri kullanılarak yolculuk süresi kestirimi yapılabilir.

Kısa süreli yolculuk süresi kestirimi için pratik kullanım alanı olan iki yöntemden bahsedilebilir. Birincisi, “geçmişe yönelik gerçek zamanlı yaklaşım”dır. Haftanın günlerine veya günün saatlerine göre sınıflandırılan yolculuk süresi değişimi gelecek trafik koşulları altında yolculuk süresi kestiriminde kullanılmaktadır.

İkincisi yaklaşım ise, “regresyon analizi yöntemi”dir. Yolculuk süresinin doğrudan ilişkili olduğu, trafik algılayıcılarından elde edilen taşıt sayısı, hız ve işgal değerleriyle tecrübe edilmiş yolculuk süreleri arasında doğrusal bir ilişki kurularak, gerçek zamanlı elde edilen algılayıcı verileriyle yolculuk süresi kestirimi yapılmaktadır (Vanajakshi, 2004). Bu yöntemlerden başka zaman serisi, sinir ağları ve Kalman filtresi gibi yöntemlerde yolculuk süresi kestirimi için kullanılmaktadır.

Yolculuk süresi kestirimi aşamasında, çalışma kapsamında anlatılan ve saha çalışmasında yolculuk süresi ölçümünde kullanılan Bluetooth trafik algılayıcılar ve KKS cihazı elde edilen yolculuk süreleri, tecrübe edilmiş gerçek yolculuk süreleri olarak kullanılabilirler. Mikrodalga trafik algılayıcılarından elde edilen trafik verilerinin de bu bilgilerle birlikte kullanılmasıyla, çevirim içi, kısa bir süre sonraki zaman aralıklarına ait yolculuk süresi kestirimi yapılabilir. Şekil 4.41’de bu sürece ait bir akış şeması verilmiştir.



şekil 4.41 : Yolculuk süresi kestirim süreci.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, özellikle kent içi yolculuklarda büyük öneme sahip olan yolculuk süresi ölçüm ve türetim yöntemleri incelenmiştir. Kullanıcılara sunulan gerçek zamanlı yolculuk süresi bilgisinin kestirimine yönelik, incelenen yöntemleri kapsayan bir yaklaşım önerilmiştir.

Bağ yolculuk sürelerinin türetiminde, trafik algılayıcılarıyla elde edilen nokta hızların kullanıldığı ekstrapolasyon yöntemleri pratik bir kullanıma sahiptirler. Basit yapılarıyla, bu yöntemler kullanıcılara gerçek zamanlı yolculuk süresi bilgisi sağlamak amacıyla kullanılabilir. Yarı mesafe, ortalama hız, en küçük hız ve değişken hız ekstrapolasyon yöntemleri ile türetilen hızlar, ince-boyut benzetim modelinde taşıtların tecrübe ettikleri gerçek yolculuk süreleriyle karşılaştırılmıştır. İstatistiksel değerlendirmeler sonucu, en az hata ile yolculuk süresi türetiminin ortalama hız yöntemiyle türetilen yolculuk sürelerinde olduğu görülmüştür.

Kaba-boyut yaklaşımla bağ yolculuk süreleri ve yolculuk sürelerinin sabah ve akşam zirve saatlerdeki dağılımları belirlenmiştir. Kaba-boyut ölçekte, Friesz ve diğ. (1993)'nin doğrusal yolculuk süresi modeli, günlük veya günün belirli saatleri için yolculuk sürelerinin dağılımlarının belirlenmesinde etkili biçimde kullanılabilir.

İnce-boyut ve kaba-boyut modelleme yöntemlerinin var olan durumu ne ölçüde temsil ettikleri, KKS ile ölçülen gerçek yolculuk süreleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bir takım kuramsal temellere dayanan her iki modelin de, KKS ile elde edilen anlık hız ve yolculuk süresi değerleriyle karşılaştırıldığında, özellikle değişken akım koşullarında (örneğin, dur kalk trafik koşulları) gerçekten uzak değerler verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

KKS ile istenilen her andaki hız ve yolculuk süresi verisi, 3 boyutlu bir koordinat sisteminde elde edilmektedir. Böylece taşıtlara ait gerçek sürüş dinamikleri ayrıntılı biçimde bilinmektedir. Daha fazla taşıtta KKS donanımı kullanılması halinde ise trafik akımına ait çok daha ayrıntılı bilgiler toplamak mümkün olabilir. Günümüzde,

özellikle araç takip sistemlerinde anlık elde edilen KKS verileri bir merkez istasyona aktarılarak taşıtlar uzaktan izlenmektedir. Bu sistemlerin trafik yönetimi çalışmalarıyla birlikte kullanılması ile trafik akımı hakkında elde edilebilecek ayrıntı düzeyini arttırmak mümkün olabilir.

Çalışma güzergâhı üzerinde trafik algılayıcılarının sınırlarını oluşturduğu, birbirinden farklı uzunlukta bağlar belirlenmiştir. Güzergâh üzerinde bağların farklı uzunlukta ve özellikle bazı bağların diğer bağlara göre daha uzun olması gerek yolculuk süresi kestirimi gerekse yolculuk süresi türetimindeki duyarlılığı düşürmekte ve farklı bağlar üzerinde türetilen/kestirilen yolculuk sürelerinin birbirlerine göre değişimlerinin incelenmesini olanaksız kılmaktadır. Trafik algılayıcılarının sınırladığı kısa bağlar (150-200m) oluşturmak, uygulama bakımından pratik olmamakla birlikte yolculuk süresi türetimine anlamlı bir duyarlılık kazandırmamaktadır. Uzun bağlar (1000-1500m) oluşturmak ise, bağ içerisinde trafik akımında meydana gelebilecek değişimleri yansıtamayacağı için yolculuk süresi türetimindeki doğruluğu azaltmaktadır. Bu nedenlerle, trafik algılayıcılarının birbirlerine eşit uzaklıkta ve yaklaşık 500 metrelik aralıklarla yerleştirilmesinin yolculuk süresi türetimi ve kestirimi sürecinde daha yararlı olacağı düşünülmektedir.

Çevirim içi elde edilen trafik algılayıcı verileri ile türetilen ve kullanıcıların bilgisine sunulan yolculuk süreleri, bir anlık trafik durumuna göre türetilmektedir. Hâlbuki taşıt güzergâhını tamamlayana kadar trafik akımı üzerinde meydana gelebilecek değişim sonucunda gerçek yolculuk süresi daha farklı değerler alabilir. Bu etkiden dolayı, kullanıcılara daha doğru yolculuk süresi bilgisi sunabilmek amacıyla, bilinmeyen gelecek trafik koşulları altında yolculuk sürelerinin kestirimi ihtiyacı doğmaktadır. Çevirim içi yolculuk süresi bilgisi sunulurken, gerçek zamanlı elde edilen trafik algılayıcısı verisiyle birlikte geçmişe ait trafik algılayıcı verileri de birlikte kullanılabilir. Bluetooth trafik algılayıcıları veya KKS ile elde edilen, bağlar üzerinde tecrübe edilmiş yolculuk süresi bilgileri geçmiş trafik algılayıcı verileriyle birlikte kullanılarak yolculuk süresi kestirimindeki doğruluk artırılabilir.

KAYNAKLAR

- Aksoy, G. & Celikoglu, H.B.,** 2012. Modelling and distribution of link/path travel times: an analysis on Istanbul freeways. 15th European Working Group on Transportation, Paris/France.
- Anagnostopoulos, C.N., Anagnostopoulos, I.E., Loumos, V. & Kayfas, E.,** 2006. A license plate recognition algorithm for intelligent transportation systems. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 7, no. 3, pp. 377-392.
- Anderson, J. & Bell, M.,** 1997. Travel time estimation in urban road networks. Proceedings of IEEE conference, IEEE, pp. 924-929, 9-12.
- Astarita, V. & Florian, M.,** 2001. The use of mobile phones in traffic management and control. Proceedings of the 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC'01), Oakland, CA, Aug. 25-29, 2001, pp. 10-15.
- Barcelo, J., Montero, L., Marques, L., Marinelli, P. & Carmona, C.,** 2010. Travel time forecasting and dynamic O-D estimation in freeways based on Bluetooth traffic monitoring. Transportation research record, vol. 2175, pp 19-27.
- Bar-Gera, H.,** 2007. Evaluation of a cellular phone-based system for measurements of traffic speeds and travel times: A case study from Israel. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 15, no. 6, pp. 380-391.
- Barth, M. J., Johnston, E. & Tadi, R. R.,** 1996. Using GPS technology to relate macroscopic and microscopic traffic parameters. Transportation Research Record, no. 1520, pp. 89-96.
- Bigazzi A., Kothuri, S., Tufte, K., Monsere, C. & Figliozi, M.,** 2011. Using mac readers for real-time arterial emissions estimates. In Transportation Research Board 90th Annual Meeting, DVD, National Academies Press, Washington D.C, USA.
- Bovy, P.H.L. & Thijs, R.,** 2000. Estimators of Travel Time for Road Networks. Delft University Press, Delft, The Netherlands.
- Boyce, D., Roupail, N., & Kirson, A.,** 1993. Estimation and measurement of link travel times in the ADVANCE project. Proceedings of the IEEE - IEE Vehicle Navigation & Information Systems (VNIS) Conference 1993, Ottawa, 12-15 Oct. 1993, pp. 62-66.
- Brockfeld, E., Lorkowski, S., Mieth, P., & Wagner, P.,** 2007. Benefits and limits of recent floating car technology – An evaluation study. Paper presented at the 11th WCTR Conference, June 24-28, 2007, Berkeley, USA.

- Carey, M. & Ge, Y. E.,** 2003. Comparing whole-link travel time models. *Transportation Research Part B*, vol. 37, pp. 905-926.
- Cassidy, M. J.,** 1999. Traffic flow and capacity, in *Handbook of Transportation Science*. Edited by R. W. Hall, Kluwer Academic Publishers, USA, ISBN 1-4020-7246-5.
- Catalano, S. & van der Zijpp, N. J.,** 2002. Traffic monitoring using handheld GSM phones: part B: simulation study. External Research Report. Delft University of Technology, Faculty Civil Engineering and Geosciences, ISSN: 0920-0592.
- Coifman, B.,** 2002. Estimating travel times and vehicle trajectories on freeways using dual loop detectors. *Transportation Research Part A: Policy and Practise*, vol. 36, no. 4, pp. 351-364.
- Cortes, C. E., Lavanya, R., Oh, J. S., & Jayakrishnan, R.,** 2001. A General Purpose Methodology for Link Travel Time Estimation using Multiple Point Detection of Traffic. Institute of Transportation Studies, University of California, Irvine, Reportno. UCI-ITS-TS-WP-01-5, November 2001.
- Çelikoğlu H. B.,** 2009. “Trafik Akım Kuramı” dersi yayınlanmamış ders notları, İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Mühendisliği Yüksek Lisans Programı.
- D’Este, G. M., Zito, R. & Taylor M. A. P.,** 1999. Using GPS to measure traffic system performance. *Computer-aided civil and infrastructure engineering*, vol. 14, pp. 255-265.
- Daganzo, C. F.,** 1997. *Fundamentals of transportation and traffic operations*. Pergamon-Elsevier, ISBN 0 08 042785 5, Oxford, Great Britain.
- Dailey, D.J.,** 1993. Travel time estimation using cross-correlation techniques. *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 27, no. 2, pp. 97-107.
- Dailey, D.J.,** 1997. Travel time estimates using a series of single-loop volume and occupancy measurements. *Transportation Research Board 1997 Annual Meeting CD-ROM*.
- Draijer, G., Kalfs, N. & Perdok, J.,** 2000. Global positioning system as data collection method for travel research. *Transportation Research Record*, vol. 1719, pp. 147-153.
- Fosgerau, M. & Fukuda, D.,** 2012. Valuing travel time variability: characteristics of the travel time distribution on an urban road. *Transportation Research Part C*, vol. 24, pp. 83-101.
- Friesz, T. L., Bernstein, D., Smith T. E., Tobin, R. L. & Wie, B. W.,** (1993). A variational inequality formulation of the dynamic network user equilibrium problem. *Operations Research* 41, 179-191.
- Fu, L. & Rilett, R.,** 1995. Dynamic O-D travel time estimation using an artificial neural network. *Proceedings of the vehicle navigation and information systems (VINS), Annual meeting*. pp. 236-242, IEEE press.

- Gedizlioğlu, E. & Çelikoğlu H. B.,** 2009. “Trafik Tekniği ve Etüdları” dersi yayınlanmamış ders notları, İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Mühendisliği Yüksek Lisans Programı.
- Gurusinghe, G. S., Nakatsuji, T., Azuta, Y., Ranjitkar, P. & Tanaboriboon, Y.,** 2002. Multiple car-following data with real-time kinematic global positioning system. *Transportation Research Record*, vol. 1802, pp. 166-180.
- Haghani, A., Hamed, M., Sadabadi, K.F., Young, S. & Tarnoff, P.,** 2010. Freeway travel time ground truth data collection using Bluetooth sensors. *Transportation Research Record*, vol. 2160, pp 60-68.
- HCM,** 1985. Highway capacity manual. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C, USA.
- Hoogendoorn, S.P.,** 2000. Model-based multiclass travel time estimation. Presented at the 79th Annual Meeting (CD-ROM), Transportation Research Board, Washington D.C.
- Hu, S. R. & Chen C. B.,** 2004. Dynamic estimation of freeway origin-destination demand and travel time using extended Kalman filtering algorithm. International conference on networking, sensing and control, proceedings of the IEEE.
- Hunter, T., Herring, R., Abbeel, P. & Bayen, A.,** 2009. Path and travel time inference from GPS probe vehicle data. In *NIPS analysing networks and learning with graphs*.
- Jan, O., Horowitz, A. J. & Peng, Z. R.,** 2000. Using global positioning system data to understand variations in path choice. *Transportation Research Record*, vol. 1725, pp. 37-44.
- Jie, L., Van Zuylen, H., Chunhua, L. & Shoufeng, L.,** 2011. Monitoring travel times in an urban network using video, GPS and Bluetooth. 14th EWGT, *Procedia Social and Behavioral Sciences* vol. 20, pp. 630-637.
- Kahveci, M. & Yıldız F.,** 2005. Global konum belirleme sistemi. Nobel yayın dağıtım, Ankara.
- Kwong, K., Kavalier, R., Rajagopal, R. & Varaiya, P.,** 2009. Arterial travel time estimation based on vehicle re-identification using wireless magnetic sensors. *Transportation Research Part C*, vol. 17, pp. 586-606.
- Li, R., Rose, G. & Sarvi, M.,** 2006. Evaluation of speed-based travel time estimation models. *Journal of Transportation Engineering*, vol. 132, no. 7, pp. 540-547.
- Li, Y. & McDonald, M.,** 2002. Link travel time estimation using single equipped probe vehicle. The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems. September 3-6, Singapore.
- Liang, Z. & Ling-xiang Z.,** 2006. Link travel time estimation model fusing data from mobile and stationary detector based on BP neural network. *Communications, Circuits and systems Proceedings, International Conference*, vol. 3, pp 2146-2149.

- Lindveld, C.D.R., Thijis, R., Bovy, P.H., & Van der Zijpp, N.J.,** 2000. Evaluation of online travel time estimators and predictors. *Transportation Research Record*, vol. 1719, pp. 45-53.
- Liu, T.K. & Haines, M.,** 1996. Travel time data collection field tests-lessons learned. Report FHWA PL-96-010, FHWA, US Department of Transportation, Cambridge, Mass.
- Luk, J., Stewart, D., Yoo, Y., Grattan, K., Ramalingham, R., D'Agostini, C., Milne, P. & Tudge, R.,** 2008. Microsimulation standards technical note 4, Austroads. Published by ARRB Group Ltd.
- Merchant, D. K. & Nemhauser, G. L.,** (1978). A model and an algorithm for the dynamic traffic assignment problems. *Transportation Science* vol 12, pp. 183-199.
- Nam, D.H. & Drew, D.R.,** 1996. Traffic dynamics: Methods for estimating freeway travel times in real time from flow measurements. *Journal of Transportation Engineering*, vol. 122, no. 3, pp. 185-191.
- Nam, D.H. & Drew, D.R.,** 1998. Analysing freeway traffic under congestion: Traffic dynamics approach. *Journal of Transportation Engineering*, vol. 124, no. 3, pp. 208-212.
- Oh, J., Jayakrishnan, R. & Recker, W.,** 2003. Section travel time estimation from point detection data. Center for Traffic Simulation Studies, Paper VCI-ITS-TS-WP-02-15.
- Pathirana, P.N., Savkin, A.V., Bulusu, N. & Plunkett, T.,** 2006. Speed control and policing in a cellular mobile network: SpeedNet. *Computer Communications*, vol. 29, no. 17, pp. 3633-3646.
- Petty, K.F., Bickel, P., Ostland, M., Rice, J., Schoenberg, F., Jiang, J. & Ritov, Y.,** 1998. Accurate estimation of travel times from single-loop detectors. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 32, no. 1, pp. 1-17.
- PTV AG,** 2011. Vissim 5.40-01 user manual. Karlsruhe, Germany.
- Quiroga, C.A. & Bullock, D.,** 1998. Travel time studies with global positioning and geographic information systems: an integrated methodology. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 6, no. 1-2, pp. 101-127.
- Şahin, İ.,** 2001. Boğaziçi köprüsü bağlantı yollarında kapasite kullanım düzeyinin araştırılması. 5. Ulaştırma Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası, ISBN 975-395-437-9, pp.223-230, İstanbul.
- Şahin, İ., Akyıldız, G., Zorer, A. & Gedizlioğlu, E.,** 2004. Uzun otoyol kuyruklarının incelenmesi ve iyileştirme stratejilerinin araştırılması. Proje No: İÇTAG-I920 Raporu.
- Soriguera, F. & Robuste, F.,** 2011. Requiem for freeway travel time estimation methods based on blind speed interpolations between point measurements. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 12, no. 1, pp. 291-297.

- Sun, L., Yang, J. & Mahmassani, H.,** 2008. Travel time estimation based on piecewise truncated quadratic speed trajectory. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 42, no. 1, pp. 173-186.
- Treiber, M. & Helbing, D.,** 2002. Reconstructing the spatio-temporal traffic dynamics from stationary detector data. *Cooperative Transportation Dynamics*, vol. 1, pp. 3.1-3.24.
- Turner, S.M.,** 1996. Advanced techniques for travel time data collection. *Transportation Research Record* 1551, pp. 51-58. Presented at the 75th Annual Meeting of the Transportation Research Board.
- Turner, S.M., Eisele, W.L., Benz, R.J. & Holdener, D.J.,** 1998. Travel Time Data Collection Handbook. US DOT, Report no. FHWA-PL-98-035, Texas Transportation Institute, College Station, Texas.
- Van Lint, J.W.C. & Van der Zijpp, N. J.,** 2003. An improved travel-time estimation algorithm using dual loop detectors. In *Transportation Research Board Annual Meeting*, CD Rom, National Academies Press, Washington D.C, USA.
- Van Lint, J.W.C.,** 2004. Reliable travel time prediction for freeways. Ph.D Thesis, Submitted to Civil Engineering for Delft University of Technology, Netherland, 2004.
- Vanajakshi, L. D.,** 2004. Estimation and prediction of travel time from loop detector data for intelligent transportation systems applications. Ph.D Thesis, Submitted to the office of graduate studies of Texas A&M University.
- Vanajakshi, L.D., Williams, B.M. & Rilett, L.R.,** 2009. Improved flow-based travel time estimation method from point detector data for freeways. *Journal of Transportation Engineering*, vol. 135, no. 1, pp. 26-36.
- Wang, Y., Malinovskiy, Y., Wu, Y. J. & Lee, U. K.,** 2011. Error modeling and analysis for travel time data obtained from Bluetooth mac address matching. *Transportation Northwest (TransNow)*, Research Project Agreement No. 61-8390, Final Research Report.
- Wasson, J. S., Sturdevant J. R. & Bullock, D. M.,** 2008. Real-time travel time estimates using mac address matching. *Institute of transportation engineers journal, ITE*, vol. 78, no. 6, pp 20-23.
- Wei, W., Xiucheng, G., Jing, J. & Bin, R.,** 2010. GPS probe vehicle based freeway real-time travel speed estimation using Kalman filter. *International conference on intelligent system design and engineering application*.
- Wen, W.,** 2010. An intelligent traffic management expert system with RFID technology. *Expert systems with applications*, no 37, pp. 3024-3035.
- Wiedemann, R. & Reiter, U.,** 1992. Microscopic traffic simulation: the simulation system MISSION, background and actual state. In: CEC project ICARUS (V1052) final report, vol 2, Appendix A. Brussels, CEC.
- Wiedemann, R.,** (1974). Simulation des Straßenverkehrsflusses. Schtftenreihe des Instituts fur Verkehrswesen der Universitat Karlsruhe, Heft 8.
- Wiedemann, R.,** (1991). Modelling of RTI-Elements on multi-lane roads. *Advanced Telematics in Road Transport*.

- Wolf, J., Oliveira, M. & Thompson, M.,** 2003. Impact of underreporting on mileage and travel time estimates. *Transportation Research Record*, no. 1854, pp. 189-198.
- Yeon, J., Elefteriadou, L. & Lawphongpanich, S.,** 2008. Travel time estimation on a freeway using Discrete Time Markov Chains. *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 42, no. 4, pp. 325-338.
- Yim, Y. & Cayford, R.,** 2001. Investigation of vehicles as probes using global positioning system and cellular phone tracking: Field operational test. Report UCB-ITS-PWP-2001-9. California PATH Program, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.
- Yim, Y.,** 2003. The state of cellular probes. Research Report UCB-ITS-PRR-2003-25, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.
- Zhang, H.M.,** 1999. Link-journey-speed model for arterial traffic. *Transportation Research Record* 1676, 109–115.
- Zito, R., D’Este, G. & Taylor, M. A. P.,** 1995. Global positioning systems in the time domain: how useful a tool for intelligent vehicle-highway systems? *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 3, no. 4, pp. 193-209.

EKLER

EK A.1 : Hesaplanan hata terimleri.

EK A.2 : Friesz ve diğ. (1993)'nin modeliyle elde edilen yolculuk süresi dağılımları.

EK A.3 : Bluetooth trafik algılayıcıları ile elde edilen yolculuk süreleri.

EK A.4 : Ekstrapolasyon yöntemleriyle türetilen yolculuk sürelerinin 3 boyutta gösterimleri.

EK A.5 : Eklenik taşıt sayısı – zaman ve ölçeklendirilmiş eklenik taşıt sayısı – zaman gösterimleri.

EK A.1

Çizelge A.1.1 : 4 Temmuz 2011 sabah zirve saat için hesaplanan hata terimleri.

		Yarı-Mesafe				Ortalama Hız				Değişken Hız				En Küçük Hız				Friesz			
		OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r
Yön	Bağ 1	5.426	0.091	7.788	0.435	5.048	0.084	7.045	0.470	5.149	0.086	7.209	0.460	7.989	0.138	12.735	0.385	6.903	0.115	8.896	-0.175
	Bağ 2	3.578	0.091	5.300	0.605	3.430	0.086	5.106	0.633	3.445	0.087	5.115	0.626	4.949	0.131	7.918	0.557	5.313	0.143	7.149	-0.028
	Bağ 3	4.615	0.086	6.968	0.507	4.289	0.079	6.355	0.509	4.372	0.081	6.481	0.511	7.149	0.137	11.738	0.496	6.263	0.125	8.268	-0.068
	Bağ 4	4.840	0.096	7.152	0.568	4.602	0.091	6.764	0.567	4.623	0.091	6.786	0.571	7.258	0.146	11.582	0.556	5.873	0.129	7.828	0.241
	Bağ 5	4.591	0.101	7.143	0.555	4.361	0.094	6.824	0.580	4.400	0.096	6.849	0.575	6.359	0.145	10.430	0.510	6.475	0.156	8.741	0.116
	Bağ 6	1.972	0.074	3.320	0.676	1.834	0.068	3.116	0.692	1.852	0.069	3.127	0.691	3.101	0.119	5.559	0.630	5.130	0.228	6.079	0.177
Yön	Bağ 1	0.711	0.025	1.196	0.654	0.699	0.024	1.165	0.663	0.703	0.024	1.174	0.660	1.031	0.036	1.823	0.594	2.225	0.080	2.639	0.456
	Bağ 2	0.652	0.023	1.325	0.666	0.652	0.023	1.341	0.663	0.652	0.023	1.335	0.664	0.770	0.028	1.458	0.638	2.591	0.100	3.106	0.418
	Bağ 3	1.019	0.026	1.710	0.488	0.985	0.025	1.595	0.520	0.996	0.025	1.630	0.510	1.378	0.035	2.730	0.383	3.686	0.095	4.338	0.393
	Bağ 4	1.294	0.028	2.323	0.572	1.267	0.028	2.278	0.576	1.274	0.028	2.289	0.575	1.757	0.039	3.196	0.533	3.386	0.078	4.017	0.390
	Bağ 5	0.774	0.026	1.361	0.653	0.762	0.025	1.331	0.666	0.765	0.025	1.339	0.662	1.004	0.034	1.889	0.599	2.276	0.080	2.798	0.464
	Bağ 6	1.309	0.028	2.252	0.487	1.276	0.027	2.131	0.512	1.287	0.027	2.166	0.504	1.660	0.036	3.302	0.426	3.092	0.068	3.830	0.366

Çizelge A.1.2 : 4 Temmuz 2011 akşam zirve saat için hesaplanan hata terimleri.

		Yarı-Mesafe				Ortalama Hız				Değişken Hız				En Küçük Hız				Friesz			
		OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r
Yön	Bağ 1	0.886	0.018	1.327	0.571	0.883	0.018	1.320	0.574	0.884	0.018	1.322	0.573	1.138	0.024	1.775	0.492	1.666	0.035	2.105	0.309
	Bağ 2	0.615	0.020	1.055	0.522	0.613	0.020	1.049	0.531	0.614	0.020	1.050	0.528	0.690	0.023	1.225	0.471	1.375	0.046	1.784	0.262
	Bağ 3	0.786	0.018	1.152	0.578	0.779	0.018	1.135	0.587	0.781	0.018	1.140	0.584	0.973	0.023	1.591	0.504	1.948	0.046	2.460	0.298
	Bağ 4	0.823	0.021	1.351	0.459	0.819	0.021	1.339	0.469	0.820	0.021	1.342	0.466	0.939	0.024	1.603	0.397	2.392	0.062	2.971	0.222
	Bağ 5	0.608	0.018	1.044	0.504	0.600	0.018	0.992	0.533	0.603	0.018	1.007	0.524	0.751	0.023	1.523	0.435	1.296	0.040	1.689	0.311
	Bağ 6	0.387	0.019	0.675	0.623	0.386	0.019	0.677	0.620	0.386	0.019	0.675	0.622	0.479	0.023	0.872	0.566	2.515	0.126	2.957	0.291
Yön	Bağ 1	1.856	0.054	3.268	0.730	1.760	0.051	3.076	0.753	1.788	0.052	3.111	0.746	2.809	0.084	5.255	0.684	4.520	0.149	5.654	0.006
	Bağ 2	1.619	0.049	3.273	0.734	1.565	0.047	3.156	0.757	1.571	0.047	3.167	0.751	2.228	0.070	4.745	0.687	4.904	0.178	6.130	0.118
	Bağ 3	2.323	0.051	4.685	0.677	2.146	0.046	4.009	0.699	2.175	0.047	4.140	0.695	3.679	0.081	8.626	0.648	6.724	0.166	7.919	0.121
	Bağ 4	3.817	0.069	6.764	0.580	3.467	0.063	6.143	0.659	3.569	0.065	6.270	0.634	4.972	0.093	10.217	0.493	1.138	7.879	10.217	0.000
	Bağ 5	2.050	0.056	3.919	0.715	1.991	0.054	3.792	0.743	1.993	0.054	3.781	0.739	2.709	0.076	5.682	0.656	4.912	0.161	6.040	0.388
	Bağ 6	3.537	0.061	6.677	0.688	3.358	0.058	6.030	0.715	3.406	0.059	6.137	0.711	4.609	0.082	10.257	0.643	6.243	0.124	7.755	0.400

Çizelge A.1.3 : 5 Temmuz 2011 sabah zirve saati için hesaplanan hata terimleri.

		Yarı-Mesafe				Ortalama Hız				Değişken Hız				En Küçük Hız				Friesz			
		OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r
Yön	Bağ 1	3.680	0.065	5.633	0.512	3.559	0.062	5.436	0.508	3.590	0.063	5.477	0.511	5.142	0.093	8.078	0.507	5.164	0.096	6.572	0.036
	Bağ 2	2.244	0.064	4.152	0.504	2.027	0.057	3.363	0.576	2.088	0.059	3.539	0.554	3.533	0.102	7.557	0.448	5.131	0.160	6.424	0.046
	Bağ 3	4.183	0.075	7.544	0.593	3.780	0.067	6.563	0.639	3.874	0.069	6.726	0.628	6.039	0.110	12.623	0.538	7.191	0.146	9.292	0.078
	Bağ 4	3.634	0.077	6.148	0.491	3.135	0.067	5.019	0.527	3.282	0.070	5.260	0.517	5.592	0.120	11.098	0.451	7.838	0.190	9.734	-0.010
	Bağ 5	3.102	0.076	5.026	0.557	2.892	0.070	4.693	0.564	2.937	0.072	4.744	0.564	4.409	0.110	7.929	0.530	7.453	0.207	9.531	0.034
	Bağ 6	1.277	0.051	2.280	0.769	1.245	0.049	2.245	0.775	1.241	0.049	2.213	0.777	1.906	0.076	3.847	0.739	6.532	0.305	7.534	0.114
Yön	Bağ 1	0.664	0.023	1.288	0.588	0.645	0.022	1.237	0.600	0.648	0.022	1.249	0.597	0.947	0.033	1.932	0.541	2.367	0.086	2.818	0.229
	Bağ 2	0.586	0.022	1.138	0.634	0.575	0.021	1.122	0.648	0.578	0.021	1.123	0.644	0.733	0.027	1.512	0.589	2.609	0.102	3.086	0.224
	Bağ 3	0.844	0.021	1.434	0.521	0.834	0.021	1.376	0.548	0.837	0.021	1.393	0.539	1.012	0.026	1.989	0.435	3.561	0.093	4.253	0.164
	Bağ 4	0.965	0.022	1.562	0.532	0.948	0.022	1.502	0.552	0.953	0.022	1.519	0.546	1.202	0.028	2.239	0.446	3.406	0.080	3.945	0.241
	Bağ 5	0.545	0.019	0.878	0.603	0.535	0.019	0.850	0.623	0.538	0.019	0.858	0.617	0.684	0.024	1.273	0.519	2.310	0.083	2.792	0.288
	Bağ 6	0.979	0.021	1.500	0.527	0.965	0.021	1.448	0.545	0.969	0.021	1.463	0.539	1.207	0.027	2.188	0.442	3.066	0.068	3.661	0.236

Çizelge A.1.4 : 5 Temmuz 2011 akşam zirve saati için hesaplanan hata terimleri

		Yarı-Mesafe				Ortalama Hız				Değişken Hız				En Küçük Hız				Friesz			
		OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r
Yön 1	Bağ 1	0.841	0.017	1.383	0.547	0.839	0.017	1.375	0.545	0.839	0.017	1.377	0.546	1.046	0.022	1.812	0.500	1.701	0.036	2.163	0.287
	Bağ 2	0.559	0.018	1.176	0.562	0.559	0.018	1.179	0.564	0.559	0.018	1.178	0.563	0.648	0.021	1.240	0.515	1.344	0.045	1.833	0.306
	Bağ 3	0.764	0.018	1.159	0.596	0.766	0.018	1.147	0.604	0.765	0.018	1.150	0.602	0.848	0.020	1.434	0.558	2.001	0.047	2.509	0.289
	Bağ 4	0.780	0.020	1.307	0.443	0.768	0.020	1.265	0.461	0.771	0.020	1.277	0.455	0.965	0.025	1.822	0.356	2.298	0.060	2.875	0.238
	Bağ 5	0.587	0.018	0.975	0.605	0.582	0.017	0.953	0.615	0.583	0.017	0.959	0.612	0.728	0.022	1.377	0.545	1.302	0.040	1.721	0.286
	Bağ 6	0.445	0.021	0.930	0.520	0.441	0.021	0.925	0.532	0.443	0.021	0.925	0.529	0.512	0.025	1.092	0.480	2.527	0.126	2.947	0.330
Yön 2	Bağ 1	1.952	0.059	3.031	0.623	1.858	0.056	2.881	0.631	1.881	0.056	2.909	0.630	3.068	0.094	4.848	0.593	3.599	0.117	4.484	-0.247
	Bağ 2	1.777	0.057	3.119	0.457	1.692	0.054	2.972	0.491	1.718	0.055	3.010	0.481	2.397	0.081	4.304	0.404	4.398	0.160	5.069	-0.082
	Bağ 3	2.931	0.062	5.092	0.441	2.803	0.059	4.702	0.502	2.841	0.060	4.779	0.484	3.759	0.083	7.255	0.400	5.875	0.142	6.727	0.100
	Bağ 4	3.881	0.074	6.313	0.360	3.885	0.074	6.254	0.401	3.867	0.073	6.235	0.391	3.634	0.069	6.831	0.367	0.118	6.624	6.831	0.000
	Bağ 5	3.215	0.091	5.266	0.290	3.149	0.088	5.110	0.334	3.161	0.089	5.129	0.319	3.421	0.100	6.347	0.292	4.861	0.155	5.964	0.004
	Bağ 6	4.417	0.079	7.079	0.522	4.198	0.074	6.558	0.557	4.257	0.075	6.657	0.547	5.660	0.104	10.602	0.485	6.106	0.117	7.735	0.045

Çizelge A.1.5 : 6 Temmuz 2011 sabah zirve saati için hesaplanan hata terimleri.

		Yarı-Mesafe				Ortalama Hız				Değişken Hız				En Küçük Hız				Friesz			
		OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r
Yön	Bağ 1	2.487	0.045	4.276	0.483	2.442	0.045	4.208	0.480	2.454	0.045	4.225	0.482	3.400	0.064	5.512	0.483	4.768	0.095	5.844	0.252
	Bağ 2	1.436	0.041	2.814	0.545	1.369	0.039	2.643	0.582	1.386	0.040	2.679	0.570	1.981	0.058	4.161	0.504	4.912	0.158	5.964	0.107
	Bağ 3	2.353	0.047	4.226	0.566	2.146	0.043	3.643	0.605	2.209	0.044	3.753	0.596	3.323	0.067	7.342	0.523	6.439	0.143	7.871	0.103
	Bağ 4	2.392	0.053	4.405	0.475	2.175	0.048	3.789	0.528	2.235	0.050	3.921	0.512	3.336	0.076	7.429	0.417	7.125	0.178	8.597	0.161
	Bağ 5	2.171	0.055	3.788	0.521	2.071	0.052	3.584	0.549	2.101	0.053	3.629	0.540	2.836	0.074	5.446	0.488	6.305	0.183	7.881	0.093
	Bağ 6	1.013	0.041	2.008	0.719	1.016	0.041	2.023	0.728	1.012	0.041	2.011	0.726	1.322	0.056	2.585	0.685	6.685	0.318	7.501	0.077
Yön	Bağ 1	0.522	0.019	0.806	0.709	0.523	0.019	0.810	0.700	0.522	0.019	0.808	0.703	0.707	0.025	1.142	0.713	2.318	0.085	2.743	0.268
	Bağ 2	0.499	0.019	0.813	0.619	0.497	0.019	0.809	0.623	0.497	0.019	0.810	0.622	0.574	0.022	1.006	0.568	2.595	0.102	3.026	0.270
	Bağ 3	0.786	0.020	1.230	0.542	0.771	0.020	1.166	0.566	0.776	0.020	1.184	0.558	0.969	0.025	1.873	0.461	3.602	0.094	4.251	0.256
	Bağ 4	0.911	0.021	1.575	0.512	0.887	0.020	1.440	0.558	0.894	0.020	1.478	0.543	1.170	0.027	2.490	0.416	3.473	0.082	3.949	0.257
	Bağ 5	0.540	0.019	0.851	0.604	0.533	0.019	0.808	0.627	0.535	0.019	0.820	0.621	0.668	0.024	1.287	0.531	2.320	0.083	2.768	0.248
	Bağ 6	1.025	0.022	1.765	0.396	1.010	0.022	1.679	0.428	1.014	0.022	1.704	0.418	1.225	0.027	2.495	0.310	3.157	0.070	3.771	0.159

Çizelge A.1.6 : 6 Temmuz 2011 akşam zirve saati için hesaplanan hata terimleri.

		Yarı-Mesafe				Ortalama Hız				Değişken Hız				En Küçük Hız				Friesz			
		OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r
Yön	Bağ 1	1.047	0.021	1.825	0.539	1.035	0.021	1.779	0.556	1.039	0.021	1.792	0.551	1.335	0.027	2.465	0.472	1.759	0.037	2.326	0.345
	Bağ 2	0.664	0.022	1.144	0.571	0.661	0.021	1.149	0.564	0.662	0.021	1.146	0.567	0.815	0.027	1.420	0.528	1.381	0.046	1.817	0.303
	Bağ 3	1.018	0.023	1.836	0.515	1.003	0.022	1.776	0.535	1.008	0.023	1.793	0.529	1.287	0.029	2.571	0.447	2.064	0.048	2.666	0.312
	Bağ 4	0.837	0.021	1.445	0.612	0.808	0.021	1.279	0.642	0.817	0.021	1.326	0.633	1.101	0.028	2.552	0.559	2.559	0.067	3.080	0.282
	Bağ 5	0.736	0.022	1.259	0.598	0.719	0.021	1.207	0.604	0.722	0.021	1.218	0.603	0.955	0.028	1.913	0.553	1.348	0.041	1.757	0.389
	Bağ 6	0.443	0.021	0.779	0.565	0.439	0.021	0.752	0.592	0.440	0.021	0.759	0.584	0.522	0.026	1.068	0.494	2.534	0.126	2.991	0.230
Yön	Bağ 1	2.229	0.064	3.883	0.633	2.079	0.059	3.592	0.648	2.116	0.061	3.635	0.646	3.399	0.101	6.301	0.612	4.338	0.137	5.899	-0.135
	Bağ 2	1.570	0.050	2.837	0.680	1.495	0.047	2.746	0.703	1.514	0.048	2.759	0.697	2.222	0.073	4.134	0.623	4.835	0.175	5.878	-0.070
	Bağ 3	2.881	0.064	4.908	0.585	2.590	0.057	4.145	0.626	2.678	0.059	4.335	0.615	4.483	0.100	8.754	0.529	6.131	0.150	7.450	-0.022
	Bağ 4	3.632	0.069	6.090	0.547	3.382	0.064	5.587	0.573	3.438	0.065	5.685	0.566	5.133	0.099	9.656	0.515	0.124	7.626	9.656	0.000
	Bağ 5	2.095	0.059	3.707	0.649	1.920	0.054	3.440	0.676	1.968	0.056	3.488	0.669	3.063	0.089	5.934	0.612	5.189	0.167	6.692	0.001
	Bağ 6	3.768	0.066	6.798	0.641	3.544	0.062	6.151	0.674	3.564	0.063	6.213	0.667	5.824	0.104	11.728	0.611	7.612	0.146	10.168	-0.074

Çizelge A.1.7 : 7 Temmuz 2011 sabah zirve saati için hesaplanan hata terimleri.

		Yarı-Mesafe				Ortalama Hız				Değişken Hız				En Küçük Hız				Friesz			
		OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r
Yön	Bağ 1	3.790	0.067	5.679	0.539	3.675	0.064	5.473	0.545	3.704	0.065	5.519	0.543	5.131	0.092	8.189	0.517	6.795	0.128	8.309	-0.080
	Bağ 2	2.408	0.064	4.184	0.579	2.309	0.061	4.020	0.625	2.332	0.061	4.050	0.611	3.142	0.087	5.714	0.510	7.776	0.241	9.730	-0.163
	Bağ 3	3.330	0.064	5.564	0.524	3.032	0.058	4.963	0.546	3.116	0.060	5.102	0.541	4.973	0.097	9.170	0.483	9.229	0.200	11.642	-0.099
	Bağ 4	2.832	0.062	4.598	0.551	2.615	0.057	4.085	0.582	2.664	0.059	4.186	0.574	4.177	0.093	7.893	0.506	10.512	0.257	13.154	-0.059
	Bağ 5	2.578	0.066	4.208	0.523	2.387	0.060	3.826	0.550	2.431	0.062	3.907	0.542	3.679	0.095	6.892	0.478	8.218	0.234	10.519	-0.025
	Bağ 6	1.363	0.054	2.431	0.697	1.293	0.051	2.358	0.713	1.302	0.051	2.349	0.710	2.067	0.084	3.970	0.669	7.075	0.330	8.004	0.035
Yön	Bağ 1	0.551	0.020	0.939	0.683	0.540	0.019	0.885	0.702	0.543	0.019	0.900	0.696	0.787	0.028	1.557	0.618	2.323	0.085	2.763	0.248
	Bağ 2	0.461	0.018	0.825	0.670	0.452	0.017	0.742	0.701	0.455	0.017	0.764	0.692	0.617	0.024	1.431	0.595	2.584	0.101	3.000	0.271
	Bağ 3	0.708	0.018	1.134	0.646	0.694	0.018	1.038	0.668	0.699	0.018	1.065	0.661	0.919	0.024	1.903	0.572	3.774	0.099	4.306	0.192
	Bağ 4	0.945	0.022	1.610	0.458	0.932	0.021	1.544	0.483	0.936	0.021	1.564	0.475	1.164	0.027	2.274	0.355	3.363	0.079	3.874	0.272
	Bağ 5	0.568	0.020	1.038	0.601	0.561	0.019	1.009	0.618	0.563	0.019	1.017	0.613	0.688	0.024	1.454	0.536	2.308	0.082	2.769	0.282
	Bağ 6	0.985	0.021	1.661	0.533	0.978	0.021	1.650	0.536	0.980	0.021	1.652	0.535	1.174	0.026	2.065	0.486	3.129	0.070	3.690	0.241

Çizelge A.1.8 : 7 Temmuz 2011 akşam zirve saati için hesaplanan hata terimleri.

		Yarı-Mesafe				Ortalama Hız				Değişken Hız				En Küçük Hız				Friesz			
		OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r
Yön 1	Bağ 1	1.733	0.033	3.551	0.496	1.682	0.032	3.368	0.535	1.697	0.032	3.419	0.522	2.250	0.044	4.868	0.428	2.382	0.046	3.728	0.339
	Bağ 2	1.011	0.030	2.197	0.611	0.995	0.029	2.163	0.615	0.999	0.030	2.169	0.614	1.235	0.038	2.730	0.590	1.676	0.052	2.485	0.413
	Bağ 3	1.378	0.030	2.361	0.589	1.343	0.029	2.269	0.608	1.352	0.029	2.293	0.602	1.720	0.038	3.371	0.534	2.229	0.050	2.870	0.402
	Bağ 4	1.237	0.030	2.130	0.461	1.200	0.029	2.019	0.490	1.211	0.030	2.052	0.481	1.565	0.039	3.097	0.382	2.932	0.074	3.510	0.141
	Bağ 5	1.041	0.029	1.916	0.632	1.018	0.029	1.841	0.645	1.026	0.029	1.856	0.642	1.420	0.041	2.956	0.582	1.819	0.052	2.581	0.295
	Bağ 6	0.631	0.028	1.242	0.714	0.626	0.028	1.201	0.738	0.625	0.028	1.207	0.732	0.794	0.036	1.774	0.658	2.690	0.131	3.214	0.300
Yön 2	Bağ 1	2.572	0.072	4.234	0.569	2.465	0.069	3.990	0.594	2.485	0.069	4.020	0.589	3.709	0.108	6.377	0.527	3.477	0.101	4.733	0.196
	Bağ 2	2.376	0.071	4.137	0.524	2.251	0.067	3.929	0.561	2.283	0.068	3.957	0.551	3.260	0.101	5.920	0.477	3.530	0.118	4.408	0.311
	Bağ 3	3.691	0.079	6.527	0.472	3.218	0.068	5.302	0.520	3.353	0.071	5.584	0.506	5.639	0.123	11.663	0.434	4.960	0.114	5.934	0.244
	Bağ 4	4.719	0.090	7.245	0.493	4.178	0.079	6.210	0.499	4.290	0.081	6.412	0.500	7.418	0.142	13.140	0.477	0.088	5.665	13.140	0.000
	Bağ 5	2.090	0.058	3.769	0.667	2.009	0.055	3.711	0.683	2.023	0.056	3.695	0.680	3.085	0.088	5.622	0.624	3.528	0.107	4.564	0.382
	Bağ 6	3.619	0.068	5.601	0.393	3.468	0.064	5.255	0.419	3.512	0.065	5.337	0.412	4.635	0.089	8.038	0.366	3.910	0.077	5.029	0.306

Çizelge A.1.9 : 8 Temmuz 2011 sabah zirve saati için hesaplanan hata terimleri.

		Yarı-Mesafe				Ortalama Hız				Değişken Hız				En Küçük Hız				Friesz			
		OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r
Yön	Bağ 1	3.383	0.058	6.372	0.598	3.134	0.054	5.556	0.639	3.204	0.055	5.730	0.628	5.149	0.091	10.709	0.554	13.248	0.258	16.438	-0.235
	Bağ 2	1.970	0.052	3.938	0.678	1.850	0.048	3.604	0.724	1.876	0.049	3.635	0.711	2.848	0.077	6.572	0.649	9.824	0.312	11.620	-0.105
	Bağ 3	2.546	0.052	5.232	0.456	2.263	0.047	3.946	0.507	2.344	0.048	4.268	0.493	3.814	0.079	9.709	0.432	13.040	0.292	15.960	-0.146
	Bağ 4	2.832	0.053	4.284	0.649	2.327	0.050	3.897	0.703	2.346	0.051	3.924	0.690	3.238	0.071	7.087	0.603	13.077	0.322	15.077	-0.142
	Bağ 5	2.592	0.064	4.519	0.625	2.461	0.060	4.178	0.663	2.500	0.061	4.259	0.651	3.353	0.085	6.611	0.561	11.339	0.324	13.360	-0.169
	Bağ 6	1.255	0.049	2.422	0.750	1.219	0.047	2.361	0.771	1.228	0.048	2.366	0.765	1.649	0.067	3.326	0.701	8.291	0.392	9.156	-0.014
Yön	Bağ 1	0.551	0.019	0.902	0.707	0.545	0.019	0.894	0.706	0.547	0.019	0.895	0.706	0.788	0.028	1.324	0.685	2.156	0.078	2.578	0.260
	Bağ 2	0.579	0.022	1.015	0.546	0.571	0.021	0.993	0.560	0.574	0.022	0.999	0.556	0.713	0.027	1.341	0.473	2.466	0.096	2.902	0.281
	Bağ 3	0.733	0.019	1.181	0.654	0.723	0.018	1.142	0.664	0.726	0.019	1.153	0.661	0.955	0.025	1.800	0.604	3.427	0.089	4.057	0.192
	Bağ 4	1.085	0.024	2.120	0.450	1.048	0.023	1.975	0.475	1.060	0.024	2.018	0.466	1.410	0.032	3.208	0.393	3.198	0.075	3.764	0.319
	Bağ 5	0.597	0.020	1.086	0.764	0.592	0.020	1.096	0.764	0.593	0.020	1.089	0.765	0.768	0.026	1.531	0.730	2.274	0.080	2.841	0.321
	Bağ 6	0.939	0.020	1.548	0.575	0.931	0.020	1.531	0.581	0.934	0.020	1.536	0.579	1.154	0.025	1.984	0.515	3.013	0.067	3.717	0.292

Çizelge A.1.10 : 8 Temmuz 2011 akşam zirve saati için hesaplanan hata terimleri.

		Yarı-Mesafe				Ortalama Hız				Değişken Hız				En Küçük Hız				Friesz			
		OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r	OMH	OMGH	OKHK	r
Yön	Bağ 1	2.082	0.038	4.725	0.680	1.883	0.035	3.850	0.714	1.945	0.036	4.103	0.703	3.055	0.056	8.394	0.641	2.341	0.045	3.532	0.650
	Bağ 2	1.080	0.031	2.430	0.773	0.999	0.028	2.209	0.796	1.012	0.029	2.222	0.792	1.612	0.045	4.441	0.744	1.981	0.059	3.343	0.414
	Bağ 3	2.018	0.040	4.345	0.512	1.903	0.037	3.967	0.584	1.939	0.038	4.058	0.561	2.534	0.052	6.228	0.425	2.712	0.058	4.067	0.530
	Bağ 4	2.002	0.043	4.080	0.624	1.929	0.041	3.892	0.674	1.949	0.042	3.927	0.659	2.356	0.052	5.479	0.558	2.908	0.068	4.105	0.615
	Bağ 5	1.195	0.032	2.426	0.686	1.166	0.031	2.381	0.695	1.174	0.031	2.390	0.693	1.544	0.042	3.168	0.653	1.850	0.052	2.871	0.518
	Bağ 6	0.635	0.028	1.248	0.827	0.642	0.028	1.273	0.837	0.637	0.028	1.259	0.835	0.780	0.035	1.588	0.788	2.934	0.143	3.539	0.531
Yön	Bağ 1	1.011	0.033	1.888	0.628	0.979	0.032	1.778	0.640	0.989	0.033	1.808	0.637	1.513	0.051	2.881	0.611	4.676	0.167	5.446	0.057
	Bağ 2	0.982	0.034	2.015	0.636	0.905	0.031	1.826	0.664	0.929	0.032	1.868	0.656	1.418	0.049	3.358	0.597	5.608	0.215	6.446	0.044
	Bağ 3	1.494	0.034	2.925	0.744	1.416	0.032	2.701	0.771	1.431	0.032	2.726	0.764	2.147	0.049	5.167	0.709	7.931	0.202	8.957	0.157
	Bağ 4	2.163	0.041	4.556	0.690	2.121	0.040	4.380	0.731	2.128	0.040	4.377	0.722	2.614	0.050	6.466	0.642	0.170	8.679	6.466	0.000
	Bağ 5	1.205	0.036	2.651	0.735	1.139	0.034	2.412	0.759	1.158	0.035	2.470	0.752	1.663	0.051	4.284	0.694	6.162	0.213	7.392	0.236
	Bağ 6	1.582	0.031	3.149	0.777	1.516	0.029	3.050	0.779	1.527	0.030	3.061	0.779	2.378	0.047	5.098	0.736	7.432	0.161	8.884	0.257

Çizelge A.1.11 : 4 Temmuz 2011 kullanılan modeller için hesaplanan hata terimleri.

		Sabah						Akşam					
		Vissim			Friesz			Vissim			Friesz		
		OMH	OMGH	OKHK	OMH	OMGH	OKHK	OMH	OMGH	OKHK	OMH	OMGH	OKHK
Yön	Bağ 1	21.925	0.269	24.448	24.784	0.306	27.240	4.640	0.090	5.021	3.474	0.067	3.897
	Bağ 2	4.550	0.124	4.572	0.778	0.021	0.878	1.860	0.058	2.171	1.264	0.040	1.355
	Bağ 3	8.480	0.140	10.634	4.979	0.078	7.929	0.330	0.008	0.397	1.538	0.036	1.551
	Bağ 4	44.028	0.433	47.525	50.106	0.497	53.298	0.740	0.020	0.745	3.082	0.083	3.082
	Bağ 5	44.228	0.433	54.156	52.759	0.536	61.296	0.810	0.025	0.815	0.504	0.015	0.657
	Bağ 6	6.333	0.165	8.690	9.703	0.261	9.835	31.060	0.512	38.577	28.411	0.444	36.648
Yön	Bağ 1	1.675	0.057	2.130	0.596	0.021	0.655	3.84	0.11	5.41	5.84	0.19	6.77
	Bağ 2	1.530	0.058	1.613	0.172	0.007	0.239	3.91	0.13	3.95	8.65	0.30	8.70
	Bağ 3	1.560	0.039	1.651	1.376	0.034	1.378	2.73	0.07	2.73	11.79	0.29	11.87
	Bağ 4	3.565	0.079	3.575	0.259	0.006	0.274	3.56	0.08	3.62	11.15	0.24	11.15
	Bağ 5	3.815	0.122	3.819	1.245	0.040	1.251	2.27	0.08	2.37	10.35	0.35	10.41
	Bağ 6	3.800	0.078	4.085	1.525	0.031	1.568	1.83	0.04	2.71	12.30	0.26	12.40

Çizelge A.1.12 : 5 Temmuz 2011 kullanılan modeller için hesaplanan hata terimleri

		Sabah						Akşam					
		Vissim			Friesz			Vissim			Friesz		
		OMH	OMGH	OKHK	OMH	OMGH	OKHK	OMH	OMGH	OKHK	OMH	OMGH	OKHK
Yön	Bağ 1	18.043	0.230	21.459	19.652	0.254	22.375	6.017	0.109	7.004	4.997	0.091	5.754
	Bağ 2	3.770	0.100	3.930	2.482	0.066	2.558	1.170	0.038	1.579	0.185	0.006	0.198
	Bağ 3	7.093	0.132	7.601	2.719	0.051	2.776	4.733	0.091	6.486	3.583	0.067	5.530
	Bağ 4	48.253	0.385	68.753	51.682	0.413	72.942	40.088	0.496	42.738	40.580	0.504	43.023
	Bağ 5	7.907	0.169	8.388	6.582	0.141	6.740	122.350	0.754	129.232	125.902	0.773	133.239
	Bağ 6	19.293	0.450	20.017	14.309	0.327	15.442	109.033	0.820	113.452	108.019	0.811	112.469
Yön	Bağ 1	1.285	0.046	1.286	2.385	0.085	2.385	10.005	0.268	10.019	4.603	0.124	4.604
	Bağ 2	1.710	0.063	1.734	1.705	0.063	1.959	6.605	0.206	6.606	0.659	0.020	0.680
	Bağ 3	1.585	0.041	1.641	3.870	0.099	3.914	8.953	0.191	8.962	0.273	0.006	0.390
	Bağ 4	2.120	0.048	2.656	2.836	0.066	3.310	13.347	0.240	13.612	5.313	0.095	5.663
	Bağ 5	3.370	0.109	3.689	1.813	0.059	1.838	5.625	0.170	5.643	1.270	0.038	1.348
	Bağ 6	7.537	0.144	7.929	4.480	0.085	4.795	7.265	0.139	7.294	1.670	0.032	1.673

Çizelge A.1.13 : 6 Temmuz 2011 kullanılan modeller için hesaplanan hata terimleri.

		Sabah						Akşam					
		Vissim			Friesz			Vissim			Friesz		
		OMH	OMGH	OKHK	OMH	OMGH	OKHK	OMH	OMGH	OKHK	OMH	OMGH	OKHK
Yön	Bağ 1	19.780	0.266	21.636	17.893	0.237	20.316	1.480	0.034	1.743	5.240	0.117	5.365
	Bağ 2	4.680	0.128	4.693	0.345	0.009	0.438	46.580	0.497	56.900	44.114	0.452	55.140
	Bağ 3	14.360	0.292	14.485	2.028	0.041	2.178	68.713	0.499	94.786	65.627	0.462	92.740
	Bağ 4	45.635	0.382	58.824	48.927	0.408	62.455	90.209	0.667	99.107	83.970	0.612	93.487
	Bağ 5	10.687	0.205	12.172	9.895	0.185	12.142	85.683	0.719	88.262	84.056	0.705	86.611
	Bağ 6	13.220	0.323	14.589	10.794	0.262	12.058	115.714	0.838	125.080	111.015	0.799	120.760
Yön	Bağ 1	2.475	0.084	2.516	0.236	0.008	0.254	2.260	0.076	2.261	1.779	0.060	1.851
	Bağ 2	2.625	0.094	2.743	0.479	0.017	0.505	17.900	0.415	18.052	13.135	0.304	13.333
	Bağ 3	4.095	0.096	4.129	0.944	0.022	1.078	7.450	0.163	8.081	2.874	0.066	2.983
	Bağ 4	1.625	0.036	1.717	1.144	0.026	1.258	2.850	0.064	2.923	4.763	0.108	4.847
	Bağ 5	0.180	0.006	0.228	2.185	0.078	2.273	0.120	0.004	0.124	5.157	0.184	5.166
	Bağ 6	0.220	0.005	0.291	2.389	0.053	2.419	2.183	0.052	2.353	9.107	0.216	9.154

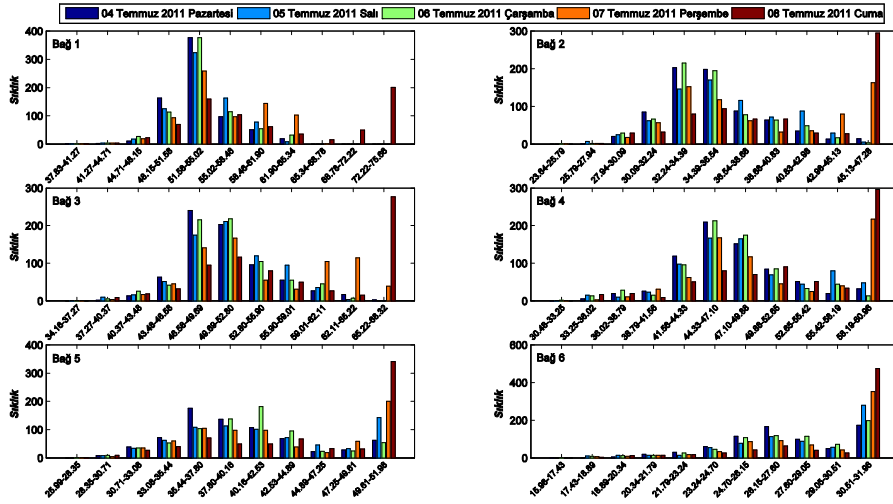
Çizelge A.1.14 : 7 Temmuz 2011 kullanılan modeller için hesaplanan hata terimleri

		Sabah						Akşam					
		Vissim			Friesz			Vissim			Friesz		
		OMH	OMGH	OKHK	OMH	OMGH	OKHK	OMH	OMGH	OKHK	OMH	OMGH	OKHK
Yön	Bağ 1	4.880	0.073	6.066	12.577	0.193	12.872	124.324	0.675	134.533	126.873	0.686	137.369
	Bağ 2	4.315	0.123	4.332	1.931	0.055	1.946	99.754	0.721	110.879	99.226	0.717	110.426
	Bağ 3	2.730	0.056	3.221	2.811	0.061	2.962	142.562	0.746	148.326	141.996	0.744	147.384
	Bağ 4	8.655	0.209	8.772	5.291	0.128	5.295	103.693	0.721	106.790	103.452	0.719	106.593
	Bağ 5	5.125	0.150	5.284	3.588	0.105	3.778	99.121	0.723	108.356	100.005	0.728	109.447
	Bağ 6	4.690	0.236	4.706	7.539	0.380	7.543	150.045	0.877	150.982	148.354	0.867	149.348
Yön	Bağ 1	1.030	0.037	1.041	2.497	0.089	2.671	26.643	0.438	28.330	28.046	0.459	30.078
	Bağ 2	1.535	0.056	1.585	2.192	0.080	2.228	9.540	0.259	9.540	6.963	0.189	6.965
	Bağ 3	0.205	0.005	0.215	5.220	0.137	5.222	26.333	0.271	34.846	34.484	0.378	41.612
	Bağ 4	1.185	0.029	1.187	5.616	0.137	5.629	62.960	0.526	72.380	62.112	0.518	71.521
	Bağ 5	0.585	0.021	0.766	3.044	0.109	3.138	57.023	0.623	64.170	54.227	0.582	62.195
	Bağ 6	1.490	0.035	1.491	4.995	0.116	5.095	93.304	0.602	114.056	92.841	0.600	113.206

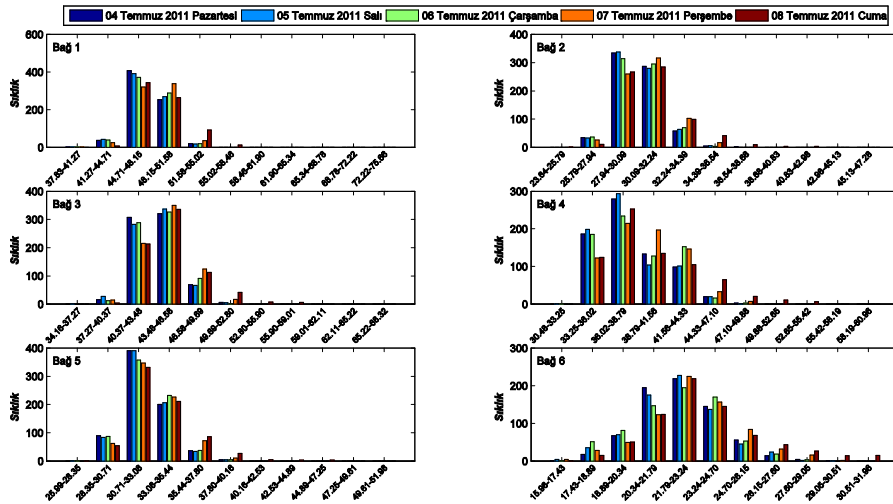
Çizelge A.1.15 : 8 Temmuz 2011 kullanılan modeller için hesaplanan hata terimleri.

		Sabah						Akşam					
		Vissim			Friesz			Vissim			Friesz		
		OMH	OMGH	OKHK	OMH	OMGH	OKHK	OMH	OMGH	OKHK	OMH	OMGH	OKHK
Yön	Bağ 1	7.440	0.101	9.596	15.593	0.217	17.812	2.707	0.054	2.722	1.918	0.037	2.857
	Bağ 2	12.230	0.369	12.925	1.424	0.043	1.506	0.020	0.001	0.028	1.911	0.064	1.968
	Bağ 3	4.560	0.099	5.222	1.143	0.025	1.177	1.295	0.030	1.639	2.913	0.068	3.064
	Bağ 4	5.440	0.115	5.546	5.186	0.108	5.555	3.750	0.103	4.474	2.948	0.080	2.956
	Bağ 5	46.310	0.351	72.818	49.185	0.416	72.926	4.080	0.133	4.176	4.318	0.141	4.455
	Bağ 6	29.593	0.487	37.373	29.950	0.474	39.268	1.740	0.090	1.740	5.045	0.262	5.045
Yön	Bağ 1	2.150	0.080	2.347	2.677	0.099	2.678	26.547	0.487	27.531	18.274	0.331	19.444
	Bağ 2	0.315	0.012	0.432	2.787	0.107	2.808	12.280	0.328	12.335	2.165	0.057	2.369
	Bağ 3	2.110	0.052	2.166	2.926	0.073	2.938	23.900	0.366	26.510	9.823	0.128	15.832
	Bağ 4	0.515	0.012	0.566	3.571	0.085	3.964	15.390	0.243	18.500	7.417	0.122	8.701
	Bağ 5	0.680	0.024	0.838	2.793	0.099	2.794	4.865	0.148	4.881	11.562	0.352	11.562
	Bağ 6	1.450	0.034	1.537	5.905	0.139	5.997	5.550	0.109	5.717	14.020	0.278	14.192

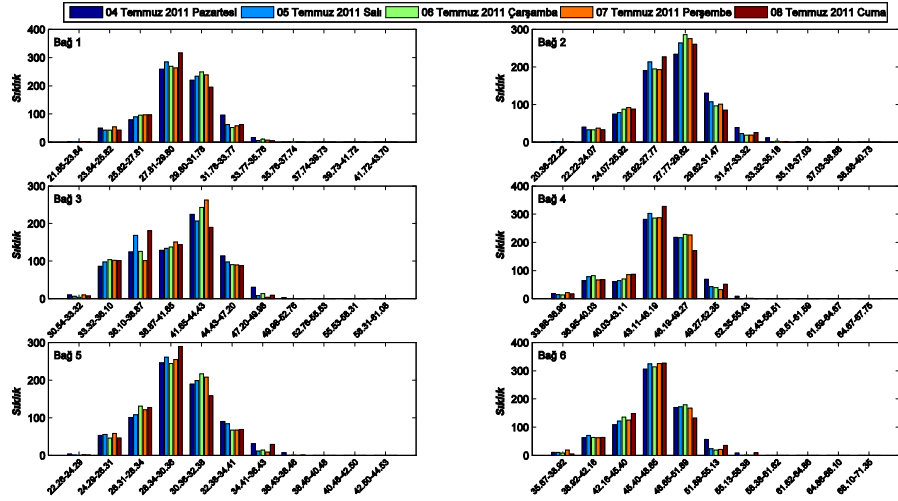
EK A.2



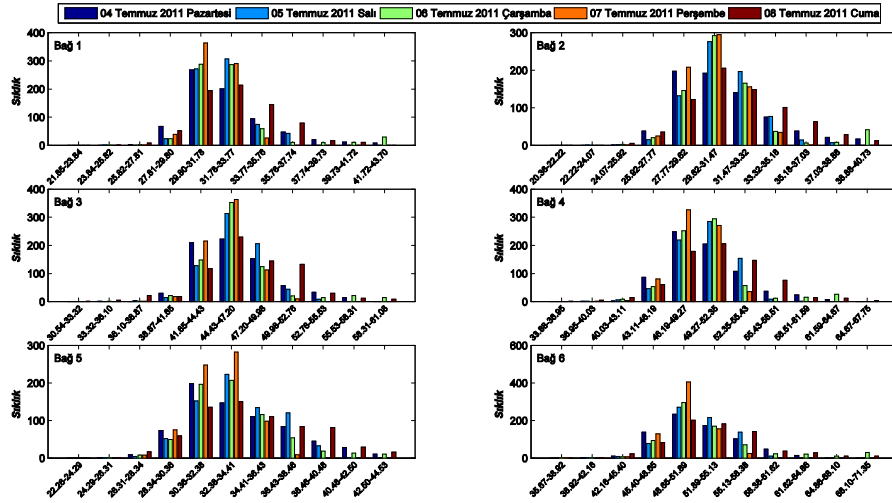
Şekil A.2.1 : Sabah zirve saati yön 1 için Friesz ve diğ. (1993)'nin modeliyle elde edilen yolculuk süresi dağılımları.



Şekil A.2.2 : Akşam zirve saat yön 1 için Friesz ve diğ. (1993)'nin modeliyle elde edilen yolculuk süresi dağılımları.

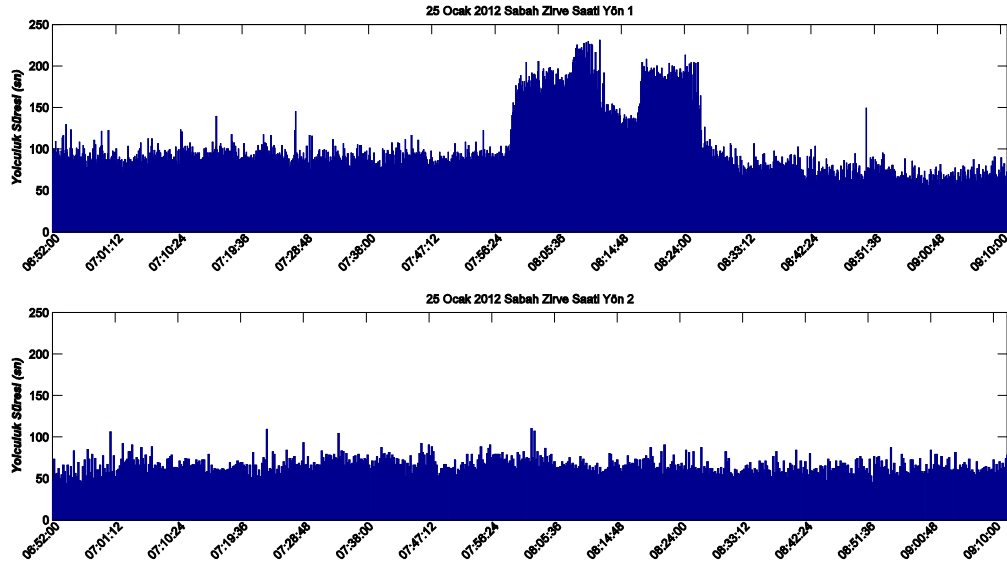


Şekil A.2.3 : Sabah zirve saati yön 2 için Friesz ve diğ. (1993)'nin modeliyle elde edilen yolculuk süresi dağılımları.

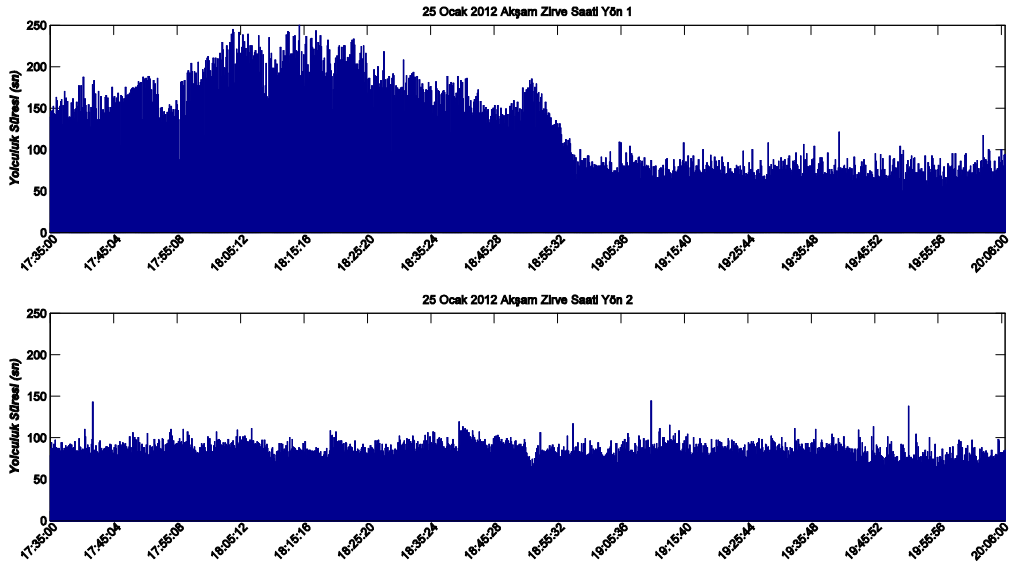


Şekil A.2.4 : Akşam zirve saati yön 2 için Friesz ve diğ. (1993)'nin modeliyle elde edilen yolculuk süresi dağılımları.

EK A.3

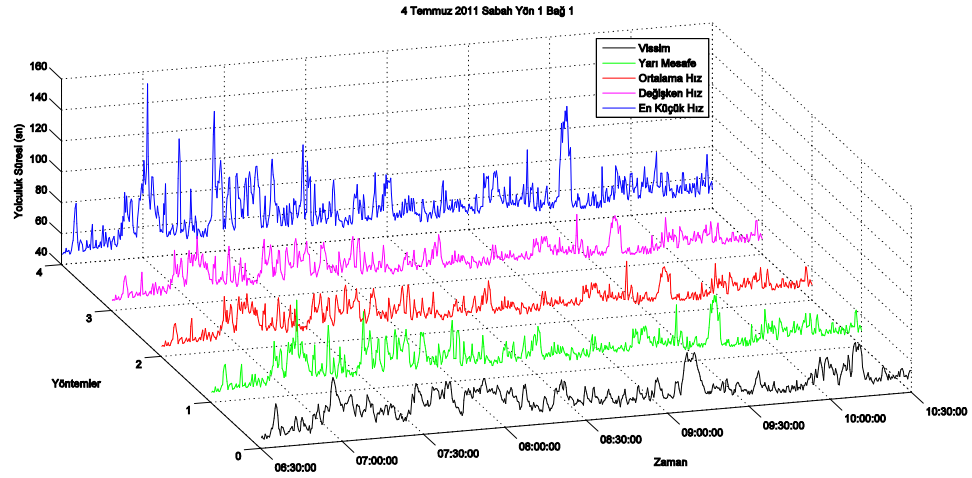


Şekil A.3.1 : 25 Ocak 2012 sabah zirve saati Bluetooth trafik algılayıcıları ile ölçülen yolculuk süreleri.

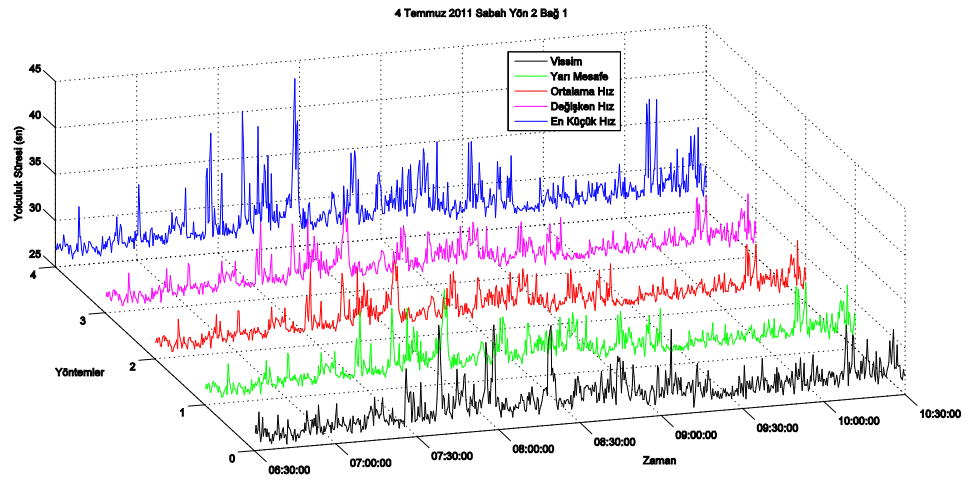


Şekil A.3.2 : 25 Ocak 2012 akşam zirve saati Bluetooth trafik algılayıcıları ile ölçülen yolculuk süreleri.

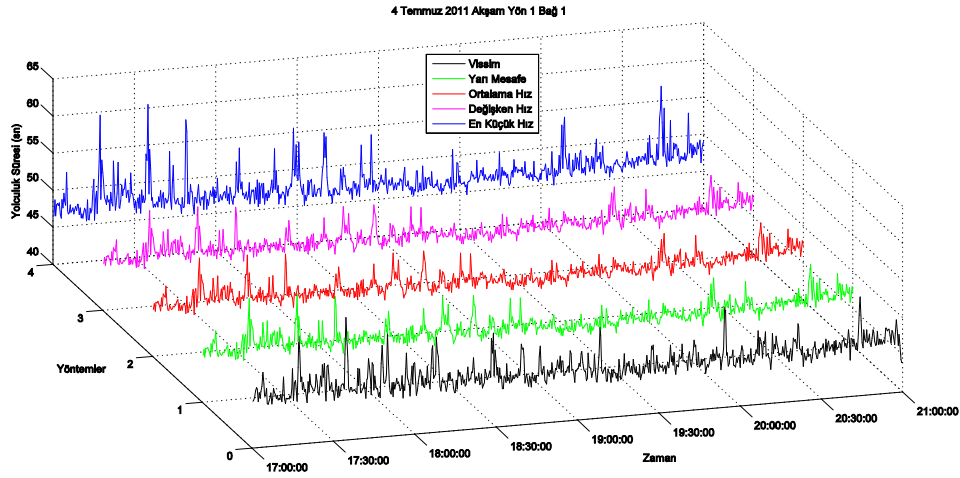
EK A.4



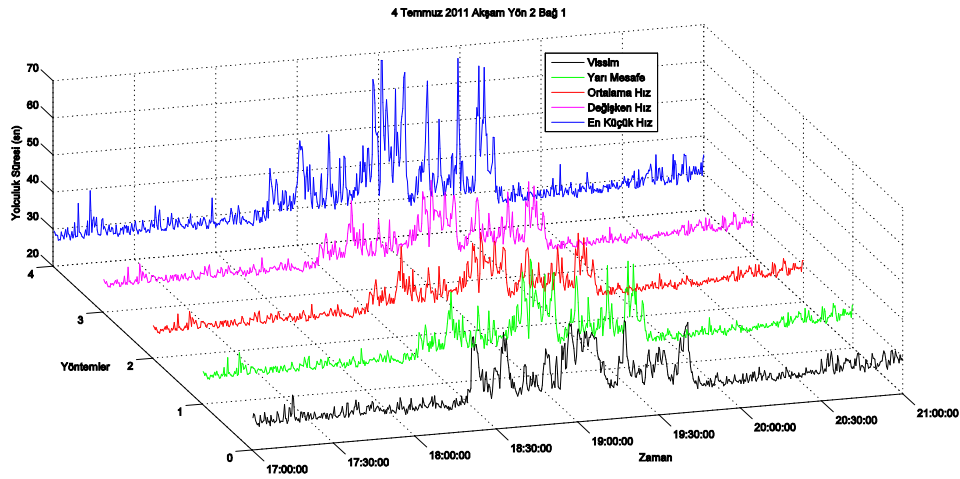
Şekil A.4.1 : 4 Temmuz 2011 sabah zirve saati yön 1 bağ 1 için türetilen yolculuk sürelerinin ve vissim ile belirlenen yolculuk sürelerinin gösterimi.



Şekil A.4.2 : 4 Temmuz 2011 sabah zirve saati yön 2 bağ 1 için türetilen yolculuk sürelerinin ve vissim ile belirlenen yolculuk sürelerinin gösterimi.

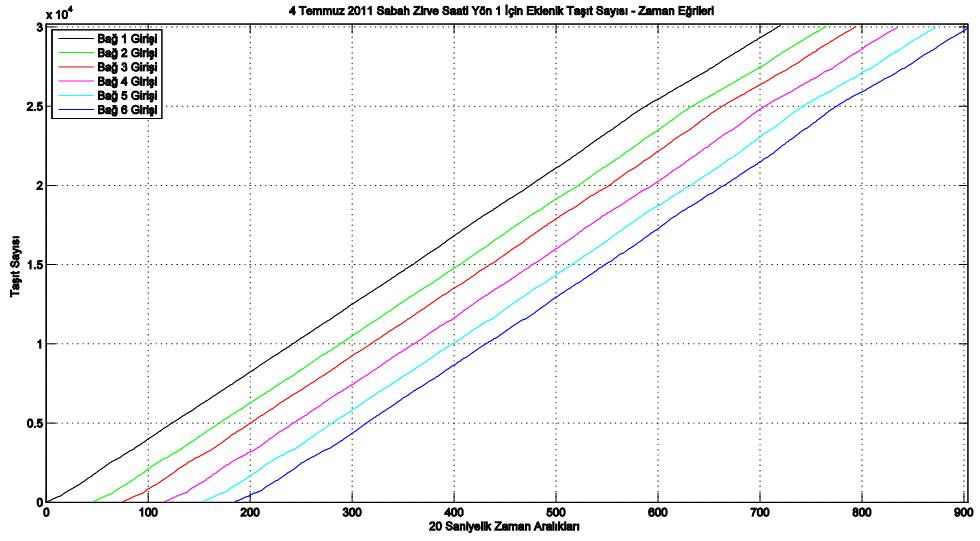


Şekil A.4.3 : 4 Temmuz 2011 akşam zirve saati yön 1 bağ 1 için türetilen yolculuk sürelerinin ve vissim ile belirlenen yolculuk sürelerinin gösterimi.

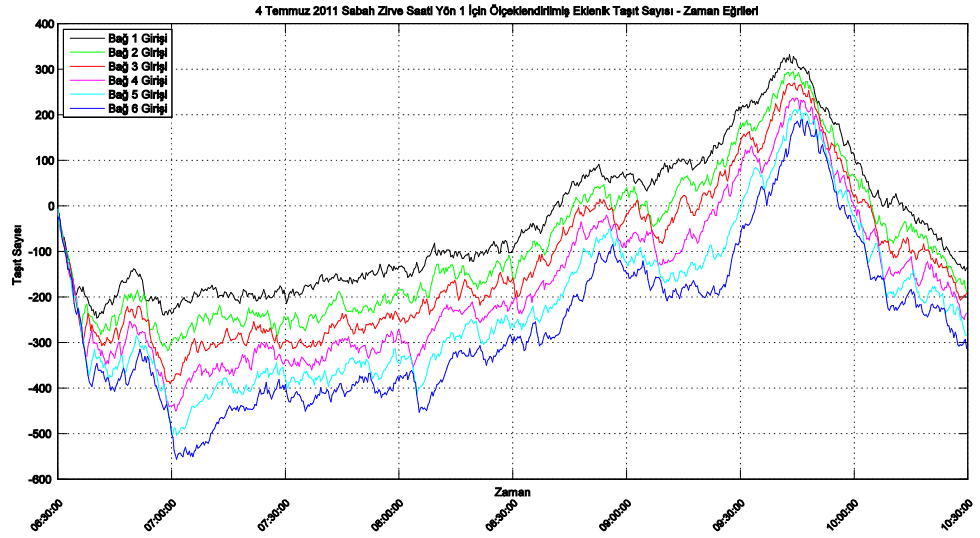


Şekil A.4.4 : 4 Temmuz 2011 akşam zirve saati yön2 bağ 1 için türetilen yolculuk sürelerinin ve vissim ile belirlenen yolculuk sürelerinin gösterimi.

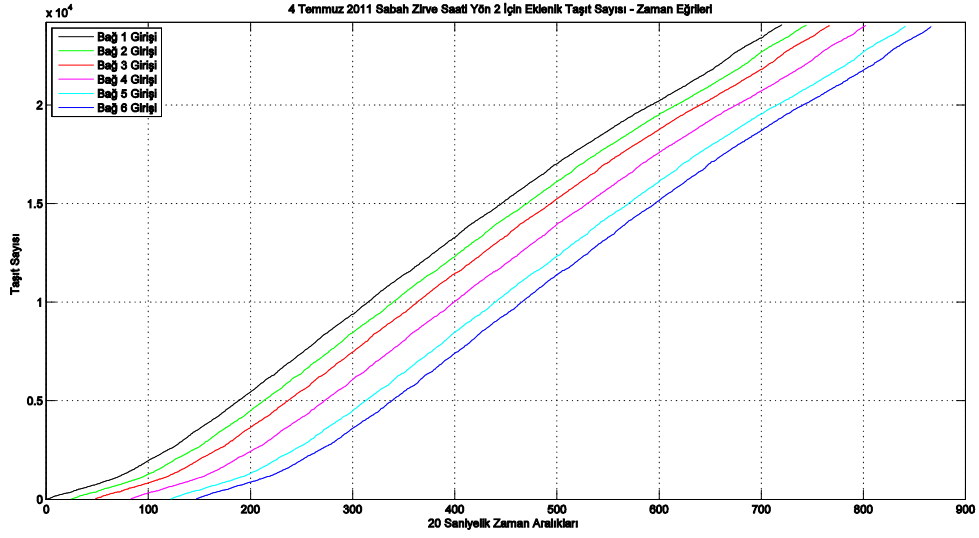
EK A.5



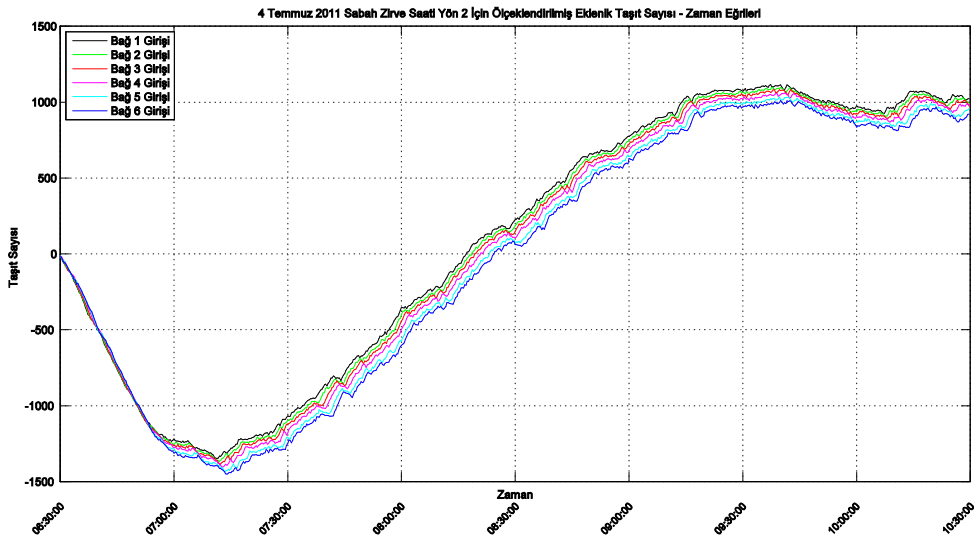
Şekil A.5.1 : 4 Temmuz 2011 sabah yön 1 eklenik taşıt sayısı – zaman eğrileri.



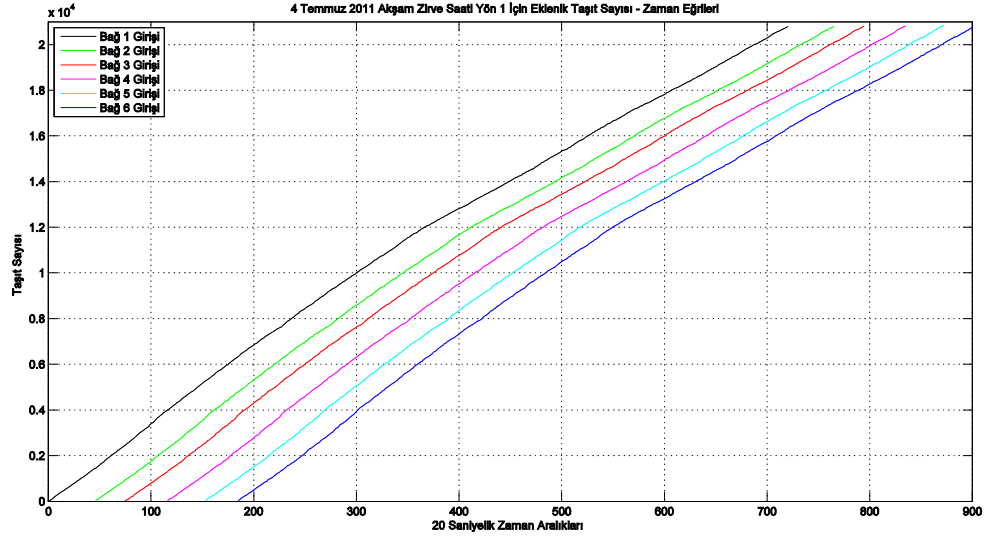
Şekil A.5.2 : 4 Temmuz 2011 sabah yön 1 ölçeklendirilmiş eklenik taşıt sayısı – zaman eğrileri.



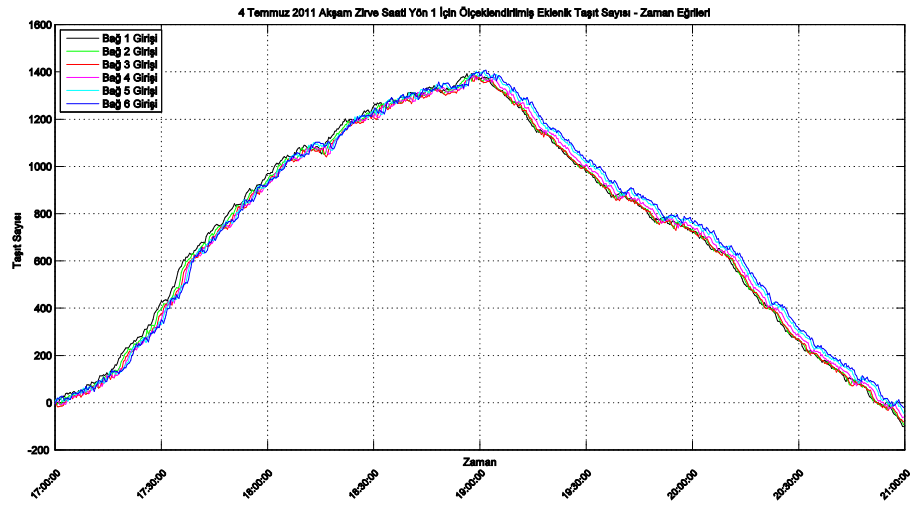
Şekil A.5.3 : 4 Temmuz 2011 sabah yön 2 eklenik taşıt sayısı – zaman eğrileri.



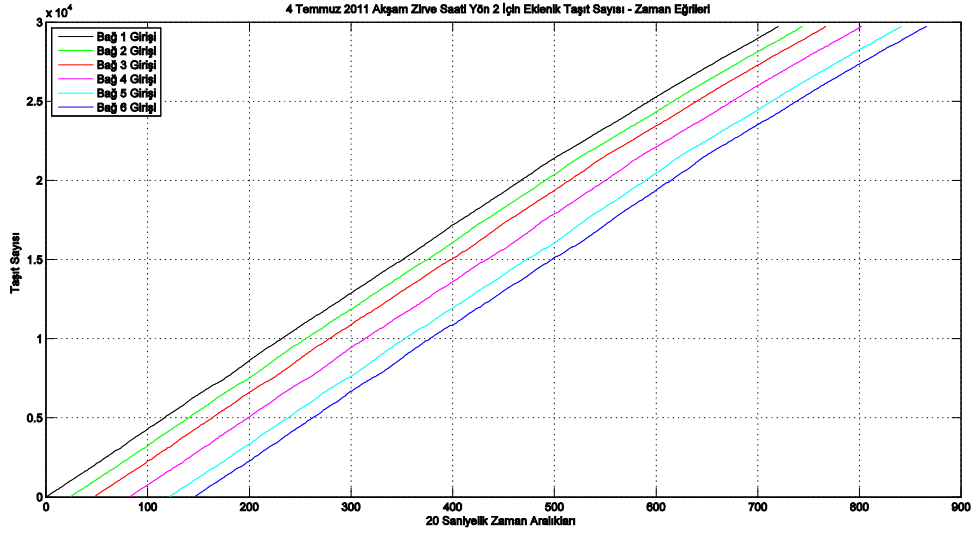
Şekil A.5.4 : 4 Temmuz 2011 sabah yön 2 ölçeklendirilmiş eklenik taşıt sayısı – zaman eğrileri.



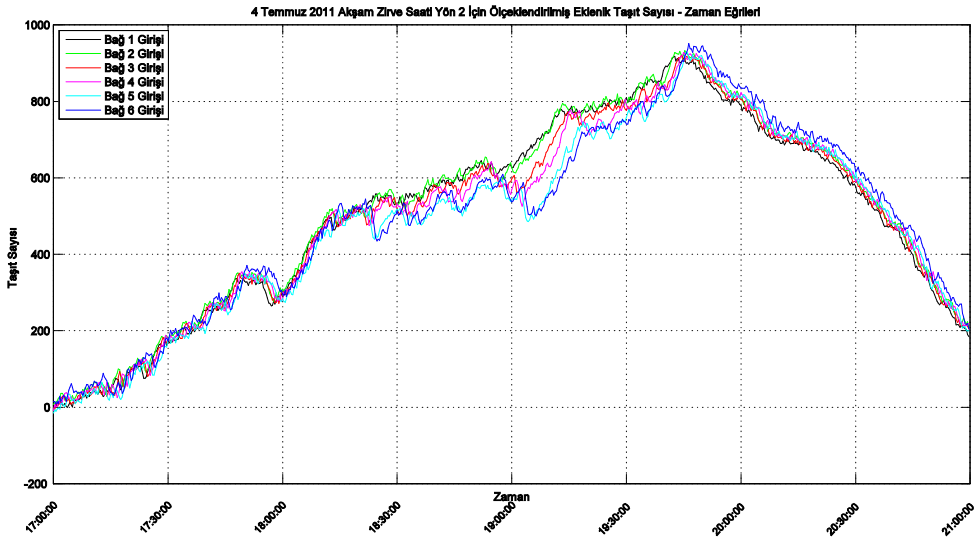
Şekil A.5.5 : 4 Temmuz 2011 akşam yön 1 eklenik taşıt sayısı – zaman eğrileri.



Şekil A.5.6 : 4 Temmuz 2011 akşam yön 1 ölçeklendirilmiş eklenik taşıt sayısı – zaman eğrileri.



Şekil A.5.7 : 4 Temmuz 2011 akşam yön 2 eklenik taşıt sayısı – zaman eğrileri.



Şekil A.5.8 : 4 Temmuz 2011 akşam yön 2 ölçeklendirilmiş eklenik taşıt sayısı – zaman eğrileri.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Göker AKSOY

Doğum Yeri ve Tarihi: Gazipaşa, 1986

Adres: Gazipaşa / Antalya

E-Posta: gokeraksoy@itu.edu.tr gokeraksoy@hotmail.com

Lisans: Harita Mühendisliği (2009) ve İnşaat Mühendisliği (2010), KTÜ

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Yayın ve Patent Listesi:

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Aksoy, G. & Celikoglu, H.B., 2012. Modelling and distrubiton of link/path travel times: an analysis on Istanbul freeways. 15th European Working Group on Transportation, 10-13 September, Paris/France.