YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METROBÜS SİSTEMİNİN BOĞAZİÇİ KÖPRÜSÜ TRAFİĞİNE ETKİLERİNİN SİMÜLASYON MODELİ İLE İNCELENMESİ

Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Serdar IŞIK

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmail ŞAHİN (YTÜ)

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ iv

KISALTMA LİSTESİ v

ŞEKİL LİSTESİ vi

ÇİZELGE LİSTESİ viii

ÖNSÖZ ix

ÖZET x

ABSTRACT xi

1. GİRİŞ 1

2. TRAFİK AKIMLARININ ÖZELLİKLERİ 2

2.1 Trafik Akımının Değişkenleri 2
2.1.1 Akım (q) 3
2.1.2 Yoğunluk (k) 4
2.1.3 İşgal Oranı 4
2.1.4 Hız (u) 5
2.1.5 İzleme Uzunluğu (s) 6
2.1.6 İzleme Süresi (h) 6
2.2 Trafik Akımının Değişkenleri Arasındaki İlişkiler 7
2.2.1 Akım-Yoğunluk İlişkisi 7
2.2.2 Hız-Yoğunluk İlişkisi 7
2.2.3 Hız – Akım İlişkisi 8
2.2.4 Darboğaz (Şişeboynu) Etkisinin İncelenmesi 9

3. METROBÜS SİSTEMLERİ 12

3.1 Metrobüs Nedir? 12
3.1.1 Tam Donanımlı ve Standart Metrobüs 14
3.2 Yollar 16

4. TRAFİK SİMÜLASYONU 20

4.1 Simülasyon Modellerinin Sınıflandırılması 20
4.2 Mikrosimülasyon 22
4.2.1 Mikrosimülasyonun Faydaları 23
4.2.2 Mikrosimülasyon Aşamaları 23
4.3 CORSIM (CORridor SIMulation) 27
4.3.1 FRESIM Simülasyon Modeli 29
4.3.2 FRESIM Modeli Girdileri ve Çıktıları 31
4.4 CORSIM Ana Varsayılan Parametreleri 32

5. METROBÜS HİZMETİNİN BOĞAZİÇİ KÖPRÜSÜ TAŞIT GEÇİŞLERİNE ETKİSİ 35

6. SİMÜLASYON MODELİ ve UYGULAMA 41

6.1 Çalışmanın Konusu ve Amacı 41
6.2 Verilerin Toplanması 46
6.2.1 Verilerin Analizi 52
6.3 Modelin Oluşturulması 63
6.3.1 Asya – Avrupa Yönü Karayolu Ağının Oluşturulması 63
6.3.2 Avrupa – Asya Yönü Karayolu Ağının Oluşturulması 68
6.4 Modelin Kalibrasyonu 73
6.4.1 Simülasyon Modelinin Gerçeğe Uygunluğunun Araştırılması 74
6.5 Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi 83

7. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER 90

KAYNAKLAR 92

İNTERNET KAYNAKLARI 94

ÖZGEÇMİŞ 95

SİMGE LİSTESİ

h	İzleme süresi (sn/taş)
k	Yoğunluk (taş/km)
k_j	Tıkanıklık yoğunluğu (taş/km)
k_m	Kapasite yoğunluğu (taş/km)
L_d	Detektör ortalama uzunluğu (m)
L_v	Taşıt ortalama uzunluğu (m)
N	Taşıt sayısı
O	İşgal oranı (%)
q	Akım (taş/sa)
q_m	Yol kapasitesi (taş/sa)
s	İzleme uzunluğu (m/taş)
S_{ort}	Ağırlıklı ortalama hız (km/sa)
t	Zaman (saat)
u	Akım hızı (km/sa)
u_f	Serbest akım hızı (km/sa)
x	Yol uzunluğu (km)

KISALTMA LİSTESİ

BRT	Bus Rapid Transit
CO	Karbon monoksit
CORSIM	Corridor Simulation
FHWA	Federal Highway Administration
FRESIM	Freeway Simulation
HC	Hidrokarbon
HCM	Highway Capacity Manual
HOT	Hızlı Otobüs Taşımacılığı
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İETT	İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri
KGS	Kartlı Geçiş Sistemi
KG/KK	Kalite Güvence/Kalite Kontrol
MİA	Merkezi İş Alanı
NETSIM	Network Simulation
NOx	Azot oksit
B – S	Başlangıç – Son
OGS	Otomatik Geçiş Sistemi
RTMS	Remote Traffic Microwave Sensor
TSIS	Traffic Software Integrated System

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Zamana bağlı yığışımlı taşıt grafiği…… 3
Şekil 2.2 Uzaklığa bağlı yığışımlı taşıt grafiği.....4
Şekil 2.3 Film karelerinden yol-zaman eğrilerinin çıkartılması……5
Şekil 2.4 Akım – Yoğunluk ilişkisi……7
Şekil 2.5 Hız – Yoğunluk İlişkisi……...8
Şekil 2.6 Hız – Akım İlişkisi……...8
Şekil 2.7 Akım, hız ve yoğunluk arasındaki ilişkiler……9
Şekil 2.8 Hayali bir otoyol ve akım – yoğunluk ilişkisi……...10
Şekil 3.1 Metrobüs istasyonu ……...12
Şekil 3.2 Metrobüs sistemine hiyerarşik bakış……14
Şekil 3.3 Metrobüs hizmetleri ……..15
Şekil 3.4 Bir istasyon modeli ……...18
Şekil 3.5 Metrobüs yol kesiti ……...18
Şekil 4.1 Mikrosimülasyon modeli gelişimi ve uygulama süreci ……24
Şekil 4.2 TRAFED ekran görüntüsü ……...28
Şekil 4.3 TRAFVU ekran görüntüsü ……...29
Şekil 5.1 60 ve 84 numaralı radar kesitinde günlere göre ortalama taşıt sayıları ……....36
Şekil 5.2 Avrupa – Asya yönü akşam zirve trafiği (3 ana şerit toplamı) ……37
Şekil 5.3 Avrupa - Asya yönü zirve saati, hafta içi ortalama trafiği (3 ana şerit)……37
Şekil 5.4 Asya – Avrupa yönü sabah zirve trafiği (3 ana şerit toplamı) ……..38
Şekil 5.5 Asya - Avrupa yönü sabah zirve hafta içi ortalama trafiği (3 ana şerit toplamı)…..38
Şekil 5.6 Boğaziçi Köprüsü gişelerinden geçen taşıt sayıları ortalaması ……39
Şekil 5.7 Boğaziçi Köprüsü gişeleri zirve saati taşıt geçişleri ……39
Şekil 5.8 Boğaziçi Köprüsü gişeleri hafta içi zirve saati ortalama trafiği……40
Şekil 6.1 İstanbul'un bölgesel trafik bağlantısı ……41
Şekil 6.2 Günlük yolculuklar ……42
Şekil 6.3 İstanbul'un mevcut ulaşım sistemi ……...43
Şekil 6.4 İstanbul'da planlanan ulaşım sistemi……44
Şekil 6.5 Avrupa - Asya yönünde çalışılan geçki ……45
Şekil 6.6 Asya - Avrupa yönünde çalışılan geçki ……45
Şekil 6.7 Zincirlikuyu Kavşağı'na ait AutoCAD çizimi……..46
Şekil 6.8 RTMS cihazlarının konumları ……..47
Şekil 6.9 Excel formatında RTMS verileri ……..48
Şekil 6.10 Radarların konumları ……..49
Şekil 6.11 314 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri (Asya – Avrupa yönü)……...53
Şekil 6.12 12 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri (Asya – Avrupa yönü)……..54
Şekil 6.13 312 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri (Asya – Avrupa yönü)……...55
Şekil 6.14 311 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri (Asya – Avrupa yönü)……...56
Şekil 6.15 310 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri (Asya – Avrupa yönü) ……57

Şekil 6.16 10 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri (Asya – Avrupa yönü) ……..58
Şekil 6.17 310+10, 311 ve 312 radar kesitlerine ait kümülatif taşıt sayısı eğrileri …….59
Şekil 6.18 303 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri (Avrupa – Asya yönünde)……60
Şekil 6.19 315 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri (Avrupa – Asya yönünde)…….....61
Şekil 6.20 60 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri (Avrupa – Asya yönünde)…….62
Şekil 6.21 TRAFED programında altlığın ölçeklendirilmesi ……..63
Şekil 6.22 TRAFED ekranında düğüm ve bağ kodlaması ……...64
Şekil 6.23 Ek şeridin modelde oluşturulması ……..67
Şekil 6.24 Yıldız katılımının TRAFVU ekran görüntüsü ……68
Şekil 6.25 Gişe sahası modeli taslağı……...70
Şekil 6.26 TRAFED ekranında gişe sahası modeli ……..71
Şekil 6.27 Düğüm noktalarında dönüş yüzdelerinin girilmesi……72
Şekil 6.28 KGS gişelerinde sinyalizasyon uygulaması……73
Şekil 6.29 Asya – Avrupa yönünde, saha ve simülasyona ait akım oranı (taş/sa) ve hız (km/sa) verilerinin zamanla değişimi ……..78
Şekil 6.30 Avrupa – Asya yönünde, saha ve simülasyona ait akım oranı (taş/sa) ve hız (km/sa) verilerinin zamanla değişimi ……..80
Şekil 6.31 2008 yılı Asya – Avrupa yönünde, saha ve simülasyona ait akım oranı (taş/sa) ve hız (km/sa) verilerinin zamanla değişimi ……....83
Şekil 6.32 Asya - Avrupa yönünde zamana göre CO, HC ve NOx (kg/km-sa) salımları……84
Şekil 6.33 Asya – Avrupa yönü, Yakıt tüketimi (litre), Ortalama hız (km/sa), Ortalama yolculuk süresinin zamana göre değişimi ……...86
Şekil 6.34 Avrupa - Asya yönü, 2010 yılı simülasyonunda zamana göre salım değişimleri…88
Şekil 6.35 Avrupa - Asya yönü, 2010 yılı simülasyonuna ait yakıt tüketimi (lt.), ortalama hız (km/sa), ortalama yolculuk süresi (dk.) değişimleri…… 89

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Bazı trafik simülasyonu yazılımlarının sınıflandırılması……..21
Çizelge 4.2 Üç sınıfta incelenen girdi veri bileşenleri…… 31
Çizelge 4.3 Varsayılan taşıt-izleme duyarlılık faktörleri…… 33
Çizelge 6.1 RTMS veri alanlarının açıklamaları……..47
Çizelge 6.2 Çalışmada kullanılan radarlara ait veriler…… 49
Çizelge 6.3 22-23 Mart 2010 tarihlerine ait Boğaziçi Köprüsü gişelerinden geçiş sayıları….51
Çizelge 6.4 Asya - Avrupa yönü geometrik özellikleri……64
Çizelge 6.5 Modele girilen giriş-çıkış hacim verileri……...65
Çizelge 6.6 Hatlara ait sefer sayıları ve izleme aralıkları……..……66
Çizelge 6.7 Ek şeride dönüş yüzdeleri ……67
Çizelge 6.8 Avrupa - Asya yönü geometrik özellikleri……68
Çizelge 6.9 Avrupa - Asya yönü talep verileri……69
Çizelge 6.10 Avrupa - Asya yönünde otobüs sefer aralıkları ……..70
Çizelge 6.11 Gişe sahası taşıt dönüş yüzdeleri ……72
Çizelge 6.12 Saha ve simülasyon akım (taş/sa) değerlerinin karşılaştırılması (Asya - Avrupa yönü) ……76
Çizelge 6.13 Saha ve simülasyon hız (km/sa) değerlerinin karşılaştırması(Asya - Avrupa yönü) ……..77
Çizelge 6.14 Saha ve simülasyon akım oranlarının karşılaştırılması (taş/sa) (Avrupa - Asya yönü) ……..79
Çizelge 6.15 Köprü gişelerinden çıkış yapan taşıt sayılarının karşılaştırılması (Avrupa – Asya yönü) ……..79
Çizelge 6.16 Saha ve simülasyon hız (km/sa) değerlerinin karşılaştırması (Avrupa - Asya yönü) ……..80
Çizelge 6.17 Saha ve simülasyon akım oranı (taş/sa) değerlerinin karşılaştırması (2008 yılı, Asya – Avrupa yönü)……81
Çizelge 6.18 Saha ve simülasyon hız değerlerinin (km/sa) karşılaştırması (2008 yılı, Asya – Avrupa yönü) ……82
Çizelge 6.19 Başarım ölçütlerinin yıllara göre değişimi (Asya – Avrupa yönü)……87

ÖNSÖZ

2010 Avrupa kültür başkenti olan İstanbul'da yaşayan biri olarak, İstanbul'un trafiğinden şikâyetçi olmamak mümkün değil. Boğaziçi Köprüsü trafiği, İstanbul trafiğinin ana başlığı olarak yerini almaktadır. 2009 yılının Mart ayında İstanbul Büyükşehir Belediyesi, bu trafiğe bir çözüm olarak Metrobüs projesini hayata geçirdi. Metrobüs, İstanbul'un ana yolu olan O-1 Karayolu'nda çalışmakta ve Boğaziçi Köprüsü'nü kullanmaktadır.

Çalışmamda, Metrobüs'ten önce 2008 Nisan ile Metrobüs'ten sonra 2010 Nisan ayları arasında, hattın paralelindeki O-1 Karayolu'ndaki trafik koşullarını inceledim. Veri toplama aşamasında; Metrobüs projesini ve O-1 Karayolu'nun halihazır haritalarını, Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü'nden, Otoyolu Proje Başmühendisi Metin KÜÇÜKOĞLU'ndan temin ettim. Daha sonra, karayolundaki araç sayımlarına İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı'ndan Batuhan ALTUN aracılığıyla ulaştım. Boğaziçi Köprüsü'ndeki gişelerden geçen taşıt sayılarını temin etmemde Boğaziçi Köprüsü Başmühendisliği'nden Baki ERDOĞAN'ın yardımları oldu.

Çalışmamın, İstanbul'un trafik sorununa getirilecek çözümlerde kullanılmasını temenni ediyorum. Bu çalışmamda verilere ulaşmamda gösterdikleri kolaylıklardan dolayı Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü'ne, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı'na, Boğaziçi Köprüsü Başmühendisliği'ne teşekkürlerimi sunarım. Çalışmam boyunca benden, yardımlarını, bilgisini ve değerli zamanını esirgemeyen Doç. Dr. İsmail ŞAHİN'e teşekkür ederim. Simülasyon konusunda yardımlarından ötürü, İnş. Yük. Müh. Fırat AYDIN'a ve çalışmam süresince, birlikte aynı çalışma odasını paylaştığım İnş. Müh. Deniz ORHAN'a, yardımları için teşekkür ederim.

Son olarak, yaşamım boyunca bana destek olan ailem ve sevdiklerime, çalışmam boyunca gösterdikleri sabır ve destek için sonsuz teşekkür ederim.

Ağustos, 2010

Serdar IŞIK

ÖZET

Avrupa'nın en fazla nüfusa sahip şehirlerinden biri olan İstanbul'da trafik, her geçen gün daha karmaşık bir hal almaktadır. Bu trafiğin kuşkusuz en önemli olanı, Avrupa ile Asya kıtalarını birbirine bağlayan, İstanbul'un ana bağlantılarından biri olan O – 1 Karayolu üzerindeki, Boğaziçi Köprüsü trafiğidir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB), Boğaziçi Köprüsü'ndeki trafik tıkanıklığına çözüm olması amacıyla, Zincirlikuyu – Söğütlüçeşme arasında, Mart 2009 yılında Metrobüs'ü hizmete sokmuştur. Çalışmada, Metrobüs hizmete sokulmadan önceki 2008 Nisan ve sonraki 2010 Nisan aylarında, Metrobüs'e paralel O – 1 Karayolu'ndaki trafik koşulları, radar verileri kullanılarak CORSIM mikrosimülasyon programı yardımıyla analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda 2008 Nisan ve 2010 Nisan aylarında, incelenen kesimde (Asya-Avrupa yönünde), toplam taşıt sayısında (yolculuklarında) ve ortalama yolculuk sürelerinde değişiklik gözlenmemiştir. Ortalama hızlarda bir miktar (%10) artış ve yakıt tüketiminde bir miktar (%5) azalma gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Metrobüs, Simülasyon, O – 1 Karayolu, Boğaziçi Köprüsü

EXAMINING EFFECTS OF METROBUS SYSTEM ON THE BOSPORUS BRIDGE TRAFFIC BY A SIMULATION MODEL

ABSTRACT

Traffic issues continue becoming major problems in Istanbul, one of the most crowded cities in Europe. Traffic crossing Bosporus Bridge on O-1 highway between Europe and Asia is considered in a special manner. The Greater İstanbul Municipality (İBB) constructed and opened a Metrobus (BRT) system between Zincirlikuyu and Söğütlüçeşme in March 2009 in order to solve traffic congestion problem in this corridor. In this thesis, a before and after study was conducted to analyze and compare the effects of Metrobus system on the O-1 highway traffic by using April 2008 and April 2010 radar traffic data in CORSIM micro simulation program. In this analysis, it was found out that there was not any change in vehicle volume and journey times in Asia to Europe direction in this corridor in April 2008 and April 2010. Average speed was somewhat increased (10%) and fuel consumption was partially decreased (5%).

Keywords: Metrobus, Bus Rapid Transit (BRT), Simulation, O – 1 Highway, The Bosporus Bridge

1. GİRİŞ

Kentlerdeki nüfusun ve özel araç sayısının artması trafik tıkanıklığı, hava kirliliği, fazla enerji tüketimi vb. olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Bu gibi sorunların çözümü, ulaşım ihtiyacının karşılanması ve kentsel gelişimin sağlanması kent içi ulaştırmanın temel amaçlarındandır. Yaşanan deneyimlerden çıkan ders; kent içi ulaşımın düzenlenmesi için en uygun çözüm yolu toplu taşıma sistemlerine öncelik vermektir.

Buna göre, mevcut toplu taşıma sistemlerine fiziksel, yönetsel ve ekonomik iyileştirmeler yapılmalı ve yeni toplu taşıma sistemleri uygulanmalıdır. Yeni yapılacak toplu taşıma sistemlerinde hangi sistemin olacağına karar vermek için etüt aşaması çok önemlidir. Etüt aşamasında ekonomik, fiziki, teknik ve mali özellikler göz önünde tutularak halkın gereksinimlerini karşılayabilecek nitelikte bir sistem tercih edilmelidir.

İstanbul'da yapılan trafiği iyileştirme çalışmaları arasında en gözde olanı kuşkusuz Avcılar-Söğütlüçeşme arasında çalışmakta olan Metrobüs projesidir. Proje, İstanbul 1.Çevre Yolu'nda orta refüjde özel yol inşa edilerek gerçekleştirilmiştir. Böylece yolcuların yolculuk sürelerinin kısalması hedeflenmiştir.

Projenin artılarının ve eksilerinin tartışıldığı ortamlarda tartışmalar genellikle, otobüslerin işletimi ve yolcuların konforları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu tez çalışmasında, Metrobüs hattı Boğaziçi Köprüsü geçişinin (Söğütlüçeşme-Zincirlikuyu kesiminin) diğer şeritlerdeki trafik akımlarını nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Çalışmada, trafik akımlarının taşıt düzeyinde temsil edilebildiği mikroskobik simülasyon tekniğinden yararlanılmıştır. Metrobüs'ün hizmet vermeye başlamadan önceki ve başladıktan sonraki, O – 1 Karayolu'nda, Asya ve Avrupa kıtaları arasında seyreden taşıt trafiğinin sabah ve akşam zirve saatlerdeki yolculuk süreleri, hızları, yakıt harcamaları, emisyon (salım) oranları vd. büyüklükler karşılaştırılmıştır.

İkinci bölümde trafik akımının özelliklerinden bahsedilmiş ve üçüncü bölümde ise Metrobüs sistemleri ele alınmıştır. Dördüncü bölümde, mikrosimülasyon tekniği anlatılmış ve beşinci bölümde, Metrobüs sisteminin Boğaziçi Köprüsü trafiğine etkisi araştırılmıştır. Altıncı bölümde çalışma ayrıntılı olarak anlatılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.

2. TRAFİK AKIMLARININ ÖZELLİKLERİ

Trafik teriminin Türk Dil Kurumu Güncel Türkçe Sözlük'ündeki iki tanımı şöyledir: (1) Ulaşım yollarının yayalar ve her türlü taşıt tarafından kullanılması, gidiş geliş, seyrüsefer; (2) Ulaşım yollarında bulunan taşıt ve yayaların tümü.

Trafik ve ulaştırma mühendisliğinin bir amacı, yol ağındaki gecikmeyi azaltarak veya toplumun istenmeyen etkilere maruz kalmasını önleyerek, trafik akımını iyileştirerek akışı kontrol etmektir (Daganzo, 1997).

Ulaştırma ya da trafik mühendisleri, uygun bir ulaştırma sistemi tasarlamak ve sistemle ilgili çeşitli kontrol stratejileri geliştirmek için, sistemin değişik koşullarda nasıl tepki vereceğini anlamak zorundadırlar. Özelikle, topluma yönelik etkileri ve ne gibi yararların sağlanabileceğini önceden tahmin etmeli (örneğin, matematiksel modeller aracılığıyla) ve sistemde yapılacak bir düzenleme veya yeni tasarımın sonucunda sistemdeki olası tepkileri öngörebilecek bir sezgiye sahip olmalıdır (Daganzo, 1997).

Taşıt trafiğinin analizi, karayolunun verimli bir şekilde işletimi için bir temel oluşturur. Birim zamandaki taşıt sayısı (hacim), taşıt tipleri, taşıt hızları, trafik akımında zamana bağlı değişimler gibi birçok trafik ölçütü; karayolunun tasarımı, işletimi ve dolayısıyla verimliliğini etkilediği için, trafik akımının değerlendirilmesi ve analizi gereklidir (Mannering, 1990).

Trafik akımının analizi ve bu analize yönelik genel kavramlarla ilgili birçok araştırma yapılmış ve kuramlar geliştirilmiştir.

2.1. Trafik Akımının Değişkenleri

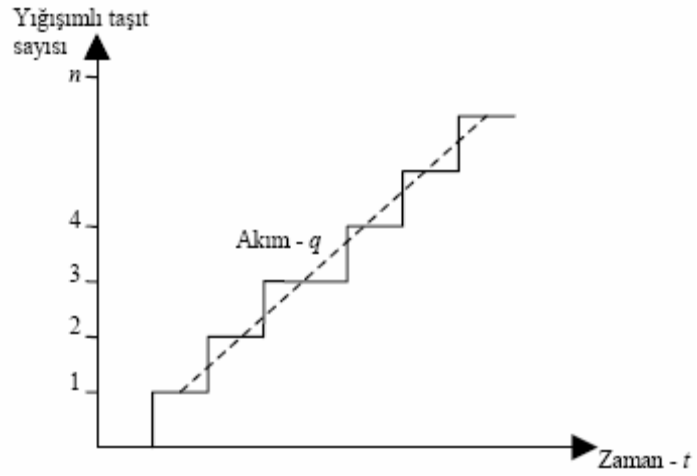
Trafik akımının değişkenleri arasındaki ilişkiler günümüze kadar birçok kez işlenmiştir. Bu değişkenler arasındaki ilişkiler trafiğin çeşitli durumlarının tanımlanmasında kullanılmıştır. Bu ilişkileri açıklamadan önce trafik değişkenlerini tanımlamak yararlı olacaktır. Değişkenler iki ayrı kısımda toplanabilir.

1) *Trafiğin temel değişkenleri:* Bu değişkenler çeşitli yöntemlerle elde edilirler; fakat, tek başına kullanılmazlar. Bu değişkenler; Uzunluk (x) (m, km), zaman (t) (sn, dk, sa) ve trafik birimi (n) (taşıt) olarak sıralanabilir.

2) *Trafiğin türetilmiş değişkenleri:* Trafik akımlarıyla ilgili olayları ifade edebilmek için temel değişkenlerin kullanımıyla türetilen değişkenlerdir. Bunlar; **Akım (q)** (taşıt/sa), **Yoğunluk (k)** (taşıt/km) ve **Hız (u)** (m/sn, km/sa) şeklinde sıralanabilir.

2.1.1. Akım (q)

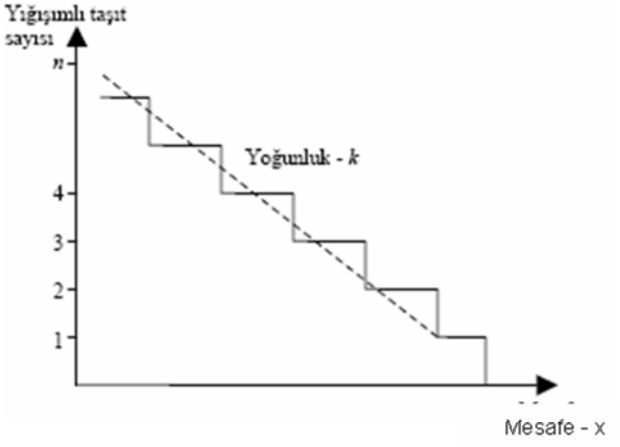
Belirli bir yol kesitinden birim sürede geçen taşıt sayısıdır (Şekil 2.1). Buradaki birim zaman genellikle 1 saat olarak kullanılır. Akım, akım değeri ya da akım oranı şeklinde de adlandırılabilir. Yolun belirli bir kesitindeki tüm şeritlerin toplamı veya bir şeridi için tanımlanabilir. Trafiğin temel değişkenleri kullanılarak, akım $q = n / t$ olarak ifade edilir; burada, n taşıt -sayısı- ve t zaman olduğundan, akım = taşıt / zaman birimi elde edilir.



Şekil 2.1 Zamana bağlı yığışımlı taşıt grafiği (Cassidy, 1995)

2.1.2. Yoğunluk (k)

Herhangi bir anda belirli bir yolun birim uzunluğunda bulunan taşıt sayısıdır (Şekil 2.2). Buradaki birim uzunluk genellikle 1 kilometre olarak alınır. Yoğunluk, birim uzunluk içindeki tüm şeritlerin toplamı veya yalnızca bir şerit için tanımlanabilir. Trafiğin temel değişkenleri kullanılarak, yoğunluk $k = n / x$ olarak ifade edilir. Burada, x yol uzunluğu olduğunda, yoğunluk = taşıt / uzunluk birimi elde edilir.



Şekil 2.2 Uzaklığa bağlı yığışımlı taşıt grafiği (Cassidy, 1995)

2.1.3. İşgal Oranı

İşgal oranı, yol kesimindeki araç uzunlukları toplamının yol kesiminin uzunluğuna oranıdır. İşgal oranı, aynı zamanda, belirli bir zaman aralığında kesitten geçen taşıtların detektörü işgal etme süreleri toplamının gözlem yapılan zaman aralığının uzunluğuna oranı olarak da tanımlanabilir. Birçok durumda detektör, aracın ön tamponu detektör alanını geçtiği andan aracın arka tamponu detektörden ayrılana kadar çalışır. Yoğunlukla işgal oranı arasında bir ilişki vardır; eğer detektör loop detektörü ise, bu ilişki aşağıdaki gibidir (Denklem 2.1).

$$k = \frac{1000 \times o}{L_v + L_d} \tag{2.1}$$

Burada;

k = Yoğunluk (taş/km-şerit)

o = İşgal oranı (%)

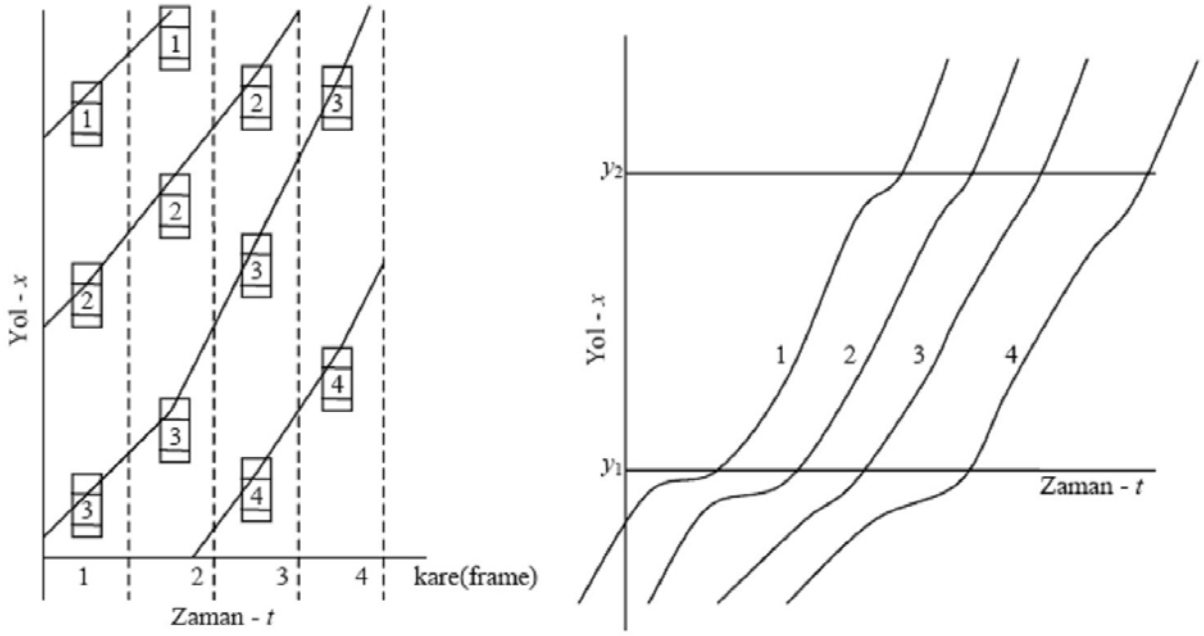
L_v = Taşıt ortalama uzunluğu (m)

L_d = Detektörün ortalama uzunluğu (m)

2.1.4. Hız (u)

Hız, taşıtların zaman içinde yer değiştirme büyüklüğünü yansıtmak üzere, birim zamanda kat edilen uzunluk olarak ölçülür. Buradaki birim zaman, genellikle, 1 saat veya 1 saniye olarak kullanılır. Temel değişkenlerden faydalanarak, hız $u = x / t$ olarak ifade edilir. Buna göre, x alınan yol uzunluğu olduğunda, hız = uzunluk / zaman birimi elde edilir.

Yer değiştirmeler, tek şerit üzerinde yukardan çekilen bir film ile tespit edildiğinde, film kareleri Şekil 2.3'deki gibi yan yana sıralanır ve değişik karelerdeki aynı taşıtlar birbirleriyle bir çizgi yardımıyla birleştirilirse, taşıtların yörüngeleri (yol-zaman eğrileri) elde edilmiş olur. Şekil 2.3'deki yol-zaman eğrilerinin eğimi de hızı vermektedir.



Şekil 2.3 Film karelerinden yol-zaman eğrilerinin çıkartılması (Cassidy, 1995)

2.1.5. İzleme Uzunluğu (s)

Düzenli işletime sahip (sabit hızlı taşıtların birbirlerini sabit aralıkla izlediği) bir karayolunun bir kesiminin herhangi bir anda hava fotoğrafının çekildiğini varsayalım. Fotoğrafta, karayolu kesimi boyunca eşit **izleme uzunluğu *s*** (m/taşıt) ile sıralanmış çok sayıda taşıt bulunacaktır. Fotoğrafta görülen taşıt sayısının karayolu kesiminin uzunluğuna oranı, taşıt akımının **yoğunluğu *k*** olarak tanımlanır. Düzenli işletim nedeniyle, yoğunluğun sayısal değeri, karayolunun her kesiminde ve her zaman aynı olacaktır. Ancak, akımı oluşturan taşıtların izleme aralıkları ve hızları -gerçeğe uygun olarak- eşit değil ise, yoğunluğun değeri zamanla değişir; ayrıca, aynı anda karayolunun farklı kesimlerindeki yoğunluk da farklı değerler alır. Yoğunluğun boyutu, karayolunun birim uzunluğunda bulunan taşıt sayısıdır; örneğin, taşıt/km. İzleme uzunluğu (veya sabit değilse ortalama izleme uzunluğu) ve yoğunluk arasındaki ilişki şöyledir:

$$s = \frac{1}{k} \tag{2.2}$$

2.1.6. İzleme Süresi (h)

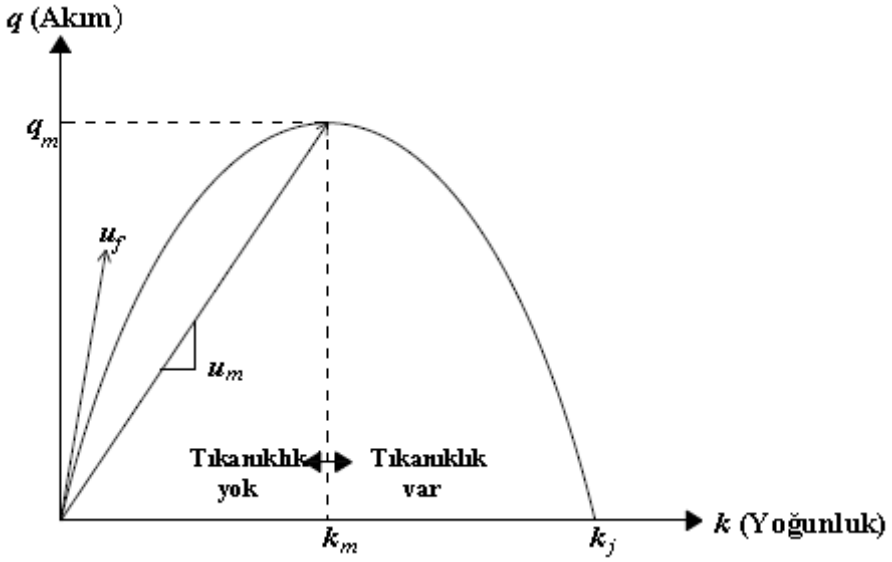
Yol kenarında sabit bir gözlemci bulunduğunu varsayalım. Taşıtlar, gözlemcinin bulunduğu noktadan birbiri ardına, aralarında **izleme süresi *h*** (sn/taşıt) olmak üzere geçmektedirler. Daha önceki basit durumda olduğu gibi, taşıtlar arasındaki izleme uzunluğu sabit olup, sabit izleme uzunluğu sabit sistem hızına bölünmesiyle hesaplanır. Ancak, gerçek koşullarda taşıtlar arasındaki izleme süresi değişkendir. Her durumda, gözlem süresi T boyunca, gözlemci, herbir taşıt için öncülüyle ilişkili birçok izleme süresi sayar; sürelerin toplamı gözlem süresi toplamına (T) eşittir. Gözlem süresi içinde sayılan taşıt sayısı **hacim *V*** olarak adlandırılır, birimi bu sürede sayılan "taşıt"tır. Gözlem noktasında sayılan taşıt sayısının toplam gözlem süresine bölünmesi de **akım *q*** olarak tanımlanır ve birim zamandaki taşıt olarak ölçülür; örneğin, taşıt/saat (diğer bir deyimle, hacmin saatlik eşdeğeri akımdır). İzleme süresi (veya sabit değilse ortalama izleme süresi) ve akım değeri arasındaki ilişki şöyledir:

$$h = \frac{1}{q} \tag{2.3}$$

2.2. Trafik Akımının Değişkenleri Arasındaki İlişkiler

2.2.1. Akım-Yoğunluk İlişkisi

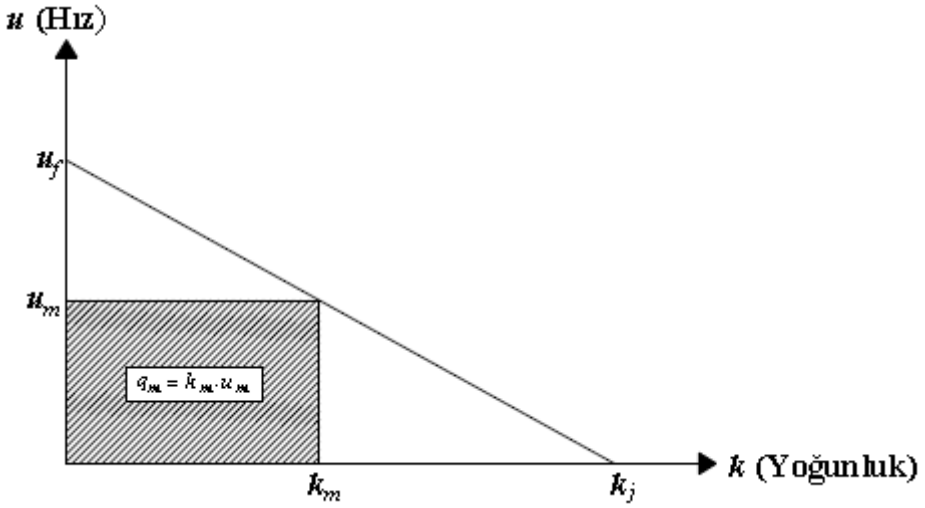
Akım – yoğunluk ilişkisi Şekil 2.4'de görülmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi, yolun kapasitesine (q_m-yolun kapasitesi ve k_m-kapasite yoğunluğu) erişinceye kadar akım arttıkça yoğunluk da artmaktadır. Bu noktadan sonra yoğunluk artmaya devam ederken hacim düşüşe geçer. Bu durum, taşıtlar tampon tampona gelinceye ve tıkanıklık tam anlamıyla oluşuncaya kadar devam eder. Bu noktada yoğunluk en büyük değerini (k_j-tıkanıklık yoğunluğu) alır ve akım sıfıra düşer. Bu grafikte, herhangi bir noktayı orijine birleştirilen doğrunun eğimi, q/k oranından akım hızını verir (u). Başlangıç noktasındaki teğetin eğimi (u_f) de "serbest hızı" verir (Şahin ve diğ., 2002).



Şekil 2.4 Akım – Yoğunluk ilişkisi

2.2.2. Hız-Yoğunluk İlişkisi

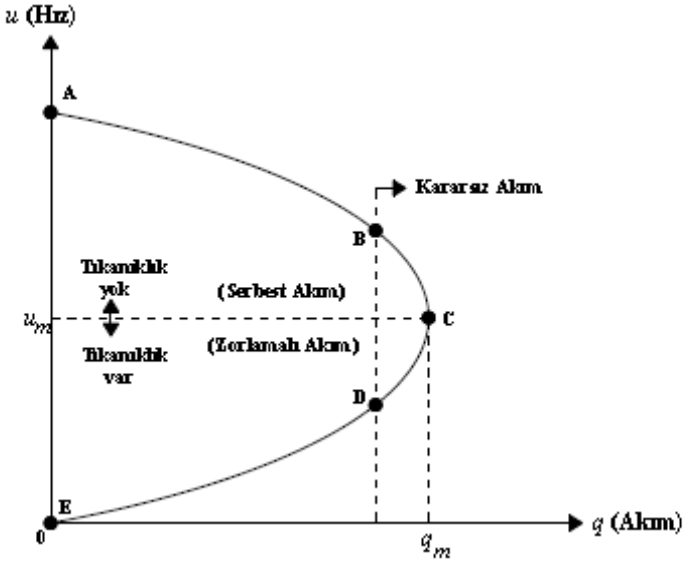
Hız – yoğunluk ilişkisi Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Hız ve yoğunluk arasında ters bir ilişki vardır. Yoğunluk arttıkça hız azalır. Burada u_f serbest hızı göstermektedir. Bu grafik içerisindeki bir köşesi orijin bir köşesi de doğru üzerinde olan bir dikdörtgenin alanı akımı verir (Şahin ve diğ., 2002).



Şekil 2.5 Hız – Yoğunluk İlişkisi

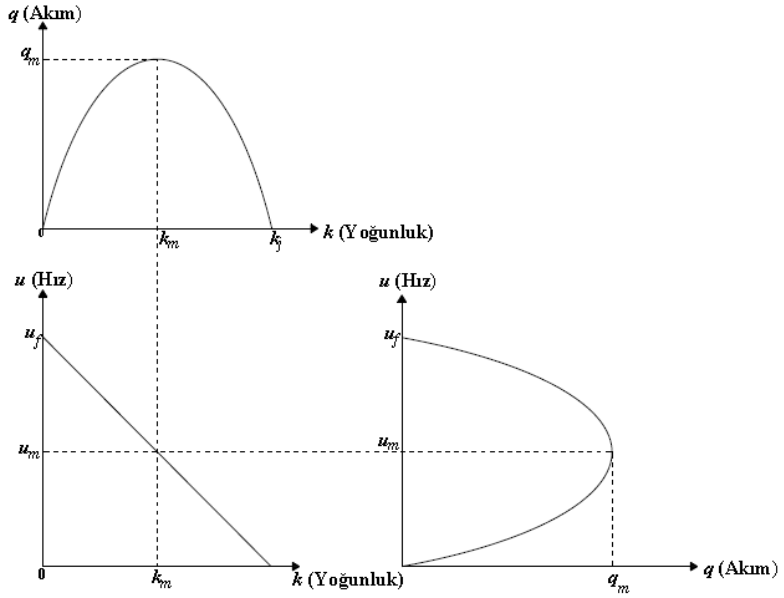
2.2.3. Hız – Akım İlişkisi

Hız – akım ilişkisi Şekil 2.6'de gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi, tıkanıklığın olmadığı "serbest akım" bölgesinde akım arttıkça hız düşmektedir; bu durum kapasiteye (q_m) erişinceye kadar devam eder. Talep kapasitenin üzerine çıktığında hem akım hem de hız beraber düşüşe geçerler. Kapasitenin hemen altında ve üstündeki bölgede (BDC arasında) trafik akımı "kararsız" bir hal almakta; akımın, AB bölgesinde "serbest" ve DE bölgesinde "zorlamalı" olarak aktığı bilinmektedir (Şahin ve diğ., 2002).



Şekil 2.6 Hız – Akım İlişkisi

Akım, hız ve yoğunluk arasındaki ilişkiler toplu olarak Şekil 2.7'de görülmektedir.

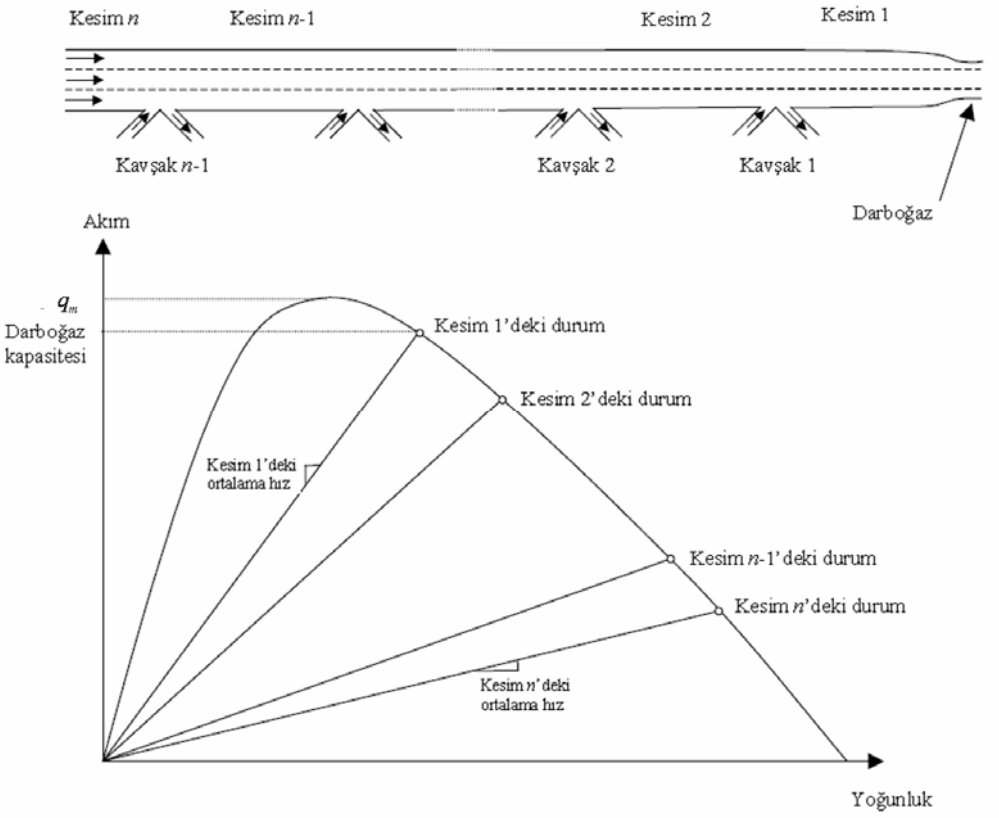


Şekil 2.7 Akım, hız ve yoğunluk arasındaki ilişkiler (Şahin ve Zorer, 2001)

2.2.4. Darboğaz (Şişeboynu) Etkisinin İncelenmesi

Hidrodinamik trafik kuramı belirli durumlarda uzun otoyol kuyruklarındaki yoğunlukların tahmini için uygundur; bu kuyrukların arka ucunda en yüksek yoğunluk gözlenirken, ön uca doğru yoğunluk aşamalı olarak azalır ve darboğazın hemen akım yukarısında en düşük değerini alır. Şekil 2.8 bu tanımlamayı göstermektedir. Şeklin üst kısmında, darboğazın akım yukarısında çok sayıda kavşak (giriş-çıkış) bulunan hayali bir otoyol parçası görülmektedir. Buradaki darboğaz geometrik bir kısıtlama nedeniyle oluşmaktadır, ancak darboğazın başka kaynakları da söz konusu olabilir.

Homojen kesimlerdeki trafiğin (örneğin, kavşaklar arasındaki kesimlerde), Şekil 2.8'in alt kısmında gösterildiği gibi, temel diyagramla tanımlandığı kabul edilmektedir. q kapasitesi, akım aşağıdan gelen bir kuyruğun etkisi olmadan, herbir kesimdeki akımın sürekliliği korunabilen en büyük değeridir. Akım aşağıdaki darboğazda bir kuyruklanma oluşup, geriye doğru bütün otoyol boyunca yayıldığında, tüm kesimlerdeki akımlar darboğaz tarafından sınırlanacak ve q_m'den daha küçük bir değer alacaktır.



Şekil 2.8 Hayali bir otoyol ve akım – yoğunluk ilişkisi (Cassidy ve Mauch, 2001)

Bu akımlar, Newell (1993) tarafından önerilen yöntem kullanılarak kolaylıkla tahmin edilebilir. Bu yöntemde, katılım ve ayrım çiftinden oluşan her kavşak otoyol boyunca birlikte tek bir nokta olarak modellenir. Bir kavşak noktasından kuyruklanmış otoyol kesimine giren taşıtlar, akım yukarı yönden bu kavşağa yaklaşan taşıt akımını sınırlar, diğer bir deyimle, katılım taşıtları mevcut karayolu boşluğunu akım yukarıdan gelen taşıtlara bırakmazlar. Böylece, herbir kavşak noktasının katılımından otoyola giren taşıt oranı (sayısı) aynı kavşağın ayrımından çıkan taşıt oranını (sayısını) aşarsa, akım yukarı kesimlerdeki akımlar düzenli bir şekilde sırayla azalır; yani, kesim 1'deki kuyruklanmış akım darboğazın kapasitesine eşit olur; kesim 2'deki akım, bu darboğaz kapasitesi eksi kavşak 1'den giren net akım, vs.

Şekil 2.8'deki temel diyagramda gösterildiği gibi, yol boyunca kuyruklanmış akımdaki her azalma yoğunluktaki artışın eşliğinde gerçekleşir. (Temel diyagram kuyruk içindeki ortalama taşıt hızlarının yol boyunca değişimini de gösterir.) Kısacası, sürücüler, kuyruğun arka ucundan darboğaza doğru ilerledikçe, trafik şartlarında düzenli bir iyileşmeyle karşılaşırlar. Bu eğilimin kesintiye uğradığı yerler, trafiğin homojen kesimlere ait temel diyagramla açıklanmadığı, kavşaklar gibi homojen olmayan yerlerdir. Darboğazın yeteri kadar akım yukarı kesimlerinde ise bazen, trafiğin durma noktasına geldiği durumlarla karşılaşılabilir.

Yukarıda açıklanan eğilimi sergileyen otoyol kuyrukları, kuyruklanmış bir otoyol kesimindeki akımın bu kesimdeki taşıt birikimine bağlı olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, örneğin, kuyruk depolama stratejilerinin planlanmasında pratik bir öneme sahiptir. Sonuçta, katılım kontrolü (ramp metering) yoluyla erişim kontrolü, geometrik tasarım değişiklikleri ya da geçki (güzergâh) bilgisi sunma gibi herhangi bir stratejinin seçimi, söz konusu otoyol kesiminde biriken taşıtların sayısına bağlı olmaktadır.

3. METROBÜS SİSTEMLERİ

3.1. Metrobüs Nedir?

Kaliteli bir görünüme ve benzersiz bir kimliğe sahip olan, bir sistem bütünlüğü içinde, çeşitli fiziksel ve işletimsel bileşenleri içinde barındıran esnek ve yüksek performanslı (başarımlı) bir toplu taşıma türüdür. Ulaştırma sektörüne uyarlanan çeşitli teknik ve teknolojik uygulamaları içeren bir sistemdir. Bu sistemler, ülkemizde Hızlı Otobüs Taşımacılığı (HOT) veya Metrobüs olarak adlandırılır. Yurtdışında ise bu sistemler BRT (Bus Rapid Transit) olarak da adlandırılmaktadır.

Dünya genelinde, toplu taşıma kuruluşları, erişim ve hareketliliği arttırmak amacıyla geliştirilmiş toplu taşıma çözümleri üzerine çalışmaktadır. Güven ve Şahin (2009)'da belirtildiği gibi, kentsel yerleşimin yayılması ve çevre yollarında kapasitenin üzerindeki talebin olumsuz çevre etkileri göz önüne alındığında, ulaştırmada yeni seçeneklerin aranması gündeme gelmiştir. Bu arayış, mevcut toplu taşıma teknolojilerinin gözden geçirilmesi ile toplu taşıma sistemlerinin verimliliğini arttırıcı yeni ve yaratıcı yöntemler bulmak için araştırmalar yapılmasına öncülük etmektedir. Bu kapsamda yaygınlaşmaya başlayan Metrobüs sistemleri, yüksek kalitede ve başarımda (performansta) hizmet sunarken yüksek maliyet-etkinliğine sahip olabilmektedir. Metrobüs sistemleri dünya çapında birçok ülkede kullanıldığı gibi İstanbul'da da ulaşım çözümlerinin baş sıralarında yer almaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Metrobüs istasyonu (Baysal vd., 2010)

Metrobüs sistemi, modern raylı sisteme başarım ve konfor olarak benzemekle beraber, maliyet açısından hafif raylı sisteme oranla 4 ile 20 kat; metro sistemine oranla 10 ile 100 kat daha azdır. Bu sistemler tasarım, işletim ve verimlilik açısından çeşitlilik göstermektedir (Wright and Hook, 2007).

Metrobüs, bir toplu taşıma sisteminin sahip olması gereken bileşenleri, literatürdeki tanımına göre, esnek ve yüksek başarımlı bir yapıda bünyesinde toplamaktadır. Bu nitelikler için, sistem ve bileşen özelliklerinin doğru seçilmesi ve bunlar arasındaki ilişkilerin doğru kurulması gerekmektedir.

Metrobüs terimi, uygulama çeşidine göre farklı dünya ülkelerinde farklı isimlerle nitelendirilmektedir. Bunlardan bazıları;

-Yüksek kapasiteli otobüs sistemleri,
-Yüksek kaliteli otobüs sistemleri,
-Hızlı otobüs sistemleri,
-Otobüs yolu sistemleri.

Terimler ülkeden ülkeye değişse de Metrobüs'ün dayanak noktası yüksek kalitede, uygun bir fiyatta halkın ulaşımını gerçekleştirmektir. Kuşkusuz, Metrobüs kavramının zamanla teknolojiye de paralel olarak gelişimini sürdürmekte olduğu söylenilebilir (Wright and Hook, 2007).

Bugün, büyük şehirler düşük maliyete oranla yüksek başarımlı ulaşım çözümleri aradığından Metrobüs sisteminden yararlanılmaktadır. Metrobüs üzerine elde edilen deneyimler, Metrobüs'ün kuşkusuz gelişmeye devam edeceğini ortaya koymaktadır. Yüksek kaliteli Metrobüs sistemlerinin dünyanın çeşitli şehirlerinde hızlı erişimi düşük ücretle sağladığından, özel araçlara oranla halkı toplu taşıma sistemine yönlendirmektedir (Wright and Hook, 2007)

Metrobüs sistemlerinin yurtdışındaki uygulamaları gün geçtikçe yaygınlaşmakta, ülkemizde de uygulanmakta ve yaygınlaştırılması planlanmaktadır. Kendi yoluna sahip İstanbul'daki Metrobüs sistemi ilk olarak O – 1 koridorunda yaklaşık 19 km uzunluğundaki Avcılar-Topkapı hattında 14 istasyonla Eylül 2007'de hizmet vermeye başlamıştır. Hattın yaklaşık 10 km uzunluğundaki 11 istasyonlu Topkapı (Maltepe)-Zincirlikuyu ayağı O-1 karayolunda Eylül 2008 tarihinde hizmete alınmıştır. Metrobüs hattı Mart 2009'da yapılan 11 km ek ve 7

yeni istasyonla Boğaziçi Köprüsünü geçerek Söğütlüçeşme'ye kadar uzatılmıştır (http://www.ibb.gov.tr/ ve www.iett.gov.tr/ Erişim tarihi: 29 Mayıs 2009).

Metrobüs sistemleri ulaştırma plancıları ve karar vericiler için çeşitli ulaştırma seçenekleri sunarlar. Seçeneklerin değerlendirilmesi ve devamındaki planlama süreçlerinde ele alınan temel bileşenlerin, bunlarla ilgili çeşitli özelliklerin ve bunlar arasındaki ilişkilerin sistem bütünlüğü içinde ele alınması gerekmektedir (Güven, 2008).

Metrobüs sistemi; hiyerarşik olarak sistem bileşenleri, sistem başarımı ve sistem faydaları bakış açılarıyla ele alınabilir (Şekil 3.2). Hiyerarşik yapıdaki bu bakış açıları arasındaki ilişkiler kurulurken, Metrobüs sistem bileşenleri sistem başarımını belirlemekte, sistemin başarım özellikleri ise sistemin faydalarını etkilemektedir.



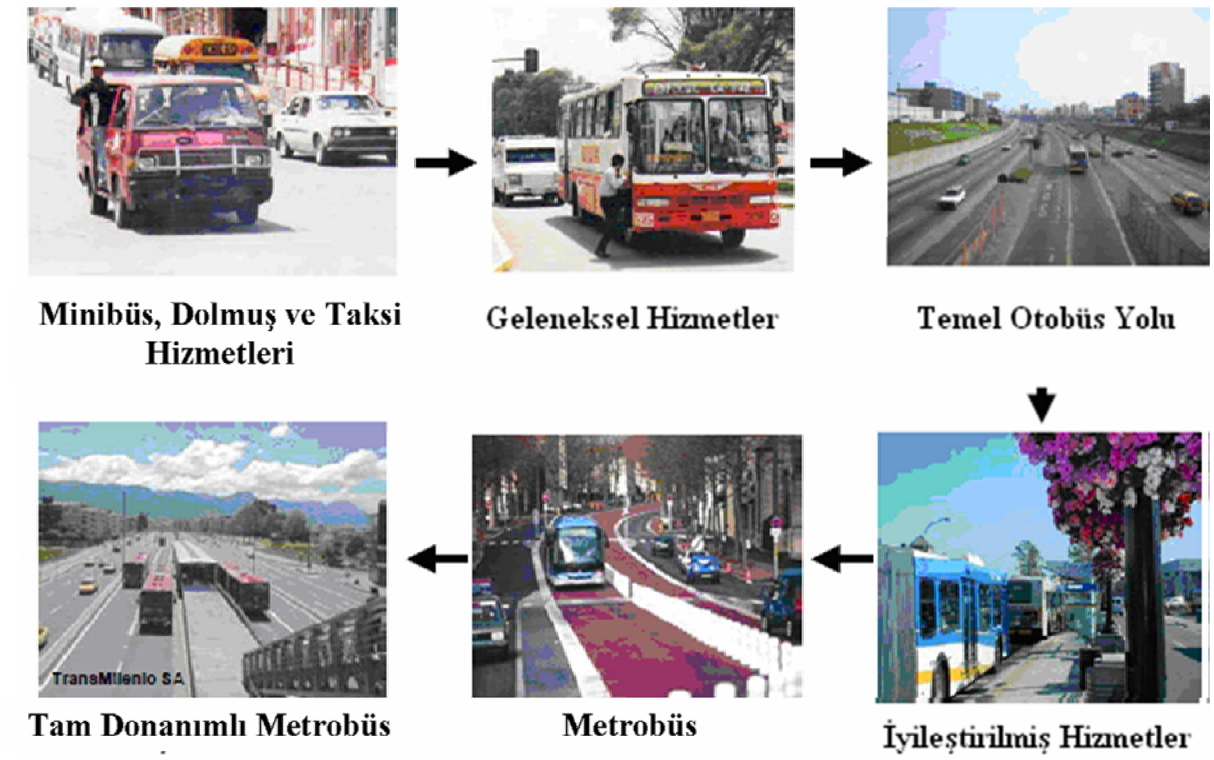
Şekil 3.2 Metrobüs sistemine hiyerarşik bakış (Güven, 2008)

3.1.1. Tam Donanımlı ve Standart Metrobüs

Metrobüs sistemini sınırları belli çerçeve içine koymaktansa, yerel etkenlerin Metrobüs'ün niteliklerini belirlediği esnek bir sistem olarak betimlemek daha doğru olacaktır. Bu etkenler, yerel tercihler, kültür, nüfus yoğunluğu, topoğrafik yapı, coğrafya, finansal kaynaklar, iklim, teknik kapasite ve bilgi, belki de en önemlisi var olan politika anlayışı, sistemin kalite düzeyini belirlemekte olan etkenlerdir.

Metrobüs sisteminin, yüksek kaliteli hizmetten beklenen ortalama taşıt hızı, sistem kapasitesi ve ağ genişliği gibi etkenlerin yanı sıra, birçok anahtar niteliklerle donatılmış olması gerekmektedir. Bu nitelikler, kolay erişim, konforlu durak ve taşıtlar, güvenlik, personel ve taşıt sürücülerinin davranışları, profesyonellik ve temizlik. Bu nitelikler açıkçası yalnızca insan taşımaktan fazla bir anlamı içinde barındırmaktadır. Başarılı bir Metrobüs sisteminin

amacı, insanları A noktasından B noktasına taşımak değildir. Başarılı bir Metrobüs sistemi, kullanıcılarda bir güvenlik havası yaratmayı arzular, halkın gururunu kazanmayı ilke edinir (Wright and Hook, 2007).



Şekil 3.3 Metrobüs hizmetleri (Baysal vd., 2010)

Genel olarak, tam donanımlı Metrobüs yukarıdaki resimlerden de anlaşılacağı gibi ulaşım sisteminin en üst kısmını oluşturmaktadır. Bir Metrobüs sisteminin tam donanımlı olabilmesi için içinde bulundurması gereken minimum nitelikler şunlardır:

- Ayrılmış yollar ya da yalnızca otobüslerin kullanabildiği yollar;
- Dar yollar yerine motorlu taşıt yollarının ortasında projelendirilmesi;
- Konforlu, güvenli, kötü hava koşullarına karşı korumalı duraklar;
- Duraklardaki platform yüksekliği hızlı iniş-binişi sağlamak için taşıt döşemesi ile aynı düzeyde olmalı;
- Diğer toplu taşıma sistemleri ile entegrasyonun sağlanması;
- Diğer sistemlerden farklı pazarlama kimliği;
- Reformcu bir yönetim anlayışı.

Wright and Hook (2007)'nin üzerinde durduğu bu çalışma ve tespitlere göre, bu nitelikleri içinde barındıran sistemler Brezilya ve Kolombiya'da tam donanımlı Metrobüs sistemi olarak

işletilmektedir. Aslında en uygun Metrobüs sistemini tanımlarken tam donanımlı Metrobüs sistemi ile arasında benzerlikler olduğu söylenilebilir. Çünkü en uygun Metrobüs sistemi yerel durumlara bağlı olduğundan ideal ya da tam donanımlı Metrobüs sistemi tanımları herhangi bir yer için doğru çözüm olmayabilir. Bu da Metrobüs sisteminin yukarıda belirtildiği gibi esnek bir sistem olmasına dayanmaktadır. Metrobüs sistemlerinin sınıflandırılmasının nedeni, var olan sistemler arasındaki farklılıkların altını çizmektir. Sınıflandırma, bir Metrobüs sisteminin bir diğerine göre mükemmel olduğunu söylemek, başka bir deyişle karşılaştırma yaparak nitelendirmek olmamalıdır.

3.2. Yollar

Yollar çeşitli etkenler doğrultusunda seçilir: Tüketicilerin talebi (yani, ulaşım gereksinim noktaları), diğer toplu taşıma sistemleriyle bağlantı üstünlükleri, mevcut geçki durumları, uygulanabilirlik kolaylığı, politik destek ve sosyal kabul. Projenin ilk aşamasında, seçilen geçkilerin amacı insanları hareket noktalarından varış noktalarına uygun teknoloji ve uygun maliyetle ulaştırmak olacaktır. Buna karşın, proje tasarımcıları ilk aşamalarda teknik ve politik risk sebebiyle yoğun veya zor geçiş yerlerinden uzak kalmaya çalışırlar.

Standart Metrobüs yolu şeridi yaklaşık 3,5 metre genişliğe sahiptir. İstasyonlar ise 2,5 ile 5 metre arası genişliktedir. Tek şeritli her yöne kullanılan bir ulaşım yolu 10 – 13 metre arasında platform genişliğine gereksinim duyar. İstasyonlarda sollama şeridi olan sistemlerde 20 metre genişliğe çıkmak gerekir. Tarihi merkezler veya ticari bölgelerde yol kapasitelerinden ötürü Metrobüs tasarımı zorlaşır, ancak çeşitli çözümlerle yol limitlerinin üstesinden gelinir. Bunlardan bazıları, yol ortasına boş şerit açmak, yol geçişini genişletmek, yolu yalnızca toplu taşımaya açmak, yol ayırıcıları kullanmak vb. Bu çözümlerin arasında şehrin yapısına en uygun olanı seçilir.

Ulaşım gereksinimleri incelendikten ve ağ kurulacak bölgeler seçildikten sonra yol seçimine başlanır. Büyük şehirlerde ulaşım gereksinimlerinin ana yollarda toplandığı görülmektedir. Örneğin İstanbul'a baktığımızda bu gereksinimlerin hangi noktalarda ve hangi yönlerde olduğu net olarak bilinmektedir. Yol seçimi 7 başlık altında incelenir:

1-Geçiş koridorlarının belirlenmesi
2-Koridor seçeneklerinin analizi

3-Yolları genişletmek ve mevcut karayollarını daraltmak için seçenekler

4-Koridor karşılaştırması

5-Koridor uzunlukları

6-Koridor sayıları

7-İstasyon ve şerit yerleştirmeleri

Gereksinim analizinden sonra koridor seçimi ve tasarımı yapılır. Son olarak da fayda-maliyet analizi yapılır, uygunluk araştırılır. Geçiş koridorlarının belirlenmesindeki amaçlar şunlardır;

-Yeni sistemin faydalarını en üst düzeye çıkarmak,

-Genel trafiğin olumsuz etkilerini en aza indirmek,

-Uygulama ve işletme maliyetlerini en aza indirmek,

-Çevre etkilerini en aza indirmek,

-Özellikle düşük gelir seviyeli kesim için sosyal yararı en üst düzeye çıkarmak.

Genel amaç büyük toplulukların yolculuk süre ve zamanlarını azaltmaktır. Bu düşünceyle birlikte bakıldığında dünyadaki Metrobüs sistemlerin ana yollarda kurulduğunu görüyoruz. Bunun nedenlerini incelersek;

-Nüfus yoğunlukları ana yollar etrafında yüksektir (Aynı zamanda ana yolları yaratan da bu nüfus yoğunluğudur).

-Ana yollar orta ve uzun uzunluktaki hatlara izin vermektedir, bu da Metrobüs'ün mantığına uygundur.

-Ana yollar aynı zamanda iş, alışveriş gibi sebeplerden ulaşım gereksiniminin en yüksek olduğu noktalardır.

-Geçki seçiminde varolan yoğun trafik sesi ve etkilerinin azaltılması da hedefler arasındadır.

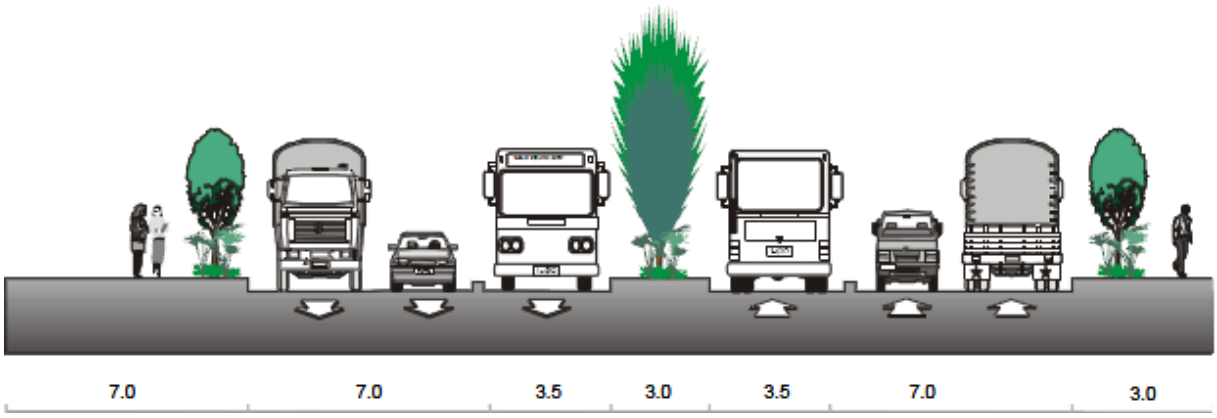
Koridor seçeneklerinin analizi, olası koridorlardaki yol ve kaldırım genişliklerinin ölçülmesiyle başlar. Bazı geçiş yerlerinde geniş ya da dar yollarla karşılaşılır. Koridor boyunca yol çevresinde nelerin olduğu incelenir. Ağaçlık, sanat ürünleri, heykeller, pınarlar vb. Yol genişliğinde kesin bir kural yoktur. Quito şehir merkezinde genişliğin 3 metreye kadar düştüğü görülür. En uygun yol kesitinin orta istasyon, tek şerit Metrobüs yolu, yanında çift

şerit karayolu en sonda da yaya ve bisiklet kullanımı için uygun kaldırım. Şekil 3.4'te geniş, üstü kapalı bir istasyon modeli gözükmektedir.



Şekil 3.4 Bir istasyon modeli (Baysal vd., 2010)

Standart yol genişliği 3,5 metredir. Ancak 3 metreye kadar daraltılabilir, tabi bu durum araç hızlarını düşürür ve kaza riskini arttırır. Şekil 3.5'te akımdan ayrı, orta şeritli Metrobüs kesiti modellenmiştir. Ortadaki 3 metrelik boşluk her zaman kullanılmayabilir.



Şekil 3.5 Metrobüs yol kesiti (Baysal vd., 2010)

Metrobüs geçirilecek yolları inşa etmek için çeşitli yöntemler uygulanır:

1-Orta Metrobüs şeridi artı tek şerit karışık trafik modeli
2-Yalnızca toplu taşımaya ayrılan şerit modeli
3-Çift yönden tek yön uygulamasına geçilmesi
4-Yol ortasında boşluk yaratılması
5- Yol genişletme
6-Yolların ayrılması
7-Karışık trafik modeli

İstanbul'da uygulanan 2. modeldir. Yalnızca Metrobüs araçlarının girebildiği yaya trafiğine kapalı özel şeritler kullanılır. İstanbul, Metrobüs'ün uygulandığı, en yoğun trafiğe sahip şehirlerden biridir. Aynı zamanda şehrin arazi yapısı değişkendir. Karışık bir arazi modeli içinde düzlükler ve yokuşlardan oluşan zor bir geçki meydana çıkar (Güven, 2008).

Özel şeride sahip Metrobüs sistemlerinin bulunduğu koridorda bazı özel düzenlemeler yapılabilir. Buradaki amaç, kapasite ve hizmet kalitesi bakımından raylı sistemlere yakın ve maliyeti raylı sistemlerden daha düşük olan bir Metrobüs sistemi geliştirmektir. Böyle bir kent içi toplu taşıma sistemi geliştirilirken bazı kabuller yapılmalıdır:

- Özel Metrobüs şeridi yerleştirildiğinde, geçki boyunca ana yoldaki şerit sayısı değiştirilmemelidir.
- Kent içi yollarda, Metrobüs şeridi yol boyunca kavşağa kadar devam etmelidir.
- Özel Metrobüs şeridi, yalnızca Metrobüsler tarafından kullanılmalıdır.
- Metrobüs hattına paralel diğer otobüs hatları iptal edilmelidir (Yu ve diğ., 2007).

4. TRAFİK SİMÜLASYONU

Simülasyon (Benzetim), gerçek bir sistemi temsil eden modelin oluşturulması işlemidir. Diğer bir deyişle, gerçek bir sistemin modelini tasarlama süreci ve sistemin davranışını anlamak veya değişik stratejileri değerlendirmek amacı ile geliştirilen bu model üzerinde denemeler yapmaktır (Halaç, 1982).

Trafik akım simülasyonu, çeşitli trafik durumlarına ilişkin ulaştırma seçeneklerinin değerlendirilmesinde kullanılan etkili bir yöntemdir. Son yıllarda akıllı ulaştırma istemleri için önemli bir değerlendirme aracı olarak ortaya çıkmaktadır (Owen ve Zhang, 2000).

Trafik simülasyon modelleri diğer yöntemlerle kolayca uygulanamayan problemlerin analizine yönelik faydalı kullanımlara sahiptir. Trafik simülasyonunun kullanımı için önemli bir neden, gerçek trafiği kesmeden sistemle ilgili deneysel çalışmalara olanak sunmasıdır. Aynı zamanda yapımı düşünülen yol ağlarına yönelik aşağıdaki konuların değerlendirilmesinde kullanılabilmektedir (Olsen, 2000).

- Trafik yönetim tekniklerinin, kapasite, trafik akımı ve yolculuk süresi üzerindeki etkisi,
- Yol değişkenlerinin (işaretleme yerleri, mesaj içeriği vb.) en iyi şekilde ayarlanması,
- Tıkanıklığın etkilerinin azaltılmasına yönelik seçeneklerin değerlendirilmesi.

Trafik simülasyon modelleri temel trafik büyüklükleri olan hacim, hız ve yoğunluk değerlerini elde ederek bunları arz-talep analizi, kapasite analizi, şok dalga analizi ve kuyruk analizi gibi analitik tekniklerle bütünleştirir (Wang, 1996).

4.1. Simülasyon Modellerinin Sınıflandırılması

Trafik simülasyon modellerinin mantığı, trafik işletim tekniklerinin (karayolu veya kent içi sistemler için) uygulanmasına yönelik farklı yaklaşımlara göre değişiklik göstermektedir. Simülasyon modelleri, çalışılacak proje ile ilgili olarak sunabileceği ayrıntı seviyesine göre şöyle sınıflandırılabilirler (Wang, 1996);

- Mikroskobik (çok ayrıntılı).
- Mezoskobik (orta ayrıntılı).
- Makroskobik (az ayrıntılı).

Mikroskobik Model yöntemleri, çok ayrıntılı olarak trafik işletimlerini ve taşıt-sürücü davranışlarını temsil edebilen taşıt-izleme ve şerit-değiştirme kuramlarını esas almaktadır. Bu modeller hızlanma, yavaşlama, şerit değiştirmeler, geçiş manevraları, dönüş hareketleri ve boşluk süresi kabulü (gap acceptance) gibi taşıt/sürücü davranışlarının tanımlandığı mantıksal işlemleri kapsamaktadır.

Mezoskobik Modeller genellikle sistem elemanlarının özelliklerini ayrıntılı olarak temsil eder, ancak etkinlikler ve etkileşimler mikroskobik bir modele göre daha az ayrıntıda tanımlanırlar.

Makroskobik modeller, genellikle otoyol kesimlerindeki yol kapasitesi ve trafik akımının incelenmesi ile geliştirilmiş deterministik ilişkileri esas alırlar. Makroskobik model, sistem elemanlarını ve onların etkinliklerini ve etkileşimlerini düşük ayrıntıda tanımlar.

Başka bir sınıflandırma, kullanılan modeller dikkate alınarak yapılabilir: (1) ***Deterministik*** ve (2) ***Stokastik***.

Deterministik modellerde rasgele değişkenler yer almaz, tüm bağımsız etkileşimler gerçek ilişkilerle (matematiksel, istatistiksel veya mantıksal) tanımlanırlar. Stokastik modeller, olasılık fonksiyonları içeren işlemlere sahiptir. Örneğin, bir taşıt-takip (car-following) modeli kurulurken, sürücü reaksiyon süresini sabit bir değer alarak deterministik ilişki veya rasgele değişken alarak stokastik ilişki tanımlanabilir (Lieberman ve Rathi, 1992).

Çizelge 4.1'de bilinen bazı simülasyon programlarının sınıflandırması yapılmıştır.

Çizelge 4.1 Bazı trafik simülasyonu yazılımlarının sınıflandırılması (Aydın, 2008)

İsim	MİKROSKOBİK	MEZOSKOBİK	MAKROSKOBİK	DETERMİNİSTİK	STOKASTİK	KENT İÇİ	OTOYOL	BİRLEŞİK*
NETSİM	X				X	X		
NETFLO 1		X			X	X		
NETFLO 2			X	X		X		
FREFLO			X	X			X	
ROADSIM	X				X	X		
FRESIM	X				X		X	
CORSIM	X				X			X
INTEGRATION		X			X			X
DYNASMART		X		X		X		
TRANSIMS		X			X			X
AIMSUN 2	X				X			X
DRACULA	X				X	X		
SITRA-B +	X				X	X		
PARAMICS	X				X			X
VISSIM	X				X			X

* Kent içi+otoyol

4.2. Mikrosimülasyon

Mikrosimülasyon, mevcut ulaşım sisteminin başarımı ve potansiyel gelişmesi üzerinde çok çeşitli bilgilerle analiz yapmayı sağlar. Mikrosimülasyon aynı zamanda, uzun zaman harcanan ve zengin kaynaklar gerektiren bir etkinliktir. Minimum maliyetle maksimum etkili bir mikrosimülasyon analizi gerçekleştirmek için bazı önemli kurallar vardır.

- Mikrosimülasyona uygun yazılımlar kullanmak gereklidir; uygun değilse mikrosimülasyon analizi yapılamaz. Araçların sınırları anlaşılmalıdır ve trafik akımlarının temsil edildiği garanti edilmelidir. Amaca, gereksinimlere, çalışma konusuna ve sorulan sorulara verilebilecek yanıtlara uygun olduğu doğrulanmalıdır.

- Yeterli zaman ve kaynak yoksa mikrosimülasyon analizi kullanılmaz. Yanlış uygulama yaratıcılığı azaltır, anlaşmazlıklara ve tartışmalara sebep olabilir.

- İyi bir mikrosimülasyon modeli sonucu için, kullanılan veriler çok önemlidir.

- Uygulamacının yerel duruma göre mikrosimülasyon modelini kalibre etmesi çok önemlidir.

- Mikrosimülasyon modelinin çıktıları *Highway Capacity Manual* (HCM)'den farklıdır. Mikrosimülasyonun mikroskobik bakışına göre "gecikme" ve "kuyruklanma" gibi anahtar terimlerin tanımları HCM'deki makroskobik bakıştan farklıdır.

- Mikrosimülasyon modelinin gelişmesindeki önceliklere, yazılımların mühendislik kararlarını nasıl destekleyeceği göz önüne alınarak karar verilir. Bilinen sınırlamalar konulur.

- Kullanıcılar arasındaki görüş ayrılıklarını minimuma indirmek için, model geliştirme ve kalibrasyon sürecinde öngörülen güncelleme zamanlarında sürekli değerlendirmeler yapılır (Uncu, 2006).

4.2.1. Mikrosimülasyonun Faydaları

Trafik akımının özellikleri ve kuyruklanmanın anlatıldığı ikinci bölümde bahsedilen matematiksel ve fiziksel ölçütlerin birçoğu mikrosimülasyon yazılımlarında bulunmaktadır. Mikrosimülasyon yazılımlarının bize çıktı olarak sağladığı en önemli veriler yine trafik akım kuramının temel değişkenleri olan akım, hız ve yoğunluktur.

Mikrosimülasyonun gerek görsel anlaşılabilirliği gerekse de çıktıları, kuyruk kuramı ile ilgili yapılması gereken birçok hesaptan bizi kurtarabilir. Dünyada yaygın kullanılan ve kullandığı modeller geçerlilik kazanmış mikrosimülasyon yazılımlarını kullanılarak, herhangi bir kesimde maksimum ve ortalama kuyruk boyları elde edilebilir. Aynı zamanda yol geometrisinde küçük değişiklikler yaparak ya da darboğaz noktalarını değiştirerek farklı senaryolar için kolayca kuyruklanmalar ile ilgili sonuçlar alabiliriz.

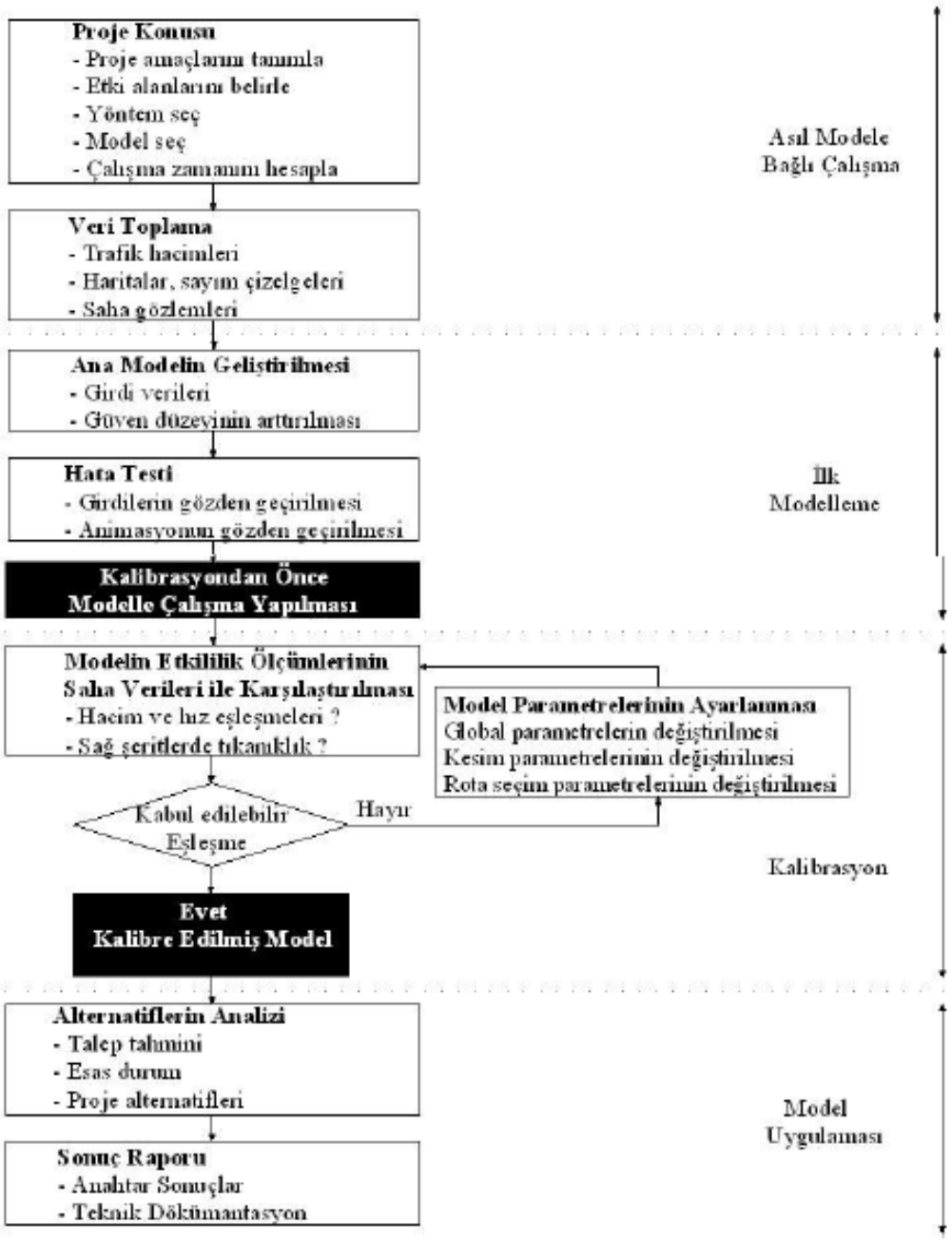
Mikrosimülasyon çalışması yapmak için öncelikle çalışılan konuyu kuramsal olarak bilmek gerekmektedir. Böylelikle mikrosimülasyondan çıkan sonuçlar doğru analiz edilebilir ve anlaşılabilir. Yine kullanılan mikrosimülasyon yazılımının da kuramsal alt yapısını ve çalışma mantığını da bilmek gerekmektedir (Uncu, 2006).

4.2.2. Mikrosimülasyon Aşamaları

Özel bir trafik analiz problemi için mikrosimülasyon uygulaması ve geliştirilmesi altı aşamadan oluşur:

1. Çalışmanın amacı, konusu ve yönteminin belirlenmesi.
2. Veri toplanması ve hazırlanması.
3. Ana modelin geliştirilmesi.
4. Hata testi.
5. Model kalibrasyonu.
6. Sonuç raporu ve teknik belgelendirme.

Her aşama aşağıda özetlenmiştir ve ileriki bölümlerde daha ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Bütün bu süreçleri içeren bir akış şeması Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Bu akış şemasında kalibre edilen modelin uygulama için geçerli (valid) olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 4.1 Mikrosimülasyon modeli gelişimi ve uygulama süreci (Dawling, 2004)

Çalışmanın Amacı, Konusu ve Yönteminin Belirlenmesi

Mikrosimülasyon çalışmasının yöntemiyle ilgili kilit noktalar şunlardır:

- Modeli geliştirmek ve değerlendirmek için yeterli derecede uzman olunmalıdır.
- Mikrosimülasyon modelini geliştirmek ve kalibre etmek için yeteri kadar zaman ve kaynak sağlanmalıdır.
- Model geliştirme süreci ve kalibrasyon sonuçları için uygun raporlama yapılmalıdır.

Veri Toplanması ve Hazırlanması

Bu aşama mikrosimülasyon analizi için gerekli olan tüm verilerin toplanmasını ve hazırlanmasını içerir. Mikrosimülasyon modelleri aşağıda belirtilen geniş kapsamlı girdi verilerine gereksinim duyarlar:

- Geometri (uzunluklar, şeritler, eğimler)
- Kontroller (sinyaller, sinyal süreleri)
- Mevcut talepler (dönüş hacimleri, başlangıç-son (B-S) matrisleri)
- Kalibrasyon verileri (kapasiteler, yolculuk süreleri, kuyruklanmalar)
- Toplu taşıma, bisiklet ve yaya verileri

Hata testi ve kalibrasyon için gerekli kapasiteler herhangi bir anda ölçülebilirken, diğer kalibrasyon verileri (yolculuk süreleri, gecikmeler ve kuyruklanmalar) trafik sayımları ile eş zamanlı ölçülmelidir.

Ana Modelin Geliştirilmesi

Ana modelin geliştirilmesinin hedefi, doğru, gerçek ve geliştirilebilen bir model oluşturmaktır. Bu, karmaşık ve zaman gerektiren bir süreçtir ve adımları, mikrosimülasyon analizini temsil eden simülasyon yazılımına göre değişir. Model geliştirmenin ayrıntıları, yazılımların kullanıcı kılavuzlarında açıklanmıştır ve bu sebeple model geliştirme süreci değişkendir. Burada model geliştirme sürecine genel bir bakış sağlanmaktadır.

Mikrosimülasyon modeli geliştirme yöntemi, model tamamlanana kadar modelin bazı katmanlarının en iyi şekilde oluşturulması olarak düşünülebilir. İlk katman (bağ-düğüm diyagramı) modelin temelini oluşturur. Daha sonra bu temel üzerine ek olarak trafik kontrolleri ve bağ işletimi eklenir. Bu temel ağın üzerine yolculuk talebi ve yolculuk

edenlerin davranışı eklenir. Son olarak, sahadan elde edilen veriler, model geliştirme hedefini tamamlamak için girdi olur. Model geliştirme süreci tümüyle bu sırayı izlemek zorunda değildir; bununla birlikte, bu katmanlardan her biri herhangi bir simülasyon modelinde bir şekilde gereklidir. Model geliştirme aşaması, model başlangıcında girdi kodlama hatalarını azaltmak için, kalite güvence / kalite kontrol (KG/KK) planının geliştirilmesi ve uygulanmasını içermek zorundadır.

Hata Testi

Hata testi, model kodlama hatalarını tanımlamak ve düzeltmek için gereklidir fakat model kalibrasyonu ile karıştırmamak gerekir. Kodlama hataları model kalibrasyon sürecini saptırabilir ve kalibrasyon parametreleri için hatalı değerlerin kullanılmasına sebep olabilir. Hata testi girdi kodlama hatalarını belirlemek amacı ile kendi içinde çeşitli testler içerir.

Model Kalibrasyonu

Her mikrosimülasyon yazılım programı, yerel koşullara daha iyi uyum sağlamak amacı ile yapılacak kalibrasyon için, kullanıcının ayarlayabileceği parametrelere sahiptir. Bu parametre ayarlamaları vazgeçilmezdir, çünkü hiçbir mikrosimülasyon modeli kapasite ve trafik işletimini etkileyebilecek tüm olası etkenleri (yol içerisinde veya yol dışında) içermez. Model kalibrasyonu, bu parametrelerin en iyi değerlerini belirlemek amacı ile modelin kalibrasyonunu ve tekrarlı işletimi için bazı parametrelerin seçimini içerir. Bu, zaman alan bir süreç olabilir. Kalibrasyon işlemi çok iyi belgelendirilmelidir, çünkü modeli sonradan analiz edenler kalibrasyon sırasında yapılan parametre değişikliklerinin mantığını anlayabilmelidirler.

Kalibrasyon sürecindeki kilit noktalar şunlardır:

- Model kalibrasyon amaçlarının belirlenmesi.
- Kalibrasyon hedeflerine ulaşmak için yeterli zaman ve kaynak ayrılması.
- Karayolu ve kavşak kapasiteleri ile en iyi eşleşen uygun kalibrasyon parametrelerin seçiminin yapılması.
- Mevcut geçki seçim parametrelerini en iyi temsil eden kalibrasyon parametre değerlerinin seçiminin yapılması.
- Yolculuk süresi, gecikmeler ve kuyruklanmalar gibi tüm sistem başarım ölçümlerinin model genelinde kalibrasyonunun yapılması (Uncu, 2006).

Model Doğrulaması

Doğrulama aşaması, modelleme mantığını oluşturan ve istenen çıktıları veren bilgisayar kodlamasının belirlenmesi aşamasıdır. Eğer bilgisayar model çıktıları tutarlıysa model doğrulaması başarılı sayılabilir.

Trafik modeli doğrulamasının iki hedefi vardır:

- Program kodu, girilen veriler ışığında tutarlı sonuçlar vermelidir.
- Çıktıların, girdi verilerinden etkilenme oranlarını belirlemek için duyarlılık testlerinin uygulanması.

Model Geçerliliği

Model geçerliliği, modelin altında yatan temsil yönteminin verdiği sonuçların gerçeği (saha verilerini) yansıtıp yansıtmadığının belirlenmesidir.

Geçerlilik işleminin üç amacı vardır:

- Modelin kabiliyetlerini yansıtan ölçülerin, belirli bir uygulama alanı için seçilmiş ölçütler (analitik çözüm veya saha verileri) ile uyuşmasını sağlamak,
- Uygun bir geçerlilik için, belirli aralıklarda, parametre örnekleri sağlamak,
- Modelin duyarlılık analizinin sonuçlarını elde etmek (Rakha ve diğ., 1996).

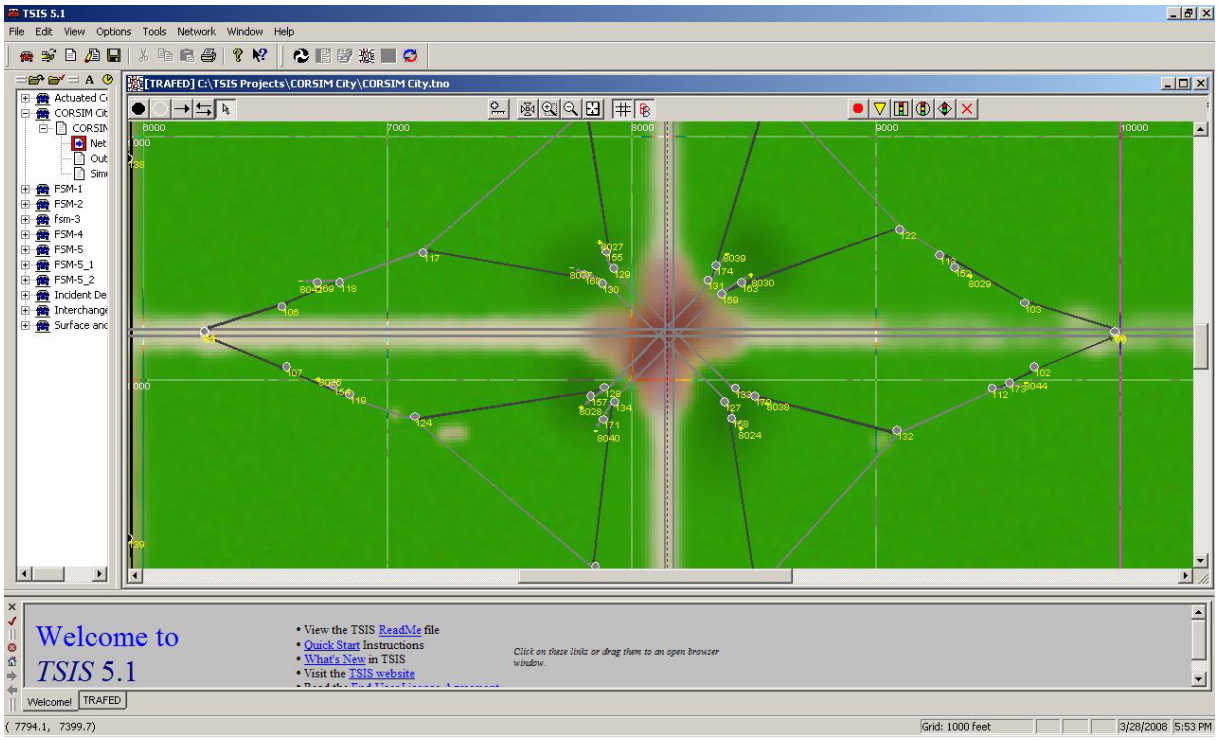
4.3. CORSIM (CORridor SIMulation)

CORSIM (CORridor SIMulation), en yaygın kullanılan mikroskobik trafik simülasyon programlarından biridir. Son yıllarda binlerce uygulaması yapılmış ve kabul gören bir program haline gelmiştir (Owen ve Zhang , 2000).

CORSIM mantığının geliştirilmesine ilk olarak 1970'lerin başında başlanmıştır. CORSIM programı, FHWA (Federal Highway Administration)'nın sponsorluğu altında hem simülasyon hem de yazılım mühendisliği anlamında bir çok önemli iyileştirmelerden ve yenilemelerden geçmiştir. Yakın bir zamanda CORSIM trafik simülasyon modelinin yürütülmesi için bütünleştirilmiş ve kullanıcı dostu bir arabirim olan TSIS yazılım paketi geliştirilmiştir.

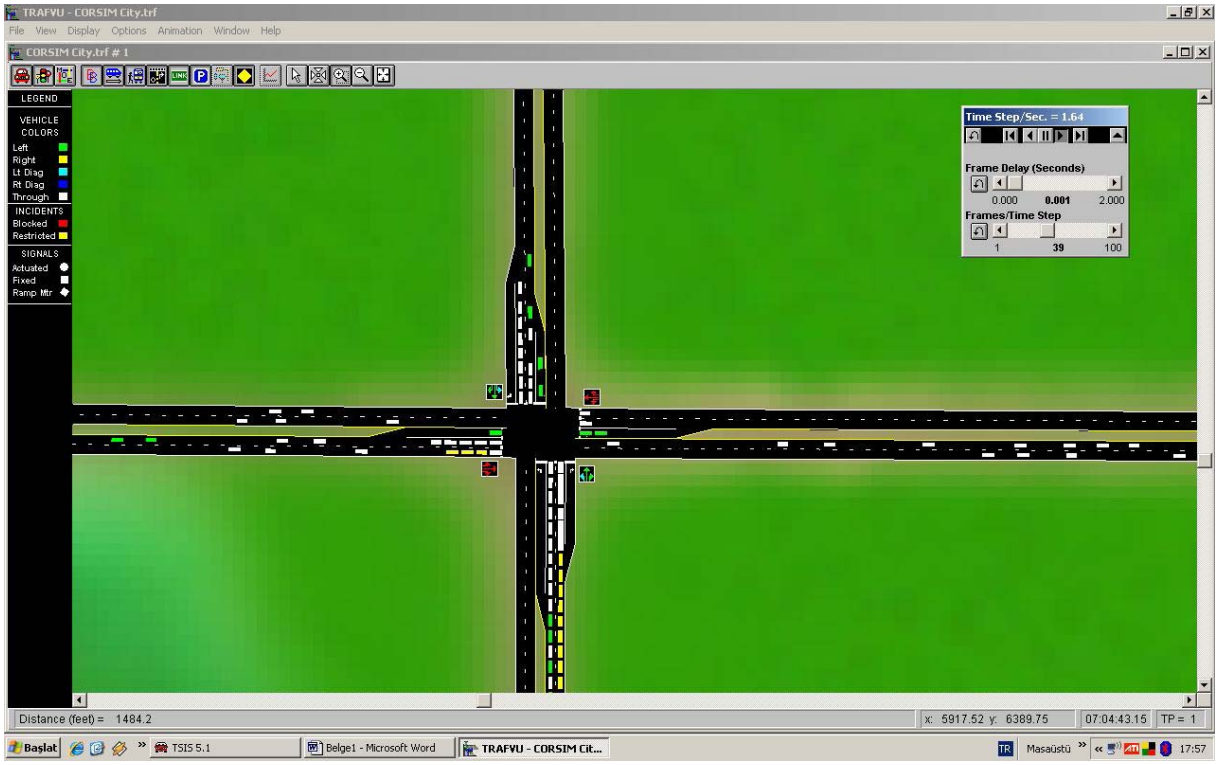
CORSIM simülasyon modeli, otoyolların, kent içi cadde ve geçişlerin veya ağların analizi için tasarlanmıştır. CORSIM ana simülasyon modülü, FRESIM ve NETSIM olmak üzere iki simülasyon modelinin bütünleştirilmesiyle oluşturulmuştur. FRESIM, kesintisiz hizmet veren bölünmüş ekspres yollar ve otoyollardaki trafiğin, NETSIM ise kent içi (örneğin, eşdüzey kavşaklı yollar) trafiğinin analizinde kullanılan simülasyon programıdır (Aydın, 2008).

CORSIM, TSIS versiyon 5.1 yazılımı ile kent içi ve otoyol trafiğini birlikte çalıştıracak şekilde simülasyon yapabilmektedir. Ayrıca TSIS yazılımının TRAFED (grafiksel ağ düzenleyicisi) ve TRAFVU (görselleştirme aracı) olmak üzere iki anahtar elemanı bulunmaktadır. TRAFED, kullanıcının trafik ağlarını kolayca oluşturmasını ve eklentiler yapmasını sağlamaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 TRAFED ekran görüntüsü

TRAFVU (çıktı işlemcisi) ile kullanıcıya oluşturulan ağın grafiksel görüntüsü verilebilmekte ve animasyon aracılığıyla ağ başarımını değerlendirmesine olanak sağlanmaktadır (Bloomberg ve Dale, 2000), (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 TRAFVU ekran görüntüsü

4.3.1. FRESIM Simülasyon Modeli

FRESIM, otoyol trafik işletiminin modellenmesine duyarlı, mikroskobik, stokastik ve zaman tarayıcılı bir simülatördür. Bireysel taşıt hareketlerini ve sürücü davranışlarını modeller. FRESIM ağı, bağlar (-link- örneğin, tek yönlü karayolu kesimleri) ve düğümlerden oluşmaktadır.

FRESIM modelindeki taşıt işletimlerinin simülasyon mantığı aşağıdaki başlıklar altında ayrıntılı olarak tanımlanmaktadır (Middleton ve Cooner, 1999):

Taşıt Hareketi Mantığı

Taşıtlar genellikle 1 saniye aralıklı zaman adımları içinde sınıflandırılırlar. Her taşıt, hareket halinde (öncül ve artçıl durumda), kuyrukta, durmuş halde, bir trafik ışığının gerisinde durmuş halde ve akım aşağı hareket halinde oluşlarına göre sınıflandırılırlar. Taşıt yavaşlaması, taşıt-takip mantığı ve kinematik yasası uygulanarak kontrol edilir. Öncül taşıt hızlanması maksimum sarsma değerine (jerk value) bağlı olmaktadır ve son hızları (resulting speeds) istenilen serbest akım hızından daha aşağıda tutulur. Artçıl taşıtlar, öncül araçları (Pitt) taşıt-izleme modelini esas alarak izlerler (Aydın, 2008).

Şerit Değiştirme Mantığı

FRESIM modeli, üç çeşit şerit değiştirme durumu dikkate alır; zorunlu, rasgele ve isteğe bağlı. Her bir taşıt, istenilen şerit değişikliği için her bir zaman adımında incelenir (taranır). Şerit değiştirmeden sonra, taşıtın 3 saniyelik süre zarfında (boşluk süresince) değiştirdiği şeritte kaldığı düşünülür. Rasgele ve isteğe bağlı şerit değiştirmeler bu süre zarfında engellenir. Zorunlu şerit değiştirmeler bu sürenin bitişine bağlı değildir ve akım aşağısının geometrik durumuna bağlı olarak herhangi bir zaman adımında yapılabilir. Bir taşıtın şerit değiştirebilmesi için kabul edilebilir izleme uzunluğu bulunmalıdır. İzleme uzunluğu kabulü, hedef şeritteki öncül taşıtla çarpışmasını önleyecek şekilde ve şerit değiştiren taşıtın yeterli yavaşlama ivmesi göz önüne alınarak modellenir (Aydın, 2008).

Bir Hızlanma Şeridindeki Taşıt Davranışı

Taşıtların anayola katılımları istenilen serbest akım hızında gerçekleşir. Bu taşıtlar hızlanma şeridine girdiklerinde anayol trafiği ile örülmeyi (girişimi) kolaylaştırmak için taşıtlara istenilen yeni bir serbest akım hızı belirlenir. Bu, ilk olarak yan şeritteki taşıt hızlarının taranmasıyla gerçekleştirilir. Bu hızların ortalaması alınır ve hızlanma şeridindeki taşıta atanarak taşıtın istenilen serbest akım hızına ulaşması sağlanır. Bu da anayol trafiği ile daha yumuşak bir birleşmeyi sağlamaktadır. Katılım gerçekleştikten sonra istenen serbest hız değeri sıfırlanır (Aydın, 2008).

Taşıt Yaratımı

Taşıtlar, giriş düğümlerinden tercih edilen dağılım türlerine (düzenli-uniform, normal veya Erlang dağılımı) göre otoyola giriş yaparlar. Örneğin, *düzenli* taşıt yaratımı seçildiğinde, 1800 taşıt/sa akım oranı düşünülürse, her iki saniyede bir aracın otoyola girişi sağlanmaktadır. Otoyola giriş yapan her taşıtın ilk konumu, giriş bağlantısının ucundan 15 cm akım aşağısıdır. Otoyola giren her taşıta rasgele olarak taşıt ve sürücü nitelikleri atanır (Aydın, 2008).

Başlangıç-Son Mantığı

FRESIM modeli her bir kesişim noktası için dönüş hareketleri yüzdesinin girdi olarak verilmesine olanak sağlamaktadır. Her bağda yolculuk eden taşıt sayılarının hesaplanmasında çekim (gravity) modelini esas alan yolculuk dağılım modeli kullanılır. Ayrıca, B-S

(Başlangıç-Son) matrisi, belirli nokta çiftleri arasında bulunan bağlar üzerindeki taşıt sayıları cinsinden tanımlanırsa, çekim modeli kullanılmaz (Aydın, 2008).

Katılım Kontrolü Mantığı

FRESIM modeli katılım kontrolünde dört yöntem kullanılabilir. Bunlar, zamana bağlı kontrol, talep/kapasite ölçüm yöntemi, hız kontrolü ölçüm yöntemi ve boşluk kontrolü yöntemi.

4.3.2. FRESIM Modeli Girdileri ve Çıktıları

Girdiler açısından FRESIM modeli üç ana sınıfta incelenebilir: Geometrik özellikler, akım oranı değerleri ve işletim özellikleri. FRESIM modelinin analizinde Çizelge 4.2'de verilen tüm veri elemanları girdi olarak kullanılabilmektedir (Middleton ve Cooner, 1999).

Çizelge 4.2 Üç sınıfta incelenen girdi veri bileşenleri (Aydın, 2008)

Geometrik Özellikler	Akım Oranı Değerleri	İşletim Özellikleri
•Şerit sayısı •Şerit genişliği •Şerit ekleme •Hızlanma ve yavaşlama şeridi •Boyuna eğimler •Yatay dönemeç •Şerit ayırma	•İlk düğümün olduğu bölüme girilen toplam hacim •Katılım ve ayrım hacimleri	•Stokastik sürücü tipleri •Taşıt tipleri •Kaza/arıza durumlarında etkilenme •Taşıt takip duyarlılık etkeni •Kaza/arıza durumları •Katılım kontrolü •Gözlemleme sistemleri •Uyarı işaretleri •Ağır taşıtlar için şerit ataması

4.4. CORSIM Ana Varsayılan Parametreleri

CORSIM modelinde önceden tanımlanmış önemli birçok parametre vardır. Bu kısımda CORSIM modelinin bir bileşeni olan FRESIM modeliyle ilişkilendirilerek bu önemli parametreler tanıtılacaktır. CORSIM modelindeki girdi verileri, numaralandırılmış kayıt tipleriyle (record types) düzenlenmektedir. Bazı önemli varsayılan parametreler şunlardır (Middleton ve Cooner, 1999):

- Yürütme kontrolü
- Otoyol bağ işletimi
- Taşıt-İzleme duyarlılık faktörü
- Yol kaplama sürtünme katsayıları ve hızlanma ve/veya yavaşlama süresi
- Şerit değiştirme parametreleri, taşıt yaratımı için minimum ayrım ve maksimum ani olmayan yavaşlama
- Taşıt tipi özellikleri

Yürütme Kontrolü

Bu kayıt tipi, kullanıcı tarafından çalıştırıldığında simülasyon modelinin nasıl işleyeceğine ilişkin temel unsurları kontrol eder. CORSIM, giriş yapan taşıtlar arasındaki tüm izleme sürelerini, 3600/Akım oranı (taş/sa) olarak tanımlanan varsayılan düzenli izleme sürelerine ayarlar. Bu, rasgele olmayan dağılım yöntemidir. Kullanıcı bu varsayılan değer yerine, normal veya Erlang dağılımına uygun biçimde taşıtları rasgele (stokastik) olarak üretebilir.

Otoyol Bağ İşletimi

Bu kayıt tipi, oluşturulmuş ağda yer alan otoyol bağlarının işletimlerini kontrol eden önemli parametreleri içerir. Bazıları şunlardır:

- Varsayılan yol yüzeyi: kuru asfalt betonu
- Varsayılan ilk hareket ortalama gecikmesi (saniyenin onda biri cinsinden) 10'dur. Bu girdi model tarafından taşıtların katılım kontrolünden otoyola boşalmasında kullanılır.
- Varsayılan serbest akım hızı değeri: 105 km/sa (65 mil/sa).
- Kullanıcı, varsayılan değer yerine 0 ile 110 km/sa arasındaki hızları kabul edebilir.

- Varsayılan ağır taşıt hareketi kodlaması: sıfır (taşıt trafiğinde ağır taşıtın olmadığı varsayılmıştır).
- Otoyol ayrımına yaklaşımlarda sürücüleri uyarı niteliği taşıyacak işaret, ayrımdan 762 m (2500 ft) (varsayılan) önceden konumlandırılır.

Taşıt-İzleme Duyarlılık Faktörü

Bu kayıt tipi, modelde taşıt izleme sırasındaki sürücü davranışlarının kontrolünde kullanılan taşıt-izleme duyarlılık faktörünü içerir. FRESIM modelindeki bu faktör sayesinde, sürücüler varsayılan duyarlılık faktörü doğrultusunda öncül taşıtları istenilen biçimde izleyebileceklerdir. Bu duyarlılık faktörü sürücüden sürücüye farklılık göstermektedir. Çizelge 4.3'de varsayılan değerler gösterilmektedir. Çizelgede sürücü tipleri, 1 (en sakin)'den 10 (en atılgan)'a kadar sıralanmaktadır. Her sürücü, önündeki taşıtla olan uzaklığını, sabit izleme uzaklığı referans olmak üzere, bu uzaklığın çizelgedeki duyarlılık faktörü ile çarpılmış değerine ayarlar.

Çizelge 4.3 Varsayılan taşıt-izleme duyarlılık faktörleri

SÜRÜCÜ TİPİ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DUYARLILIK FAKTÖRÜ	1,25	1,15	1,05	0,95	0,85	0,75	0,65	0,55	0,45	0,35

Yol Kaplaması Sürtünme Katsayıları ve Hızlanma ve/veya Yavaşlama Süresi

Yol kaplaması sürtünme değerleri, bir dönemeçteki (kurp) en yüksek hızın hesaplanmasında kullanılır. Tüm kaplama yüzeyleri için varsayılan yanal sürtünme katsayısı 0,16'dır. Kullanıcı bu değeri 0 ile 1,0 aralığında olmak üzere değiştirebilir. Ayrıca, hızlanma ve yavaşlama süresi değerleri de ayarlanabilir. Değerler için kabul edilebilir bir aralık önerilmemesine karşın, bu değerlerde değişiklik yapılabilir.

Şerit Değiştirme Parametreleri, Taşıt Yaratımı İçin Minimum Ayrım ve Maksimum Ani Olmayan Yavaşlama

Bu kayıt tipi, şerit değiştirme, taşıt yaratımı ve ani olmayan yavaşlama ile ilişkilendirilmiş birçok parametreyi kontrol etmektedir. Bunlardan bazıları şunları içermektedir:

- Bir şerit değiştirme manevrasının tamamlanma süresi: 3,0 sn
- Taşıt yaratımı için minimum izleme süresi: 1,8 sn

- Sürücülerin sağ şeride geçme isteği – yol verme oranı (nezaket faktörü / courtesy factor): %20
- Maksimum ani olmayan yavaşlama ivmesi (otoyol): 2,4 m/sn^2 (8,0 ft/sn^2) (Aydın, 2008)

Taşıt Tipi Özellikleri

Simülasyon modelindeki tüm taşıt filosunun işletim başarım özelliklerinin tanımlanmasında kullanılan taşıt tipi tanımlarını içermektedir. Bazı ek varsayılan parametreler şunlardır:

- Varsayılan sarsma değeri (Jerk; ivmenin birim zamanda değişimi) tüm taşıt tipleri için 2 m/sn^3 (7 ft/sn^3)'tür.
- Varsayılan maksimum yavaşlama ivmesi, %0 eğim ve kuru yüzey kaplamasında, tüm taşıtlar için 4,5 m/sn^2 (15ft/sn^2)'dir. 0-15 aralığında kullanıcı bu değerde değişiklik yapabilir.

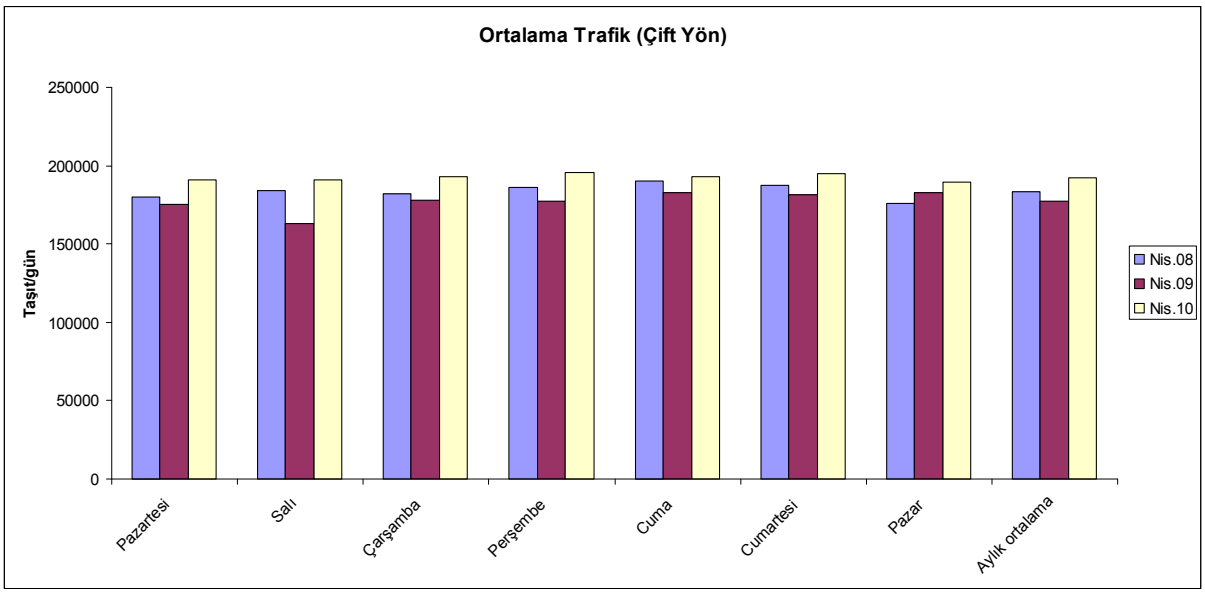
CORSIM, taşıt kompozisyonunda yalnızca dört farklı filoya (otomobil, kamyon, otobüs, ve taşıt paylaşımı-carpool) izin verir ve önceden tanımlanmış dokuz taşıt tipi mevcuttur. Varsayılan taşıt tipi olarak otomobil filosu kullanılır. Diğer taşıt tiplerinin tanımlanması ancak kullanıcı tarafından veri girişi yapılarak mümkün olmaktadır. CORSIM'i oluşturan NETSIM ve FRESIM'in alt ağlarının kendi taşıt tanımlama numaraları vardır (FHWA, 2000).

5. METROBÜS HİZMETİNİN BOĞAZİÇİ KÖPRÜSÜ TAŞIT GEÇİŞLERİNE ETKİSİ

2009 yılının Mart ayında hizmete giren Zincirlikuyu – Söğütlüçeşme Metrobüs hat kesiminin, Boğaziçi Köprüsü geçişlerine etkisi incelenmiştir. Bu bölümdeki inceleme, köprüyü geçen günlük/saatlik ortalama taşıt sayılarından yararlanılarak yapılmıştır. Metrobüsten önceki ve sonraki durum değerlendirmesi için, 2008, 2009 ve 2010 Nisan ayı taşıt sayıları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu sayıları elde etmek için iki veri kaynağından yararlanılmıştır: RTMS (Remote Traffic Microwave Sensor) kayıtları (İBB radarlarından) ve Gişe geçiş sayıları (Köprü Başmühendisliği OGS (Otomatik Geçiş Sistemi)-KGS (Kartlı Geçiş Sistemi) kayıtlarından). RTMS 60 ve 84 numaralı radarlar Avrupa yakasında köprüye yakın bir noktada konumlandırılmıştır (yaklaşık km 18+750). RTMS 60 Avrupa-Asya ve RTMS 84 Asya-Avrupa yönündeki trafiği algılamaktadır. Sabah ve akşam zirve saatlerdeki ek şerit uygulamaları nedeniyle, ek şeritteki trafiği karşı yöndeki radar algılar. Böylece, aynı yol kesitinde karşılıklı olarak konumlandırılmış bu iki radar, Boğaziçi Köprüsü'nden iki yönde geçen trafiği algılamaktadır. Yani, iki radarın 24 saat boyunca okuduğu taşıt sayıları toplamı, köprüdeki günlük taşıt sayısını (iki yöndeki toplamı) vermektedir. Boğaziçi köprüsünden geçen taşıtlar Avrupa-Asya yönünde Asya yakasında konumlandırılmış OGS ve KGS şeritlerinde/gişelerinde ödeme yaparlar. Böylece, kaydedilen taşıt sayıları yalnızca Avrupa-Asya yönündekiler olmaktadır. Ancak, Boğaziçi köprüsünün ağırlıklı olarak kent içi trafiğine hizmet vermesi nedeniyle, köprüyü geçen taşıtların gün içinde geri döndüğü kabul edilebilir. Buna göre, iki yöndeki RTMS ve tek yöndeki gişe geçiş hacim kayıtları karşılaştırılabilir; yani, RTMS hacim toplamı gişe kayıtlarının iki katı olmaktadır.

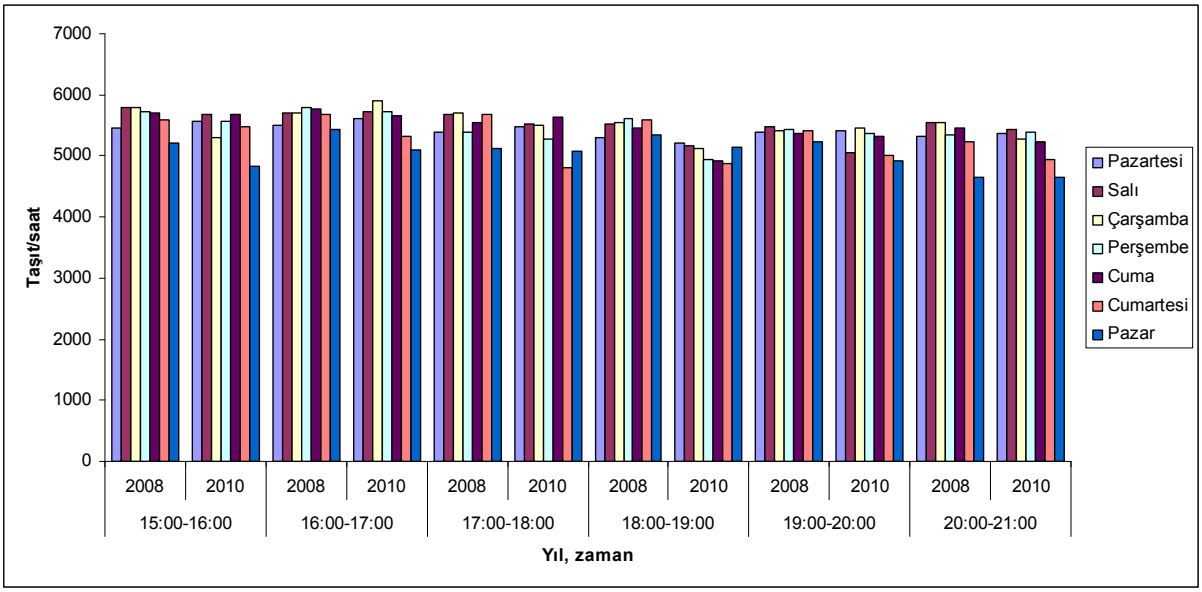
Yukarıda da belirtildiği gibi, RTMS 60 ve 84 numaralı radar kesitlerinde okunan taşıt sayıları toplamı, köprüyü kullanan taşıt sayıları hakkında bilgi vermektedir. Haftanın günlerine ait veri ortalamaları Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere, Metrobüs yapımının tamamlandığı, 2009 Mart ayından sonraki Nisan ayında günlük trafik, 2008 yılı günlük trafiğine oranla bir düşüş göstermiştir. Bu düşüşte 2009 yılındaki ekonomik krizin taşıt kullanımına olan olumsuz etkisi göz ardı edilmemelidir. Nisan 2010'da ise Nisan 2008 tarihindeki günlük trafikten daha fazla bir trafik görülmektedir (Şekil 5.1). 2010 yılı trafiğindeki artışın çeşitli sebepleri olabilir. Metrobüs hattının yapılması ile birlikte 1. Çevre Yolu üzerindeki otobüs hatlarının büyük kısmının kaldırılması sonucu, araç sahipleri trafiğin

rahatlamış olduğunu düşünerek, tekrar özel araçlarıyla yolculuk etmeye başlamış olabilirler. Ayrıca, 2009 yılındaki ekonomik krizin olumsuz etkilerinin azalması, bu artışa yol açmış olabilir. Bu konu hakkında daha sağlıklı sonuçlara ulaşabilmek için taşıt sürücülerinin tercihleri üzerine daha ayrıntılı çalışma yapılması doğru olacaktır.



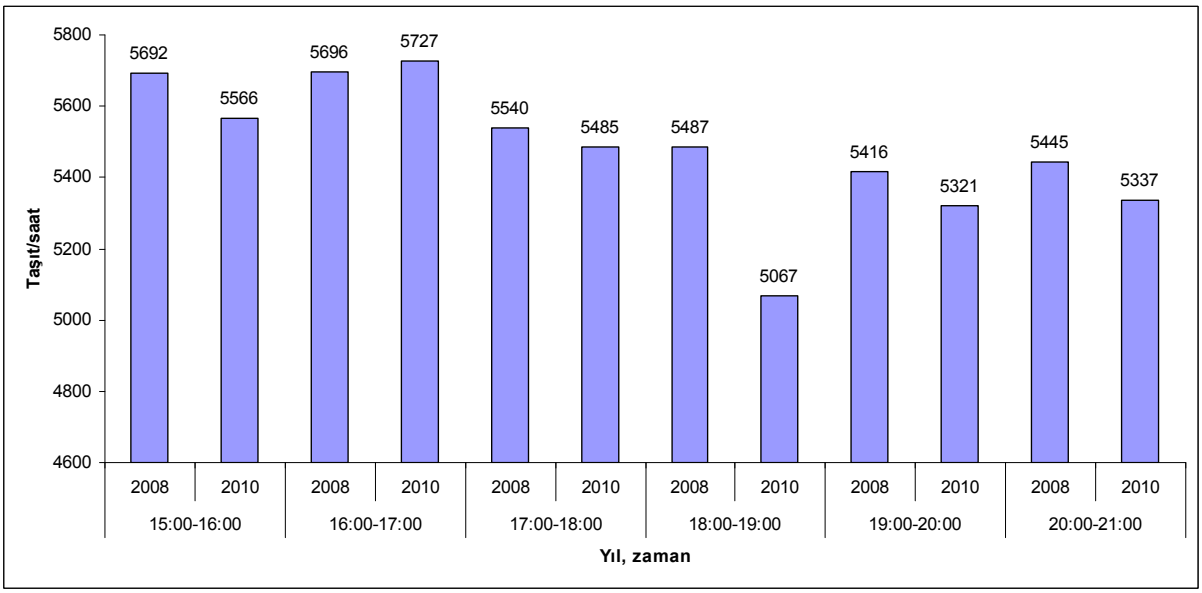
Şekil 5.1 60 ve 84 numaralı radar kesitinde günlere göre ortalama taşıt sayıları

Avrupa – Asya yönünde, 60 numaralı radarda okunan veriler yardımıyla (yalnızca 3 ana şeritteki okumalar), 2008 ve 2010 yılı Nisan ayına ait, akşam zirve saatlerini kapsayan 15:00 ila 21:00 saatleri arasında, günlere göre saatlik ortalama trafik incelemesi yapılmıştır (Şekil 5.2).



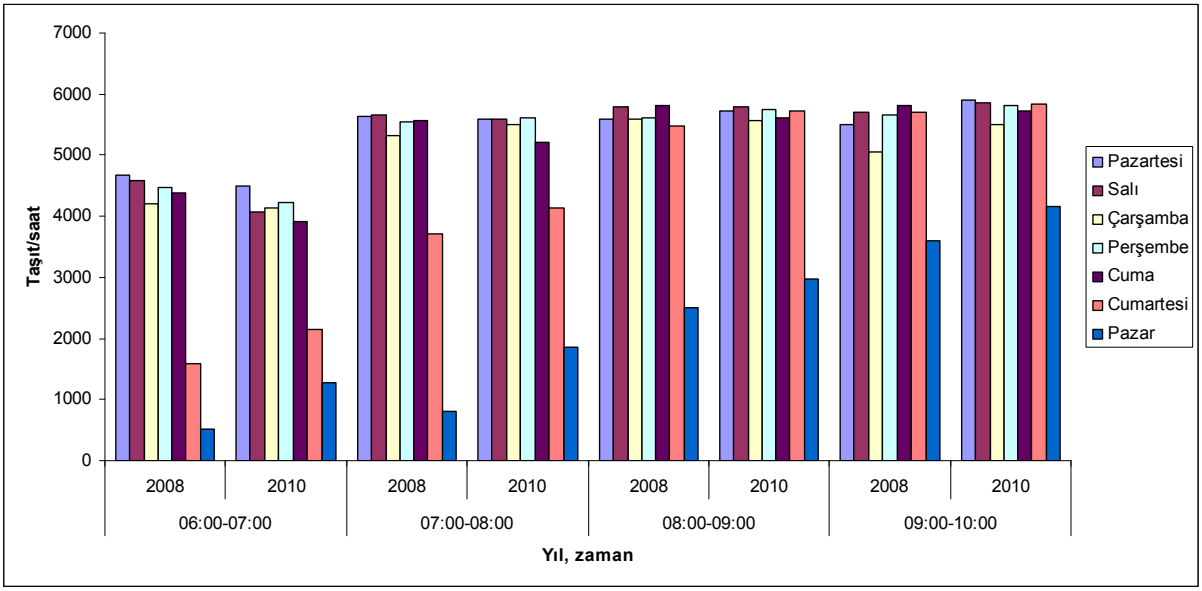
Şekil 5.2 Avrupa – Asya yönü akşam zirve trafiği (3 ana şerit toplamı)

Bu incelemede, 2008 yılı ile 2010 yılı karşılaştırmasında zirve saat trafiğinde, 18:00-19:00 saatleri dışında, bir değişiklik görülmemektedir. 18:00-19:00 saatleri arasında 2010 yılında, 2008 yılına oranla bir azalma görülmektedir (Şekil 5.3).

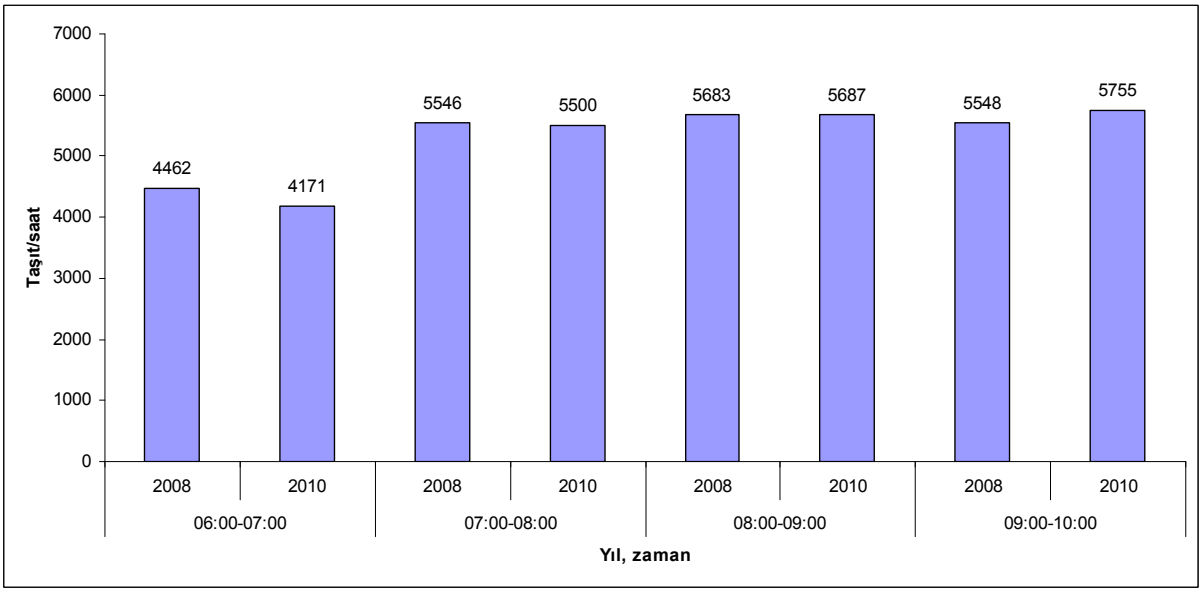


Şekil 5.3 Avrupa - Asya yönü zirve saati, hafta içi ortalama trafiği (3 ana şerit)

Asya – Avrupa yönünde, 84 numaralı radarda okunan taşıt sayısı verilerinden yararlanılarak (yalnızca 3 ana şeritteki okumalar), sabah zirve saatleri olan 06:00 ile 10:00 arasında, 2008 ve 2010 yılı trafik değişimi incelenmiştir (Şekil 5.4). İncelemede hafta içi trafiğinde dikkate değer değişiklik gözlenmemiştir (Şekil 5.5). Hafta sonu 06:00-08:00 saatleri arasında 2010 yılı trafiğinde 2008 yılına oranla artış gözlenmiştir.

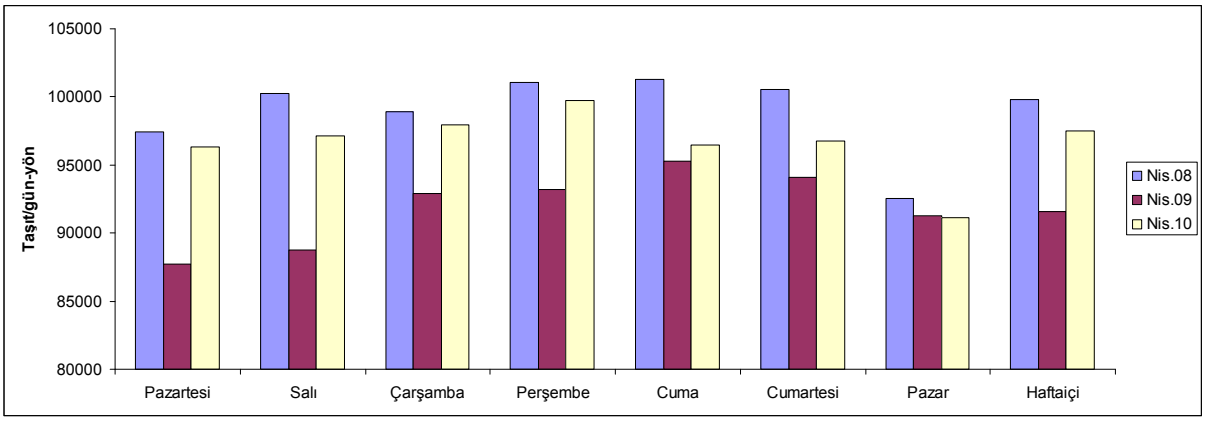


Şekil 5.4 Asya – Avrupa yönü sabah zirve trafiği (3 ana şerit toplamı)

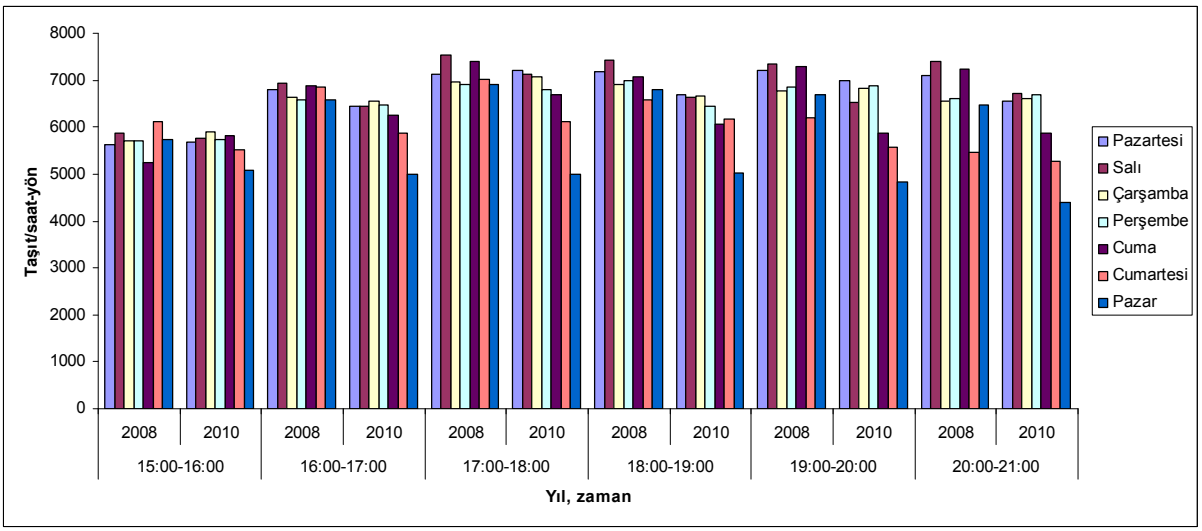


Şekil 5.5 Asya - Avrupa yönü sabah zirve hafta içi ortalama trafiği (3 ana şerit toplamı)

Boğaziçi Köprüsü gişelerinden 2008, 2009 ve 2010 Nisan aylarında yapılan geçişler günlük ortalamalar hesaplanarak incelenmiştir (Şekil 5.6). 2009 yılında köprü gişelerinden geçiş sayılarında 2008 yılına oranla, özellikle hafta içinde, açık bir düşüş görülmektedir. Hafta içi trafiğinde görülen bu düşüşün nedenlerinden biri, 2009 ekonomik krizi süresince özel şirketlerin çalışanlarına verdikleri özel otomobilleri geri çekmeleri olabilir. 2010 yılında ekonominin toparlanmasıyla, hafta içi gişe kullanımının 2008 yılına yaklaştığı görülmektedir.

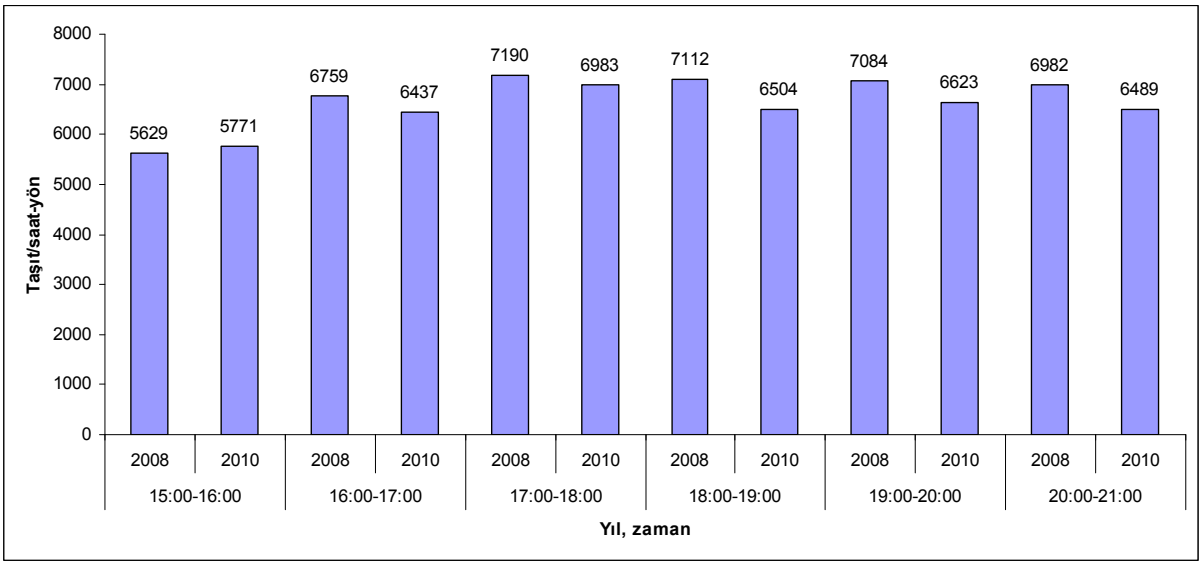


Şekil 5.6 Boğaziçi Köprüsü gişelerinden geçen taşıt sayıları ortalaması



Şekil 5.7 Boğaziçi Köprüsü gişeleri zirve saati taşıt geçişleri

Zirve saat incelemesinde ise hafta içi Cuma günü ve hafta sonu Pazar günü zirve saatleri ortalamasında 2010 yılında, 2008 yılına oranla, bir azalma gözlenmiştir (Şekil 5.7). Bununla birlikte hafta içi zirve saatlerde ortalama taşıt geçişinde bir değişiklik gözlenmemiştir (Şekil 5.8).



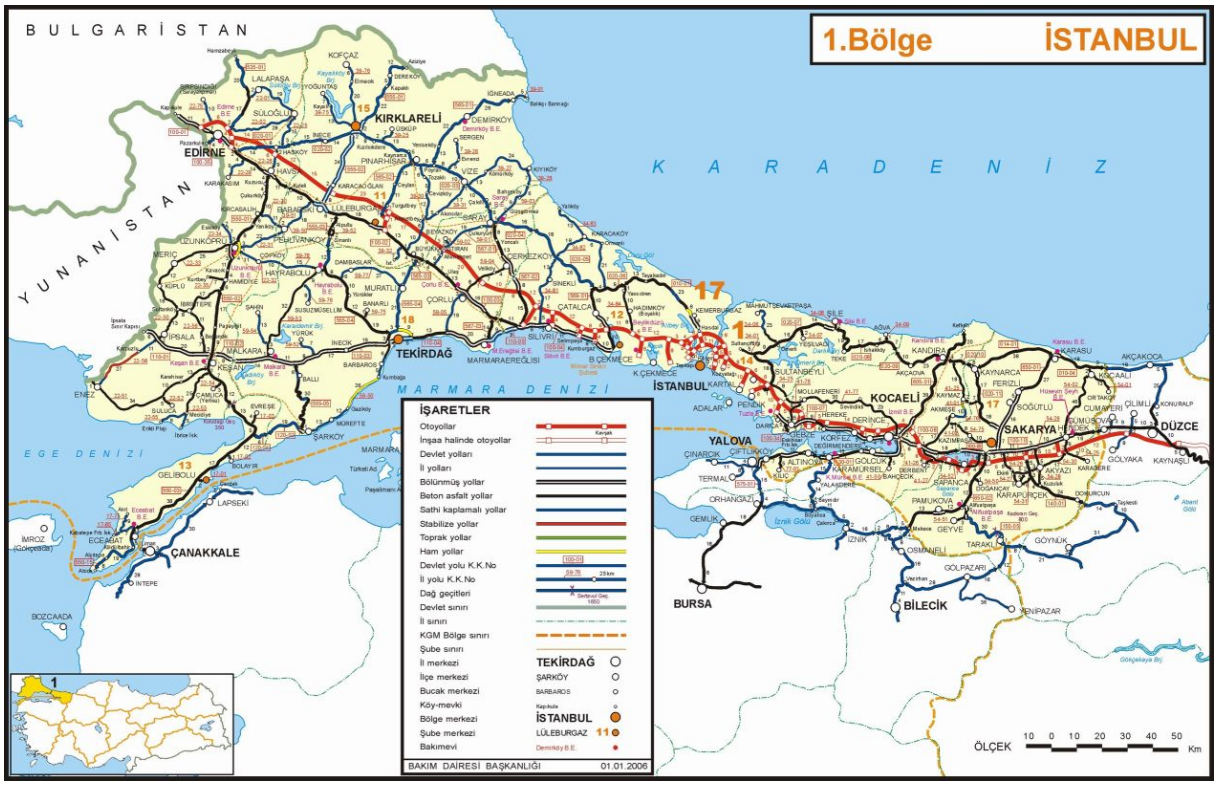
Şekil 5.8 Boğaziçi Köprüsü gişeleri hafta içi zirve saati ortalama trafiği

Yukarıdaki grafiklerden de anlaşılacağı üzere, 2009 yılında, özellikle ekonomik kriz ve Metrobüs inşaatı, Boğaziçi köprüsü trafiğinde azalmaya neden olmuştur. Bu azalma, 2010 yılında tersine dönmüş ve trafik, 2008 yılındaki oranlara yaklaşmıştır. Metrobüs projesi, Boğaziçi Köprüsü'nden geçiş yapan taşıt sayılarında dikkate değer bir azalmaya yol açmamıştır. Bunun nedenlerinin başında, taşıtların zirve saatlerdeki aşırı doluluğu gelmektedir. Neredeyse açıldığı gün kapasitesinde çalışmaya başlayan Metrobüs, özel yolu nedeniyle hızlı, ancak taşıtların aşırı dolu olması nedeniyle de konforsuz bir hizmet sunmaktadır.

6. SİMÜLASYON MODELİ ve UYGULAMA

6.1. Çalışmanın Konusu ve Amacı

İstanbul gibi büyük bölgelerde toplu taşımacılık hizmeti, günlük hayatta ve ekonomik süreçte her zaman kilit rol oynamaktadır. Yüksek nüfus yoğunluğu, yerleşim alanları ve şehir merkezi ya da önemli merkezi iş alanları (MİA) arasındaki uzun yolculuk uzaklıkları, İstanbul'daki kentsel alanın önemli özelliklerindendir (Şekil 6.1).

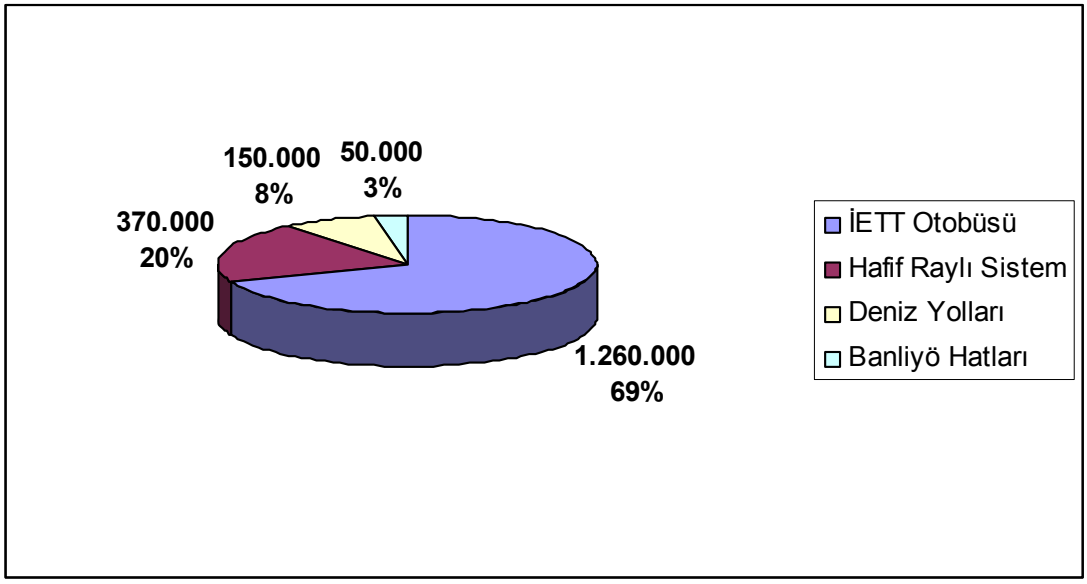


Şekil 6.1 İstanbul'un bölgesel trafik bağlantısı (İETT, 2007)

Yerel şartlar ile etkileşim halinde olan bu hızlı büyüme, toplu taşımacılığı büyük oranda zorlaştırmaktadır. Özellikle iki köprü üzerinde dikkate değer büyüklükteki trafik, yoğun saatlerde bir darboğaz oluşturmaktadır. Üçüncü bir köprü planı, yeraltından Marmaray tüp geçidi ve motorlu araçlar için olası bir karayolu tünel planı daha bulunmaktadır. Ancak yalnızca bu projeler ile İstanbul'daki trafik probleminin çözülmesi olanaklı değildir. Demiryolu sistemi hala gelişmekte olmasına karşın otobüs sitemi kadar hızlı geliştirilebilir ve esnek değildir. Ancak, demiryolları açık ve net bir şekilde daha fazla taşıma kapasitesine

sahiptir ve özel otomobillerin oluşturduğu trafik sıkışıklığına girmeden, kendi hatları üzerinde ilerlemesi önemli bir üstünlüktür. Metrobüs projesi, mevcut otobüs ağını iyileştirmeyi düşünürken, gelecekte yapılması planlanan demiryolu sistemi de göz önüne alınmıştır.

İstanbul'daki toplu taşımacılığı incelemek için, düşünülmesi gereken en önemli konulardan biri de yolcuların yolculuk tercihleridir. İstanbul'da bir günde yapılan toplu taşımacılığın farklı taşıma türlerine göre dağılımı Şekil 6.2`de gösterilmiştir (İETT, 2007).

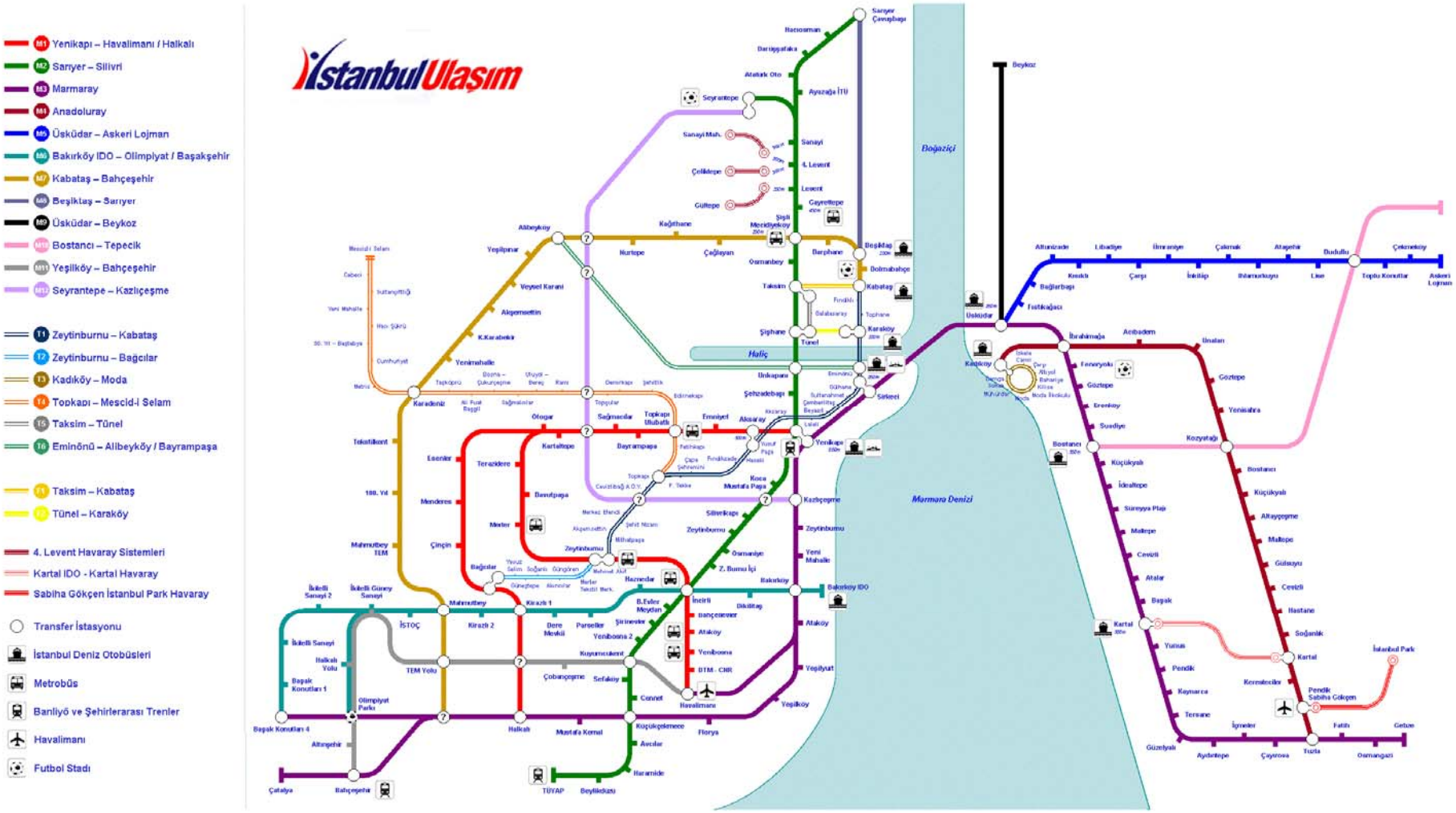


Şekil 6.2 Günlük yolculuklar (İETT, 2007)

Bu sorunlara çözüm olması için İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından, ilk aşamada, kentin ana ulaşım yolu olan O – 1 Karayolu üzerinde, Avcılar ile Topkapı arasında hizmet veren metrobüs hattının yapımına başlanmıştır. Metrobüs hattının inşası 2005 yılında başlamıştır, hat Eylül 2007'de işletime açılmıştır. 17 Eylül 2007'de Küçükçekmece - Cevizlibağ arasında işletmeye alınan metrobüs hattı, 12 Ekim 2007 tarihinde Avcılar İstanbul Üniversitesi Kampüsü'ne uzatılmıştır (Şekil 6.3). Hattın hem batı hem de doğu yönünde uzatılması planlanmıştır. İlk aşamada, hat doğu yönüne, Zincirlikuyu'ya uzatılarak mevcut metro sistemi ile entegre edilmiştir. Bu hat, Eylül 2008'de işletime açılmıştır. İkinci aşamada, hat Boğaziçi Köprüsü'nü geçerek Kadıköy – Söğütlüçeşme'ye kadar uzatılmıştır (Şekil 6.3). Batı yönünde hat Beylikdüzü'ne kadar uzatılacaktır. Bununla beraber farklı geçkilerde yeni hatlar planlanmaktadır (Şekil 6.4), (Güven, 2008).

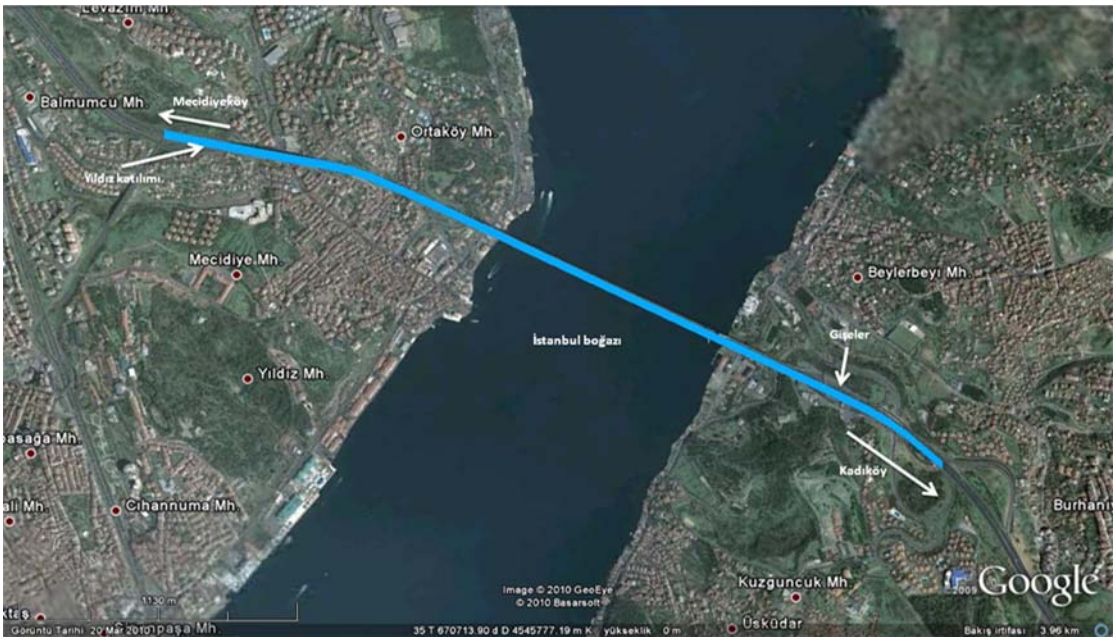


Şekil 6.3 İstanbul'un mevcut ulaşım sistemi

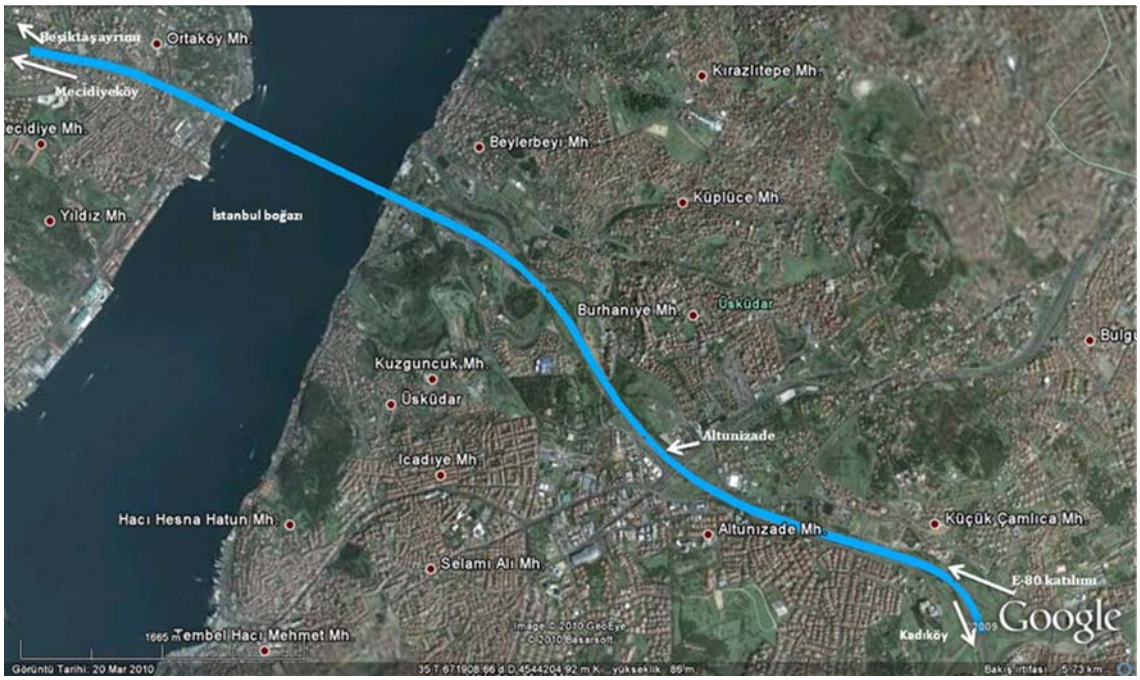


Şekil 6.4 İstanbul'da planlanan ulaşım sistemi

Çalışmada, O – 1 Karayolu'nun Metrobüs yapımından önceki trafik koşulları ve Metrobüs yapımından sonraki trafik koşulları incelenecek ve TSIS simülasyon programının yetenekleri kapsamında karşılaştırılacaktır. Çalışmada, O – 1 Karayolu'nun, Avrupa – Asya yönünde, Beşiktaş katılımından Boğaziçi köprüsü çıkışına kadar olan kesimi (Şekil 6.5) ve Asya – Avrupa yönünde, Çamlıca Kavşağı'ndan E-80 katılımı) Beşiktaş ayrımına kadar olan kesimi incelenmiştir (Şekil 6.6).



Şekil 6.5 Avrupa - Asya yönünde çalışılan geçki

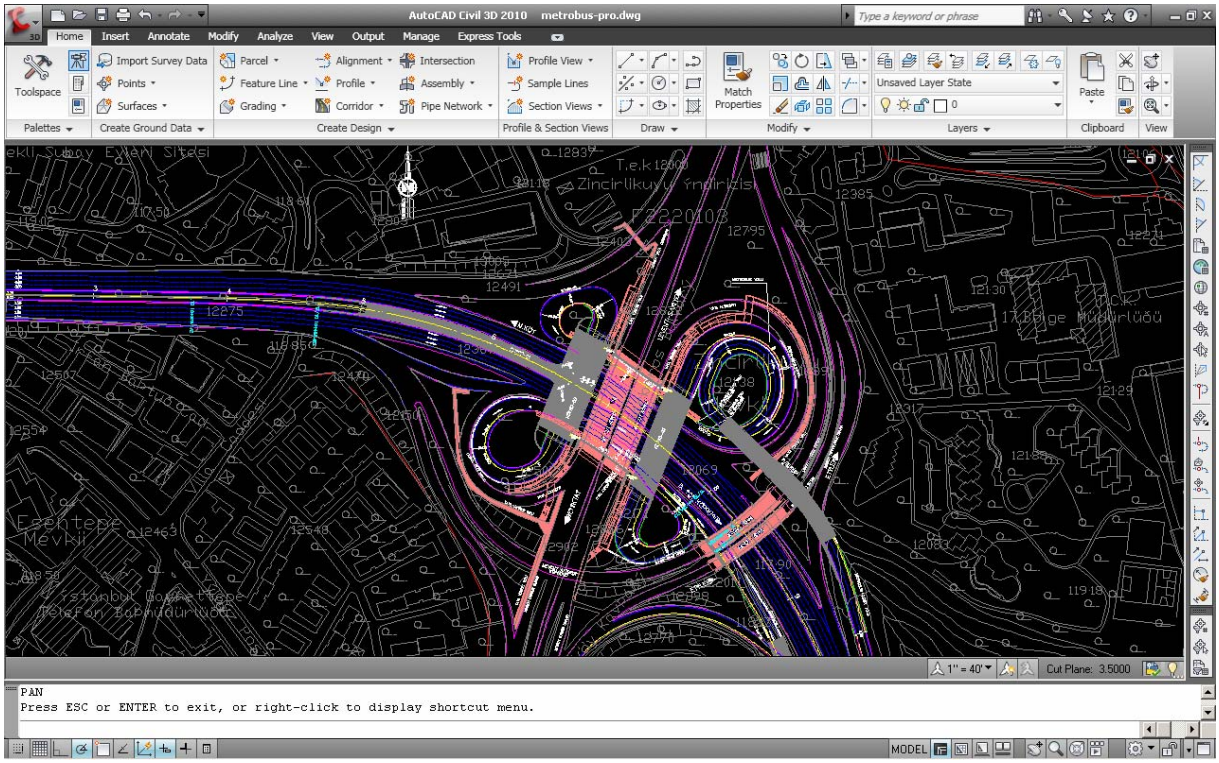


Şekil 6.6 Asya - Avrupa yönünde çalışılan geçki

6.2. Verilerin Toplanması

Yol ağının simülasyon modelini oluşturmak için gerekli veriler, yolun eğimi, yolun genişliği (şerit sayısı), yolun ayrım ve katılım noktaları, katılım ve ayrımlara ait ek şeritlerin uzunluğudur.

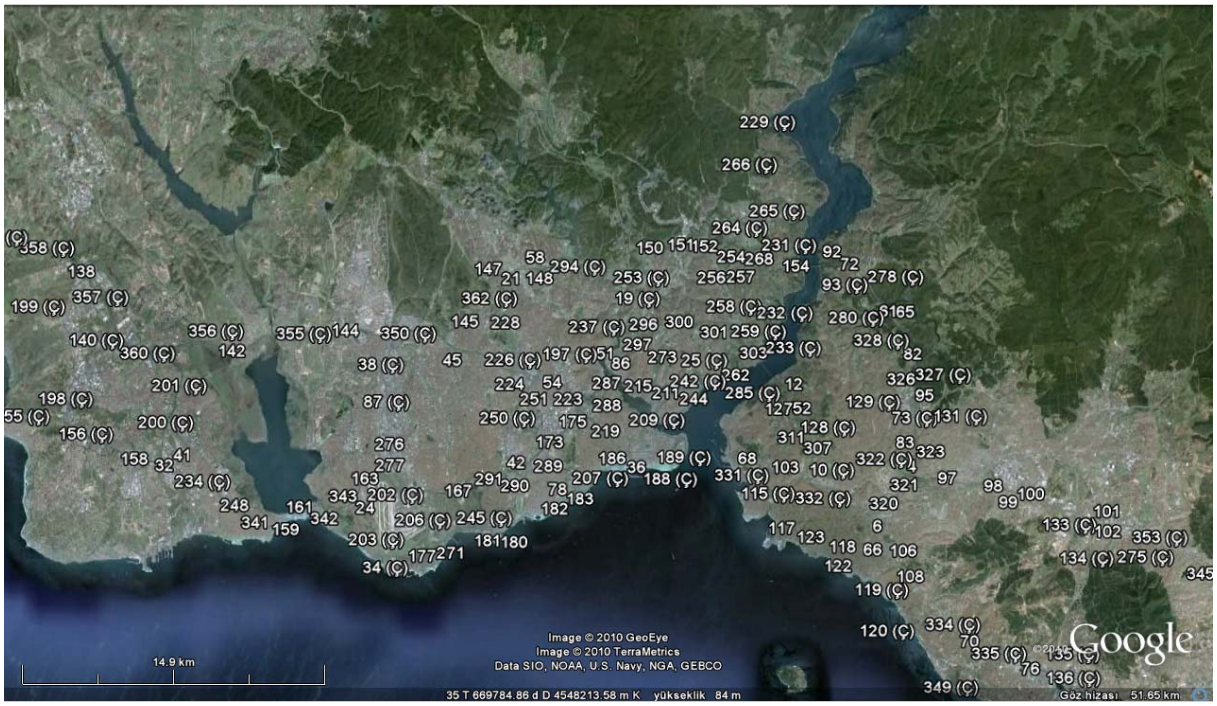
Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü'nden, O–1 Karayolu'nu barındıran AutoCAD çizimi (Şekil 6.7) alınarak yukarıda belirtilen veriler elde edilmiştir.



Şekil 6.7 Zincirlikuyu Kavşağı'na ait AutoCAD çizimi

Geometrik verilerin yanında simülasyon için gerekli bir diğer veri türü ise hacim verileridir. Bu veriler simülasyon programında girdi olarak kullanılacak ve kalibrasyon aşamasında önemli bir doğrulama aracı olacaktır. Bu verileri elde etmeye yarayan RTMS'ler, İBB tarafından İstanbul'un ana yollarına yerleştirilmiştir. Bu cihazlar yerleştirildikleri kesitteki trafik akımı verilerini (hacim, hız ve işgal oranı) ana bilgisayara belirli aralıklarla (1 veya 2 dakika) iletmektedir.

Bu veriler içinde, o kesitten geçen ağır taşıt sayısı, tüm taşıt sayıları, ortalama hızlar ve işgal oranları mevcuttur. Şekil 6.8'de RTMS cihazlarının uydu fotoğrafı üzerindeki konumları yer almaktadır.



Şekil 6.8 RTMS cihazlarının konumları

RTMS cihazları 8 şerit için, her şerit için ayrı olarak, yukarıda belirtilen ölçümleri gerçekleştirir. Eğer kesit 8 şeritten daha az şeride sahip ise, detektör, okuma yapılmayan şeritlere 0 değeri atamaktadır. Mevcut olmayan şeritler için kesime ait hız verileri "240" olarak gösterilir (Şekil 6.9). Veriler genelde 2 dakikalık veya 1 dakikalık aralıklarla kaydedilir ve merkeze iletilir.

Çizelge 6.1'de merkeze gönderilen verilere ait açıklamalar yer almaktadır.

Çizelge 6.1 RTMS veri alanlarının açıklamaları

MsgTime	İki başarılı iletim arası zaman
RtmsNo	RTMS cihazının numarası
VL1~8	İlgili zaman aralığında şeridi kullanan toplam ağır taşıt sayısı
V1~8	İlgili zaman aralığında şeridi kullanan toplam taşıt sayısı
O1~8	İlgili zaman aralığında şeritteki işgal oranı
S1~8	İlgili zaman aralığında şeritteki ortalama hız

Çalışmada kullanılan RTMS'lere ait bilgiler Çizelge 6.2'de, konumları ise Şekil 6.10'da gösterilmektedir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH
1	MsgTime	RtmsNo	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VL6	VL7	VL8	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
2	2010-03-23 00:01:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	11	2	11	13	0	0	0	0	1	1	2	3	0	0	0	0	72	103	94	75	240	240	240	240
3	2010-03-23 00:03:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	6	3	15	17	0	0	0	0	1	1	2	4	0	0	0	0	74	103	96	84	240	240	240	240
4	2010-03-23 00:05:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	11	15	0	0	0	0	1	1	1	3	0	0	0	0	74	104	96	85	240	240	240	240
5	2010-03-23 00:07:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	3	7	7	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	74	104	96	86	240	240	240	240
6	2010-03-23 00:09:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	8	7	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	74	104	96	85	240	240	240	240
7	2010-03-23 00:11:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	12	11	0	0	0	0	1	1	2	2	0	0	0	0	74	105	99	82	240	240	240	240
8	2010-03-23 00:13:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	14	13	0	0	0	0	1	1	2	2	0	0	0	0	72	104	93	82	240	240	240	240
9	2010-03-23 00:15:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	8	2	7	10	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	73	104	93	83	240	240	240	240
10	2010-03-23 00:17:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	14	16	0	0	0	0	1	1	2	4	0	0	0	0	76	103	95	81	240	240	240	240
11	2010-03-23 00:19:52.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	6	3	9	15	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	76	104	95	85	240	240	240	240
12	2010-03-23 00:21:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	3	7	8	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	75	104	87	87	240	240	240	240
13	2010-03-23 00:23:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	8	8	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	80	105	89	89	240	240	240	240
14	2010-03-23 00:25:52.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	9	5	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	79	98	97	88	240	240	240	240
15	2010-03-23 00:27:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	5	7	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	79	98	97	88	240	240	240	240
16	2010-03-23 00:29:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	15	9	0	0	0	0	1	1	2	1	0	0	0	0	79	98	94	86	240	240	240	240
17	2010-03-23 00:31:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	7	4	3	7	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	79	100	91	85	240	240	240	240
18	2010-03-23 00:33:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	5	8	8	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	79	105	89	89	240	240	240	240
19	2010-03-23 00:35:52.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2	2	4	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	79	104	89	90	240	240	240	240
20	2010-03-23 00:37:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	2	8	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	79	104	89	78	240	240	240	240
21	2010-03-23 00:39:53.000	10	0	0	0	1	0	0	0	0	6	2	6	7	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	82	104	92	70	240	240	240	240
22	2010-03-23 00:41:52.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	8	8	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	83	104	92	76	240	240	240	240
23	2010-03-23 00:43:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	9	13	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	81	104	95	76	240	240	240	240
24	2010-03-23 00:45:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	6	9	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	81	240	95	71	240	240	240	240
25	2010-03-23 00:47:52.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	1	9	10	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	80	106	98	73	240	240	240	240
26	2010-03-23 00:49:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	6	3	10	9	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	81	105	98	78	240	240	240	240
27	2010-03-23 00:51:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	6	10	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	80	107	98	72	240	240	240	240
28	2010-03-23 00:53:52.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	9	8	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	79	107	93	74	240	240	240	240
29	2010-03-23 00:55:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	9	11	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	78	107	93	80	240	240	240	240
30	2010-03-23 00:57:52.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	7	6	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	81	109	93	78	240	240	240	240
31	2010-03-23 00:59:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	5	11	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	81	109	93	78	240	240	240	240
32	2010-03-23 01:01:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	7	4	5	5	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	82	110	96	73	240	240	240	240
33	2010-03-23 01:03:52.000	10	0	0	1	0	0	0	0	0	3	6	6	7	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	80	108	96	77	240	240	240	240
34	2010-03-23 01:05:53.000	10	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	5	14	0	0	0	0	1	1	1	3	0	0	0	0	80	109	98	81	240	240	240	240

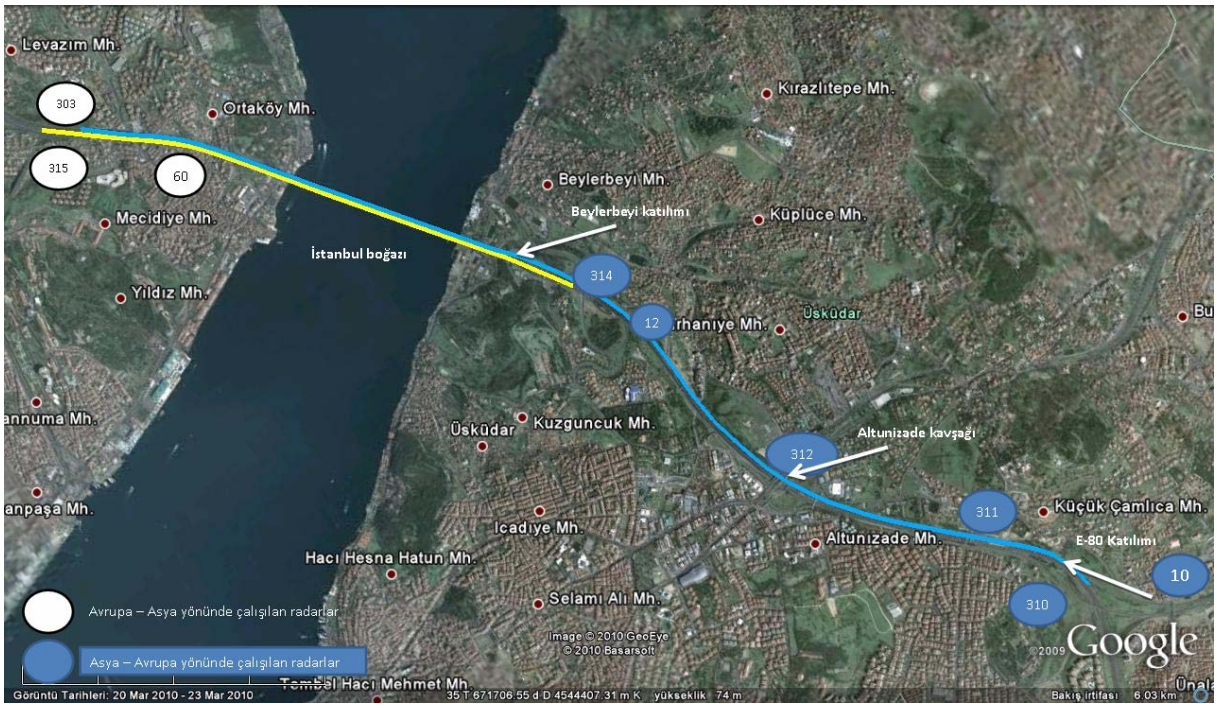
Sayfa1 Sayfa2 Sayfa3

Hazır

Şekil 6.9 Excel formatında RTMS verileri

Çizelge 6.2 Çalışmada kullanılan radarlara ait veriler

RTMS No	KM	RTMS ADI	GELİŞ YÖNÜ	GİDİŞ YÖNÜ	ŞERİT SAYISI
303	11+800	Boğaz Köprüsü Yıldız Katılımı	Zincirlikuyu	Boğaziçi Köprüsü	3
315	Katılım	Yıldız Köprü Bağlantısı	Yıldız	Boğaziçi Köprüsü	2
60	12+500	E-5 Boğaziçi Köprüsü Avrupa Girişi	Zincirlikuyu	Boğaziçi Köprüsü	3
310	18+475	E-5 KüçükÇamlıca	Kadıköy	Boğaziçi Köprüsü	3
10	Katılım	Çamlıca TEM E-5 Bağlantı Yolu	TEM Gişeleri	Boğaziçi Köprüsü	2
311	17+650	E-5 Acıbadem Köprüsü	Kadıköy	Boğaziçi Köprüsü	3
312	16+730	E-5 Altunizade	Kadıköy	Boğaziçi Köprüsü	3
12	15+250	E-5 Beylerbeyi	Altunizade	Boğaziçi Köprüsü	3
314	14+955	Boğaziçi Köprüsü Avrupa Girişi	Altunizade	Boğaziçi Köprüsü	3
84	12+500	E-5 Boğaziçi Köprüsü Avrupa Çıkışı	Boğaziçi Köprüsü	Mecidiyeköy	3



Şekil 6.10 Radarların konumları

Avrupa – Asya yönünde yapılacak simülasyon için gerekli olan bir diğer veri ise, gişe sahasının modellenmesi için, gişelerden geçiş sayılarıdır. Bu geçiş sayıları, gişe sahasının modellenmesinde ve simülasyonun doğrulamasında kullanılacaktır. Boğaziçi Köprüsü Bakım ve İşletme Başmühendisliği'nden 22 ve 23 Mart 2010 tarihlerine ait gişelerden geçiş sayıları elde edilmiştir (Çizelge 6.3). Bu verilerle yapılan işlemler ilerleyen bölümlerde ayrıntılı biçimde anlatılacaktır.

Çizelge 6.3 22-23 Mart 2010 tarihlerine ait Boğaziçi Köprüsü gişelerinden geçiş sayıları

Gişe No	Tür	Tarih	Saat					
			15.00-15.59	16.00-16.59	17.00-17.59	18.00-18.59	19.00-19.59	20.00-20.59
12	OGS	22.03.2010	1249	1548	1638	1076	752	1435
		23.03.2010	1316	1521	1553	602	628	1461
		Ortalama	1283	1535	1596	839	690	1448
11	OGS	22.03.2010	929	1207	1254	930	927	1143
		23.03.2010	950	1101	1235	662	706	1245
		Ortalama	940	1154	1245	796	817	1194
10	OGS	22.03.2010	933	987	1079	859	888	970
		23.03.2010	925	951	1063	697	721	1006
		Ortalama	929	969	1071	778	805	988
9	OGS	22.03.2010	541	572	697	738	899	585
		23.03.2010	498	567	707	808	838	607
		Ortalama	520	570	702	773	869	596
8	OGS	22.03.2010	284	235	424	811	935	324
		23.03.2010	195	298	494	1078	1084	343
		Ortalama	240	267	459	945	1010	334
7	KGS	22.03.2010	331	368	376	268	329	352
		23.03.2010	347	431	384	316	321	357
		Ortalama	339	400	380	292	325	355
6	KGS	22.03.2010	360	358	357	340	369	359
		23.03.2010	352	356	407	354	342	367
		Ortalama	356	357	382	347	356	363
5	KGS	22.03.2010	335	371	347	327	328	390
		23.03.2010	314	307	339	314	363	361
		Ortalama	325	339	343	321	346	376
4	KGS	22.03.2010	297	359	351	296	300	331
		23.03.2010	353	301	286	226	285	416
		Ortalama	325	330	319	261	293	374
3	KGS	22.03.2010	328	362	321	281	311	343
		23.03.2010	375	264	291	283	248	338
		Ortalama	352	313	306	282	280	341
2*	OGS	22.03.2010	1	0	0	12	3	0
		23.03.2010	0	1	9	56	11	2
		Ortalama	1	1	5	34	7	1
1	OGS	22.03.2010	202	180	292	715	843	219
		23.03.2010	150	184	304	891	1017	247
		Ortalama	176	182	298	803	930	233
		Toplam	5786	6417	7106	6471	6728	6603

*2 no'lu gişe verimli çalışmamıştır.

6.2.1. Verilerin Analizi

Akım ve hız verilerinin incelenmesi

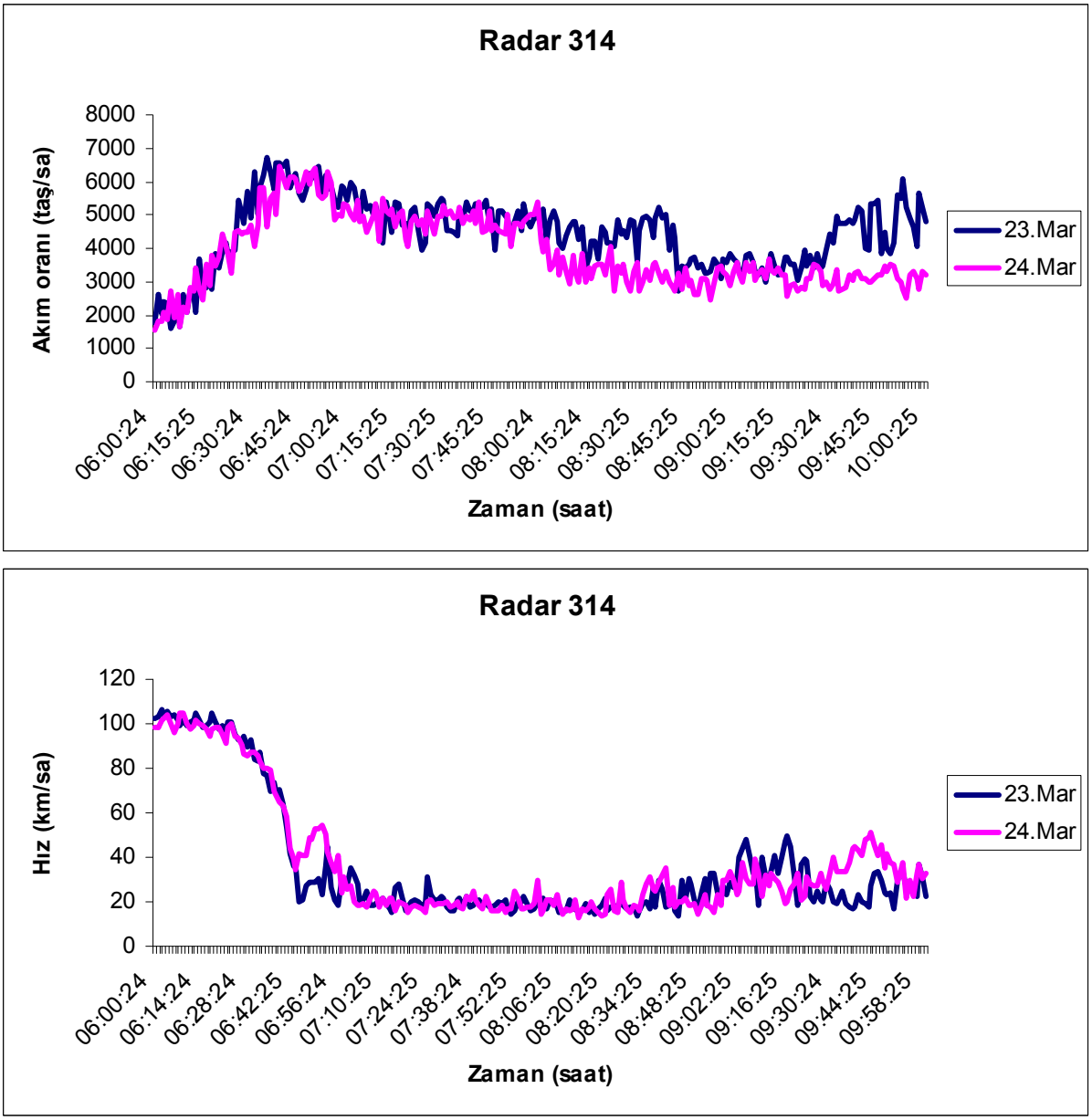
23 ve 24 Mart 2010 tarihlerine ait, radarlarda okunan hacim ve hız değerleri grafikler haline getirilerek, değişimlerin kontrolü yapılmıştır (Şekil 6.11, 6.12, 6.13, 6.14, 6.15, 6.16, 6.17, 6.18, 6.19). Akım değeri kesitte, tüm şeritlerin toplamını, hız değeri de ağırlıklı ortalamalarını göstermektedir. Kesitteki ağırlıklı ortalama hız değerinin belirlenmesinde kullanılan denklem, Denklem 6.1'de gösterilmiştir.

$$S_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_i \times S_i}{\sum_{i=1}^{n} V_i} \tag{6.1}$$

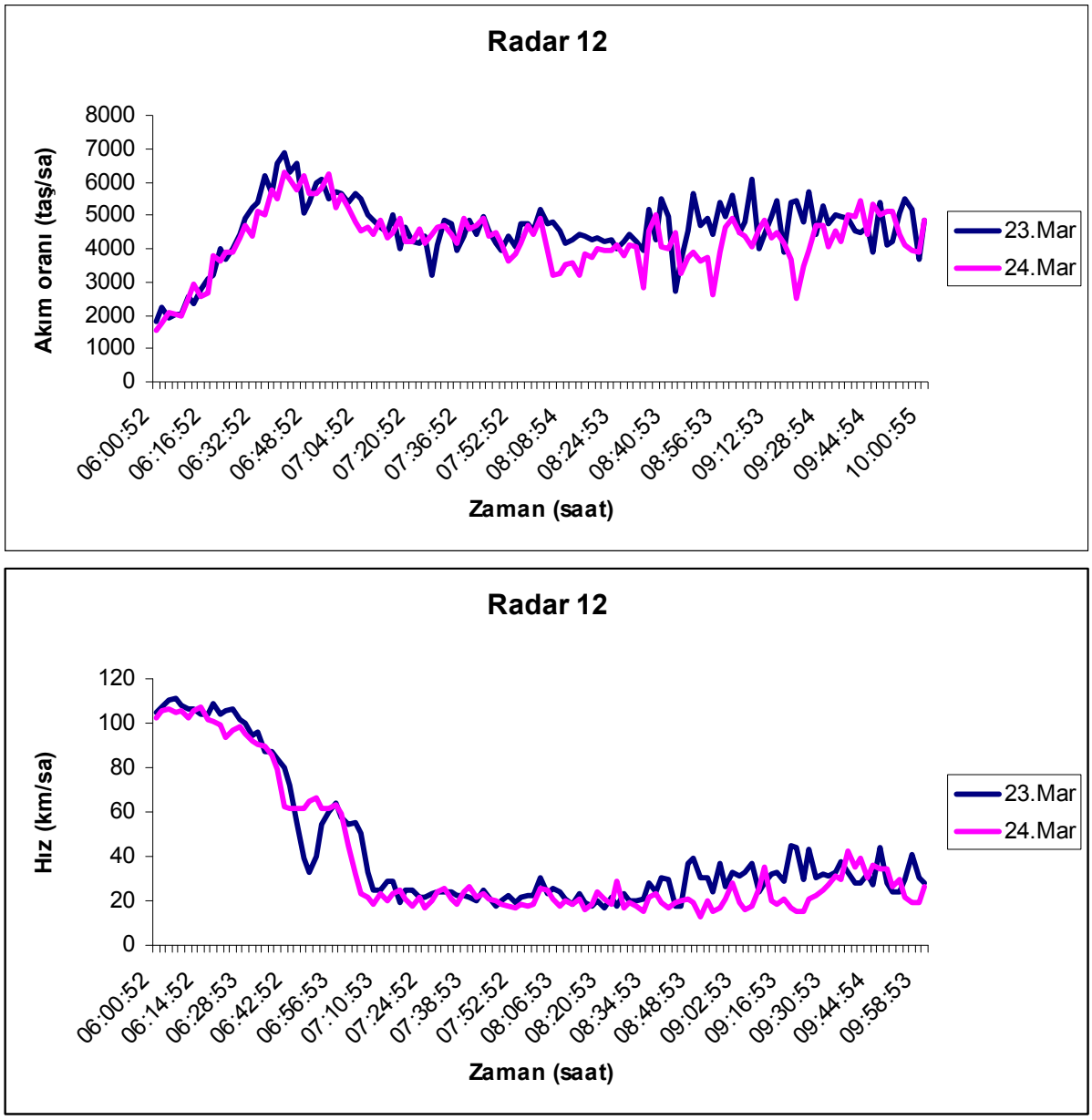
burada, n: Şerit sayısı, V: Şerit i'deki toplam hacim, S: Şerit i'deki ortalama hızı göstermektedir.

Kuyruklanmanın incelenmesi sırasında radarlarda okunan hız verileri kullanılmıştır. Hızlardaki ani düşüş kuyruk sonunun radarın okuma kesitine varmış olduğu bilgisini bizlere vermektedir. Buna göre Asya – Avrupa yönünde, 314 ve 12 numaralı radarlardan okunan akım değerlerine göre, anayoldaki talep 06:30 saatine kadar artış göstermiş olup, Beylerbeyi katılımının da yaratmış olduğu darboğazın etkisiyle 06:40 civarında kapasiteye erişmektedir. Bu sırada aynı radarlarda okunan hız değerlerinde de ani bir düşüş görülmektedir ki bu da kuyruğun o radarların kesitlerine ulaştığı bilgisini vermektedir (Şekil 6.11 ve Şekil 6.12). 312 numaralı radarda okunan hacimdeki değişimlerden, 06:40 sularında Kısıklı ve Altunizade katılımlarında talebin arttığı ve bu artışın da anayolda darboğaz yarattığını görülmektedir. 312 numaralı radarda okunan hız değerlerinden de akım aşağıda oluşan kuyruklanmanın sonunun 06:50'de o bölgeye yaklaştığı ve 07:00 civarında kesite vararak ortalama akım hızını 5 km/sa değerine düşürdüğü görülmektedir. 23 Mart'a ait hız verilerinde 312 numaralı radarda, 09:20'den sonra görülen artış kuyruğun, o güne özel, talepteki azalmadan dolayı o kesite kadar eridiği bilgisini bize vermektedir (Şekil 6.13). Ancak, kuyruktaki bu erken kısalmanın koridordaki genel durumu yansıtmadığı düşünüldüğünden, simülasyonda 24 Mart'a ait verilerin kullanılmasına karar verilmiştir. 312 numaralı radarın 900 metre akım yukarısında yer alan 311 numaralı radarda okunan hız verilerine göre kuyruk sonu kesite 07:00 civarında ulaşmıştır (Şekil 6.14). Saat 8:30'a kadar 311 numaralı radar kesiti ile 310 numaralı radar kesiti arasında hareket eden kuyruk sonu 08:30'da 310 numaralı radar kesitine ulaşmıştır

(Şekil 6.15). 10 numaralı radar kesitinde, incelenen zaman aralığında, kuyruk gözlemlenmemiş ve akım oranı 1000 taş/sa ve 1600 taş/sa arasında değişkenlik göstermiştir. (Şekil 6.16).

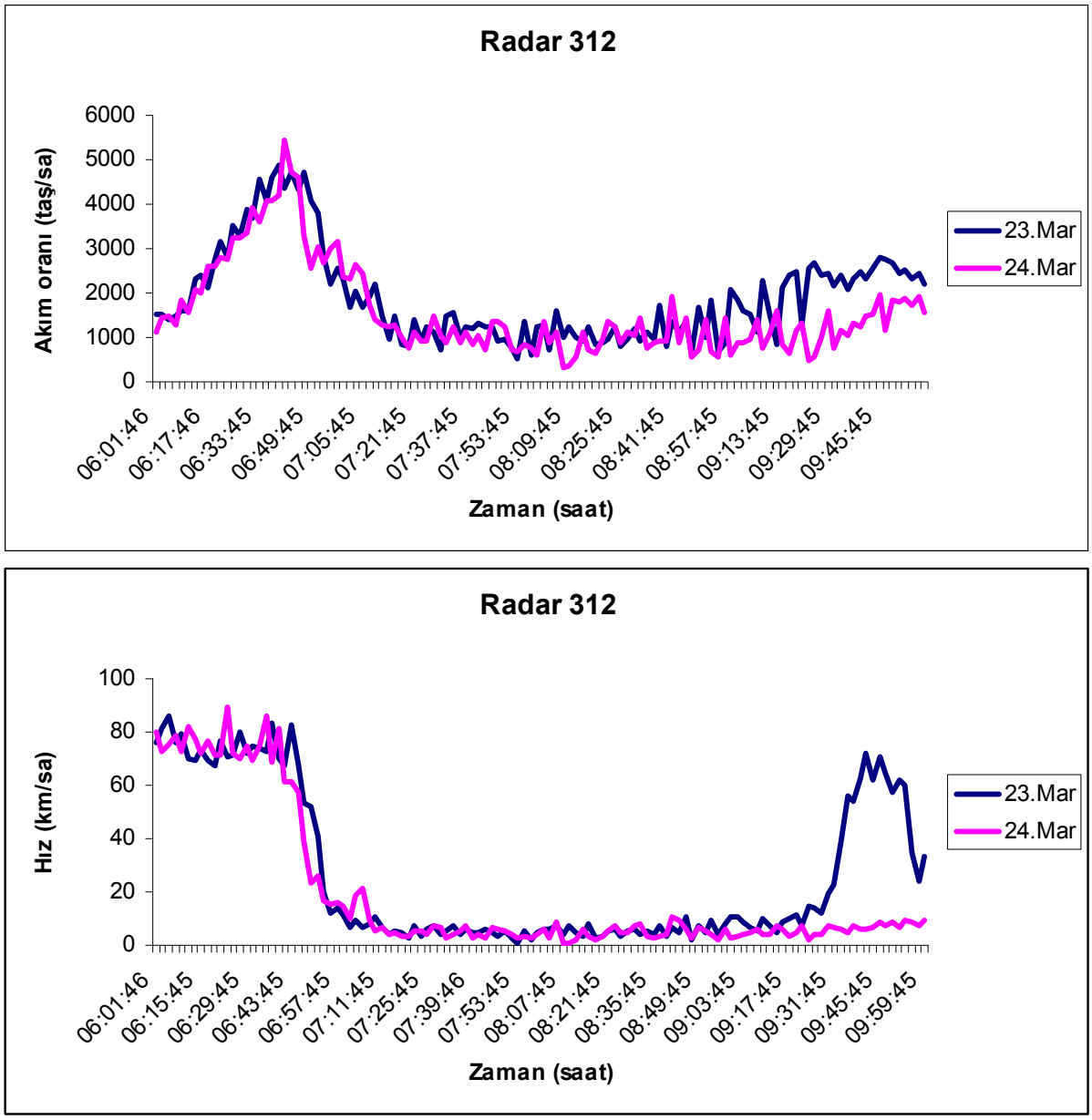


Şekil 6.11 314 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri (Asya – Avrupa yönü)



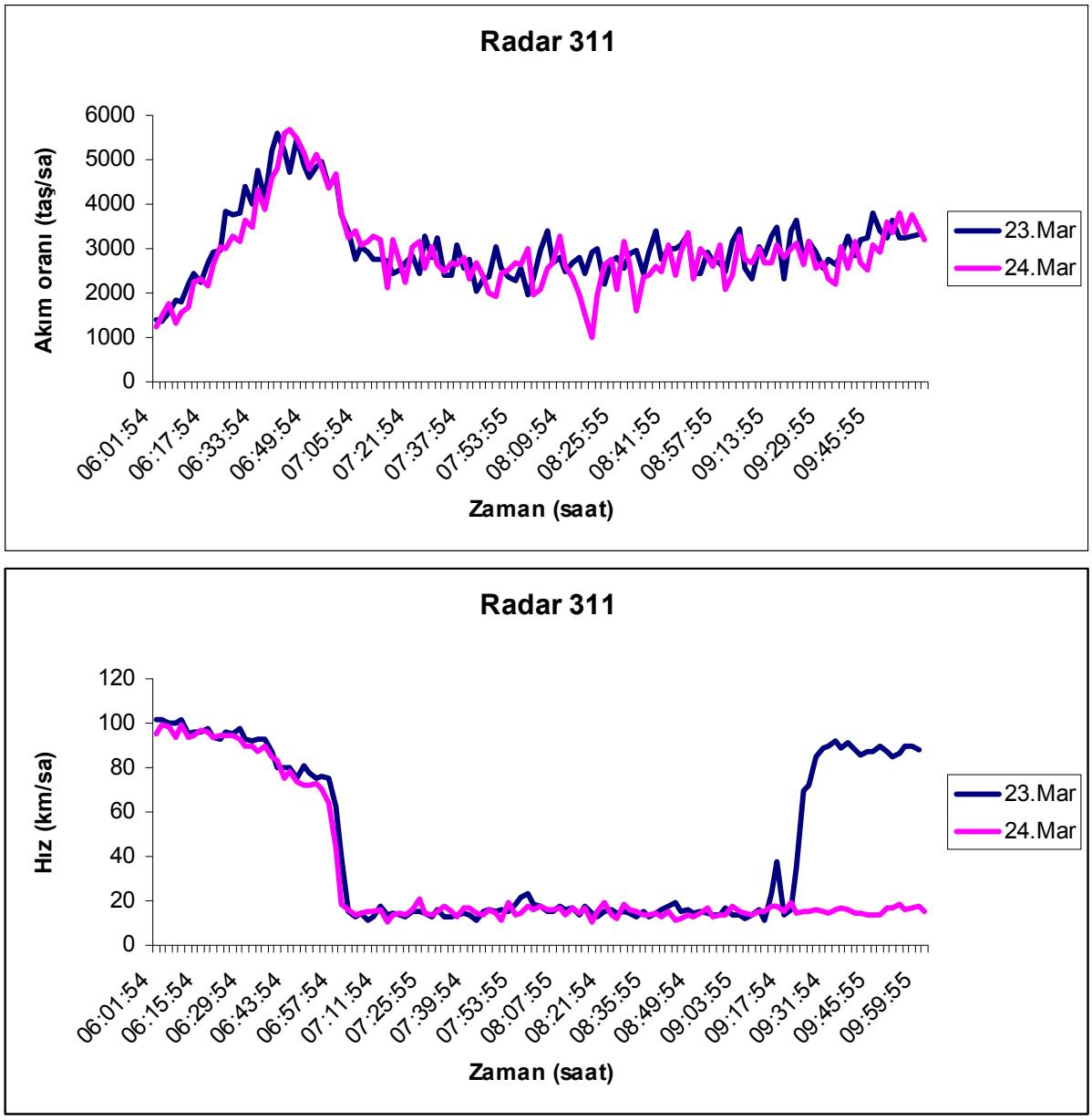
Şekil 6.12 12 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri

(Asya - Avrupa yönü)



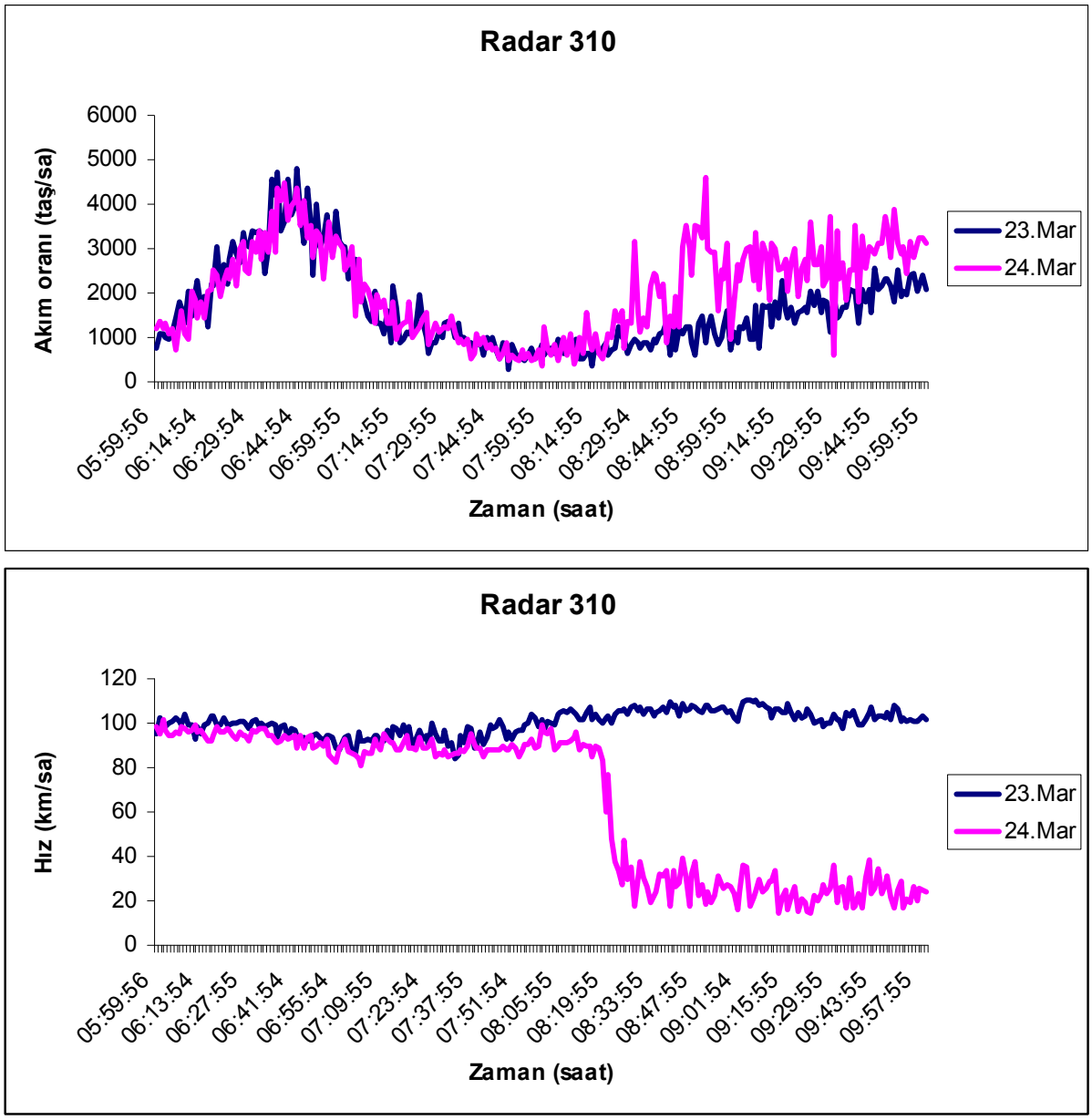
Şekil 6.13 312 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri

(Asya - Avrupa yönü)



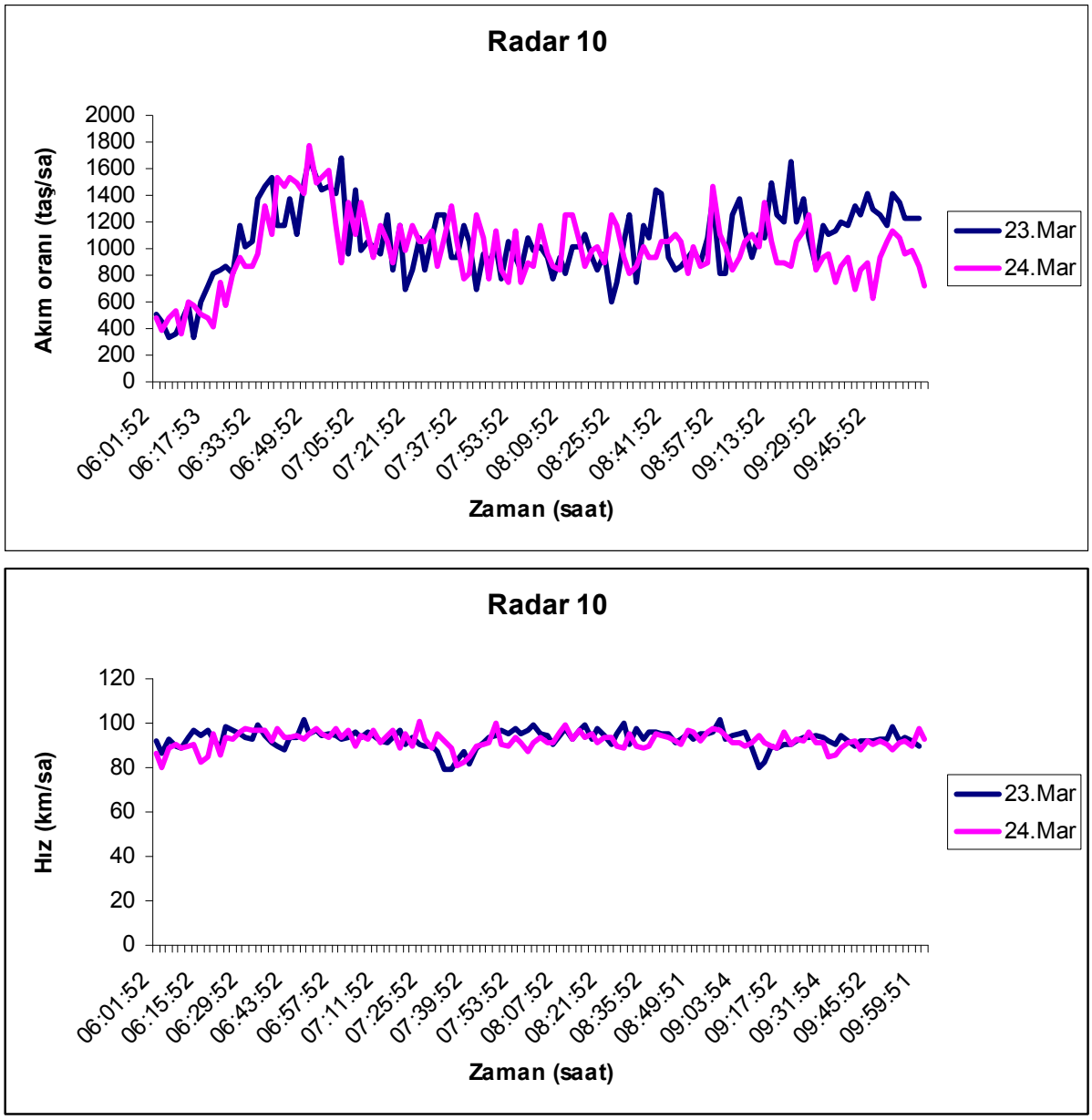
Şekil 6.14 311 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri

(Asya - Avrupa yönü)



Şekil 6.15 310 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri

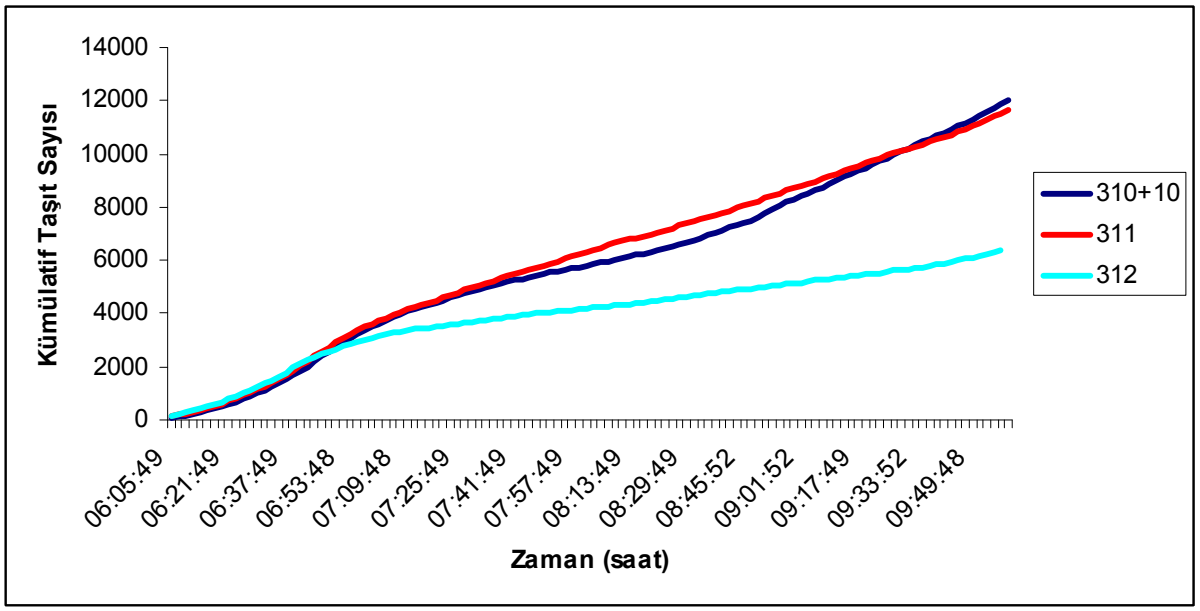
(Asya - Avrupa yönü)



Şekil 6.16 10 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri

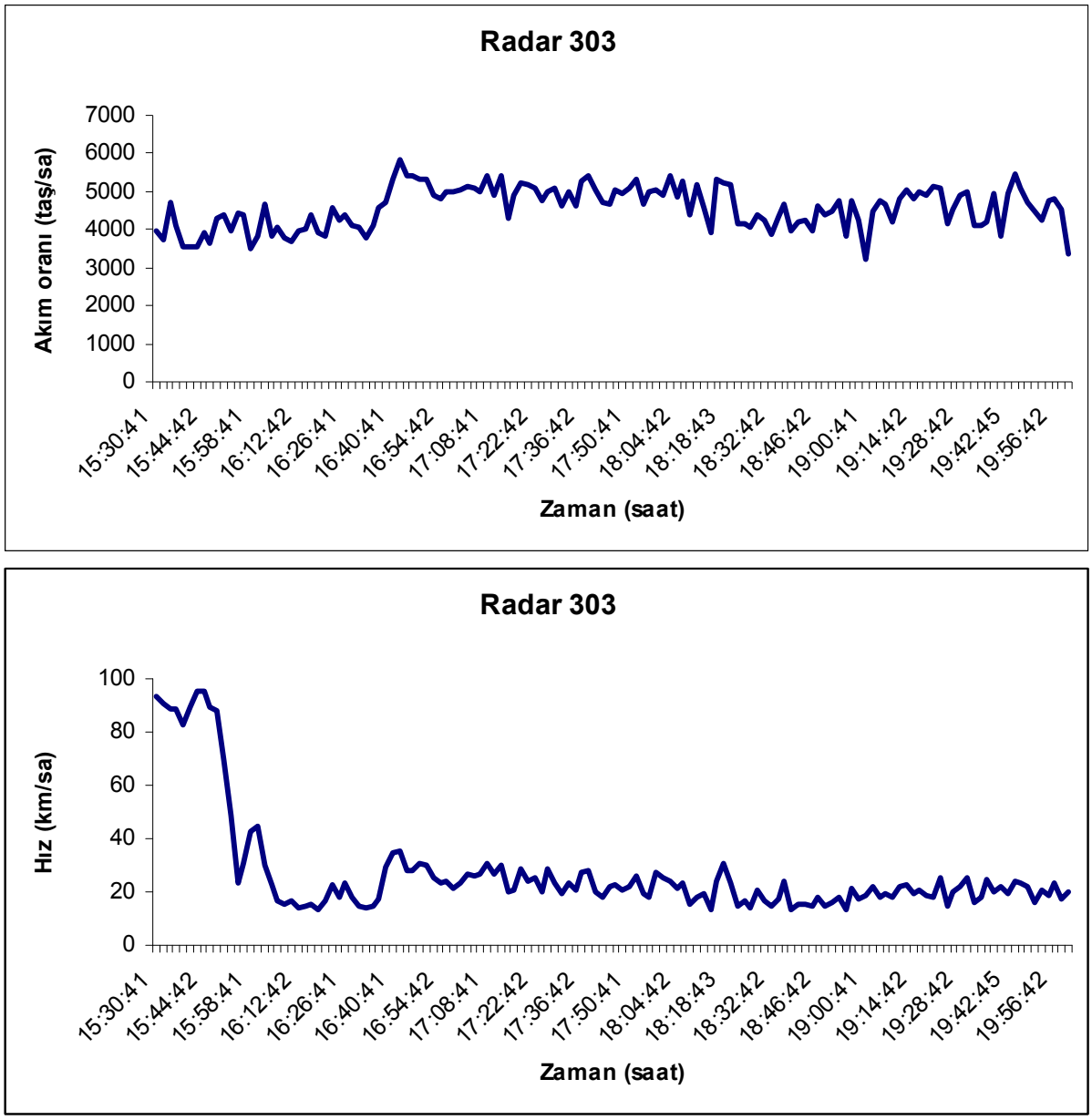
(Asya - Avrupa yönü)

Hacim kontrolleri sırasında 312 numaralı radar ile akım yukarısında yer alan 311 numaralı radarda okunan akım değerleri arasında yüksek farklılık bulunduğu fark edilmiştir. Bu kesitlerde okunan akım değerleri, zorlamalı koşullarda, ortalama 1500 taş/sa farklılık göstermektedir. Bu kesitler arasında yalnızca Altunizade ayrımı yer almaktadır ve buradan bu kadar taşıtlık ayrım mümkün değildir. Kesitlerde okunan akım değerlerindeki uyuşumsuzluk Şekil 6.17'deki kesitlere ait kümülatif taşıt sayısı eğrilerinde daha net olarak görülmektedir. Grafikte, akım yukarıdaki radarlar, 310 ve 10'daki hacim değerleri 2 dakika ötelenerek 311 ve 312 ile birlikte çizdirilmiştir. Burada, 311 radarına ait eğri, 310+10 ve 312 radarlarına ait eğrilerin arasında olmalıdır ancak böyle olmadığı görülmüş ve 311 numaralı radarın zorlamalı akım koşullarında yanlış hacim okumaları yaptığı kabul edilmiştir. Bu nedenle, kalibrasyon aşamasında, 311 numaralı radar verilerinin kullanılmamasına karar verilmiştir.



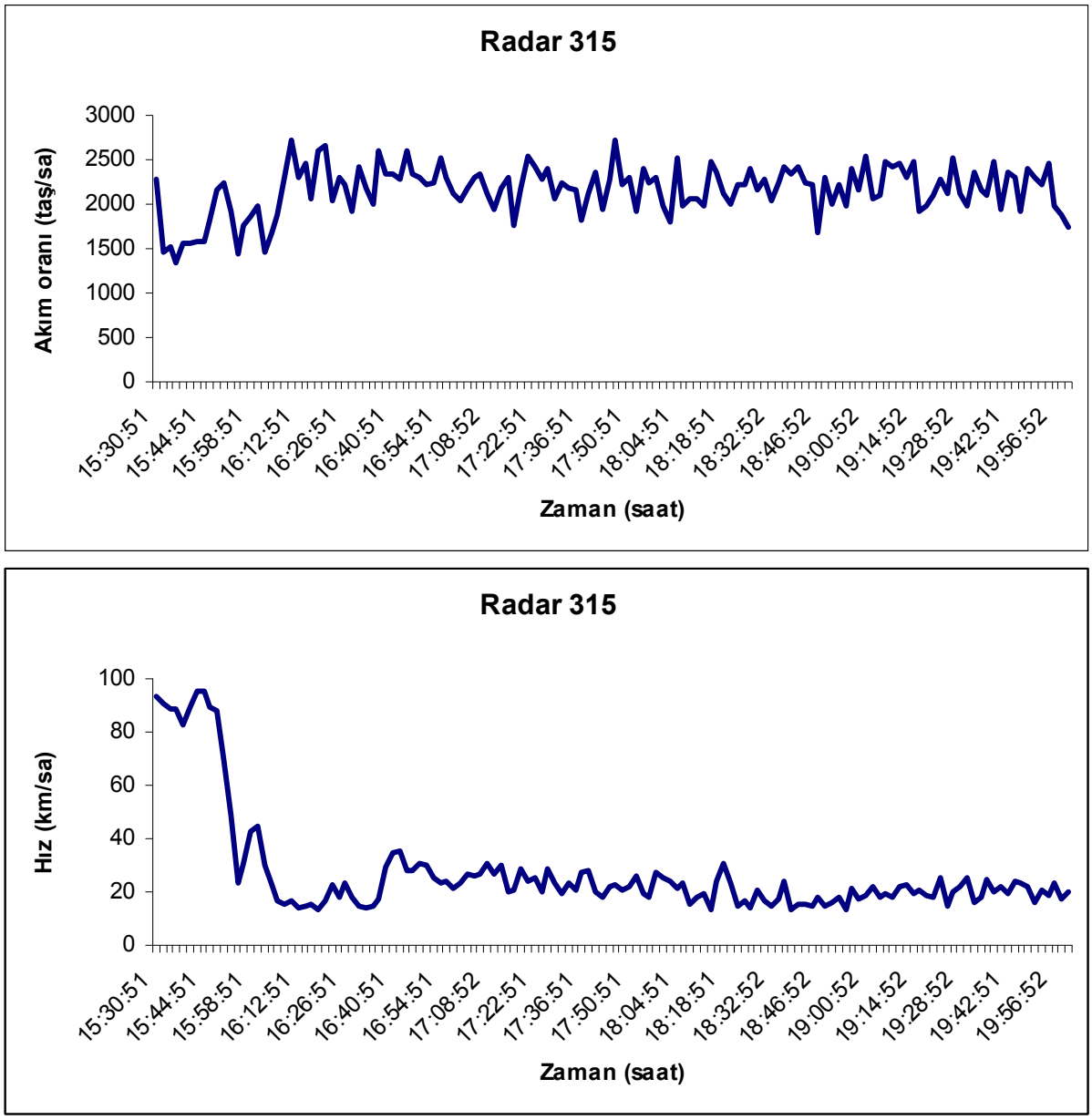
Şekil 6.17 310+10, 311 ve 312 radar kesitlerine ait kümülatif taşıt sayısı eğrileri

Avrupa – Asya yönünde ise, elimizde 23 Mart tarihine ait veriler olduğu ve bugünde herhangi bir anormal durum gözlenmediği için o tarihin kullanılması kararlaştırılmıştır. Şekil 6.18, 6.19 ve 6.20'de Avrupa – Asya yönünde çalışılan radarlara ait 23 Mart günü akım oranı ve hızın zamana bağlı değişim grafikleri gösterilmektedir.



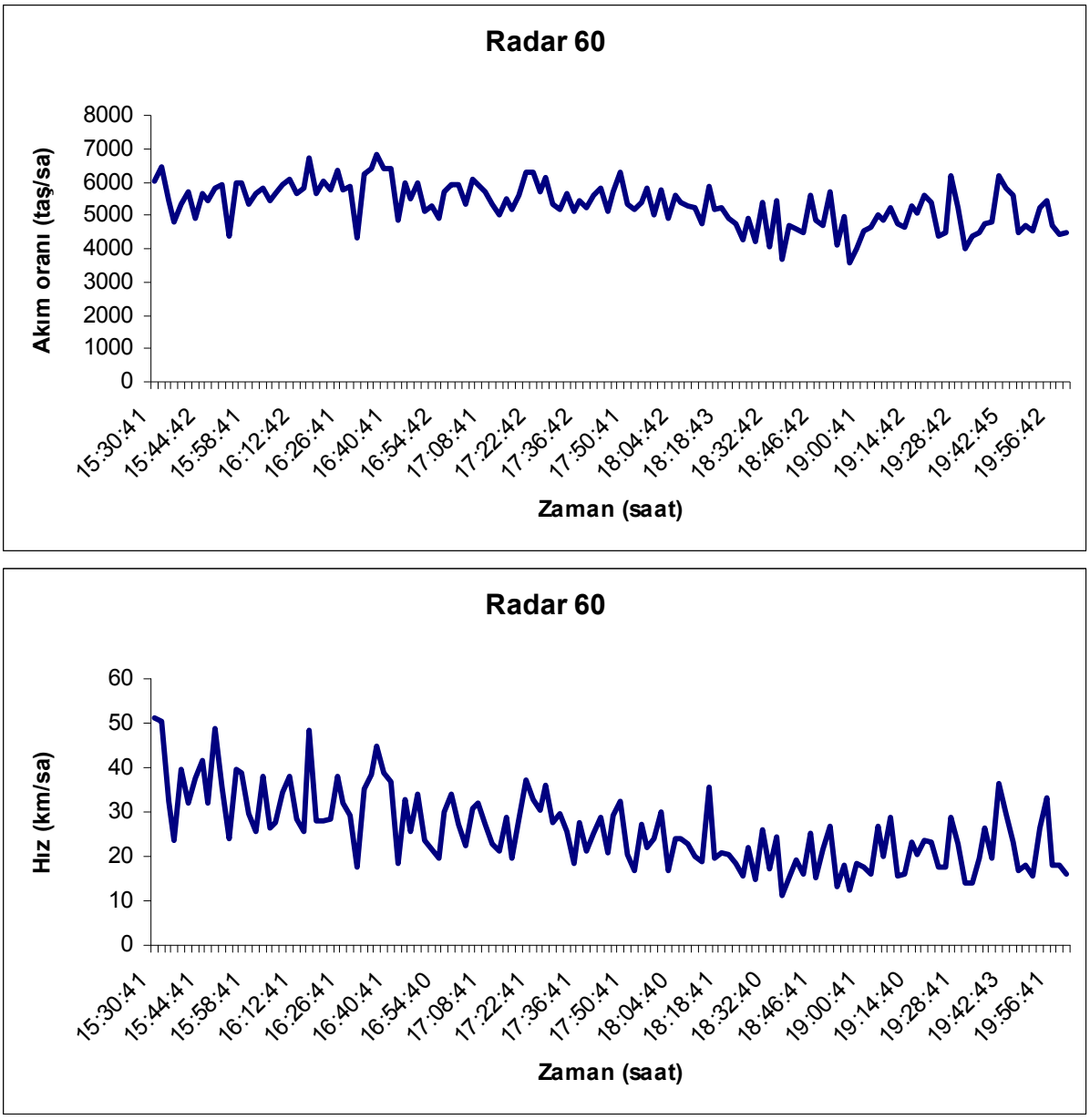
Şekil 6.18 303 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri

(Avrupa - Asya yönünde)



Şekil 6.19 315 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri

(Avrupa - Asya yönünde)



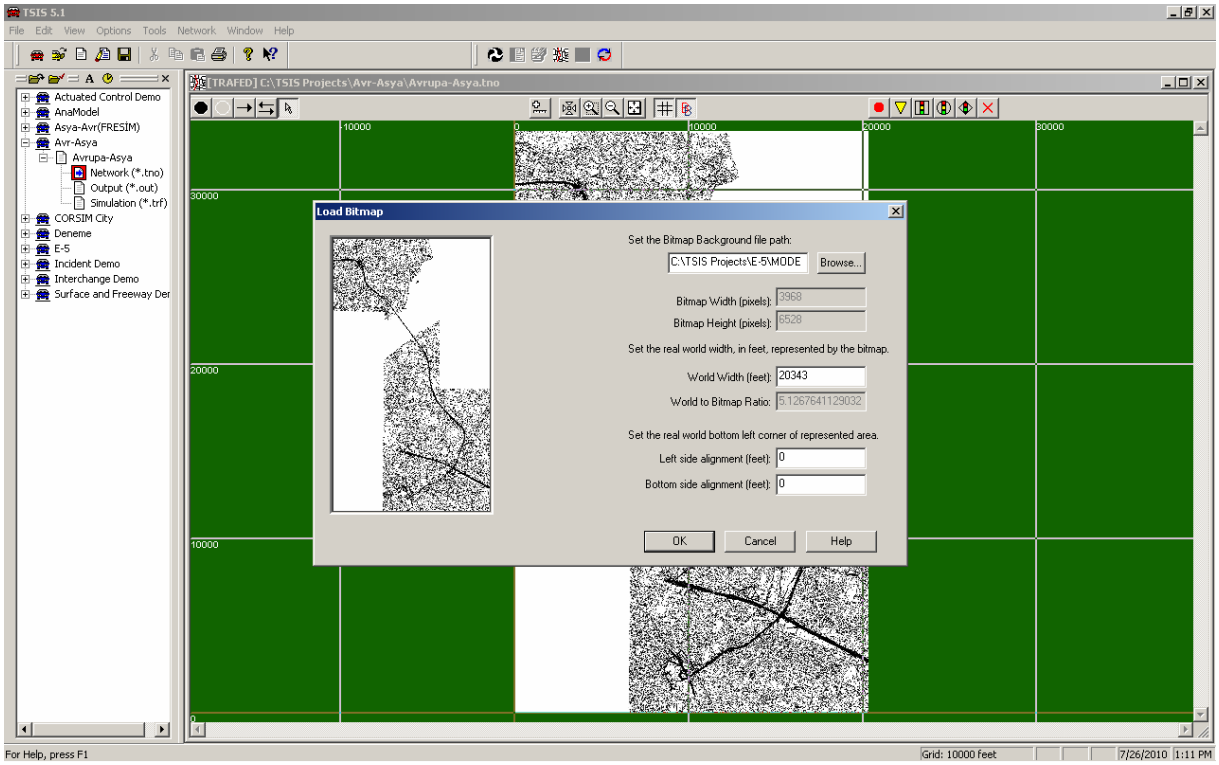
Şekil 6.20 60 numaralı radara ait akım oranı ve hızın zamanla değişim grafikleri (Avrupa - Asya yönünde)

Çalışma başında Avrupa – Asya yönünde simülasyon başlama saatinin 16:00 olmasına karar verilmiş fakat anayol besleme noktası olan 303 numaralı radar kesitinde okunan hız değerlerinden besleme noktasındaki sıkışıklığın 15:50:00 civarında başladığı görülmüş ve simülasyonun da ısınması (ağın dolması) için gereken zaman hesaba katılarak simülasyon başlama saati 15:30:00'a çekilmiştir.

6.3. Modelin Oluşturulması

Çalışma sahası olan 0 – 1 Karayolu'nda, Asya – Avrupa ve Avrupa – Asya olmak üzere iki simulasyon modeli oluşturulmuştur. Bu işlem için TSIS programının TRAFED aracı kullanılmıştır. Oluşturulan modelin çalıştırılma saatleri; Asya – Avrupa yönünde, zirve sürecini kapsayan, 06:00 – 10:00, Avrupa – Asya yönünde ise yine bu yönde zirve sürecini kapsayan 15:30 – 20:00 olarak kararlaştırılmıştır.

AutoCAD programında yaratılan sanal yazıcı yardımı ile alınan, çalışma sahasına ait yüksek çözünürlüklü çıktı, bir fotoğraf programı yardımı ile TRAFED'in tanıdığı Bitmap formatına dönüştürüldü. Programa yüklenen Bitmap dosyası, Google EARTH programı kullanılarak, belirli noktalardan yapılan ölçümlerle TRAFED programında ölçeklenerek modele altlık oluşturulması için hazırlandı (Şekil 6.21).



Şekil 6.21 TRAFED programında altlığın ölçeklendirilmesi

6.3.1. Asya – Avrupa Yönü Karayolu Ağının Oluşturulması

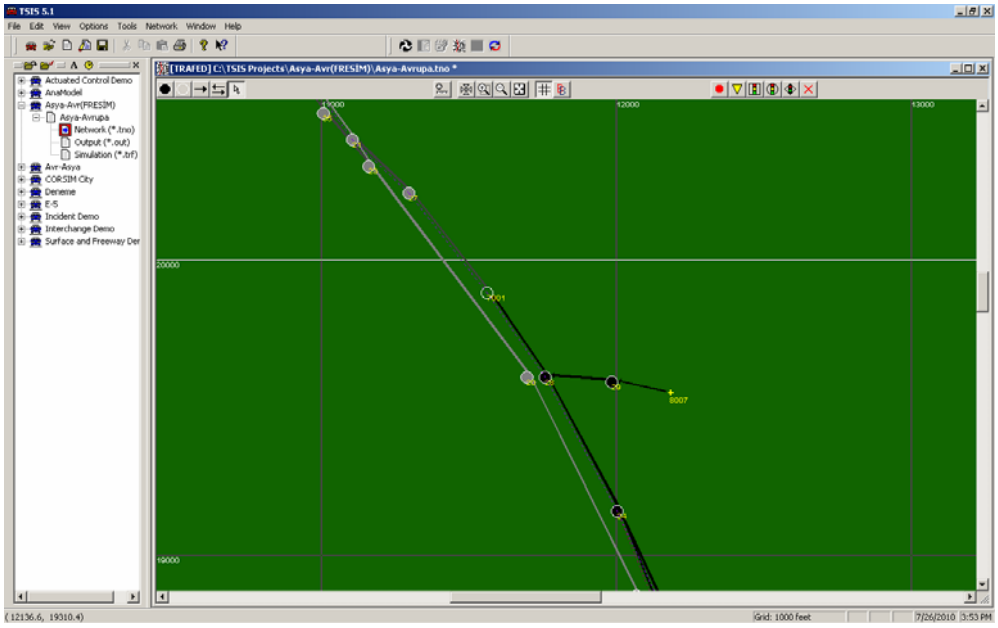
Asya – Avrupa yönü için model, Asya kıtasında, E-80 katılımından (Çamlıca Kavşağı) önce, 310 numaralı radar kesitinden başlayıp Avrupa kıtasında Beşiktaş ayrımında son bulmaktadır. Modellenen kesime ait geometrik özellikler Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4 Asya - Avrupa yönü geometrik özellikleri

Düğüm noktası	km	Hızlanma şeridi (m)	Yavaşlama şeridi (m)	Başlangıç noktasından uzaklık (m)
E-80 Katılım	18+250	305	-	150
Altunizade Ayrımı	16+900	-	155	1500
Altunizade Katılım	16+450	125	-	1950
Kısıklı Katılım	16+200	125	-	2200
İETT Yan Yolu	15+660	-	90	2740
Beylerbeyi Katılım	14+550	50	-	3850
B.Köprüsü Asya Ankrj.	14+200	-	-	4200
Beşiktaş Ayrımı	12+000	-	-	6400

Düğüm ve bağların kodlanması

Modeli oluşturmada Bitmap'e dönüştürülen, O – 1 Karayolu'na ait hali hazır kullanılmıştır. Öncelikle model başlangıç, katılım ve ayrım noktaları FRESIM düğümleri ile kodlanmıştır. Beylerbeyi katılımı ile İETT yan yolu ise NETSIM düğümleri ile kodlanarak, düğüm kodlama işlemi tamamlanmıştır (Şekil 6.22). Düğümleri trafiğin akış yönüne göre bağlar (linkler) ile birleştirerek model oluşturulmuştur. Şerit sayıları ve hızlanma, yavaşlama şeritleri uzunlukları hali hazır haritadan okunmuştur. Bağların boyuna eğimleri, hâlihazır yardımıyla yol üzerinde okunan kotlar yardımıyla hesaplanmış ve programa girilmiştir.



Şekil 6.22 TRAFED ekranında düğüm ve bağ kodlaması

Talep ve Ayrım Verilerinin Modele Girilmesi

Talep verilerinin belirlenmesinde radar verilerinden ve önceki araştırmalardan yararlanılmıştır. Model ana besleme noktası olarak 310 numaralı radar kullanılmış ve talep verileri 10'ar dakikalık toplam taşıt hacimleri olarak modele girilmiştir. E – 80 katılım hacimleri için 10 numaralı radarın verilerinden yararlanılmıştır. Altunizade ayrımı, Altunizade katılımı, Kısıklı katılımı ve Beylerbeyi katılım hacimlerini tespit edebilecek radarlar bulunmamaktadır. Bu sebeple, bu veriler, daha önce sahaya çıkılarak ölçüm yapılmış olan önceki çalışmalardan alınmıştır. Modele girilen giriş-çıkış hacim verileri Çizelge 6.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 6.5 Modele girilen giriş-çıkış hacim verileri

Zaman (saat)	Anayol (taş/sa)	E – 80 katılımı (taş/sa)	Altunizade ayrımı (taş/sa)	Altunizade katılımı (taş/sa)	Kısıklı katılımı (taş/sa)	Beylerbeyi katılımı (taş/sa)
06:10:00	1188	474	24	180	69	252
06:20:00	1956	546	39	222	101	270
06:30:00	2640	810	53	264	200	384
06:40:00	3516	1278	70	900	250	1000
06:50:00	3672	1542	73	1000	275	1250
07:00:00	2988	1308	60	1500	300	1500
07:10:00	2022	1134	40	2100	2100	2100
07:20:00	1404	1056	28	2100	2100	2100
07:30:00	1224	1038	24	2100	2100	2100
07:40:00	978	1044	20	2100	2100	2100
07:50:00	756	918	15	2100	2100	2100
08:00:00	564	966	11	2100	2100	2100
08:10:00	774	1038	15	2100	2100	2100
08:20:00	852	966	17	2100	2100	2100
08:30:00	1494	1008	30	2100	2100	2100
08:40:00	1740	996	35	2100	2100	2100
08:50:00	2670	972	53	2100	2100	2100
09:00:00	2592	1068	52	1750	2100	2100
09:10:00	2748	1092	55	1750	2100	2100
09:20:00	2550	954	51	1750	2100	2100
09:30:00	2778	1026	56	1750	2100	2100
09:40:00	2460	816	49	1750	2100	2100
09:50:00	3174	930	63	1750	2100	2100
10:00:00	3024	924	60	1750	2100	2100

Otobüs hatlarının ve sefer sayılarının tanımlanması

Modelde yer alan otobüsler için, Kısıklı'dan kalkan ve Boğaziçi Köprüsü'nü geçen bir hat ve metrobüs hattı tanımlanmıştır. Bu hatların sefer sıklıkları, Boğaziçi Köprüsü'nden geçen otobüs hatlarının, İETT'nin internet sitesinden, köprü durağından geçiş saatleri verisinden türetilmiştir. Çizelge 6.6'da hatlara ait sefer sayıları ve izleme aralıkları gösterilmektedir.

Çizelge 6.6 Hatlara ait sefer sayıları ve izleme aralıkları

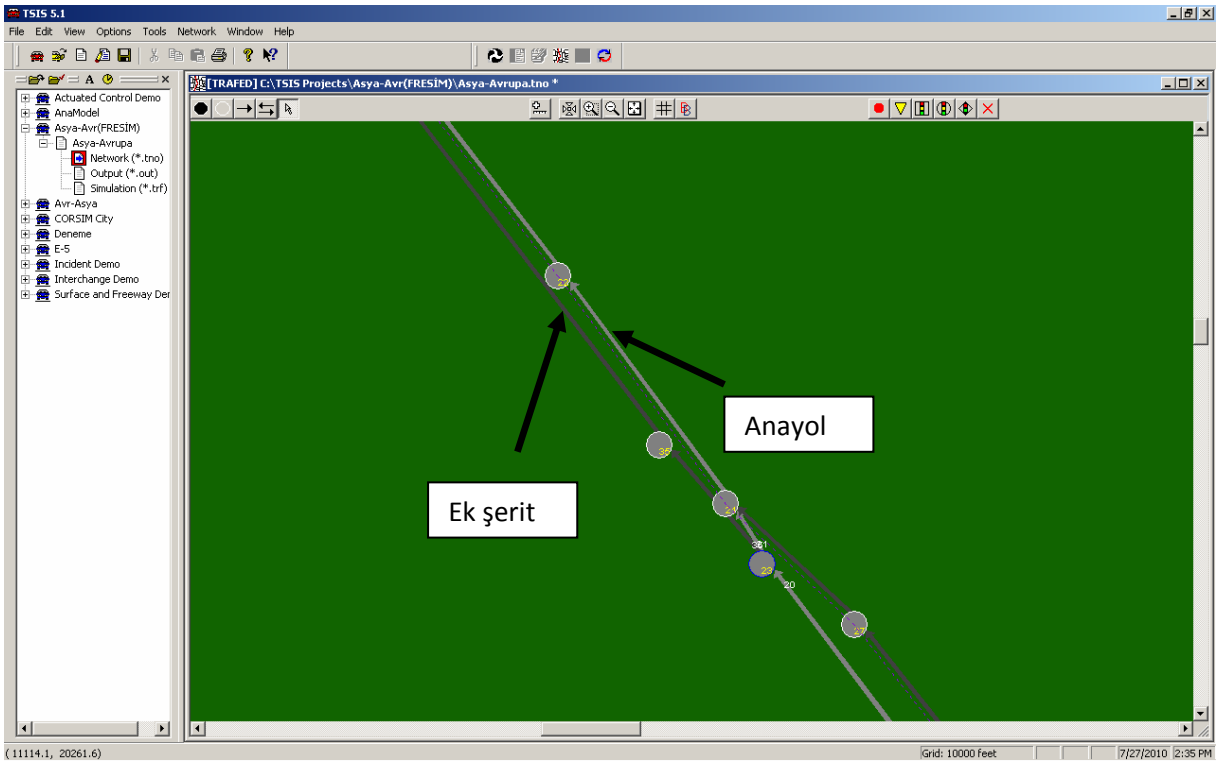
		Sefer Sayıları (adet/saat) ve Sıklıkları			
Hat No	Hat Adı	06:00-07:00	07:00-08:00	08:00-09:00	09:00-10:00
103	TEPEÜSTÜ – KABATAŞ	2	3	2	2
110	KADIKÖY – TAKSİM	2	3	3	3
112	BOSTANCI – TAKSİM	1	4	5	3
122L	ÜMRANİYE – METRO – LEVENT	0	5	5	2
125	KADIKÖY – BOĞAZİÇİ ÜNİ.	2	1	1	1
129T	KOZYATAĞI – TAKSİM	5	8	7	5
202	ÜSTBOSTANCI – TAKSİM	1	5	6	4
251	PENDİK – ŞİŞLİ	0	4	6	3
252	KARTAL – ŞİŞLİ	0	4	5	3
256	YEDİTEPE Ü. – TAKSİM	0	3	2	1
500A	KADIKÖY – EDİRNEKAPI	4	6	6	6
500ES	TUZLA – ESENLER	0	4	5	5
522	ALEMDAĞ – TOPKAPI	6	6	6	5
E-8	PENDİK – BEŞİKTAŞ	0	2	1	0
	Toplam Sefer Sayısı (Adet)	23	58	60	43
	Ortalama İzleme Süresi (sn)	157	62	60	84
34A	S.ÇEŞME-ZİNCİRLİKUYU	10	34	52	46
	Ortalama İzleme Süresi (sn)	360	106	69	78

Ek şerit uygulamasının modelde oluşturulması

Ek şerit uygulaması CORSIM programı yetenekleri içinde yer almamaktadır. Ancak bu, anayol ile aynı yönde tek şeritli bir otoyol oluşturularak gerçekleştirilebilir. Uygulamada da aynı yöntem uygulanmıştır (Şekil 6.23). Tek şeritli bu yola, simülasyonun 34. dakikasına kadar dönüş yüzdesi "0" olarak girilerek o şeridin kapalı olması sağlanmış ve 34. dakikadan sonra ölçülen değerler girilerek şerit kullanıma açılmıştır (Çizelge 6.7).

Çizelge 6.7 Ek şeride dönüş yüzdeleri

Zaman aralığı (saat)	Dönüş yüzdesi (%)
15:00 – 15:34	0
15:34 – 20:00	18



Şekil 6.23 Ek şeridin modelde oluşturulması

Detektörlerin Tanımlanması

Simülasyon sonuçları ile radar verilerini karşılaştırarak modelin gerçek koşullara uygunluğunun kontrolü için mevcut ağda konumları belli olan radar noktalarının, modeldeki yol ağı üzerinde de konumları belirlenerek detektörler tanımlanmıştır. Bu işlem, radarı bulunan her bağın özellik tablosundaki *"detector"* sekmesinde, tanımlanacak detektörün konumu, şeridi ve tipine ait bilgiler girilerek gerçekleştirilmiştir. Mevcut radar numarası ile aynı numaraya sahip, istenilen zaman dilimleri için şerit bazında hız, yoğunluk ve hacim bilgilerini elde edebileceğimiz "loop" detektörler tanımlanmıştır.

6.3.2. Avrupa – Asya Yönü Karayolu Ağının Oluşturulması

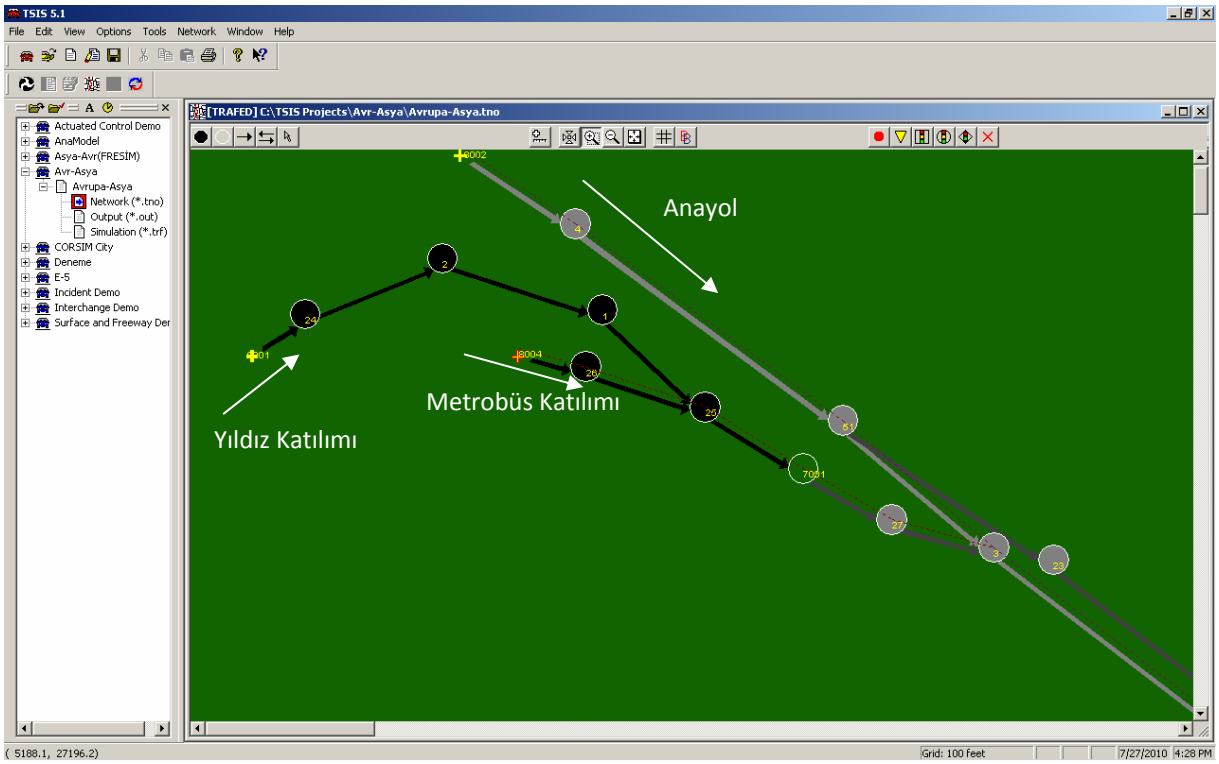
Avrupa – Asya yönünde model Yıldız katılımının ve 303 numaralı radar kesitinin yaklaşık 250 metre akım yukarısından başlayıp, Boğaziçi Köprüsü gişelerinin sonuna kadar devam etmektedir. Avrupa – Asya yönüne ait geometrik özellikler Çizelge 6.8'de yer almaktadır.

Çizelge 6.8 Avrupa - Asya yönü geometrik özellikleri

Düğüm noktası	km	Hızlanma şeridi (m)	Yavaşlama şeridi (m)	Başlangıç noktasından uzaklık (m)
Yıldız Katılımı	12+000	380	-	200
B.Köprüsü Avr. Ankrajı	12+900	-	-	1100
Gişe Sahası	14+650	-	-	2850

Düğüm ve bağların kodlanması

Avrupa – Asya yönünde, Yıldız katılımı ile metrobüs yolunun birleşip ana yola katıldığı bölüm ve gişe sahası, FRESIM'de çok şeritli modellemeye olanak olmadığı için NETSIM'de modellenmiştir. Şekil 6.24, Yıldız katılımının TRAFVU ekran görüntüsünü göstermektedir.



Şekil 6.24 Yıldız katılımının TRAFVU ekran görüntüsü

Ek şeridin tanımlanması

Yıldız katılımından hemen önce, sol şeritten ayrılan ek şerit, gişe sahasında 12 numaralı OGS gişesinin hemen önünde anayola katılmaktadır. Bu şeritten gelen taşıtların tümünün 12 numaralı OGS gişesine yönelmekte olduğu kabul edilmiştir.

Talep verilerinin modele girilmesi

Anayol hacimleri, 303 numaralı radar ve Yıldız katılımı hacimleri ise 315 numaralı radar verileri kullanılarak, 10'ar dakikalık dilimlerde akım oranı şeklinde hesaplanarak modele talep verileri olarak girilmiştir (Çizelge 6.9).

Çizelge 6.9 Avrupa - Asya yönü talep verileri

Zaman Aralığı (saat)	Anayol (taş/sa)	Yıldız Katılımı (taş/sa)	Ek Şerit (taş/sa)
15:40:00	4734	2190	0
15:50:00	3966	1674	0
16:00:00	4026	1734	0
16:10:00	4014	1230	0
16:20:00	4020	1950	0
16:30:00	4278	2106	941
16:40:00	4500	2304	990
16:50:00	5472	2022	1204
17:00:00	4956	2208	1041
17:10:00	5112	1956	1074
17:20:00	5004	2262	1051
17:30:00	4914	2160	1032
17:40:00	5070	2118	1065
17:50:00	4890	2178	1027
18:00:00	4008	2256	802
18:10:00	6006	2376	1201
18:20:00	4848	2208	970
18:30:00	4212	2478	842
18:40:00	4200	2238	840
18:50:00	4332	2382	866
19:00:00	4164	2358	833
19:10:00	4578	2340	916
19:20:00	4980	2238	996
19:30:00	4734	2310	947
19:40:00	4242	2202	848
19:50:00	4932	2046	986
20:00:00	4338	2178	868

Otobüs hacimlerinin programa girilmesi

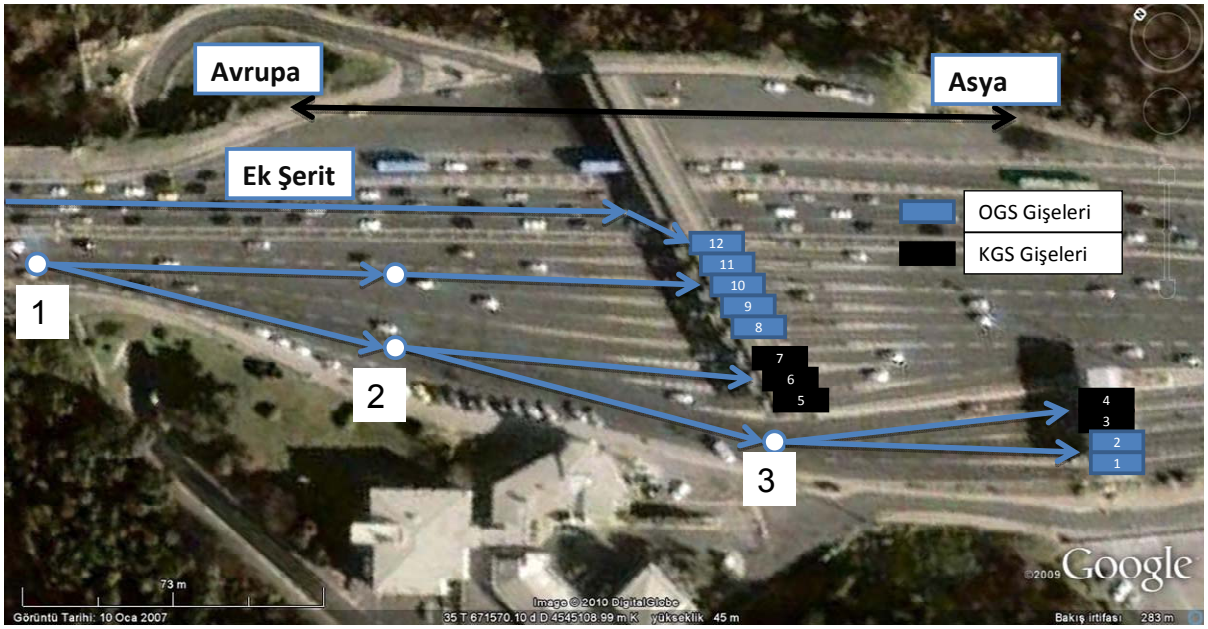
Avrupa – Asya yönünde çalışan otobüsler için, biri anayoldan başlayıp model sonuna kadar devam eden, diğeri metrobüs hattı olmak üzere iki hat tanımlanmıştır. Hatların sefer sıklıkları, 23 Mart'a ait gişe görüntüleri incelenerek hesaplanmıştır. Hesaplamada, görüntüler saatlik olarak incelenmiş, metrobüsler ve diğer otobüsler olmak üzere 2 sınıf altında toplamlar alınmıştır. Çizelge 6.10'da buna göre hesaplanan sefer aralıkları gösterilmiştir.

Çizelge 6.10 Avrupa - Asya yönünde otobüs sefer aralıkları

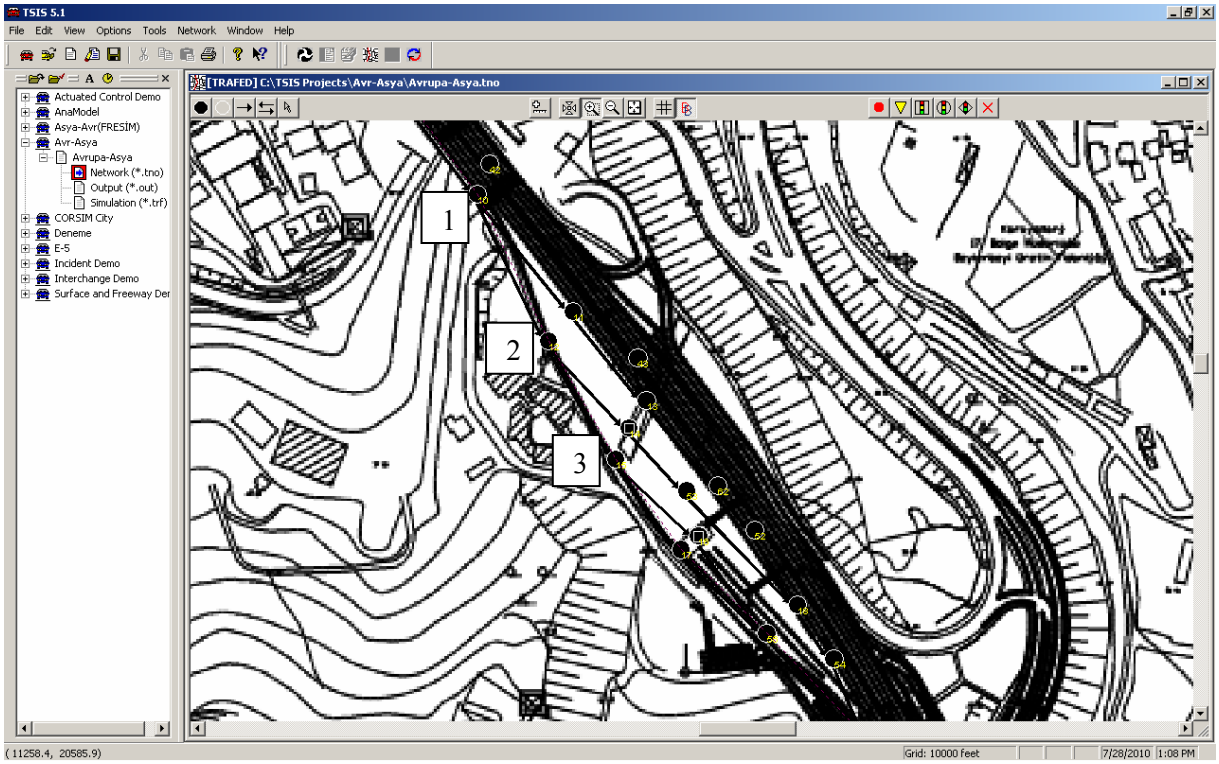
	Metrobüs	Diğer
Zaman Aralığı	Sefer Aralığı (sn)	Sefer Aralığı (sn)
15:30 - 16:00	90	80
16:00 - 17:00	82	77
17:00 - 18:00	64	113
18:00 - 19:00	47	97
19:00 - 20:00	53	65

Gişe sahasının modellenmesi

Avrupa – Asya yönünde gişe sahasının modellenmesinde öncelikle gişe görüntüleri incelenmiş ve araçların hangi şeritten hangi gişelere yönlendikleri gözlemlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda Şekil 6.25'deki taslak oluşturulmuştur. Bu taslak programda Şekil 6.26'daki gibi modellenmiştir.

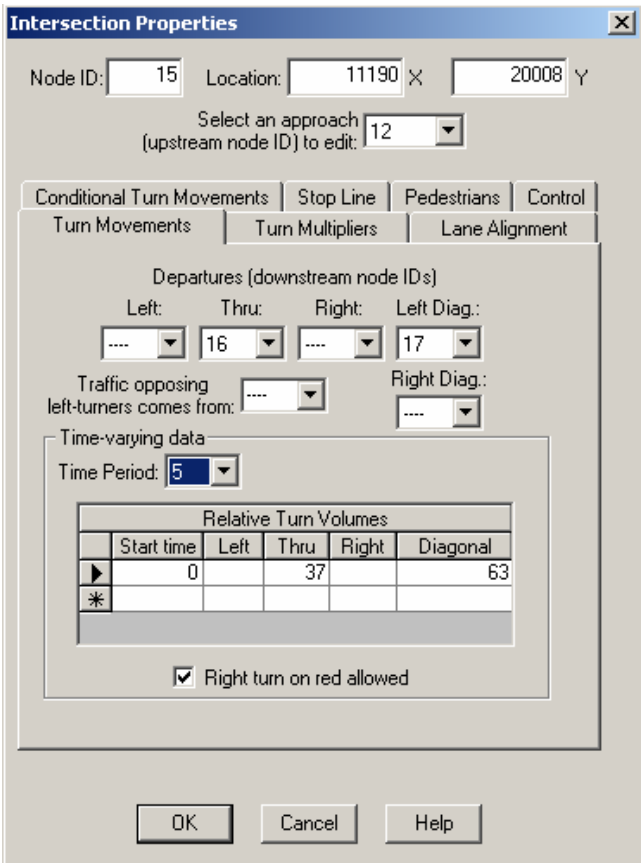


Şekil 6.25 Gişe sahası modeli taslağı



Şekil 6.26 TRAFED ekranında gişe sahası modeli

Daha sonra gişelerden geçiş sayıları kullanılarak düğümlerde dönüş yüzdeleri hesaplanıp programa girilmiştir. Hesaplamada, 1 numaralı düğüm noktası için, 11, 10, 9 ve 8 numaralı OGS gişelerinden geçişlerin toplam ile 7, 6, 5, 4, 3 no'lu KGS gişeleri ve 2 ve 1 no'lu OGS gişelerin geçişleri toplamı oranlanmıştır. 12 numaralı gişeyi yalnızca ek şeritten gelen taşıtların kullandığı kabul edilmiştir. 2 numaralı düğüm noktası için, 7, 6, 5 numaralı KGS gişelerinden geçişlerin toplamı, 4, 3, 2, 1 numaralı gişelerin geçişlerinin toplamına oranlanmıştır. Son olarak 3 numaralı düğümde, 4 ve 3 numaralı KGS gişelerinden geçişler, 2 ve 1 numaralı OGS gişelerinden geçişlere oranlanmıştır. Çizelge 6.11'de Şekil 6.27'de gösterilen düğüm noktalarına girilen dönüş yüzdeleri verilmiştir. 15:30 – 16:00 arasında gişe sahasına giren taşıtların %68'i 11, 10, 9 ve 8 numaralı OGS gişelerini kullanmakta; kalan %32'nin %55'i (%17,6'sı) 7, 6 ve 5 numaralı KGS gişelerini kullanmakta; bu %32'nin %12,8'i (%32 x %45 x %89) 4 ve 3 numaralı KGS gişelerini kullanmakta ve kalan %1,6'sı da (%32 x %45 x %11) 1 ve 2 numaralı OGS gişelerini kullanmaktadır.

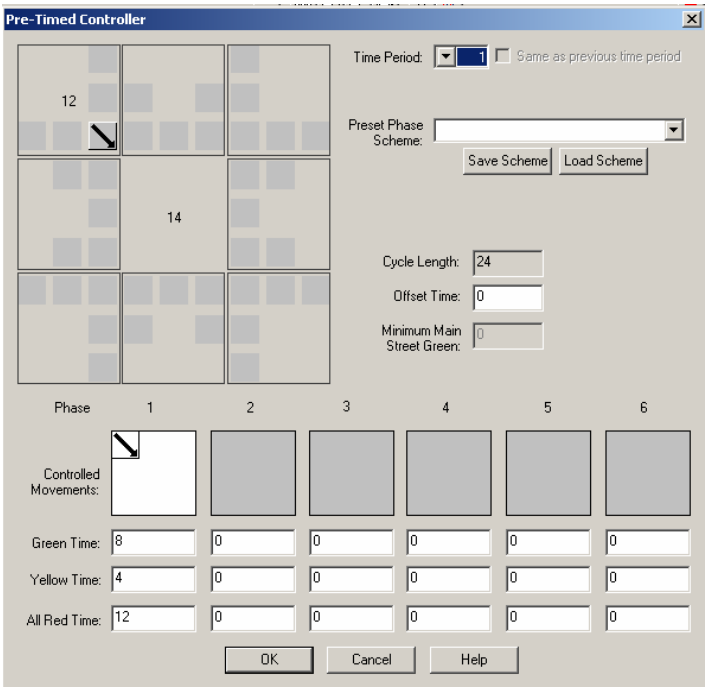


Şekil 6.27 Düğüm noktalarında dönüş yüzdelerinin girilmesi

Çizelge 6.11 Gişe sahası taşıt dönüş yüzdeleri

Düğüm Noktası	1		2		3	
Gişe No	11, 10, 9, 8	Diğer	7, 6, 5	Diğer	4, 3	2, 1
15:30 – 16:00	%68	%32	%55	%45	%89	%11
16:00 – 17:00	%67	%33	%62	%38	%86	%14
17:00 – 18:00	%65	%35	%58	%42	%72	%28
18:00 – 19:00	%53	%47	%42	%58	%38	%62
19:00 – 20:00	%52	%48	%42	%58	%37	%63

KGS gişelerinden saatlik geçişleri düzenlemek için gişe geçiş noktalarında sinyalizasyon kullanılarak geçişler kısıtlanmıştır (Şekil 6.28). Sinyalizasyonda, tek faz 24 saniye olarak alınmış ve 8 saniyesi yeşil, 4 saniyesi sarı ve 12 saniyesi kırmızı olacak şekilde programa girilmiştir.



Şekil 6.28 KGS gişelerinde sinyalizasyon uygulaması

6.4. Modelin Kalibrasyonu

Oluşturulan simülasyon modelinin gerçek koşulları yansıtabilmesi için gerekli model parametrelerinin ayarlanması işlemine kalibrasyon denir. Parametrelerin ayarlanmasıyla, modelin, yerel sürücü davranışlarını ve trafik özelliklerini doğru olarak yansıtabilmesi amaçlanmaktadır. Gerçek yol ağında uygulanması düşünülen seçeneklerin ne gibi sonuçlar doğuracağı, iyi kalibre edilmiş bir simülasyon modeli üzerinde uygulanarak görülebilir (Aydın, 2008).

Her iki modelin (anayol kesiminin) gerçek trafik durumunu yansıtıp yansıtmadığını sahadaki radar verileri ile modeldeki detektör verilerinden elde edilen 10'ar dakikalık hız ve hacim değerleri karşılaştırılarak belirlenmiştir. Değerler arasındaki sapma oranları incelenerek gerekli parametre değerleri (sistem bazında veya kesim bazında) değiştirilerek simülasyon modeli gerçeğe yakınlaştırılmıştır.

Her iki yönde modellemede de kullanılan parametreler;

- Serbest akım hızı: 105 km/sa (65 mil/sa)
- Anayoldaki araçların, katılımdan gelen araçlara yol verme yüzdeleri (Sistem bazında: %25)

- Taşıt izleme uzaklığı (Sabiti: 3 m (10 feet))

Sürücü Tipi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Çarpan	1,02	0,94	0,86	0,77	0,69	0,61	0,53	0,45	0,37	0,29

İzleme uzaklıkları çarpanları bütün sürücü tipleri için %20 oranında düşürülmüştür, böylece modele giren taşıt sayısının artması sağlanmıştır.

- Taşıt izleme duyarlılık çarpanı

Taşıt izleme duyarlılık çarpanı, taşıt izleme uzaklığının, bağ bazında, artırılması veya azaltılmasına olanak sağlamaktadır.

- Keyfi şerit değiştirme çarpanı: (Sistem bazında: 0,3)

Keyfi şerit değiştirme çarpanı değeri, sürücülerin keyfi olarak şerit değiştirmelerini etkileyen çarpandır. Yüksek çarpan, sürücünün keyfi olarak şerit değiştirme isteğini arttırmaktadır.

- Şerit değiştirme eşik değeri: (Sistem bazında: 0,3)

Keyfi şerit değiştirme çarpanının eşik değerini aşması, modelde keyfi şerit değiştirmelerin gerçekleşmesini sağlar.

- Şerit değiştirme tamamlanma süresi: 10 sn (Asya – Avrupa yönünde, sistem bazında)

Simülasyonda, bir taşıtın şerit değiştirmeyi ne kadar zamanda tamamlayacağını belirtmektedir. Bu değer 10 sn olarak girilmiştir, böylece kuyruklanmanın istenilen düzeyde olması sağlanmıştır.

6.4.1. Simülasyon Modelinin Gerçeğe Uygunluğunun Araştırılması

Simülasyon modelinin gerçeğe uygunluğunun araştırılması için, sahada okunan radar verileri ile simülasyon modelinde sahadaki radarlarla aynı noktalara yerleştirilen detektörlerden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma 10'ar dakikalık aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Akım oranı karşılaştırmalarında Denklem 6.2'deki GEH istatistiği kullanılmıştır. GEH istatistiği, Ki-kare istatistiğinin bağıl ve mutlak hataları içeren bir halidir.

$$GEH = \sqrt{\frac{\left(V_{Saha} - V_{Sim}\right)^2}{\left(V_{Saha} + V_{Sim}\right)/2}} \tag{6.2}$$

Değişik GEH değerleri bize simülasyonun uyumluluğu hakkında bilgi vermektedir. Bunlar;

GEH < 5 Akımlar uygun kabul edilebilir,
5 < GEH < 10 Akımların kalibrasyona ihtiyacı olabilir,
GEH > 10 Akımlar uygun kabul edilemez (DMRB, 1996; Oketch ve Carrick, 2005).

Simülasyonda elde edilen hız değerleri'nin (S_{sim}) sahada ölçülen hız değerleri'nden (S_{saha}) sapma oranı (Sapma) Denklem 6.3 yardımıyla hesaplanmıştır. Hız verilerinin karşılaştırmasında sapmanın 0,20'nin altında olması modelin hızlarının uygun kabul edilebileceği anlamına gelmektedir (Dawling, 2004).

$$Sapma = \left| \frac{S_{Saha} - S_{Sim}}{S_{Saha}} \right| \tag{6.3}$$

İncelenen noktalardaki akım ve hız değerleri, sırasıyla, Asya – Avrupa yönü için Çizelge 6.12 ve 6.13'te, Avrupa – Asya yönü için Çizelge 6.14, 6.15 ve 6.16'da gösterilmektedir. Değerlerin grafiksel gösterimi ise Asya – Avrupa yönü için Şekil 6.29'da, Avrupa – Asya yönü için Şekil 6.30'da gösterilmektedir.

Çizelgelerde, sınır değerlerinden büyük sapmalar mevcuttur. Bu sapmaların en aza indirilmesi için daha ayrıntılı ve sağlıklı saha verilerinin elde edilmesi gerekmektedir. Kalibrasyon aşamasında ise daha fazla zaman ayrılması ve daha fazla değişkenin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Besleme noktasında bulunan 310 numaralı radarın kalibrasyon sürecine dahil edilmesinin nedeni modelde kuyruğun, gerçekte ve simülasyonda ne zaman o radar kesitine ulaştığını gözlemlemektir (Çizelge 6.13).

Çizelge 6.12 Saha ve simülasyon akım (taş/sa) değerlerinin karşılaştırılması

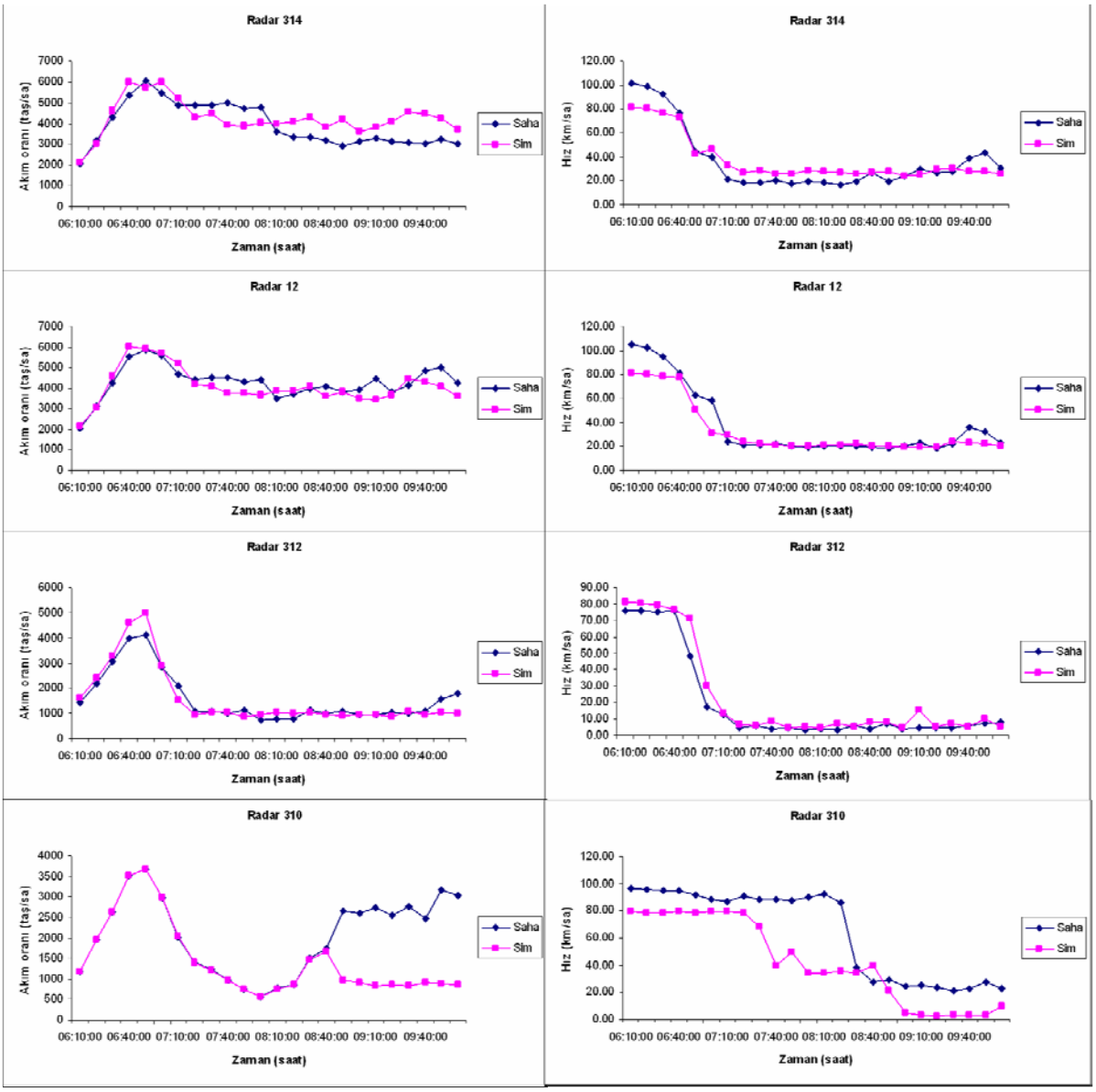
(Asya - Avrupa yönü)

RTMS no	*314*			*12*			*312*			*310*		
Saat	Saha	Sim	GEH	Saha	Sim	GEH	Saha	Sim	GEH	Saha	Sim	GEH
06:10:00	2082	2118	*0,79*	2064	2136	*1,57*	1434	1602	*4,31*	1188	1182	*0,17*
06:20:00	3156	3042	*2,05*	3108	3072	*0,65*	2172	2394	*4,65*	1956	1962	*0,14*
06:30:00	4278	4602	*4,86*	4230	4584	*5,33*	3078	3270	*3,41*	2640	2628	*0,23*
06:40:00	5382	6018	*8,42*	5550	6036	*6,39*	3978	4590	*9,35*	3516	3522	*0,10*
06:50:00	6066	5730	*4,38*	5868	5946	*1,01*	4122	5004	*13,06*	3672	3666	*0,10*
07:00:00	5448	6012	*7,45*	5622	5700	*1,04*	2844	2886	*0,78*	2988	2982	*0,11*
07:10:00	4896	5202	*4,31*	4662	5208	*7,77*	2112	1536	*13,49*	2022	2040	*0,40*
07:20:00	4872	4302	*8,42*	4428	4188	*3,66*	1116	966	*4,65*	1404	1386	*0,48*
07:30:00	4854	4464	*5,71*	4500	4104	*6,04*	1104	1044	*1,83*	1224	1212	*0,34*
07:40:00	4968	3936	*15,47*	4548	3780	*11,90*	1002	1056	*1,68*	978	972	*0,19*
07:50:00	4734	3864	*13,27*	4314	3750	*8,88*	1146	876	*8,49*	756	750	*0,22*
08:00:00	4758	4026	*11,05*	4410	3636	*12,20*	726	942	*7,48*	564	564	*0,00*
08:10:00	3594	3996	*6,53*	3492	3876	*6,33*	810	1044	*7,69*	774	762	*0,43*
08:20:00	3342	4068	*11,93*	3738	3852	*1,85*	804	1002	*6,59*	852	852	*0,00*
08:30:00	3318	4296	*15,85*	4002	4074	*1,13*	1128	1056	*2,18*	1494	1464	*0,78*
08:40:00	3180	3840	*11,14*	4086	3588	*8,04*	990	984	*0,19*	1740	1656	*2,04*
08:50:00	2928	4164	*20,76*	3798	3804	*0,10*	1110	936	*5,44*	2670	954	*40,31*
09:00:00	3114	3588	*8,19*	3948	3504	*7,27*	942	978	*1,16*	2592	906	*40,31*
09:10:00	3312	3798	*8,15*	4464	3450	*16,12*	984	954	*0,96*	2748	822	*45,59*
09:20:00	3114	4074	*16,01*	3840	3672	*2,74*	1062	888	*5,57*	2550	846	*41,35*
09:30:00	3078	4566	*24,07*	4170	4488	*4,83*	996	1098	*3,15*	2778	834	*45,74*
09:40:00	3048	4458	*23,02*	4848	4314	*7,89*	1104	978	*3,91*	2460	900	*38,06*
09:50:00	3240	4230	*16,20*	5004	4080	*13,71*	1596	1038	*15,38*	3174	894	*50,55*
10:00:00	3024	3714	*11,89*	4248	3594	*10,44*	1782	1026	*20,18*	3024	864	*48.99*
Detektör Ort. GEH	*10,83*			*6,12*			*6,07*			*14,86*		
Tüm detektörlerin ortalaması	*9,47*											

Çizelge 6.13 Saha ve simülasyon hız (km/sa) değerlerinin karşılaştırması

(Asya - Avrupa yönü)

RTMS no	*314*			*12*			*312*			*310*		
Saat	Saha	Sim	Sapma	Saha	Sim	Sapma	Saha	Sim	Sapma	Saha	Sim	Sapma
06:10:00	101,23	81,18	*0,19812*	105,05	81,01	*0,22887*	75,81	81,20	*0,07112*	96,39	79,07	*0,17961*
06:20:00	98,57	80,23	*0,18605*	102,85	80,01	*0,22211*	75,84	80,37	*0,05974*	95,61	78,76	*0,17626*
06:30:00	92,22	77,03	*0,16471*	95,08	78,37	*0,17580*	75,31	79,14	*0,05084*	95,07	78,78	*0,17130*
06:40:00	76,21	72,69	*0,04626*	81,49	77,11	*0,05375*	75,91	76,84	*0,01229*	94,74	79,29	*0,16314*
06:50:00	44,76	42,91	*0,04120*	63,10	51,17	*0,18897*	48,39	71,23	*0,47221*	91,97	78,61	*0,14523*
07:00:00	39,24	45,96	*0,17118*	58,08	31,35	*0,46027*	17,71	30,03	*0,69637*	88,39	79,26	*0,10333*
07:10:00	20,80	33,18	*0,59493*	23,70	29,12	*0,22885*	12,88	13,71	*0,06464*	86,82	79,15	*0,08834*
07:20:00	18,91	26,39	*0,39550*	21,43	24,11	*0,12510*	4,40	6,58	*0,49377*	90,92	78,84	*0,13288*
07:30:00	18,41	28,85	*0,56707*	21,61	22,07	*0,02125*	5,78	5,92	*0,02421*	88,71	68,08	*0,23258*
07:40:00	19,87	25,81	*0,29877*	22,08	21,27	*0,03666*	4,36	8,78	*1,01106*	88,14	39,98	*0,54640*
07:50:00	17,44	26,08	*0,49513*	20,11	19,85	*0,01269*	4,79	4,71	*0,01655*	87,95	49,27	*0,43984*
08:00:00	19,48	28,41	*0,45842*	19,29	19,85	*0,02946*	3,26	5,10	*0,56364*	90,30	34,07	*0,62274*
08:10:00	18,22	27,43	*0,50585*	20,35	21,42	*0,05280*	3,79	4,74	*0,25149*	92,55	33,78	*0,63497*
08:20:00	16,48	26,82	*0,62756*	20,08	21,01	*0,04613*	3,43	7,71	*1,25044*	86,07	35,28	*0,59012*
08:30:00	19,78	25,89	*0,30887*	20,21	21,75	*0,07644*	5,87	5,15	*0,12267*	38,33	34,06	*0,11162*
08:40:00	26,33	26,47	*0,00525*	19,31	20,40	*0,05643*	4,35	8,05	*0,85181*	27,52	40,07	*0,45619*
08:50:00	19,50	27,87	*0,42959*	18,57	20,66	*0,11229*	7,09	7,82	*0,10243*	29,39	20,74	*0,29428*
09:00:00	23,79	24,15	*0,01505*	20,18	19,03	*0,05684*	3,98	4,82	*0,21335*	24,42	5,03	*0,79389*
09:10:00	29,98	25,10	*0,16267*	22,90	18,97	*0,17145*	4,43	15,33	*2,45966*	25,34	3,23	*0,87265*
09:20:00	27,10	29,16	*0,07619*	18,28	19,67	*0,07655*	5,03	5,49	*0,09001*	23,18	2,71	*0,88316*
09:30:00	27,73	30,79	*0,11028*	22,25	24,12	*0,08396*	4,87	7,54	*0,54943*	21,14	3,19	*0,84900*
09:40:00	38,49	27,91	*0,27493*	35,57	23,43	*0,34129*	6,04	5,27	*0,12796*	22,97	3,38	*0,85265*
09:50:00	43,12	27,92	*0,35237*	32,36	22,55	*0,30302*	7,37	10,40	*0,41023*	27,19	3,25	*0,88045*
10:00:00	30,84	25,68	*0,16714*	23,29	20,04	*0,13976*	8,29	5,47	*0,34068*	23,07	9,73	*0,57803*
Detektör Ort. Sapma	*0,28*			*0,14*			*0,43*			*0,45*		
Tüm detektörlerin ortalaması				*0,32*								



Şekil 6.29 Asya – Avrupa yönünde, saha ve simülasyona ait akım oranı (taş/sa) ve hız (km/sa) verilerinin zamanla değişimi

Çizelge 6.14 Saha ve simülasyon akım oranlarının karşılaştırılması (taş/sa)

(Avrupa - Asya yönü)

RTMS no	*60*		
Saat	*Saha*	*Sim*	*GEH*
15:40:00	5550	6792	*15,81*
15:50:00	5556	5964	*5,38*
16:00:00	5460	5856	*5,26*
16:10:00	5772	5388	*5,14*
16:20:00	5976	5994	*0,23*
16:30:00	5610	6366	*9,77*
16:40:00	6450	6624	*2,15*
16:50:00	5484	5988	*6,65*
17:00:00	5550	5706	*2,08*
17:10:00	5676	5286	*5,27*
17:20:00	5514	5706	*2,56*
17:30:00	5730	5652	*1,03*
17:40:00	5406	5826	*5,60*
17:50:00	5652	5886	*3,08*
18:00:00	5430	5724	*3,94*
18:10:00	5280	5964	*9,12*
18:20:00	5184	5646	*6,28*
18:30:00	4704	5076	*5,32*
18:40:00	4494	5280	*11,24*
18:50:00	5070	5058	*0,17*
19:00:00	4236	5076	*12,31*
19:10:00	4896	4740	*2,25*
19:20:00	5196	5076	*1,67*
19:30:00	4854	5178	*4,57*
19:40:00	4920	5034	*1,62*
19:50:00	5022	4962	*0,85*
20:00:00	4854	5304	*6,31*
Detektör Ort. GEH	*4,55*		

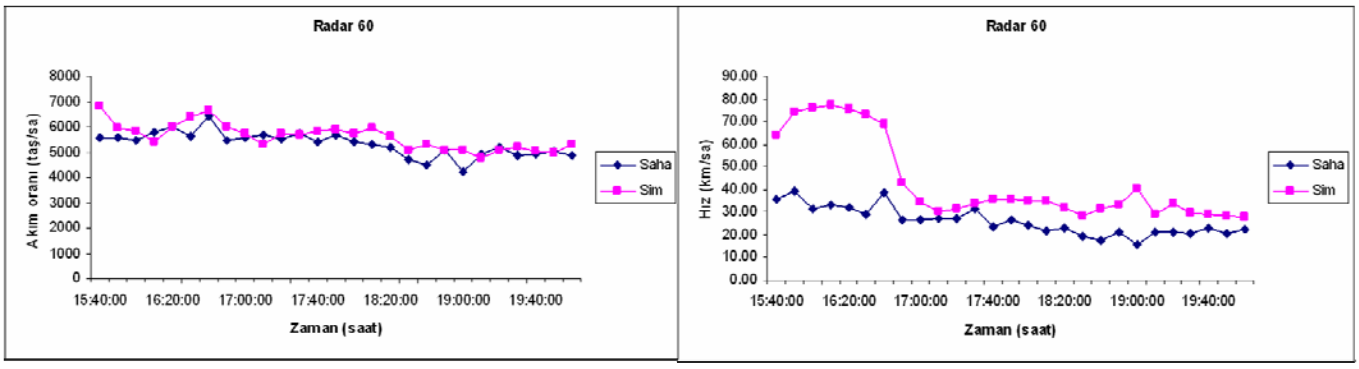
Çizelge 6.15 Köprü gişelerinden çıkış yapan taşıt sayılarının karşılaştırılması

(Avrupa – Asya yönü)

Gişeler	12, 11, 10, 9, 8			7, 6, 5			4, 3			2, 1		
Zaman	Saha	Sim	GEH	Saha	Sim	GEH	Saha	Sim	GEH	Saha	Sim	GEH
15:30-15:59	1942	1992	*1,13*	507	504	*0,11*	364	375	*0,57*	75	84	*1,01*
16:00-16:59	4438	4226	*3,22*	1094	1165	*2,11*	565	657	*3,72*	185	181	*0,30*
17:00-17:59	5052	4887	*2,34*	1130	1147	*0,50*	577	610	*1,35*	313	324	*0,62*
18:00-18:59	3847	3792	*0,89*	984	1010	*0,82*	509	582	*3,13*	947	973	*0,84*
19:00-19:59	3977	3585	*6,38*	1026	1032	*0,19*	533	563	*1,28*	1028	1055	*0,84*
Ort. GEH	2,79			0,75			2,01			0,72		
Ort. GEH	1,57											

Çizelge 6.16 Saha ve simülasyon hız (km/sa) değerlerinin karşılaştırması (Avrupa - Asya yönü)

RTMS no	*60*		
Saat	*Saha*	*Sim*	*Sapma*
15:40:00	35,65	64,10	*0,79814*
15:50:00	39,08	74,35	*0,90261*
16:00:00	31,54	76,39	*1,42193*
16:10:00	32,94	77,19	*1,34313*
16:20:00	31,74	75,42	*1,37629*
16:30:00	29,10	73,06	*1,51080*
16:40:00	38,81	68,74	*0,77127*
16:50:00	26,82	42,60	*0,58863*
17:00:00	26,61	34,30	*0,28874*
17:10:00	27,08	30,22	*0,11600*
17:20:00	27,07	31,11	*0,14946*
17:30:00	31,32	34,01	*0,08574*
17:40:00	23,58	35,61	*0,50976*
17:50:00	26,33	35,46	*0,34659*
18:00:00	24,14	35,28	*0,46170*
18:10:00	21,53	34,81	*0,61702*
18:20:00	23,11	32,18	*0,39252*
18:30:00	19,29	28,50	*0,47699*
18:40:00	17,42	31,18	*0,78965*
18:50:00	20,92	33,32	*0,59291*
19:00:00	15,98	40,28	*1,52115*
19:10:00	21,40	29,06	*0,35793*
19:20:00	21,29	34,11	*0,60251*
19:30:00	20,25	29,61	*0,46224*
19:40:00	23,09	28,93	*0,25297*
19:50:00	20,65	28,57	*0,38395*
20:00:00	22,37	27,74	*0,24015*
Detektör Ortalama Sapma	*0,64*		



Şekil 6.30 Avrupa – Asya yönünde, saha ve simülasyona ait akım oranı (taş/sa) ve hız (km/sa) verilerinin zamanla değişimi

Metrobüs hattından önceki durum analizi için, 19 Mart 2008 tarihine ait, Asya – Avrupa yönü simülasyon modeli, 2010 yılı için aynı yönde hazırlanan modelde bazı değişiklikler yapılarak oluşturuldu. Bu değişiklikler içinde, Altunizade, Kısıklı ve Beylerbeyi katılımlarındaki geometrik düzenlemeler ve ek şerit başlangıç noktasındaki geometrik düzenlemeler yer almaktadır. 2008 yılına ait simülasyon modelinde incelenen akım ve hız değerleri Çizelge 6.17 ve Çizelge 6.18'de yer almaktadır. Değerlerin grafiksel gösterimi Şekil 6.31'de yer almaktadır. Çizelgelerdeki, 2010 yılına ait simülasyondaki gibi, yüksek sapma ve GEH oranları, o güne ait trafikteki özel koşulların bilinememesi ve simülasyon programında yansıtılamamasından kaynaklanmaktadır. Doğruluğu daha yüksek verilerle ve kalibrasyona daha fazla zaman harcanarak gerçeğe daha yakın bir simülasyon modeli elde edilebilir.

Çizelge 6.17 Saha ve simülasyon akım oranı (taş/sa) değerlerinin karşılaştırması

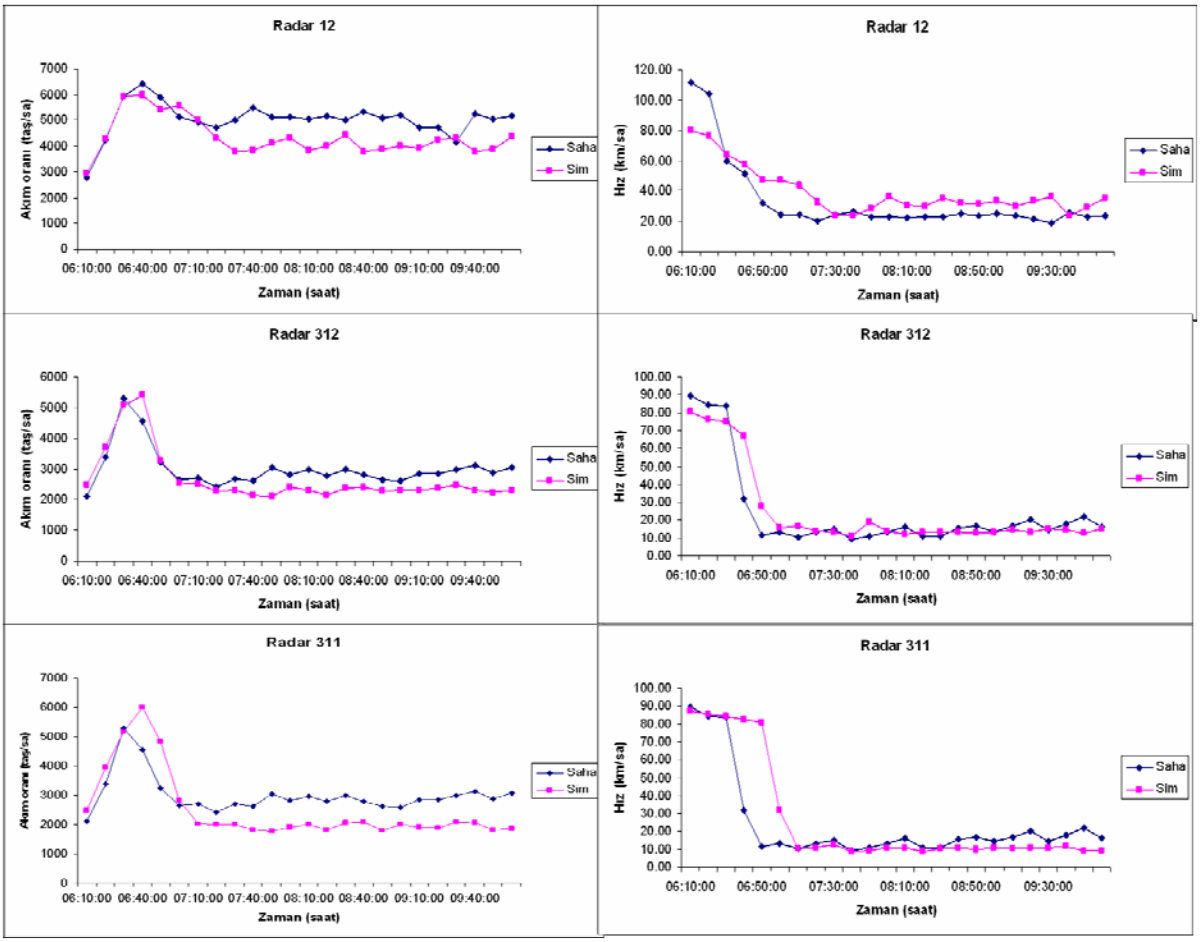
(2008 yılı, Asya – Avrupa yönü)

RTMS no	*12*			*312*			*311*		
Zaman	Saha	Sim	GEH	Saha	Sim	GEH	Saha	Sim	GEH
06:10:00	2790	2970	*3,35*	2100	2490	*8,14*	2100	2466	*7,66*
06:20:00	4230	4302	*1,10*	3384	3726	*5,74*	3384	3942	*9,22*
06:30:00	5940	5964	*0,31*	5304	5046	*3,59*	5304	5190	*1,57*
06:40:00	6432	6006	*5,40*	4566	5382	*11,57*	4566	6018	*19,96*
06:50:00	5922	5418	*6,69*	3234	3276	*0,74*	3234	4824	*25,05*
07:00:00	5142	5580	*5,98*	2652	2550	*2,00*	2652	2826	*3,32*
07:10:00	4956	5034	*1,10*	2706	2508	*3,88*	2706	2034	*13,80*
07:20:00	4722	4332	*5,80*	2424	2286	*2,84*	2424	1998	*9,06*
07:30:00	4998	3822	*17,71*	2694	2310	*7,68*	2694	1980	*14,77*
07:40:00	5520	3858	*24,27*	2604	2160	*9,10*	2604	1824	*16,58*
07:50:00	5148	4128	*14,98*	3036	2124	*17,95*	3036	1758	*26,10*
08:00:00	5154	4326	*12,03*	2808	2424	*7,51*	2808	1920	*18,26*
08:10:00	5070	3846	*18,33*	2970	2304	*12,97*	2970	1980	*19,90*
08:20:00	5184	4026	*17,06*	2784	2154	*12,68*	2784	1812	*20,28*
08:30:00	5022	4464	*8,10*	2976	2376	*11,60*	2976	2046	*18,56*
08:40:00	5352	3804	*22,88*	2802	2406	*7,76*	2802	2070	*14,83*
08:50:00	5118	3882	*18,43*	2664	2274	*7,85*	2622	1806	*17,34*
09:00:00	5238	4020	*17,90*	2598	2316	*5,69*	2598	1998	*12,52*
09:10:00	4728	3906	*12,51*	2850	2304	*10,76*	2850	1920	*19,04*
09:20:00	4722	4260	*6,89*	2838	2382	*8,93*	2838	1890	*19,50*
09:30:00	4152	4332	*2,76*	2988	2496	*9,40*	2988	2088	*17,86*
09:40:00	5256	3786	*21,86*	3126	2304	*15,78*	3126	2052	*21,11*
09:50:00	5070	3894	*17,57*	2874	2256	*12,20*	2874	1824	*21,66*
10:00:00	5184	4368	*11,81*	3066	2322	*14,33*	3066	1842	*24,71*
Detektör Ort. GEH	*11,45*			*8,78*			*16,36*		
Tüm detektörlerin ortalaması				*12,20*					

Çizelge 6.18 Saha ve simülasyon hız değerlerinin (km/sa) karşılaştırması

(2008 yılı, Asya – Avrupa yönü)

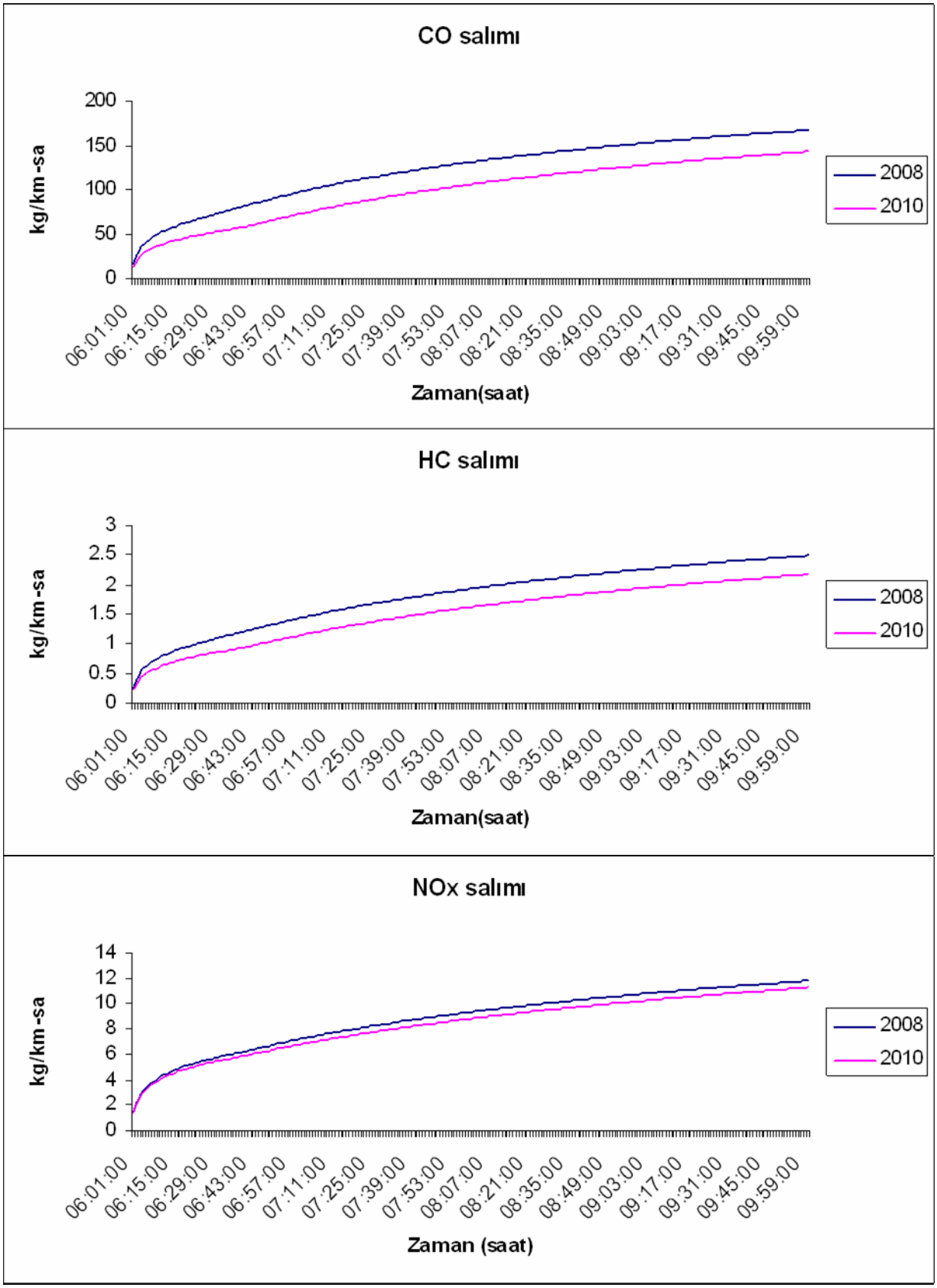
RTMS no	*12*			*312*			*311*		
Zaman	*Saha*	*Sim*	*Sapma*	*Saha*	*Sim*	*Sapma*	*Saha*	*Sim*	*Sapma*
06:10:00	111,89	79,57	*0,28887*	89,33	80,08	*0,10360*	89,33	87,42	*0,02141*
06:20:00	103,85	76,53	*0,26309*	84,67	76,32	*0,09872*	84,67	85,49	*0,00958*
06:30:00	59,89	63,58	*0,06171*	84,09	75,17	*0,10614*	84,09	84,11	*0,00024*
06:40:00	51,12	57,82	*0,13108*	31,58	66,81	*1,11556*	31,58	82,69	*1,61850*
06:50:00	31,67	47,32	*0,49436*	11,72	27,61	*1,35553*	11,72	81,07	*5,91525*
07:00:00	24,33	47,49	*0,95234*	13,12	15,66	*0,19326*	13,12	31,63	*1,41060*
07:10:00	24,02	43,79	*0,82281*	10,27	16,66	*0,62227*	10,27	10,29	*0,00183*
07:20:00	20,37	32,62	*0,60140*	13,01	13,89	*0,06765*	13,01	11,27	*0,13429*
07:30:00	23,97	23,35	*0,02609*	15,10	13,46	*0,10869*	15,10	12,70	*0,15858*
07:40:00	26,17	23,25	*0,11165*	8,99	10,81	*0,20271*	8,99	8,77	*0,02446*
07:50:00	22,99	28,17	*0,22513*	11,17	18,85	*0,68729*	11,17	9,04	*0,19036*
08:00:00	22,92	36,05	*0,57281*	13,19	13,78	*0,04465*	13,19	11,14	*0,15555*
08:10:00	22,27	30,66	*0,37679*	16,26	11,99	*0,26280*	16,26	11,27	*0,30704*
08:20:00	23,03	30,04	*0,30458*	10,79	13,43	*0,24442*	10,79	8,77	*0,18788*
08:30:00	23,08	35,69	*0,54638*	10,73	13,40	*0,24942*	10,73	10,46	*0,02461*
08:40:00	25,15	32,21	*0,28075*	15,35	13,25	*0,13671*	15,35	11,20	*0,27046*
08:50:00	23,78	31,33	*0,31775*	16,48	12,89	*0,21738*	16,48	9,80	*0,40492*
09:00:00	24,73	32,98	*0,33361*	13,18	13,28	*0,00714*	14,26	10,85	*0,23910*
09:10:00	23,75	30,05	*0,26516*	16,58	14,34	*0,13490*	16,58	10,20	*0,38459*
09:20:00	21,69	33,40	*0,53940*	19,95	13,46	*0,32497*	19,95	10,95	*0,45100*
09:30:00	18,70	36,05	*0,92769*	14,28	15,24	*0,06757*	14,28	10,89	*0,23750*
09:40:00	25,43	23,68	*0,06876*	17,87	14,51	*0,18809*	17,87	11,68	*0,34662*
09:50:00	23,12	29,10	*0,25870*	22,00	12,56	*0,42918*	22,00	8,97	*0,59227*
10:00:00	23,66	35,16	*0,48643*	16,07	14,93	*0,07125*	16,07	9,39	*0,41582*
Detektör Ort. sapma	*0,39*			*0,29*			*0,56*		
Tüm detektörlerin ortalaması	*0,41*								



Şekil 6.31 2008 yılı Asya – Avrupa yönünde, saha ve simülasyona ait akım oranı (taş/sa) ve hız (km/sa) verilerinin zamanla değişimi

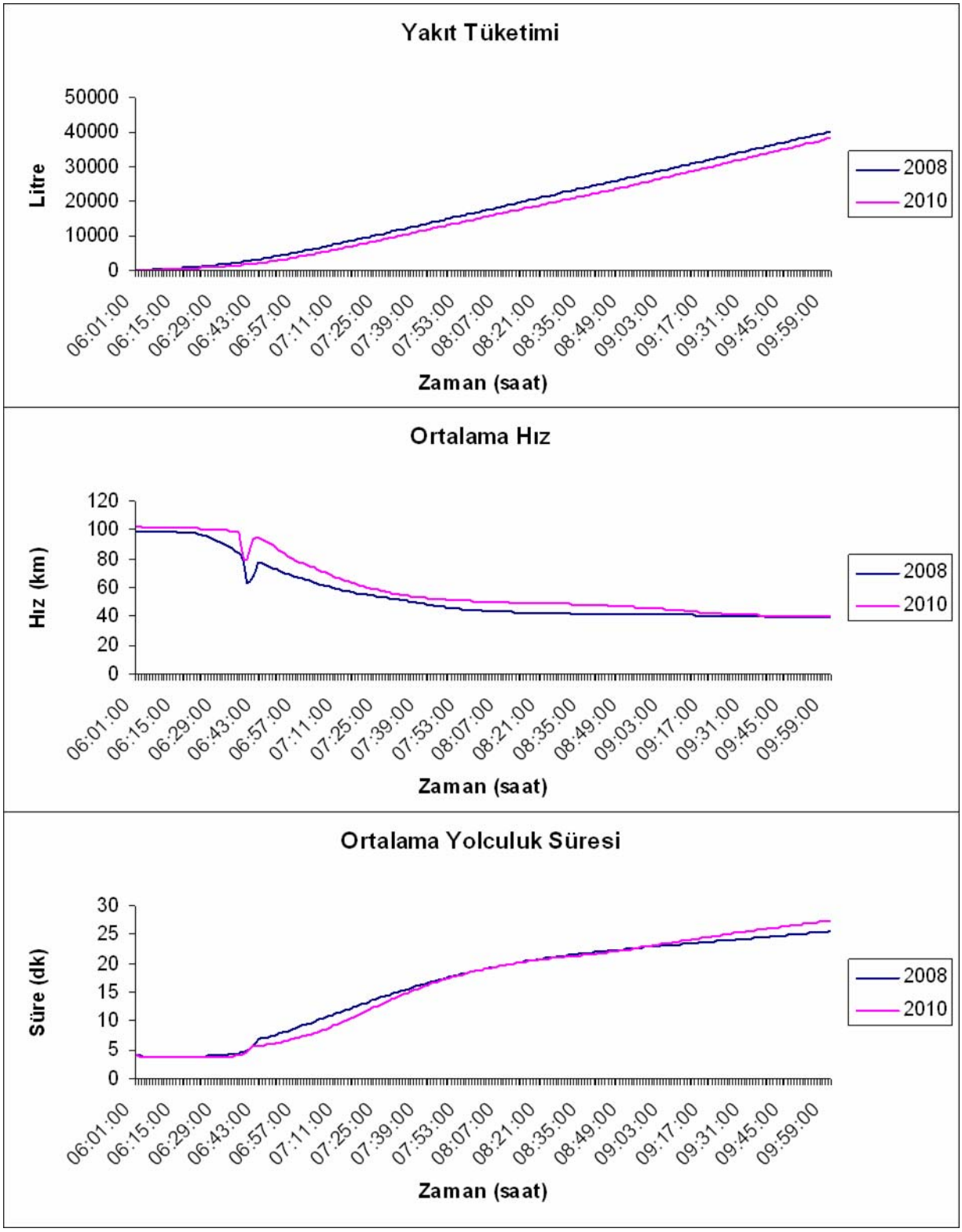
6.5. Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Simülasyon modeli, 10 kez ardı ardına çalıştırılmış ve daha önceden belirlenen başarım ölçütlerinin ortalaması alınmıştır. Bu sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Şekil 6.32'de, zamana göre kümülatif olarak, taşıt emisyon (salım) değerleri, grafik yardımıyla gösterilmiştir. Grafiklerde, 2010 yılında, 2008 yılına oranla, karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) salımının kısmen azaldığı ve azot oksit (NOx) salımının değişmediği görülmektedir.



Şekil 6.32 Asya - Avrupa yönünde zamana göre CO, HC ve NOx (kg/km-sa) salımları

Şekil 6.33'te, zamana göre kümülatif olarak gösterilen yakıt tüketiminin, 2008 ve 2010 yıllarında belirgin bir farklılık göstermediği anlaşılmaktadır. Ortalama hız, 2010 yılında, 2008 yılına oranla artış göstermiştir. Ortalama hızda 06:25 civarındaki ani düşüş, modelde tıkanıklığın başladığı zamanla örtüşmektedir. Ortalama yolculuk süreleri bakımından 2008 ve 2010 yıllarında belirgin oranda değişiklik gözlenmemiştir. Ortalama yolculuk süresinin, tıkanıklığın modeli bütünüyle etkilemeye başladığı 06:40 civarında artmaya başladığı ve tıkanıklığın şiddetini artırmasıyla yolculuk sürelerinin de arttığı gözlenmektedir.



Şekil 6.33 Asya – Avrupa yönü, Yakıt tüketimi (litre), Ortalama hız (km/sa), Ortalama yolculuk süresinin zamana göre değişimi

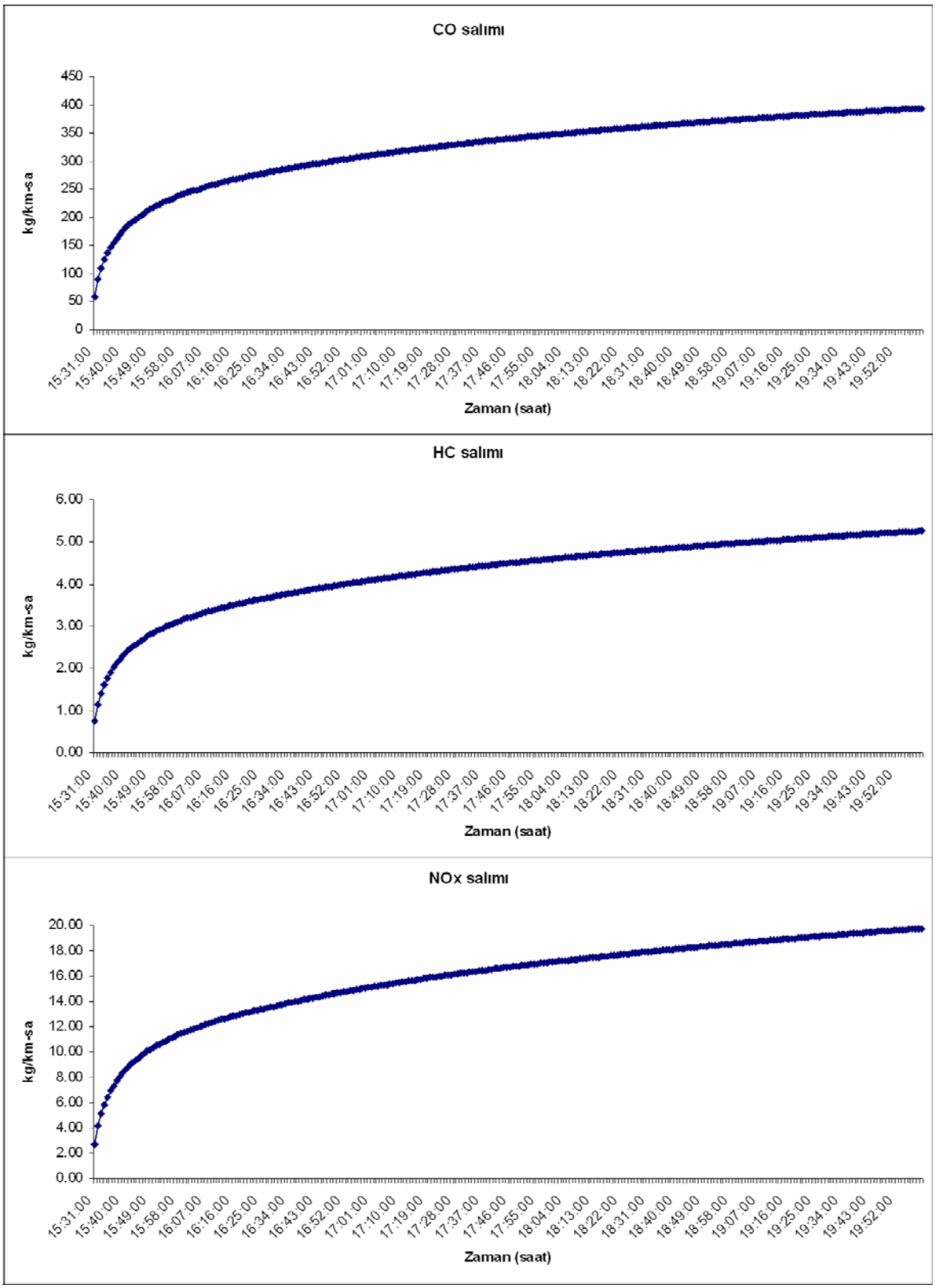
Çizelge 6.19'da, değerlendirilen ölçütlerin yıllara göre değişimleri özetlenmiştir. Bu çizelgede 2008 ve 2010 yıllarındaki "Toplam taşıt-km" büyüklüklerinde değişme olmaması, 2009 yılında koridorda hizmete giren Metrobüs hattının, taşıt trafiğini azaltmadığını göstermektedir. Her iki yıla ait simülasyon sonuçlarında ortalama hızların yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, simülasyon modelinin çalıştırıldığı yaklaşık ilk 1 saat boyunca, modelin tamamında tıkanıklık oluşmadığı için, taşıtların serbest hızlarda (≈100 km/sa) seyretmesi ve o zaman aralığında ortalama hızların yüksek olmasıdır.

Yakıt tüketimi ve salımlar, araçlardaki yeniliklere oranla, değişiklik göstermektedir. O sebeple simülasyon sonuçlarında yakıt tüketimi ve salımlar hakkında rakamsal sonuçlar vermek pek doğru olmamaktadır (FHWA, 2007). Bu nedenle, bu değerler için, 2008 ve 2010 yılına ait simülasyon sonuçlarındaki değişim oranından bahsetmek daha doğru olacaktır.

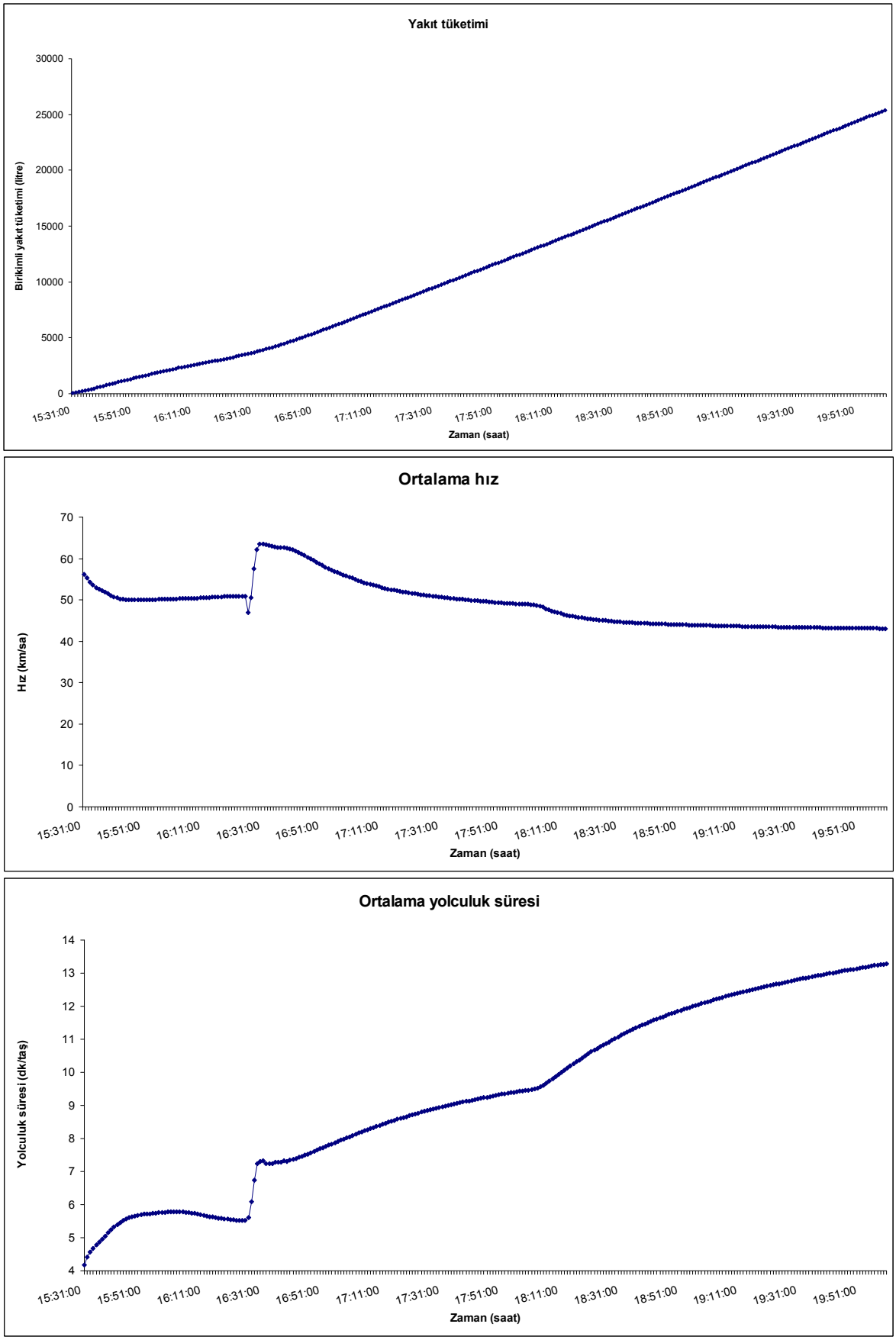
Çizelge 6.19 Başarım ölçütlerinin yıllara göre değişimi (Asya – Avrupa yönü)

	2008	**2010**	**Değişim Oranı**
CO (kg/km-sa)	167,43	143,08	**-0,15**
HC (kg/km-sa)	2,50	2,17	**-0,13**
Nox (kg/km-sa)	11,81	11,26	**-0,05**
Yakıt (litre)	40.133,31	38.192,52	**-0,05**
Ort.Hız (km/sa)	55,14	60,75	**0,10**
Ort.Yolculuk Süresi(dk.)	16,41	16,29	**-0,01**
Toplam taşıt-km	116.784,39	117.267,11	**0,00**

Avrupa – Asya yönünde 2010 yılı verileri ile yapılan simülasyon sonucunda elde edilen sonuçların zamana göre değişimleri Şekil 6.34 ve Şekil 6.35'te gösterilmektedir. Avrupa – Asya yönünde 2008 yılına ait RTMS verileri bulunmadığından, simülasyon modeli bu yıl için çalıştırılamamış ve 2010 yılı ile karşılaştırması yapılamamıştır. Ancak, Metrobüs hattının hizmete girmesinin bu yöndeki trafik tıkanıklığını gideremediği, zirveyle birlikte hızların azalması ve yolculuk sürelerinin artmasından anlaşılmaktadır.



Şekil 6.34 Avrupa - Asya yönü, 2010 yılı simülasyonunda zamana göre salım değişimleri



Şekil 6.35 Avrupa - Asya yönü, 2010 yılı simülasyonuna ait yakıt tüketimi (lt.), ortalama hız (km/sa), ortalama yolculuk süresi (dk.) değişimleri

7. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER

Çalışmada Metrobüs öncesi ve sonrası, O – 1 Karayolu Boğaziçi Köprüsü trafiği koşulları incelenmiştir. Oluşturulan simülasyon modeli Asya – Avrupa yönünde, 06:00 – 10:00 zirve saatleri arasında çalıştırılmıştır. Avrupa – Asya yönünde ise yine zirve saatleri 15:30 – 20:00 arasında çalıştırılmıştır. Asya – Avrupa yönü için hazırlanan model 2008 ve 2010 yılları için çalıştırılmış, Avrupa – Asya için hazırlanan model, 2008 yılına ait radar verileri mevcut olmadığından, yalnızca 2010 yılı için çalıştırılmıştır. Simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında, Asya – Avrupa yönünde 2010 yılında, 2008 yılına oranla;

- Karbon monoksit (CO) salımı %15 oranında azalmış,
- Hidrokarbon (HC) salımı %13 oranında azalmış,
- Azot oksit (NOx) salımı %5 oranında azalmış,
- Toplam yakıt tüketimi %5 oranında azalma göstermiş,
- Ortalama hız %10 oranında artmış,
- Ortalama yolculuk süresi ve toplam yolculuklarda (taşıt sayısında) değişim gözlenmemiştir.

Sistem genelinde 2010 yılındaki ortalama hızın 2008 yılına göre %10 oranında artmış olmasının iki nedeni olduğu düşünülmektedir. Bunlardan birincisi, 2008 ve 2010 yıllarına ait simülasyon modellerindeki Beylerbeyi ve Altunizade katılım kesimlerinde yapılan geometrik değişikliklerdir. İkinci neden ise 2008 ve 2010 yıllarında ağın trafik besleme noktalarındaki talep farklılığıdır. Bu nedenlerin ağın belirli kesimlerindeki trafik koşullarını etkilediği, bu etkilerin de karşılaştırılan iki yıla ait ortalama hızları farklılaştırdığı düşünülmektedir. 2010 yılında salım ve yakıt tüketimindeki azalmaların da bu nedenle gerçekleştiği sonucuna varılabilir. 2008 ve 2010 yıllarındaki ortalama yolculuk süreleri ve toplam taşıt-km değerlerinin birbirine yakın olması, ortalama hızlardaki farklılığı açıklamayı güçleştirmektedir. Bu farklılığa ilişkin neden-sonuç ilişkisi ağın tamamındaki bağların incelenmesiyle ortaya konulabilir. Ancak, simülasyon sonuçlarının, genel anlamda, mevcut trafik koşullarını yansıttığı kabul edildiğinden, bu incelemeye gerek duyulmamıştır.

Avrupa – Asya yönünde ise elde edilen, 2010 yılına ait simülasyon sonuçlarında, zirve saatte düşen hızlar ve artan ortalama yolculuk sürelerinden, Metrobüs'ün bu yönde taşıt trafiğinde dikkate değer bir rahatlama sağladığı söylenemez (her iki yöndeki model kalibrasyonlarının

sınırlı kaynaklar kullanılarak yapılmış olması ve barındırdığı olası hatalar nedeniyle, simülasyon sonuçlarını dikkatle değerlendirmek gerekir).

Söğütlüçeşme – Zincirlikuyu Metrobüs hattının hizmete girdiği 2009 yılının Mart ayını izleyen Nisan ayına ait Boğaziçi Köprüsü gişelerinden geçiş yapan taşıt sayılarında, 2008 yılına oranla azalma görülmektedir. Bununla birlikte, 2010 yılı Nisan ayında gişelerden geçiş yapan taşıt sayılarının 2008 yılı taşıt sayılarına yaklaştığı görülmektedir. Bu değişim incelendiğinde, 2009 yılındaki Boğaziçi Köprü trafiğindeki azalmanın, Metrobüs'ün hizmete girmesi ve özellikle, 2009 yılında yaşanan ekonomik krizin etkisiyle özel şirketlerin kendilerine ait taşıtları trafikten çekmesi sonucu oluştuğu düşünülmektedir. 2009 yılı için Fatih Sultan Mehmet Köprüsü ve Boğaziçi Köprüsü trafiklerinin karşılaştırılmasından, 2009 yılındaki trafik azalmanın nedenlerine ilişkin ipuçları elde edilebilir.

Metrobüs uygulamaları dünyada toplu taşıma hizmetlerinin daha kaliteli sunulması bakımından cazip görülmektedir. Klasik otobüsle toplu taşıma sistemlerine göre daha konforlu, hızlı ve güvenilir hizmet sunmayı amaçlayan toplu taşıma işletmeleri, uygun koridorlarda karma trafikte veya özel şeritte/yolda hizmet sunan bu tür sistemlere yönelmektedir. Metrobüs sistemleri kullanıcılarına cazip toplu taşıma hizmeti sunarken, bulundukları koridordaki trafik tıkanıklığına da çözüm olma potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel, sunulan hizmetin cazibesine karşılık veren özel otomobil kullanıcılarının, bu sistemi kullanmaya yönelmelerindedir. Böylece, sistem hem kullanıcılarına erişme olanağı sağlamış hem de yolculuklarda hareketlilik (hız ve kapasite) olanağını arttırmış olmaktadır. Boğaz geçişi özelinde ve Avcılar-Söğütlüçeşme genelinde, İstanbul'daki Metrobüs hattı yolcularına (taşıtlar özel yolda hareket ettiğinden) hızlı bir ulaşım olanağı, ancak taşıtların aşırı dolu olması nedeniyle de konforsuz bir hizmet sunmaktadır. Bu durum, sistemin daha şimdiden kapasitesine eriştiğini ve aynı koridordaki otomobil kullanıcıları için cazip olmaktan uzaklaştığını göstermektedir. Çalışmadaki 2008 ve 2010 yılı incelemeleri bu sonucu doğrulamaktadır. Ulaştırma hizmetlerinde tür seçimi, incelenen koridordaki talep-kapasite ilişkileri dikkate alınarak yapılmalı, kısa sürede kapasitesine erişecek ve genişleme olanağı bulunmayan sistem yatırımlarından kaçınılmalıdır. Başlangıçta hızlı ve ekonomik görünen ulaştırma/sistem yatırımları, kısa vadede çözüm olmakla birlikte, orta ve uzun vadede öncekinden daha zorlu sorunlar yaratabilmektedirler. İşletilmekte olan İstanbul Avcılar-Söğütlüçeşme Metrobüs hattı, bu kentte ve ülkemizdeki diğer kentlerde yapılması düşünülen benzer yatırımlar için alınması gereken derslerle doludur.

KAYNAKLAR

Aydın, F., (2008), "Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'ndeki Ek Şerit Uygulamasının Simülasyon Model ile İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Baysal, Z., Yetgin, B., Avcı, A., Koyuncu, O., Kahraman, İ., Bay, U. ve Ertuğrul, Y., (2010), "Avcılar – Söğütlüçeşme Metrobüs Hattının İşletim Özellikleri", Lisans Tezi, YTÜ.

Bloomberg, L. ve Dale, J., (2000), "A Comparison of the VISSIM and CORSIM Traffic Simulation Models", Institute of Transportation Engineers Annual Meeting.

Cassidy, M.J. (1995), "Highway Traffic Operations", The Civil Engineering Handbook, W.F. Chen (Ed.), CRC Pres, Inc, 2320-2342.

Cassidy, M.J. (1999), "Traffic Flow and Capacity, Handbook of Transportation Science", (Ed.) R.W. Hall, Kluwer Academic Publishers, ISBN 0-7923-8587-X, USA.

Cassidy, M.J., Mauch, M. (2001), "An Observed Traffic Pattern in Long Freeway Queues", Transportation Research, Part A, 35A:143-156.

Daganzo, C., (1997), "Fundamentals of Transportation and Traffic Operations", Oxford, Pergamon.

Dawling R., A.Skabardonis and V.Alexiadis (2004) Traffic Analysis Toolbox Volume III : Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Software. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, publication No. FHWA-HRT-04-040, USA.

Department of Transport, (1996), "Design Manual for Roads and Bridges Volume 12 Section 2", UK

Federal Highway Administration, (2007), "Traffic Analysis Toolbox Volume IV: Guidelines for Applying CORSIM Microsimulation Modeling Software", Yayın No : FHWA-HOP-07-079, Washington, D.C.

Gün, F., (2007), "Development of Link-Capacity Functions for Istanbul Freeways", Master Thesis, Bogazici University, Institute for Graduate Studies in Science and Engineering.

Güven, G., (2008), "Metrobüs Sistemlerinin Planlama, Tasarım ve İşletim Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Güven, G. ve Şahin, İ., (2009), "Metrobüs (BRT) Sistemlerinin Planlama, Tasarım ve İşletim Özellikleri", 8. Ulaştırma Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 30 Eylül, 1-2 Ekim, Bildiriler Kitabı, 299-308, ISBN: 978-9944-89-773-0, İstanbul.

Halaç, O., (1998), "İşletmelerde Simülasyon Teknikleri", Alfa Yayınlar, 3.Basım, İstanbul.

Highway Capacity Manual, (1975). Transportation Research Board, Washington DC, USA.

İETT, (2007), "İstanbul'da Otobüs Taşımacılığının İyileştirilmesi", İETT için hazırlanmış rapor, İstanbul.

Lieberman, E. ve Rathi, A., (1992), "Traffic Flow Theory, Traffic Simulation", Transportation Research Board Special Report 165, Washington, USA.

Mannering, Fred L. ve Kilareski, Walter P., (1990), "Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis", Fundamentals of Traffic Flow and Queuing Theory, John Wiley & Sons, New York.

Middleton, M., D., Cooner S., A., (1999), "Evaluation of Simulation Models For Congested Dallas Freeways : Model Selection and Calibration", Texas Transportation Institute, RaporNo:TX-00/3943-1, The Texas A&M University System, College Station, Texas.

Newell, G.F. (1993), "A Simplified Theory of Kinematic Waves in Highway Traffic", Part I: General Theory, Transportation Research-B, 27B, 4:281-287.

Oketch, T., Carrick, M., (2005), "Calibration and validation of a micro-simulation model in network analysis", 84rd TRB Annual Meeting, Washington, DC

Olsen, E., (2000), "Traffic Simulation and Traffic Flow Theory".

Owen, L., Zhang, Y., ve Rao, L., (2000), "Traffic Flow Simulation Using Corsim, Simulation Conference Proceedings", 2000, Orlando, FL, USA.

Rakha, H., Hellinga, B., Van Aerde, M. ve Perez, W., (1996), "Systematic Verification, Validation and Calibration of Traffic Simulation Models".

Şahin, İ., Akyıldız, G., Zorer, A. ve Gedizlioğlu, E. (2002), "Uzun Otoyol Kuyruklarının İncelenmesi ve İyileştirilme Stratejilerinin Araştırılması", Tübitak Araştırma Projesi Geliştirme Raporu I, İÇTAG-I920.

Uncu, C., (2006), "Boğaziçi Köprüsü Gişe Sahasının AIMSUN Mikrosimülasyon Yazılım ile Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstistüsü.

Wang, Y., (1996), "Synopsis of Traffic Simulation Models".

Wright, L. and Hook, W. (2007), "Bus Rapid Transit Planning Guide". 3rd Edition, Institute for Transportation and Development Policy, USA.

Yu, L., Yu, L. ve Chen, X., (2007), "Benefit Analysis on Bus Rapid Transit Exclusive Lanes", International Conference on Transportation Engineering.

Zorer, A., (2003), "Katılım Kontrolü Simülasyonu: Boğaziçi Köprüsü ve Çevreyolunda (O-1) Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] www.ibb.gov.tr

[2] www.iett.gov.tr

[3] www.aykuterdogan.com/blogs/metrobüse-neler-oluyor.html

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi:	13.06.1986
Doğum yeri:	İstanbul
Lise:	1997 – 2004 Nişantaşı Anadolu Lisesi
Lisans:	2004 – 2008 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü