

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FATİH SULTAN MEHMET KÖPRÜSÜ'NDEKİ EK
ŞERİT UYGULAMASININ SİMÜLASYON
MODELİ İLE İNCELENMESİ**

İnşaat Müh. A. Fırat AYDIN

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

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

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iii
KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. TRAFİK AKIM KURAMI VE TEMEL KAVRAMLAR.....	2
2.1. Trafik Akımı ile İlgili Değişkenler.....	2
2.1.1. Akım (q).....	3
2.1.2. Yoğunluk (k).....	3
2.1.3. Hız (u).....	4
2.2. Akım, Yoğunluk ve Hız Değişkenlerinin Elde Edilmesi.....	4
2.3. Akım, Yoğunluk ve Hız Değişkenleri Arasındaki İkili İlişkiler	7
2.3.1. Hız – Yoğunluk İlişkisi.....	7
2.3.2. Akım – Yoğunluk İlişkisi.....	8
2.3.3. Hız – Akım İlişkisi.....	8
2.4. Yığılımlı Taşıt Sayısı Eğrilerinin Elde Edilmesi	9
3. KARAYOLU DARBOĞAZLARI VE KUYRUKLANMA.....	12
3.1. Şok Dalgaları.....	12
3.2. Yığılımlı Taşıtların Sayıları	14
3.3. Kuyruk Kuramı Bilgileri.....	15
3.3.1. Kuyruklanmanın Temel Özellikleri.....	16
3.3.2. Kuyruklanmada Karşılaşılabilecek Türler	17
3.3.3. Gişe Sahalarında Kuyruklanma	19
4. OTOYOL YÖNETİMİ	20
4.1. Sıkışıklık ve Nedenleri.....	20
4.2. Otoyol Yönetiminin Amaçları ve Türleri.....	21
4.2.1. Otoyol Yönetim Türleri	22
4.3. Ek Şerit Uygulaması	24

5.	TRAFİK SİMÜLASYONU VE CORSIM (CORRIDOR SIMULATION)	28
5.1.	Trafik Simülasyonu.....	28
5.1.1.	Simülasyon Modellerinin Sınıflandırılması	28
5.2.	Mikrosimülasyon	30
5.3.	CORSIM (Corridor Simulation).....	30
5.3.1.	CORSIM'in Yetenekleri	32
5.3.2.	FRESIM Simülasyon Modeli	32
5.3.3.	FRESIM Modelindeki Girdiler ve Çıktılar	35
5.3.4.	CORSIM - Ana Varsayılan (Default) Parametreleri	36
6.	CORSIM MODELİ VE UYGULAMA	42
6.1.	Çalışmanın Konusu ve Amacı.....	42
6.2.	Analiz Yöntemini Belirlenmesi.....	44
6.3.	Verilerin Toplanması	47
6.3.1.	Verilerin İncelenmesi.....	51
6.4.	Ana Modelin Oluşturulması.....	57
6.4.1.	Asya – Avrupa Yönü Otoyol Ağının Oluşturulması	57
6.4.2.	Avrupa – Asya Yönü Otoyol Ağının Oluşturulması	64
6.5.	Hata Kontrolü	80
6.6.	Simülasyon Modelinin Kalibrasyonu	80
6.6.1.	Simülasyon Modelinin Gerçek Koşullara Uygunluğunun Araştırılması.....	81
6.7.	Alternatif Analizi ve Senaryo Oluşturulması	88
6.8.	Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	88
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	93
	KAYNAKLAR.....	95
	ÖZGEÇMİŞ.....	97

SİMGE LİSTESİ

h	İzleme süresi
h_i	i. taşıtın izleme süresi.
\bar{h}	Ortalama izleme süresi
k	Yoğunluk
k_j	Tıkanıklık yoğunluğu
k_m	Kapasite yoğunluğu
l	Kat edilen uzunluk
n	Taşıt sayısı
N	Taşıt
s	İzleme mesafesi
\bar{s}	Ortalama izleme mesafesi
t	Gözlem süresi-zaman
\bar{t}	Ortalama yolculuk süresine
t_i	i. taşıtın l uzunluğunu kat etme süresi
u	Hız (yol/zaman)
\bar{u}_t	Zaman ortalama hız
\bar{u}_s	Uzunluk ortalama hız
u_i	i. taşıtın noktasal hızı
u_f	Serbest hız
u_m	Kapasitedeki hız
q	Akım
q_m	Kapasite akımı
w	Kinematik dalga hızı
x	Uzunluk (mesafe)-gözlem kesiti
λ	Geliş oranı
μ	Hizmet oranı
ρ	Trafik yoğunluk oranı

KISALTMA LİSTESİ

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CORSIM	Corridor Simulation
FHWA	Federal Highway Administration
FIFO	First In First Out
FRESIM	Freeway Simulation
FSM	Fatih Sultan Mehmet
HOV	High Occupancy Vehicle
HOT	High Occupancy Toll
ITE	The Institute of Transportation Engineers
ITS	Akıllı Ulaşım Sistemleri (Intelligent Transportation Systems)
LIFO	Last In First Out
KGS	Karlı Geçiş Sistemi
LWR	Lighthill ile Whitham ve Richards
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
NETSIM	Network Simulation
OGS	Otomatik Geçiş Sistemi
SIRO	Service In Random Order

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Zamana bağlı yığışımlı taşıt sayısı grafiği.....	3
Şekil 2.2 Mesafeye bağlı yığışımlı taşıt sayısı grafiği.....	3
Şekil 2.3 Film karelerinden yol-zaman eğrilerinin çıkartılması.....	4
Şekil 2.4 Hız – Yoğunluk İlişkisi	7
Şekil 2.5 Akım – Yoğunluk İlişkisi	8
Şekil 2.6 Hız – Akım İlişkisi	9
Şekil 2.7 Akım, yoğunluk ve hız arasındaki ilişkiler.....	9
Şekil 2.8 Yığışımlı sayım eğrisi ve yumuşatılmış yaklaşımları	10
Şekil 2.9 İki kesitteki yığışımlı akım	10
Şekil 2.10 Ötelenmiş yığışımlı taşıt sayısı eğrileri	11
Şekil 3.1 İki farklı trafik durumu arasındaki ara yüzün hızı	12
Şekil 3.2 Bir ağır taşıtın sebep olduğu şok dalgaları	13
Şekil 3.3 Yığışımlı taşıt sayılarıyla kuyrukların ve gecikmelerin öngörülmesi.....	15
Şekil 3.4 Kuyruk sisteminin şematik gösterimi.....	16
Şekil 3.5 Tek kanallı (a) ve çok kanallı (b) kuyruk sisteminin şeması.....	17
Şekil 3.6 Kuyruklanma sisteminde çözüm için akış diyagramı	18
Şekil 4.1 Hawaii H-1 otoyolunda ek şerit uygulaması	24
Şekil 4.2 Ek şerit uygulamasının genel şematik gösterimi (Lathrop, 1972).....	26
Şekil 5.1 TRAFED ekran görüntüsü.....	31
Şekil 5.2 TRAFVU ekran görüntüsü	31
Şekil 5.3 Performans indeksine göre maksimum ivme – hız grafiği	40
Şekil 5.4 Performans indeksi (1) için farklı hızlanma oranlarındaki yakıt tüketimi	40
Şekil 6.1 Modelleme sürecine ait akış şeması (FHWA, 2003).....	43
Şekil 6.2 Ek şerit uygulaması yapılan kesim.....	45
Şekil 6.3 Modellenecek yol ağı kesimi	46
Şekil 6.4 Autocad ekranı - FSM Köprüsü gişe sahası ve yaklaşımı.....	48
Şekil 6.5 Yol kenarına yerleştirilmiş bir RTMS.....	48
Şekil 6.6 Excel formatına dönüştürülmüş örnek radar verileri.....	49
Şekil 6.7 Radarların yol ağı üzerindeki konumları	50
Şekil 6.8 Radarlara ait akım-zaman ve hız-zaman grafikleri (Asya-Avrupa yönü)	52
Şekil 6.9 Radarlara ait akım-zaman ve hız-zaman grafikleri (Asya-Avrupa yönü)	53
Şekil 6.10 Radarlara ait akım-zaman ve hız-zaman grafikleri (Avrupa-Asya yönü)	54
Şekil 6.11 TRAFED’de oluşturulmuş/eklenmiş altlık.....	57
Şekil 6.12 Asya-Avrupa yönü otoyol ağı.....	58
Şekil 6.13 TRAFED’de Oluşturulan bağ-düğüm diyagramı.....	59
Şekil 6.14 Otoyol bağında olay tanımlama menüsü (TRAFED).....	62
Şekil 6.15 Trafığe kapatılan şerit kesimine ait animasyon görüntüsü	63
Şekil 6.16 Yol ağında tanımlı bir loop detektör görüntüsü	64
Şekil 6.17 Avrupa-Asya yönü otoyol ağı.....	65
Şekil 6.18 TRAFVU ekran görüntüsü.....	66
Şekil 6.19 Gişe yerleşim şeması	68
Şekil 6.20 FSM Köprüsü gişe sahasının, anayol yaklaşımı ve gişelere kadar olan kesimine ait mevcut geometrik durum.....	69
Şekil 6.21 Gişe sahası bağ-düğüm diyagramı (TRAFED ekranı)	71
Şekil 6.22 Geometrisi oluşturulmuş gişe sahası- <i>giriş bölgesi</i> - (TRAFVU ekranı).....	72
Şekil 6.23 Gişe sahası bağ-düğüm diyagramı (TRAFED ekranı)	72
Şekil 6.24 Geometrisi oluşturulmuş gişe sahası- <i>çıkış bölgesi</i> - (TRAFVU ekranı).....	73
Şekil 6.25 Sinyal sürelerinin tanımlandığı girdi tablosu	74
Şekil 6.26 Kavşak özellikleri girdi menüsü.....	79

Şekil 6.27 Saha ve simülasyon verilerine ait akım ve hız eğrileri (Asya-Avrupa yönü).....	85
Şekil 6.27 Saha ve simülasyon verilerine ait akım ve hız eğrileri (Asya -Avrupa yönü)-devam	86
Şekil 6.28 Saha ve simülasyon verilerine ait akım ve hız eğrileri (Avrupa-Asya yönü).....	87
Şekil 6.29 Sisteme giren ve çıkan toplam taşıt sayılarının senaryo bazında karşılaştırılması .	89
Şekil 6.30 Başlangıç/son noktaları arası ortalama yolculuk süreleri (Asya-Avrupa yönü)	90
Şekil 6.31 Başlangıç/son noktaları arası ortalama yolculuk süreleri (Avrupa-Asya yönü)	91

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Kuyruklanma modelleri	17
Çizelge 5.1 Bazı trafik simülasyon yazılımlarının sınıflandırılması	29
Çizelge 5.2 CORSIM otoyol ve kent içi ağ modelleme yetenekleri.....	33
Çizelge 5.3 Üç kategoride incelenen girdi veri bileşenleri	35
Çizelge 5.4 Varsayılan taşıt-takip duyarlılık faktörleri.....	37
Çizelge 5.5 Taşıt tipi tarifnamesi (FHWA, 2000)	39
Çizelge 6.1 Mevcut geometrik durum (anayol).....	47
Çizelge 6.2 Çalışmada verileri kullanılacak radarlar	49
Çizelge 6.2 Çalışmada verileri kullanılacak radarlar (devam)	50
Çizelge 6.3 Ek şerit uygulamasında yapılan işlemler ve zamanları	51
Çizelge 6.4 Saat 17:00 ile 20:00 arası trafik hacimleri ve oranlar.....	55
Çizelge 6.5 Taşıt sınıflarına göre gişelerden geçen taşıt sayıları	56
Çizelge 6.6 10 dakika aralıklarla yol ağına katılan akım oranı değerleri ve ayırım oranları....	60
Çizelge 6.7 10 dakika aralıklarla yol ağına katılan trafik akım oranları.....	67
Çizelge 6.8 Gişelerden çıkış yapan saatlik taşıt sayıları	75
Çizelge 6.9 Etiler katılımı ve gişe çıkış hacimleri.....	76
Çizelge 6.10 Etiler katılımından gişe sahasına giren trafik akım değerleri (simülasyona girilen)	76
Çizelge 6.11 Etiler ayırımına ait çıkış hacimleri	77
Çizelge 6.12 Gişe sahasından çıkış yapan taşıt sayısı ve oranları (21-25 nolu kavşaklar için)	78
Çizelge 6.13 Gişe sahasından çıkış yapan taşıt sayısı ve oranları (26 nolu kavşak için).....	78
Çizelge 6.14 Kavşaklarda tanımlanan dönüş yüzdeleri	80
Çizelge 6.15 Saha ve simülasyon akım (taş/sa) değerlerinin karşılaştırılması (Asya-Avrupa yönü).....	82
Çizelge 6.16 Saha ve simülasyon hız (km/sa) değerlerinin karşılaştırılması (Asya-Avrupa yönü).....	83
Çizelge 6.17 Saha ve simülasyon hız (km/sa)-akım (taş/sa) değerlerinin karşılaştırılması (Avrupa-Asya yönü).....	84
Çizelge 6.18 Gişelerden çıkış yapan taşıt sayıları	87
Çizelge 6.18 Simülasyon sonu itibarıyla sisteme giriş ve çıkış yapan toplam taşıt sayıları....	89
Çizelge 6.19 Senaryolara ait etkinlik ölçütleri	92
Çizelge 6.20 Senaryoların mevcut durumla karşılaştırılması.....	92

ÖNSÖZ

İstanbul şehrinde ve tüm büyüyen şehirlerde önemli bir ulaştırma sorunu olarak ön plana çıkan tekrarlı trafik sıkışıklıkları, günlük hayatımızı etkilemekte, maddi ve psikolojik birçok kayıplara neden olmaktadır. Bu çalışmada Fatih Sultan Mehmet Köprüsü (O-2 Otoyolu) örneği ele alınarak ek şerit uygulaması incelenmiştir. Yapılan incelemenin sorunların çözümüne yönelik faydalı olmasını umut ediyorum.

Öncelikle tez danışmanım Yard. Doç. Dr. İsmail ŞAHİN'e, bu tezin oluşturulmasında gösterdiği özveriden ve bilgi paylaşımlarından dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması için gerekli verileri temin etmemi sağlayan İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü ve Fatih Sultan Mehmet Köprüsü Bakım İşletme Başmühendisliği'ne yardımlarından dolayı teşekkür etmek istiyorum.

Her zaman yanımda olduklarını bildiğim aileme ve sevdiklerime, bu süreçte de gösterdikleri ilgi ve desteklerinden ötürü teşekkür ederim. Bu tez onlara ithaf edilmiştir.

ÖZET

Avrupa ve Asya yakalarını birbirine bağlayan Boğaz geçişleri, İstanbul'un karayollarında tekrarlı olarak yaşanan trafik tıkanıklık kesimleridir. Zirve trafiğinin yaşandığı akşam saatlerinde Avrupa-Asya yönündeki talep diğer yöne nazaran daha fazladır. Talebin fazla olduğu yöne kapasite artırımı amacıyla karşı yönden ödünç alınan bir şerit ilavesiyle her iki yönde oluşan talep dengesizliğinin önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Fatih Sultan Mehmet (FSM) Köprüsü geçişinde yapılan ek şerit uygulaması, karşı yönde darboğaz oluşumuna ve uzun taşıt kuyruklarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum, ek şerit uygulamasının verimliliğinin sorgulanması gerektiğini akla getirmektedir. Bu çalışmada şerit yönetimi türlerinden biri olan ek şerit uygulaması, FSM Köprüsü (O-2 Otoyolu) örneği ele alınarak incelenmiştir. TSIS/CORSIM paketi kullanılarak çalışma kesiminin simülasyon modeli oluşturulmuş ve model saha verileri ile kalibre edilmiştir. Ek şerit uygulamasının her iki yöndeki trafik akımlarına olan etkileri, mevcut durum ve çeşitli ek şerit uygulama senaryoları karşılaştırılarak incelenmiştir. Simülasyon sonuçları, mevcut duruma göre ek şerit uygulaması yapılmaması halinde toplam yolculuk süresinde (%15,17) ve ortalama hızlarda (%15,83) önemli ölçüde iyileşme olduğunu göstermektedir. Farklı zaman aralıkları için yapılan ek şerit uygulaması senaryoları aynı değerler için daha az oranda fayda sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Ek şerit uygulaması, trafik tıkanıklığı, otoyol trafik yönetimi, simülasyon, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü

INVESTIGATING CONTRA-FLOW LANE OPERATION ON THE FATIH SULTAN MEHMET BRIDGE BY SIMULATION MODELING

ABSTRACT

Bosphorus Passings connecting the European and Asian sides of Istanbul are the most congested sections of the periphery roads. The demand in the Europe to Asia direction is more than the other direction during afternoon peak hours. During afternoon peak hours, the most left lane in the opposite (Asia to Europe) direction is borrowed to provide an additional lane (or capacity) for the high-demand (Europe to Asia) direction for balancing the volume and capacity in the two directions. But, this contra-flow lane operation for the Fatih Sultan Mehmet (FSM) Bridge causes bottlenecks along the road and long vehicular queues in the direction from which a lane was borrowed. This consequence deserves to question the effectiveness of contra-flow lane operation. In this study, the contra-flow lane operation as one of the lane management types has been investigated by referring to the application on the FSM Bridge (O-2 Freeway). We established a simulation model of the study stretch using TSIS/CORSIM package and calibrated the model with actual field data. The effects of contra-flow lane operation on traffic flows in the two directions were examined by comparing the current operation with various scenarios of contra-flow lane operation. Simulation results show that significant improvements in total travel time (15,17% reduction) and average speed (15,83% increase) could be obtained without contra-flow lane operation. Some minor improvements were also achieved by shifting lane operation timing backward and forward.

Key words: Contra-flow lane operation, traffic congestion, freeway traffic management, simulation, Fatih Sultan Mehmet Bridge

1. GİRİŞ

Günümüzde nüfusla birlikte artış gösteren taşıt sayısı, ulaştırma altyapısı uygun planlanmamış şehirlerde trafik sıkışıklıklarına neden olmakta, bu da maddi ve manevi kayıplara yol açmaktadır. Çözüm olarak, ilave yol ağları tasarımının ekonomik veya başka diğer nedenlerden dolayı mümkün olmadığı durumlarda mevcut ağların verimliliğinin artırılması gündeme gelmektedir. Bu da kentiçi yollarda ve otoyollarda trafik yönetimiyle mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada şerit yönetim türlerinden biri olan ek şerit uygulaması, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü (O-2 Otoyolu) örneği kapsamında incelenmiştir.

Tezin ikinci bölümünde trafik akım kuramının temel özellikleri anlatılmış, trafiğin temel değişkenlerinin aralarındaki ilişkilerden söz edilmiştir. Üçüncü bölümde karayolu darboğazları irdelenmiş, şok dalgaları ile yığışımlı taşıt sayısı eğrilerinden ve kuyruk kuramından bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde otoyol yönetiminin amaçları ve türlerine değinilerek, ek şerit uygulamasına ait genel esaslar ve bir takım ölçütler verilmektedir. Ardından, beşinci bölümde trafik simülasyonu, simülasyon modelleri, ve kullanılan simülasyon yazılımı hakkında bilgiler verilmiştir. Altıncı bölümde ise O-2 Otoyolu'nun ek şerit uygulaması yapılan kesimi ve etki alanlarındaki trafik akışı, elde edilen veriler ışığında değerlendirilmiştir. Ayrıca oluşturulan simülasyon modeli ile bu uygulamanın her iki yöndeki trafik akımına olan etkileri mevcut durum ve senaryo analizleri yapılarak incelenmiş ve sonuçları verilmiştir. Son bölümde ise sonuçlar değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.

2. TRAFİK AKIM KURAMI VE TEMEL KAVRAMLAR

Trafik, yolculuk veya taşıma amacı ile yayaların ve taşıtların, yükleri ile beraber, tek başlarına veya topluca herhangi bir ulaştırma aracını kullanırken yaptıkları her türlü harekettir (Highway Capacity Manual, 1975).

Trafik ve ulaşım 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. Özellikle, 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 teoriler geliştirilmiştir.

2.1. Trafik Akımı ile İlgili Değişkenler

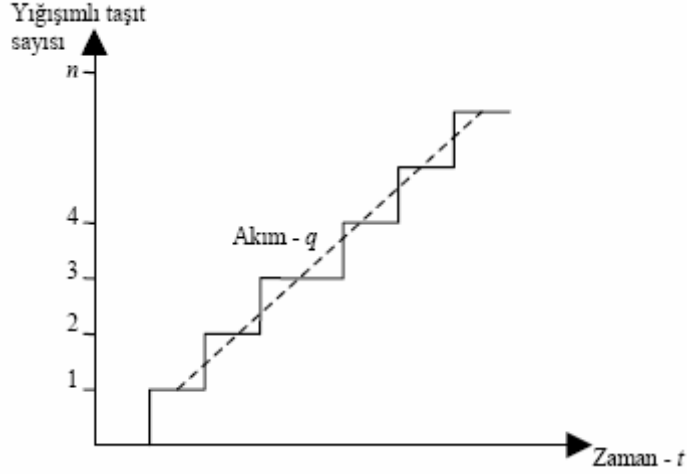
Trafik akımlarıyla ilgili değişkenler;

- Trafiğin temel değişkenleri ve
- Trafiğin türetilmiş değişkenleri

olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Trafiğin temel değişkenleri *uzunluk*(x), *zaman* (t) ve *trafik birimi* -taşıtlar- (n) olmak üzere, trafiğin türetilmiş değişkenleri, trafik akımları ile ilgili olayları tanımlayabilmek için temel değişkenlerden türetilmektedir; bunlar *akım* (q), *yoğunluk* (k) ve *hız* (u) şeklinde adlandırılır. Türetilmiş değişkenlerin tanımları, nasıl elde edilebilecekleri ve aralarındaki ilişkiler aşağıda açıklanmaktadır (Şahin ve diğ., 2002).

2.1.1. Akım (q)

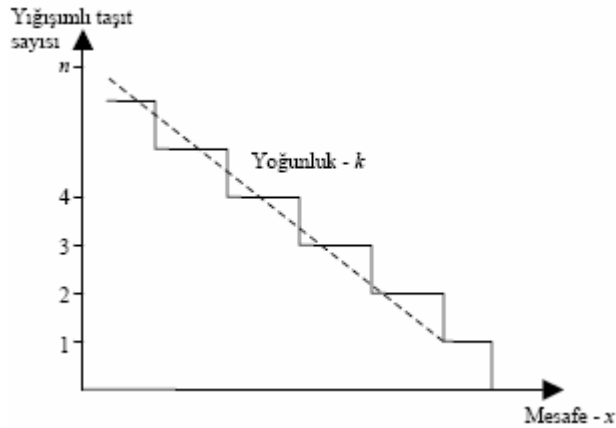
Belirli bir yol kesitinden birim sürede geçen taşıt sayısıdır (Şekil 2.1). Buradaki birim zaman genellikle 1 saat olarak kullanılır. Akım, akım değeri yada akım oranı şeklinde de adlandırılabilir. Yolun belirli bir kesitindeki tüm şeritlerin toplamı veya bir şeridi için tanımlanabilir. Trafiğin temel 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 yığılımlı taşıt sayısı grafiği

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.

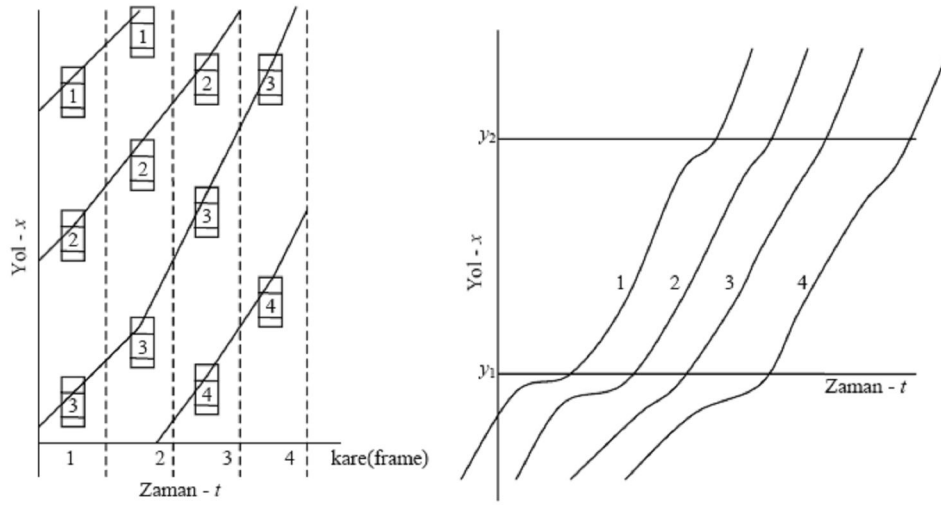


Şekil 2.2 Mesafeye bağlı yığılımlı taşıt sayısı grafiği

2.1.3. Hız (u)

Hız, taşıtların zaman içinde yer değiştirme biçimlerini yansıtmak üzere, birim zamandaki kat edilen mesafe birimi 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

2.2. Akım, Yoğunluk ve Hız Değişkenlerinin Elde Edilmesi

Trafik akımının türetilmiş değişkenleri akım, yoğunluk ve hıza ait genel tanımlardan yola çıkarak ve trafiğin temel değişkenlerini kullanarak akım;

$$q = \frac{n}{t} \quad (2.1)$$

olarak ifade edilir.

Belirlenmiş bir karayolu noktasında bir gözlemci tarafından, birbirini izleyen taşıtların ön tamponlarının geçişleri arasındaki ölçülen zaman dilimi **izleme süresi h (headway)** olarak tanımlanır. Gerçek koşullarda taşıtlar arasındaki izleme süresi değişkendir. Her durumda, gözlem süresi t boyunca, gözlemci, her bir taşıt için öncülüyle ilişkili birçok izleme süresi (h_i) ölçer; bu sürelerin toplamı gözlem süresine (t) eşittir ve ilişki şöyle ifade edilir:

$$t = \sum_{i=1}^n h_i \quad (2.2)$$

Burada,

t = Gözlem süresi,

h_i = i. taşıtın izleme süreleri. (i) ve (i-1)'inci taşıtların gelişleri arasında geçen süre,

n = yolun belirli bir noktasında ölçülen taşıt izleme süresi (ya da taşıt) sayısı.

Eşitlik (2.2) Eşitlik (2.1)'de yerine yazıldığında;

$$q = \frac{n}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (2.3)$$

ve izleme süresi (veya sabit değilse ortalama izleme süresi) ve akım değeri arasındaki ilişki şöyledir:

$$q = \frac{1}{\bar{h}} \quad (2.4)$$

Burada, \bar{h} = ortalama izleme süresidir ($\sum h_i / n$).

Ortalama trafik hızı iki şekilde tanımlanır. Birincisi, yolun belirli bir noktasında gözlenen araç hızlarının yani **noktasal hızların** aritmetik ortalaması olan **zaman ortalama hızıdır**:

$$\bar{u}_t = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{n} \quad (2.5)$$

Burada,

\bar{u}_t = Zaman ortalama hız

u_i = i. taşıtın noktasal hızı

n = Ölçülen noktasal hızların sayısı

Uzunluk ortalama hız, n adet taşıtın l uzunluğundaki karayolunu kat ettiği ortalama yolculuk süresine dayanmaktadır. Yolculuk hızı u_i olan i. taşıtın l uzunluğunu kat etme süresi:

$$t_i = \frac{l}{u_i} \quad (2.6)$$

Böylece, n adet taşıtın ortalama yolculuk süresi:

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (2.7)$$

Ortalama yolculuk süresine bağlı ortalama hız (yani, uzunluk ortalama hız) nokta hızlarının harmonik ortalamasıdır:

$$\bar{u}_s = \frac{l}{\bar{t}} \quad (2.8)$$

Eşitlik (2.7) Eşitlik (2.8)'de yerine yazıldığında;

$$\bar{u}_s = \frac{l}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} \quad \text{veya} \quad (2.9)$$

$$\bar{u}_s = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{u_i} \right]} \quad (2.10)$$

Sabit hızlı taşıtların birbirlerini sabit aralıkla izlediği bir karayolu kesiminin herhangi bir anda hava fotoğrafının çekildiğini varsayalım. Fotoğrafta, karayolu kesimi boyunca eşit **izlemesi** s (metre/taşıtlar) ile sıralanmış çok sayıda taşıtlar bulunacaktır. Fotoğrafta görülen taşıtlar sayısının karayolu kesiminin uzunluğuna oranı, taşıtlar akımının **yoğunluğu** k olarak tanımlanır.

$$k = \frac{n}{l} \quad (2.11)$$

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 taşıtlar sayısıdır; taşıtlar/km. İzleme mesafesi (veya sabit değilse ortalama izleme mesafesi) ve yoğunluk arasındaki ilişki şöyledir:

$$l = \sum_{i=1}^n s_i \quad (2.12)$$

$$k = \frac{n}{\sum_{i=1}^n s_i} \quad (2.13)$$

$$k = \frac{1}{\bar{s}} \quad (2.14)$$

Burada,

$s_i = i.$ ile $(i-1).$ taşıtlar arasındaki izleme mesafesi

$n =$ Ölçülen taşıt izleme mesafelerinin sayısı

$l =$ Yolun uzunluğu

$\bar{s} =$ Ortalama izleme mesafesi

Yapılan tanımlara dayanarak akım, hız ve yoğunluk arasındaki temel ilişki, $\bar{h} = \bar{s}/u$ ilişkisinden yararlanılarak şu eşitlikle ifade edilir;

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

Burada,

$q =$ Akım (taşıt / saat),

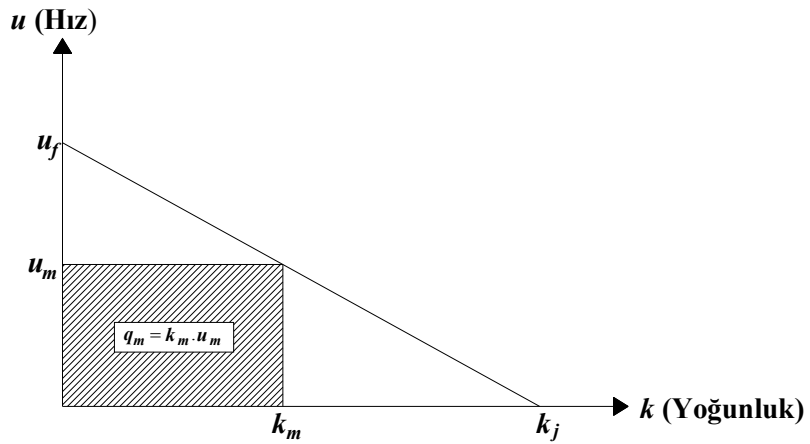
$u =$ Hız -uzunluk ortalama hız- (km / saat) ve

$k =$ Yoğunluk (taşıt /km).

2.3. Akım, Yoğunluk ve Hız Değişkenleri Arasındaki İkili İlişkiler

2.3.1. Hız – Yoğunluk İlişkisi

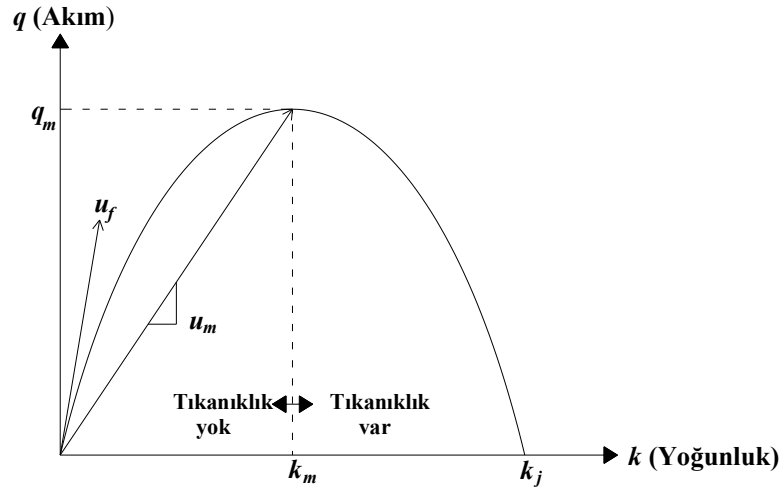
Hız – yoğunluk ilişkisi Şekil 2.4’de gösterilmiştir. Hız ve yoğunluk arasında ters ve doğrusal bir ilişki vardır. Yoğunluk arttıkça hız azalır. Burada u_f serbest hızı göstermektedir. Bu grafik içerisindeki bir köşesi orijin bir köşesi de doğru üzerinde olan bir dikdörtgenin alanı akımı ya da hacmi verir (Şahin ve diğ., 2002).



Şekil 2.4 Hız – Yoğunluk İlişkisi

2.3.2. Akım – Yoğunluk İlişkisi

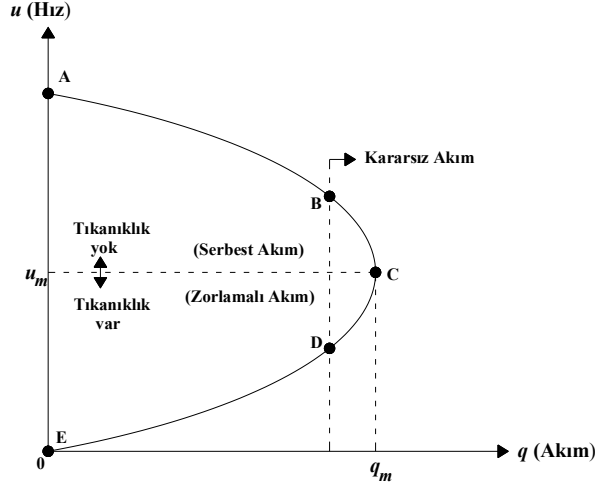
Akım – yoğunluk ilişkisi Şekil 2.5’de görülmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi, yolun kapasitesine (q_m -yolun kapasitesi ve k_m -kapasite yoğunluğu) erişinceye kadar akım arttıkça yoğunluk da artmaktadır. Bu noktadan sonra yoğunluk artmaya devam ederken hacim düşüşe geçer. Bu durum, taşıtlar tampon tampona gelinceye ve tıkanıklık tam anlamıyla oluşuncaya kadar devam eder. Bu noktada yoğunluk en büyük değerini (k_j -tıkanıklık yoğunluğu) alır ve hacim sıfıra düşer. Bu grafikte, herhangi bir noktayı orijine birleştirilen doğrunun eğimi, q/k oranından akım hızını verir (u_m). Başlangıç noktasındaki teğetin eğimi (u_f) de “serbest hızı” verir (Şahin ve diğ., 2002).



Şekil 2.5 Akım – Yoğunluk İlişkisi

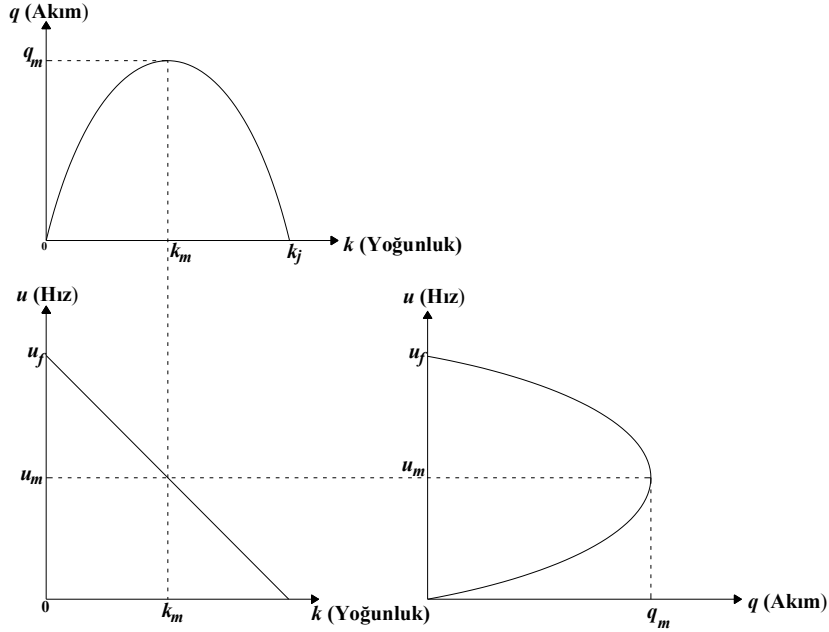
2.3.3. Hız – Akım İlişkisi

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. Kapasite aşıldıktan sonra hem akım hem de hız beraber düşüşe geçerler. Kapasitenin hemen altında ve üstündeki bölgede (BD-C 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

Bu üç grafiğin birbirleriyle ilişkileri Şekil 2.7’deki gibi gösterilebilir.

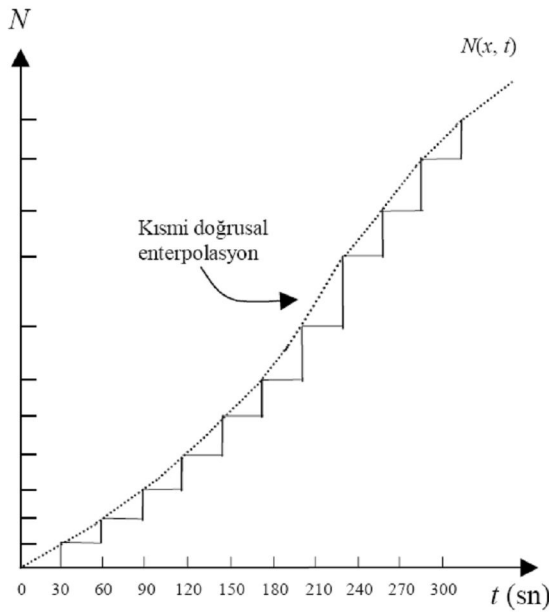


Şekil 2.7 Akım, yoğunluk ve hız arasındaki ilişkiler

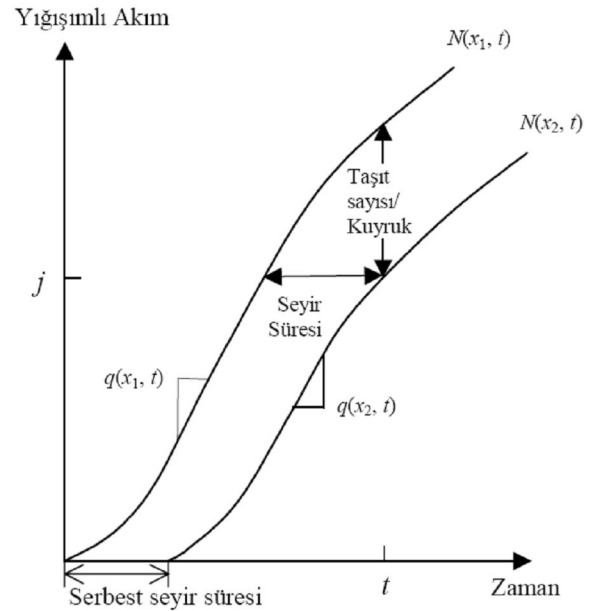
2.4. Yığılımlı Taşıt Sayısı Eğrilerinin Elde Edilmesi

İncelenen karayolu üzerindeki belirli bir “ x ” gözlem kesitinden/noktasından, “ t ” gözlem süresi içinde geçen taşıtların yığılımlı sayısı $N(x, t)$ olsun (Şekil 2.8). Buna göre, “ x ” gözlem kesitinde bulunan bir gözlemci, önünden geçen taşıtlara sırasıyla numara verdiğinde (ilk taşıtların numarası $t = 0$ için $N(x, 0) = 0$ olmak üzere), $N(x, t)$, gözlemcinin önünden “ t ” anından önce geçen son taşıtların numarasını göstermektedir. Burada taşıtların birbirlerini sollamadıkları kabulü yapılmaktadır. Şekil 2.8’te taşıtların sayıları 30’ar saniyelik toplamlar olarak gösterilmiştir.

Karayolunun homojen geometriye sahip bir kesiminde akım aşağı yukarı “ x_1 ” ve akım aşağı yöndeki “ x_2 ” komşu kesitleri için $N(x_1, t)$ ve $N(x_2, t)$ yığışımlı taşıt sayısı eğrileri Şekil 2.9’daki gibi aynı eksen takımı üzerine çizildiğinde; belirli bir “ t ” anında eğriler arasındaki düşey fark, kesitler arasındaki taşıt sayısını gösterirken; belirli bir “ j ” (seviyesindeki) taşıtına karşılık gelen eğriler arasındaki yatay fark da, bu taşıtın kesitler arasındaki seyir süresini göstermektedir. Eğrilerin çok fazla zamansal değişim göstermediği ve yaklaşık olarak birbirlerine paralel olduğu zaman aralığında, eğriler arasındaki ortalama taşıt sayısının kesitler arasındaki mesafeye bölünmesiyle, taşıt yoğunluğu hesaplanabilmektedir. Eğriler arasındaki alan, tüm taşıtların toplam seyir süresini vermektedir (Şahin ve diğ., 2002).



Şekil 2.8 Yığışımlı sayım eğrisi ve yumuşatılmış yaklaşımları

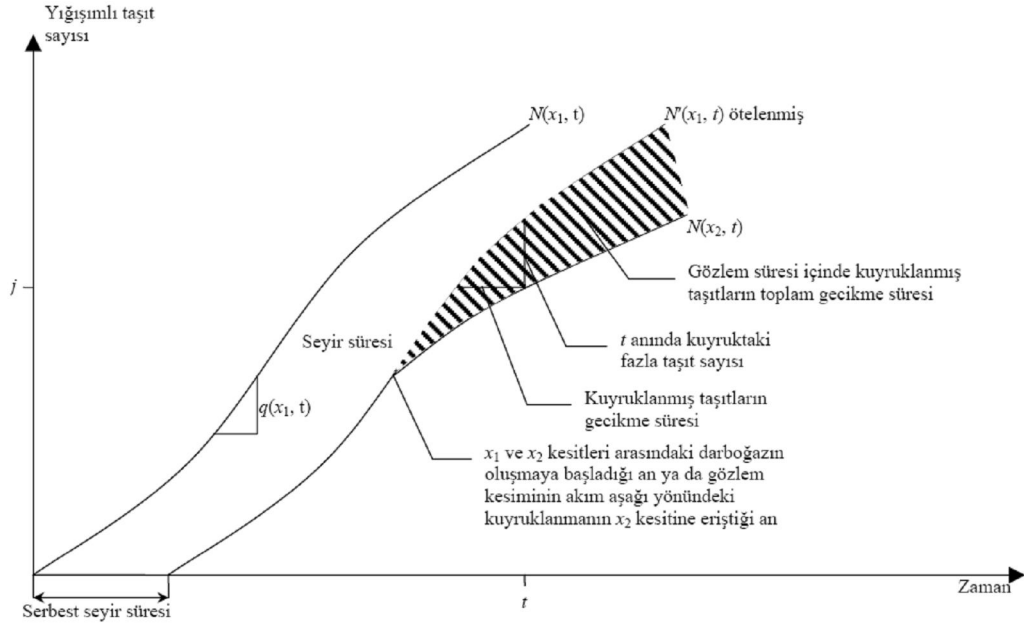


Şekil 2.9 İki kesitteki yığışımlı akım

Şekil 2.8’de görülen eğri, taşıt sayıları tamsayı olduğundan aslında bir adım fonksiyonudur; diğer bir deyimle, sabit zaman aralıklarında gözlem kesitinden geçen taşıtların yığışımlı sayıları da birer adım fonksiyonudur. Belirli bir gözlem kesitinde (örneğin, x_1 ve x_2) herhangi bir andaki (örneğin, t) akım değerini (taşıt/saat) tanımlayabilmek için, adım fonksiyonları eğri biçiminde yumuşatılarak bu eğrilerin birer türevi olan $q(x_1, t)$ ve $q(x_2, t)$ elde edilmelidir. Böyle bir eğri, her basamağın tepe noktasından geçen bir enterpolasyon eğrisi biçimindedir. Uygulanması daha kolay başka bir yaklaşım ise, kısmi doğru parçalarından meydana gelen

yumuşatılmış yığışimli eğriler oluşturmaktır. Yumuşatılmış eğriler, örneğin, Şekil 2.9’da görüldüğü gibi kısmî doğrusal enterpolasyon yoluyla, basamakların tepe noktalarının arasına doğru parçaları çizilerek elde edilebilir.

Komşu kesitlere ait yığışimli eğrilerin incelenmesiyle başka sonuçlar da elde edilebilir. Gözlem kesitleri x_1 ve x_2 arasında hareket eden taşıtların “serbest” seyir süresi (kuyruk bulunmaması durumunda) bilindiğinde, x_1 kesitine ait yığışimli eğri $N(x_1, t)$, serbest seyir süresi kadar sağa x_2 kesitine ait yığışimli eğriye doğru ötelenir ve $N'(x_1, t)$ eğrisi elde edilir (Şekil 2.10). Yol kesimi boyunca taşıt hareketlerinde kuyruklanma sebebiyle herhangi bir gecikme yoksa, iki komşu kesite ait eğrilerin çakışması gerekir. Eğriler, gözlem süresi içindeki belirli bir zamanda birbirlerinden ayrıldığında bu durum bir darboğaz oluşumunu ya da akım aşağıdan (down-stream) akım yukarıya doğru uzayan bir kuyruklanma olduğunu göstermektedir. Bu durumda belirli bir “ t ” anında eğriler arasındaki düşey fark kesitler arasındaki fazla taşıt sayısını, yatay fark ise “ j ” seviyesindeki taşıtların gecikme süresini, eğriler arasındaki alan ise taşıtların toplam gecikme süresini vermektedir (Şahin ve diğ., 2002).



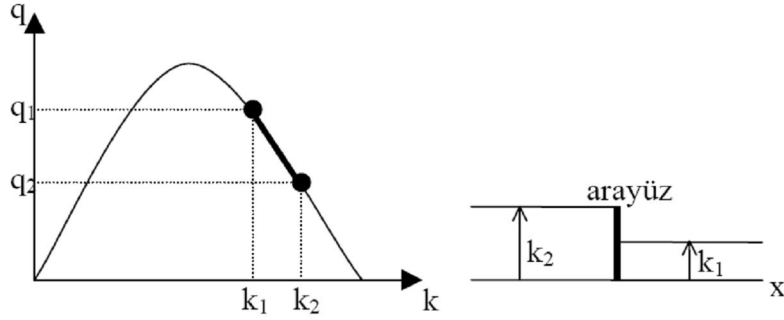
Şekil 2.10 Ötelenmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri

3. KARAYOLU DARBOĞAZLARI VE KUYRUKLANMA

3.1. Şok Dalgaları

Taşıtların ani olarak yavaşladığı, tıkalı ve tıkalı olmayan trafikler arasındaki sınır (arayüz) **şok dalgası** (w) olarak adlandırılır. Şok dalgası, ayrıca, örneğin bir yeşil sinyal süresince kuyruktan ani bir ivmelenmeyle (hızlanarak) ayrılan taşıtlar tarafından da oluşturulabilir. Bir şok dalgası ileri ya da geri yönde hareket edebilir. Uzayan bir kuyruğun sonu geriye doğru hareket ederken, bir ağır vasıtanın arkasındaki yoğun bir taşıt konvoyunun ön ucu ileriye doğru hareket edebilir.

Akım-yoğunluk eğrisinin üzerinde farklı iki trafik durumunu (örneğin, q_1-k_1 ve q_2-k_2) ifade eden noktaları birleştiren doğrunun eğimi, bu iki farklı trafik durumu arasındaki ara yüzün hareket hızını verecektir ($w = \Delta q / \Delta k$). Bu ara yüz Şekil 2.10'daki gibi gösterilebilir.



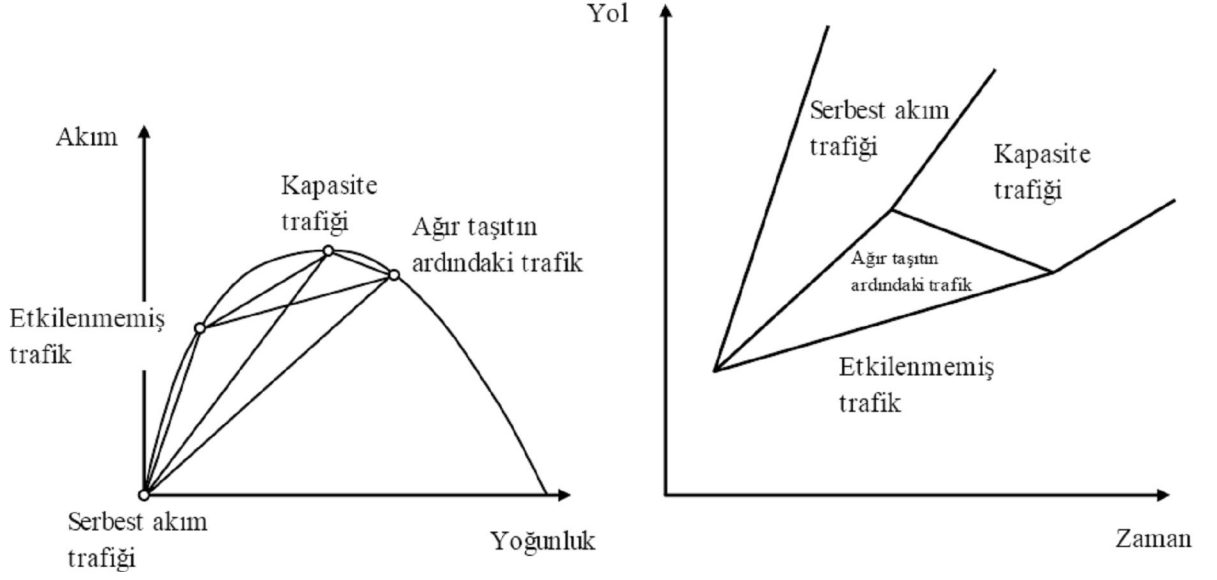
Şekil 3.1 İki farklı trafik durumu arasındaki ara yüzün hızı

Buna göre, Şekil 3.1'deki (q_1, k_2) ve (q_2, k_1) durumları arasındaki -ara yüzün- kinematik dalga hızı şu şekilde yazılabilir:

$$w = \frac{q_2 - q_1}{k_2 - k_1} = - \frac{\Delta q}{\Delta k} \quad (2.16)$$

Trafiği tıkayan bir ağır taşıtın sebep olduğu şok dalgaları (ya da kinematik dalgalar) Şekil 3.2'de görülmektedir. Burada, ağır taşıtın hızı kapasite şartlarındaki akım hızından küçük olup, sollama yapma olanağı bulunmamaktadır. Akım-yoğunluk eğrisi üzerindeki doğru parçaları farklı trafik durumlarını temsil eden noktaları birleştirmektedir. Bu doğru parçalarının eğimleri, iki trafik durumunu ayıran ilgili şok dalgalarının hızlarına eşittir. Şeklin sağındaki yol-zaman diyagramı üzerindeki çizgiler, farklı trafik durumlarını ayıran şok dalgalarının yörüngeleridir (yörüngelerin eğimleri, yani hızları, akım-yoğunluk eğrisi üzerindeki ilgili çizgilerin eğimleri ile aynıdır). Şok dalgalarının yörüngeleriyle sınırlanmış yol-zaman

bölgeleri; gelen trafik, ağır taşıtın arkasındaki trafik, ağır taşıtın önünde serbest akan trafik ve kapasite şartlarındaki trafik olmaktadır. Arkaya (yani, akım yukarıya) doğru yönelmiş tek şok dalgası, kapasite şartlarındaki trafiği ağır taşıtın arkasındaki trafikten ayırır, hızlanmalara ait şok dalgasıdır. Kapasite şartları, ağır taşıt yolu terk ettikten sonra ve yoğun taşıt dizisinin önündeki taşıtlar kapasite şartlarının gerektirdiği hıza ve izleme mesafesine erişmek için hızlandığında gözlenir (Şahin, 2006).



Şekil 3.2 Bir ağır taşıtın sebep olduğu şok dalgaları

Ağır taşıtın hızı, gelen (etkilenmemiş) taşıtların hızından daha küçük ve kapasitedeki hızdan daha büyük olduğunda, gelen taşıtlar, ağır taşıtın arkasındaki trafiğe katılırken yavaşlar ve taşıt dizisinin ön tarafında serbest kaldıktan sonra -yani, ağır taşıt yoldan ayrıldıktan sonra- orijinal hızlarına yeniden yükselirler (bu durum Şekil 3.2’de gösterilmemiştir.) Hızlanmalara ilişkin dalga ileri yönlüdür. Bu senaryoda kapasite durumu gerçekleşmez, çünkü bu durumun görülebilmesi için, dizinin önünden ayrılan taşıtların kapasite hızına erişmeleri için yavaşlamaları gerekir; ancak, bu durum, tercih ettikleri hızda yolculuğun mümkün olması halinde sürücülerin eğilimine aykırıdır.

Şok dalgaları kavramı, kesintisiz trafik akımları kuramı ve darboğazlarda trafik işletimi kuramı arasında uygun bir köprü vazifesi görür. Trafik mühendisliği uygulamalarında nadiren kullanılmasına rağmen, “şok dalgası kuramı”, trafik akımının özellikleri arasındaki ilişkilerin trafik kuyruklarının davranışını nasıl etkilediğini anlamak bakımından bir katkı sağlar. Şok dalgası kuramının iki temel zayıflığı bulunmaktadır: 1) Hesaplar zahmetli ve fazladır, daha da önemlisi 2) Trafiğin rasgele değişimini/dalgalanmasını göz önünde bulundurmaz. Bu iki zayıf

nokta, yığışimli taşıt sayıları ve kuyruk kuramı gibi yaklaşımlar aracılığıyla giderilmeye çalışılmıştır (Tarko, 2003; Şahin, 2006).

3.2. Yığışimli Taşıt Sayıları

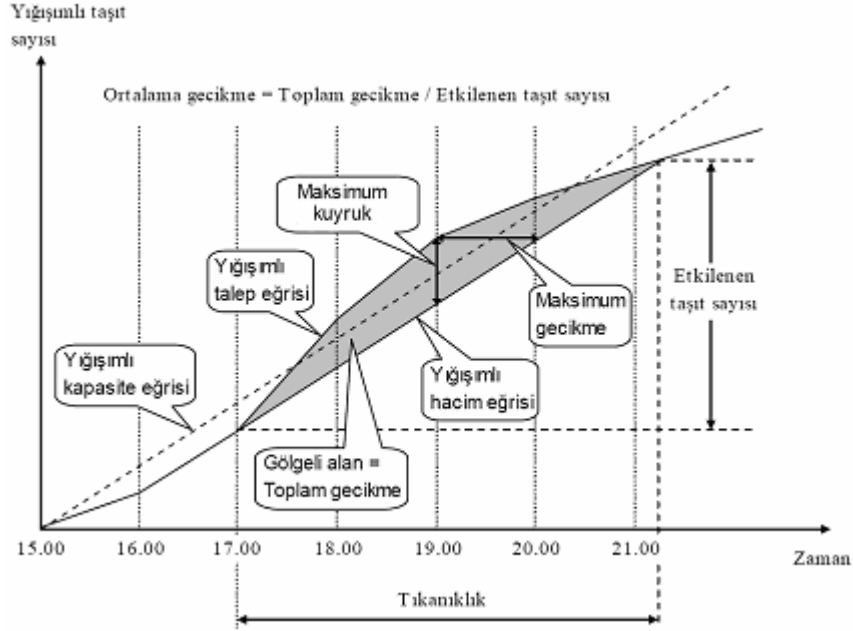
Bir kuyruğun davranışının kapsamlı olarak ele alınması, şok dalgası kuramında yapıldığı gibi, darboğazın sebep olduğu gecikmeleri tahmin etmeyi gerektirmez. Belirli bir noktada (yerde) ölçülen taşıt gecikmesi, bu taşıtın bu noktadan -gerçek- geçiş zamanı ile bu noktada darboğaz bulunmaması durumunda buradan geçebileceği zaman arasındaki farktır. Bu gecikme tanımı, gecikme ölçüm yerinin darboğazın bulunduğu ya da darboğazın daha da akım aşağısında bir yerde seçilmesi durumunda, darboğazın bütünsel etkisini belirlemeye yönelik iyi bir yaklaşım sunmaktadır (Şahin, 2006).

Taşıtın etkilenmesi ve etkilenmemesi durumlarındaki geçiş zamanları, iki yığışimli eğri kullanılarak kolayca belirlenebilir; buradaki yığışimli eğriler, trafik talebini ve darboğaz kapasitesini temsil etmektedir. Trafik talebi, darboğaz bulunmaması halinde darboğaz yerinde gözlenecek trafik hacmidir. Şekil 3.3, bir örnek darboğaz için bu iki eğriyi göstermektedir. Üstteki sürekli ince çizgi, darboğaz bulunmaması durumunda, t anına kadar ölçüm yerinden geçmesi beklenen toplam taşıt sayısını gösterirken, kesikli ince çizgi, yığışimli kapasiteyi temsil etmektedir. Birinci eğrinin eğimi talep değeri olurken, ikincinin eğimi kapasite değeridir. Saat 17.00 itibarıyla, talebin kapasiteyi aşması tıkanıklığı başlatır. Ardından, kapasite çizgisi saat 17.00'deki talep çizgisiyle kesişmek üzere aşağı doğru kaydırılır. Talep ve kapasite çizgilerinin saat 21.20'de yeniden kesişmesiyle tıkanıklık son bulur. Ölçüm yerinden geçen gerçek akım değeri, saat 15.00 ve 17.00 arasındaki talep çizgisi, saat 17.00 ve 21.20 arasındaki kaydırılmış kapasite çizgisi ve saat 21.20'den sonraki talep çizgisi ile temsil edilir.

Talep ile kapasite çizgileri arasındaki alan, gecikme ve tıkanıklığın boyutu hakkında bilgi verir. Belirli bir n numaralı taşıt için, iki eğri arasındaki yatay açıklık (mesafe), daha önce açıklandığı gibi, n 'inci taşıtın gecikmesidir. Eğriler arasındaki toplam alan, darboğazın sebep olduğu toplam gecikmedir (birimi, taşıt-dakika). Tıkanıklıktan etkilenmiş taşıt başına ortalama gecikmeyi elde etmek için, bu toplam gecikme etkilenen toplam taşıt sayısına bölünebilir.

Belirli bir t anındaki düşey açıklık (mesafe), t anına kadar ölçüm noktasından geçebilecekken, darboğaz sebebiyle geçemeyen taşıt sayısıdır. "Maksimum kuyruk" olarak adlandırılan bu

sayı, gerçek kuyruk değildir. Gerçek kuyruk, darboğazın bulunmaması halinde ölçüm noktasından geçmesi beklenen taşıtlar (yığışımli eğriler arasındaki düşey mesafe) ile hali hazırda kuyruğa katılmış diğer taşıtlardan oluşur.



Şekil 3.3 Yığışımli taşıtlarla kuyrukların ve gecikmelerin öngörülmesi

Yığışımli eğriler gecikme hesaplarını basitleştirirler; ancak, tıkanıklık kesiminin uzunluğunu bu kadar kolay veremezler. Bu işlem için, şok dalgası kuramı dikkate alınmalıdır. Newell (1993), yığışımli taşıtların sayısı eğrileri ile şok dalgası kuramının (LWR: Lighthill ile Whitham ve Richards kuramı olarak da anılır) eşdeğer olduğunu, bu nedenle birinin diğerinden elde edilebileceğini göstermiştir. Hangi kuramın kullanılacağına, hesap kolaylığı ve elde edilmek istenen sonuçlara göre karar verilir (Tarko, 2003; Şahin, 2006)

3.3. Kuyruk Kuramı Bilgileri

Kuyruklar, anlık talebin hizmet kanalındaki kapasiteyi aştığı zaman oluşmaktadır. Alternatif matematiksel modellerin kullanılmasıyla kuyruk kuramı, bekleme sıralarının (waiting lines) önemli karakteristik özellikleri olan kuyruksal harcanan süre ve kuyruk uzunluğu gibi bilgileri vermektedir (Vandaele, 2000).

Şok dalgaları ve yığışımli taşıtların sayısı kuramları deterministiktir (belirlidir). Bu kuramlar, taşıtların hacmi ve yoğunluğundaki rasgele dalgalanmaları dikkate almamaktadır; her iki kuram da, trafik hacmi kapasiteyi aşmadığı sürece, kuyruklanma ve gecikmenin sıfır değerini aldığı sonucunu verir. Aslında, kısa süreli trafik dalgalanmaları, özellikle trafik hacmi kapasite

değerine yaklaştığında, tıkanıklık durumlarına sebep olabilir. Uzun süreli periyotlar için ortalama gecikme sıfır değildir. Deterministik yaklaşım, trafik hacmi darboğaz kapasitesinin çok altında ya da çok üstünde olduğunda yeterlidir ve kullanılabilir. Kuyruk kuramı rasgele kuyruklarla ilgilidir ve karayolu darboğazlarındaki rasgele trafiği incelemek için kullanışlıdır. (Tarko, 2003; Şahin, 2006).

Kuyruk kuramı modelleri belirsizlik koşulları altında “stokastik faaliyet” gösteren sıra bekleme sistemlerini incelemek için geliştirilmiştir. Böylece kuyruk kuramı, rastlantısal olarak ortaya çıkan talebe hizmet edilmesi için çalışacak sistemin davranışını inceler (Akyıldız, 2003).

Kuyruk sisteminin ana bileşenlerini;

- Hizmet (servis) kanalları,
- Müşteri akışı (hizmet isteyen müşteriler) ve
- Kuyruk (hizmet almak için bekleyen müşteriler)

oluşturmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Kuyruk sisteminin şematik gösterimi

3.3.1. Kuyruklanmanın Temel Özellikleri

Kuyruğa katılma, hizmet isteminde bulunan taşıtların, ortalama geliş oranları (λ) veya gelişlerin arasındaki zamanların dağılımı ile temsil edilir. Kuyruktan ayrılmalar ise kuyruğa sunulan hizmet olup, ortalama hizmet oranı (μ), ortalama hizmet süresi, hizmet süresi dağılımı, aynı anda hizmet sunulan müşteri sayısı ve hizmet sunulan kuyruk sayısına göre göz önüne alınır. Kuyruklanma biçimi, kuyruğa katılma ve hizmet sırasına göre bir kurala bağlanabilir. Hizmet alma şekline göre kuyruklanma biçimi üç tipe ayrılabilir (Turan, 1992);

- FIFO (First In First Out) ilk gelen ilk çıkar,
- LIFO (Last In First Out) son giren ilk çıkar,
- SIRO (Service In Random Order) geliş güzel hizmet alma.

Kuyruklanma tipinin belirlenmesinde ve kuyruk çözümünde, kuyruğa katılanların ortalamasının, kuyruktan ayrılanların ortalamasına oranı olan kullanım oranı (ρ) da önemlidir.

3.3.2. Kuyruklanmada Karşılaşılabilecek Türler

Kuyruk çözümü için göz önüne alınan kuyruğa katılmalar ve kuyruktan ayrılmalar, matematiksel olarak üç şekilde oluşabilir;

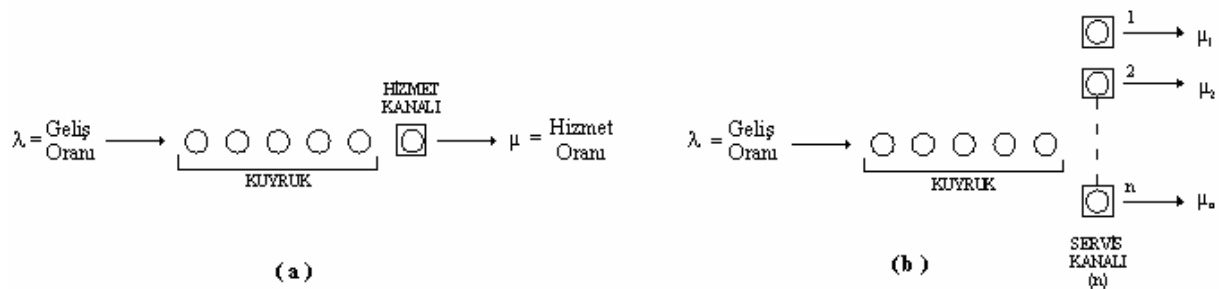
- Düzenli (deterministic) $\rightarrow D$
- Gelişigüzel (stochastic) $\rightarrow M$
- Genel/Herhangi (general) $\rightarrow G$

Kuyruklanma modeli için çeşitli kombinasyonlar Çizelge 3.1’de verilmiştir. Kuyruklanma biçimlerinde görülen birinci harf kuyruklanmaya katılma biçimini (λ)’yı, ikinci harf kuyruklanmadan ayrılma biçimini (μ)’yü ve üçüncü harf ise kuyruklanmadaki kanal sayısını ifade etmektedir (Turan, 1992).

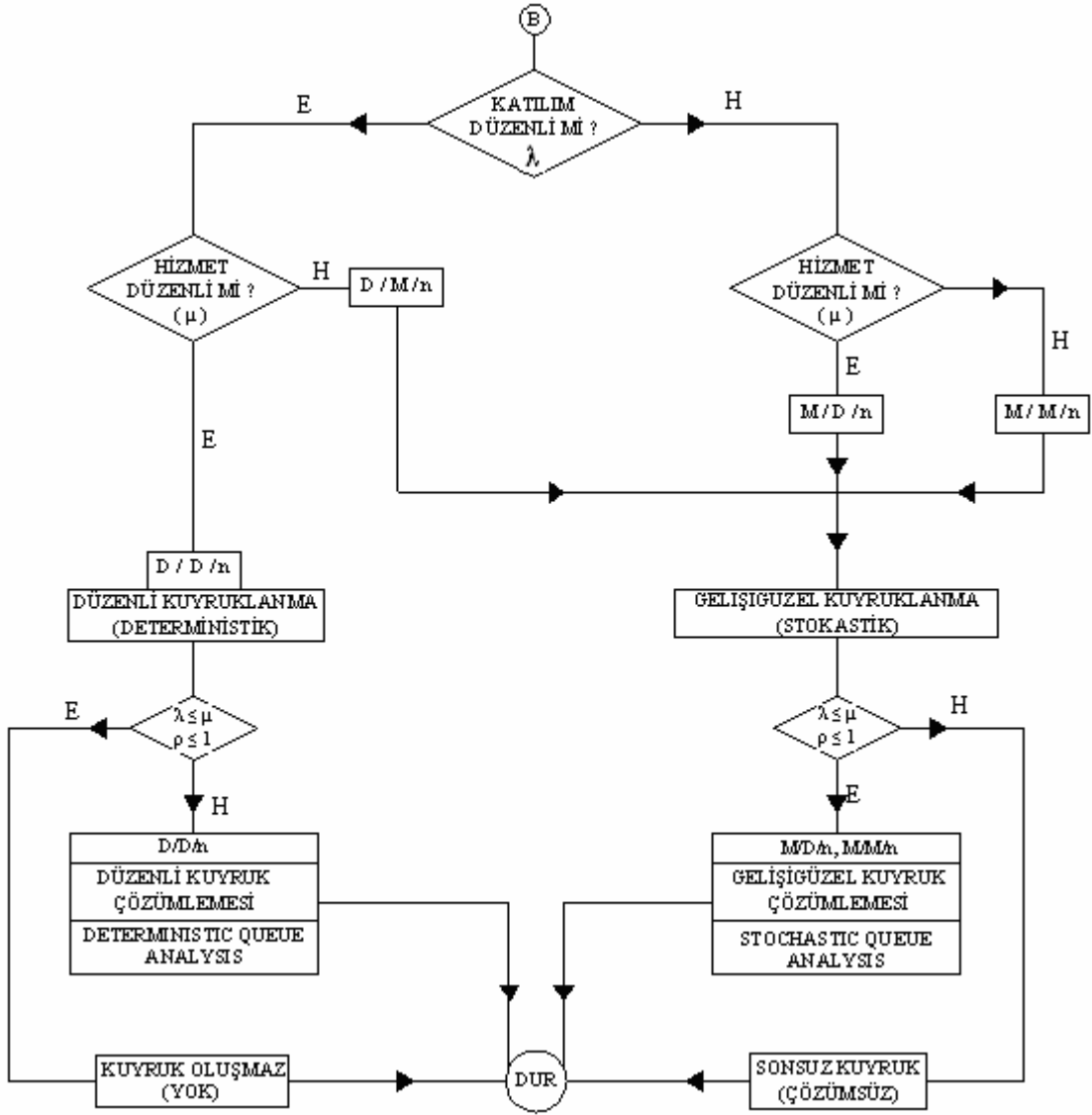
Çizelge 3.1 Kuyruklanma modelleri

		μ		
		M	D	G
λ	M	M/M/...	M/D/...	M/G/...
	D	D/M/...	D/D/...	
	G	G/M/...		G/G/...

Şekil 3.5’de tek kanallı ve çok kanallı kuyruk sistemlerinin şeması verilmektedir. Şekil 3.6’de ise kuyruk çözümlemesinin bir akış diyagramı ile katılım ve hizmet oranlarına göre düzenli veya gelişigüzel kuyruklanma karar süreci özetlenmektedir.



Şekil 3.5 Tek kanallı (a) ve çok kanallı (b) kuyruk sisteminin şeması



Şekil 3.6 Kuyruklanma sisteminde çözüm için akış diyagramı

Kuyruklanmaları inceleme durumları şu şekilde olabilir;

$\lambda < \mu$ için geliş ve hizmet düzenli ise (λ ve μ sabit ise) kuyruk oluşmadan hizmet verilmesi söz konusu olur.

D / D / n kuyruklanması: $\lambda > \mu$ için (λ ve μ sabit) analitik hesaplarla çözüm mümkündür. Analitik çözümü kolaylaştırmak için, ölçekli çizimlerle grafik çözüm de yapılabilmektedir.

$\rho (= \lambda / \mu) \leq 1$ için gelişigüzel kuyruklanma sürecinde istem veya hizmetten en az biri gelişigüzel ise çözüm de gelişigüzel kuyruklanma modeline göre yapılır. Örnek olarak; M/D/n, gelişigüzel katılım düzenli ayrılış; D/M/n, düzenli katılım gelişigüzel ayrılış; M/M/n, gelişigüzel katılım gelişigüzel ayrılış verileridir.

Eğer gelişigüzel katılma veya hizmet durumu söz konusu iken $\rho > 1$ ise kuyruk sonsuz ve devamlıdır (belki de büyüyendir). Burada analiz edilecek bir şey söz konusu değildir.

M / D / 1 Kuyruklanması:

Geliş oranları üssel dağılıma uyarken, hizmet oranları deterministiktir. Hizmet kanalı bir adettir.

M / M / 1 Kuyruklanması :

Geliş ve hizmet oranları gelişigüzel dağılmıştır. Gelişler arasındaki zaman ve hizmet süreleri üssel dağılıma uymaktadır. Hizmet kanalı 1 adettir.

M / G / 1 Kuyruklanması :

Geliş oranları üssel dağılıma uyarken, hizmet oranı ise belirsizdir.

3.3.3. Gişe Sahalarında Kuyruklanma

Gişe sahasında her sürücü (taşıt), ödeme tipine ve gişedeki kuyruklanmaya bağlı olarak gişe seçer. Bu yüzden gişe sahasındaki kuyruklanma olayı, çeşitli senaryoların altında değişik kuyruklanmaları incelemek için oldukça esnek bir yöntem gerektirir.

Seçeneklerden biri şeritleri ayırmak ve her gişede tek tip ödeme sunmaktır. Bunun dezavantajı bazı gişelere talep olmazken, bazılarında uzun kuyruklar oluşabilme riskidir. Bu, işletme açısından oldukça verimsiz olacaktır. Analitik kuyruk sistemleri bu ayrılmış gişelerin davranışlarını iyi bir şekilde tahmin edebilmektedir.

Bir diğer seçenek tüm gişelerde her ödeme tipini sunmak ve taşıtları kuyruğa tek şeritte sokmaktır. Her gişe nakit, otomatik (tam ücretin makineye atılması) ve elektronik ödemeyi kabul edecektir. Bu seçeneğin avantajı işletme açısından esneklik sağlaması ve gişelerin verimliliğini artırmasıdır. Dezavantajı ise hizmet süresinin oldukça geniş bir yelpaze içinde değişim göstermesidir (Akyıldız, 2003).

4. OTOYOL YÖNETİMİ

Büyüyen şehirlerde trafiğin kontrolü zor bir hal almaktadır. Özellikle ulaştırma altyapısı uygun oluşturulmamış şehirlerde, nüfusla birlikte trafiğe çıkan araç sayısının artışı, trafikte istenmeyen sıkışıklıklara neden olmaktadır. Yerleşim alanı olarak büyüyen şehirlerde uzak mesafelerde ulaşım gerçekleşir. Bu ulaşım, sunduğu yüksek hız sebebiyle otoyollar üzerinden olur. Ancak bir süre sonra gelişen şehirler içinde bu otoyollar da sıkışıklıktan nasiplerini almaya başlarlar. İşte bu sıkışıklıkların azaltılması, yok edilmesi ya da trafiğin istenilen biçimde düzenlenmesi ve işlemesi, trafik yönetimi ile gerçekleştirilir. Otoyol üzerinde gerçekleşecek bu yönetim, ‘otoyol yönetimi’ olarak adlandırılmaktadır (Zorer, 2003).

4.1. Sıkışıklık ve Nedenleri

Trafik sıkışıklığı iki şekilde olur, ya talep yolun kapasitesinin üzerine çıkar ya da kapasite bir şekilde (kaza, hava şartları vb.) yoldaki talebin altına düşer. Bu sıkışıklıklar şu şekilde de sınıflandırılabilir: Tekrarlayan trafik sıkışıklıkları ve tekrarlamayan trafik sıkışıklıkları. Tekrarlayan sıkışıklıklar genelde talebin fazlalığından meydana gelir ve belli zamanlarda periyodik olarak gerçekleşir ki bu saatlere zirve saatleri denir. Tekrarlamayan sıkışıklıklar ise ortaya çıkan sorunlar (kazalar, spor karşılaşmaları, özel günler, kötü hava şartları, bakım onarım çalışmaları vb.) nedeniyle olur. Bu iki sıkışıklığın etkileri sürücüler açısından değişik olmayacaktır. Trafik sıkışıklığı ile birlikte, yol üzerindeki taşıt yoğunluğu artacak, taşıtlar arası mesafe düşecek, şerit değiştirmeler zorlaşacak, kısacası kısıtlayıcı koşullarda trafik akışı başlayacaktır. Ayrıca hızlar azalacak, dur kalklar başlayacak, yolculuk süresi uzayacak, kazalar ve doğal olarak sürücülerin memnuniyetsizliği artacaktır.

Trafik sıkışıklığının nedenleri aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir (Zorer, 2003):

Geometrik Tasarım

Geometrik tasarım kapasiteyi düşüren önemli faktörlerden biridir. Şerit sayısındaki azalma en başlıcasıdır. Bu azalma yolda doğrudan darboğaz (şişe boynu) oluşumuna neden olacaktır. Küçük yarıçaplı kurplar da kapasitenin düşmesine neden olabilir. Sürücüler bu kurpları geçerken hız düşürecek veya yandaki şeride kayma olasılığı doğacaktır. Boyuna eğim değişiklikleri de kapasiteyi düşürebilir. Özellikle kamyonların yolculuk ettiği yollarda bu etki görülür. Bunların dışında şerit genişlikleri, katılım tasarımları ve yolun yüzey koşulları gibi diğer etmenler de kapasite üzerinde rol oynamaktadır.

Trafik Hareketleri

Trafik hareketleri de kapasiteyi etkiler. Gerçek talebin varolan kapasiteden fazla olması; katılımdan gelen akımın mevcut kapasiteyi aşması; anayolda bulunan bir ayrıma talebin artması sonucunda oluşan kuyruğun anayolu tıkaması ve katılımdan gelen araçların anayola ani giriş yapmaları gibi hareketler kapasite kullanımını etkileyecektir.

Kaza ve Arıza Sorunları

Yol üzerinde meydana gelen beklenen ya da beklenmeyen olaylar (kazalar, arızalar vb.) kapasiteyi etkiler. Bu sorunların trafik sıkışıklığına etkisi, sorunun etkili olduğu süreye, sorunun kapasitede oluşturduğu azalma miktarına ve sorunun meydana geldiği yerdeki talep miktarına bağlıdır. Bu gibi durumlarda, sorunun büyüklüğüne bağlı olarak, sürücülerin olay bölgesine gelmeden çıkışlara/ayrımara yönlendirilerek alternatif yolları kullanmaları sağlanabilir ya da zorlanabilir.

Bakım ve Onarım

Bakım ve onarım çalışmaları da kapsamına göre yolda sıkışıklığa yol açacaktır. Bunların etkisini azaltmak için bu tip çalışmalar trafik yoğunluğunun az olduğu zamanlarda yapılmalı, mümkün olduğunca tek seferde ve kısa sürede bitirilmelidir. Bu çalışmaların olduğu yerlerde de trafik kontrolü ve bilgilendirme yapılmalıdır.

Hava Şartları

Hava şartları da kapasiteyi etkiler. Havanın karlı, yağmurlu, sisli, buzlu olması trafik akışını önemli ölçüde etkileyecektir.

4.2. Otoyol Yönetiminin Amaçları ve Türleri

İnsanlar otoyollarda kaybettikleri zamanla hem strese girerler hem de iş kaybına uğrarlar ve gün içindeki çalışma performanslarından kaybederler. Yollarda kaybedilen uzun süreler ülkenin gelişmesi ve kalkınmasında yapılacak çalışmalar için kullanılacak zamandan çalınmıştır. Dolayısıyla ulaşım sürelerinin minimuma indirilmesi önemlidir. Bu noktada sıkışıklıkları azaltmak için yeni yollar yapmak bir çözüm olabilir. Ancak yeni yollar yapmadan önce varolan altyapının en iyi şekilde kullanıldığından emin olunmalıdır. Bazı durumlarda varolan altyapının iyileştirilmesi yeni yol yapımından daha iyi sonuçlar verecektir. Altyapının daha iyi kullanımı da otoyol yönetimiyle olacaktır (Zorer, 2003).

Otoyol yönetimindeki amaçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Tekrarlı sıkışıklıkları önlemek,
- Tekrarlı olmayan sıkışıklıkların etkilerini en aza indirmek,
- Yolun güvenliğini ve etkinliğini arttırmak,
- Sürücüleri en iyi şekilde bilgilendirmek,
- Kazaya karışan ya da arızalanan araçlara en çabuk şekilde yardım sağlamak.

4.2.1. Otoyol Yönetim Türleri

Çeşitli otoyol yönetim türleri vardır. Burada bunlardan bir bölümüne değinilecektir. Aslında tek bir yönetim türü kullanmaktansa yönetim türlerinin kombinasyonu, otoyol üzerinde daha etkin bir yönetim sağlayacaktır. Aşağıda kısaca açıklanacak başlıca yönetim türleri şunlardır (Zorer, 2003):

- Takip ve olayların belirlemesi,
- Şerit yönetimi,
- Katılımların kontrolü,
- Sürücü bilgilendirme,
- Olay (kaza/arıza) yönetimi.

Takip ve Olayların Belirlenmesi

Geleneksel olarak anayol yönetim sistemlerinin öncelikli görevlerinden birisi trafiği ve olayları izleyip belirlemektir. Trafik koşullarının gerçek zamanlı olarak izlenmesi olayların belirlenmesini ve bu olaylara karşı önlem alınmasını sağlayacaktır.

Şerit Yönetimi

Şerit yönetimi, bir takım stratejileri ve teknikleri içermektedir. Şerit yönetimi ile amaçlanan, uygun karayolunun verimliliğini maksimize edecek işletim araçlarının kullanılmasıdır. Şeritlerin daha etkin kullanımına dair şu uygulamalar gerçekleştirilebilir (FHWA, 2003):

- Yüksek doluluklu taşıt şeritleri (HOV lanes/YDT şeritleri): Taşıt içindeki yolcu sayısına göre, taşıtlara geçiş önceliğinin verildiği yöntemdir (otobüslere özel şerit ayrılması gibi). Amaç taşıttan ziyade daha fazla insanın yer değiştirmesini sağlamaktır.

- Ücretli yüksek doluluklu taşıt şeritleri (HOT lanes): Taşıtların YDT şeritlerine ücretli olarak geçişine izin verilen şeritlerdir. Ücretli geçiş yapacak taşıtlarda doluluk sınırlaması yoktur. Bu uygulamayla amaçlanan, YDT şeritlerinin güvenilirliğini koruyarak nispeten az olan talebi arttırmak ve elde edilen gelire bu şeritlerin bakım ve onarım giderlerini karşılamaktır.
- Ek şerit uygulaması: Ek şerit uygulaması, belli bir zaman aralığında bir veya daha fazla şerit veya bankette trafik akışının ters istikamete çevrilmesi ile iki yöndeki trafik akımında oluşan talep dengesizliğini azaltmayı sağlamaktadır. Bu konu ileride daha ayrıntılı anlatılacaktır.
- Tıkanıklık ücretlendirmesi: Tıkanıklığın yaşandığı bazı saatlerde ve bölgelerde, taşıt girişinin ücretlendirilmesiyle, yolculuk talebinin yoğunluğu daha az olan bölgelere (karayolu kesimlerine, şeritlere) yönlendirilmesi sağlanarak trafik akışının rahatlatılması amaçlanmaktadır.
- Ağır taşıt tesisleri: Ağır taşıtlarla ilgili kısıtlama ve yönlendirmelerle ağır taşıtların otomobil performansına etkisini azaltarak ağır taşıt/otomobil etkileşimini iyileştirmeyi ve buna bağlı yol güvenliğinin artırılmasını hedefleyen şerit yönetimi uygulamalarıdır.
- Kontrollü çalışma alanları : Bakım-onarım çalışmaları sırasında sürücülerin ve yolda çalışanların güvenliğini sağlayarak trafik akışının etkili bir şekilde sürdürülmesi için yapılan gerekli düzenlemelerdir.

Katılımların Kontrolü

Otoyola giren ve çıkan araçların düzenlenmesi yöntemidir. Özellikle zirve saatlerde katılımlarda oluşacak türbülansı azaltıcı ve trafik akışını rahatlatan özellikleri vardır.

Sürücü Bilgilendirme

Bilgilendirme yapılması yönetim açısından dolaylı bir yöntemdir. Özellikle sürücüler için çok önemlidir. Sürücülerin olaylardan (hava şartlarının yol üzerindeki etkileri, bakım ve onarım yapılan yollar gibi) ve gerçek zamanlı olarak çeşitli yolların durumundan (uyarı tabelaları, radyolar, televizyonlar, internet vb.) haberdar olması, seçecekleri yol (güzergah) konusunda onlara yardımcı olacaktır.

Olay (Kaza/Arıza) Yönetimi

Olaylar meydana geldikten sonra, bu olayların etkilerinin kısa sürede ortadan kaldırılması için - olay meydana gelmeden önce – belirlenen stratejiler ve hazırlıklardır. Bu stratejiler ve hazırlıkların içinde buraya kadar bahsedilen yönetim tipleri, trafiğin olaylardan daha az etkilenmesi için uygulanmalıdır (Zorer, 2003).

4.3. Ek Şerit Uygulaması



Ek şerit uygulaması, belli bir zaman aralığında bir veya daha fazla şerit veya bankette trafik akışının ters istikamete çevrilmesidir. Bunun faydası, normal akış yönündeki kullanılmayan kapasitenin ters yönde kullanılması ile bu yöndeki kapasitenin artırılması ve ilave şerit inşasının engellenmesidir (Wolshon ve Lambert, 2006). Şekil 4.1’de bu uygulamanın bir örneği gösterilmektedir.

Şekil 4.1 Hawaii H-1 otoyolunda ek şerit uygulaması

Ek şerit uygulamaları genellikle, günün zirve saatlerinde iki yöndeki trafik akımında oluşan talep dengesizliğinin etkilerini en aza indirmek amacıyla tercih edilmektedir. Ek şerit düzenlemeleri, aynı zamanda, sıkça yol çalışmaları sırasında ve son zamanlarda fırtına tehdidi olan metropollerde acil kaçış için de uygulanmaktadır (Wolshon ve Lambert, 2006).

Ek şerit uygulamasının tarihi 75 yıl öncesine kadar dayanmaktadır ve şehir içi caddelerden otoyollara kadar her türlü yol sınıfı için uygulanmaktadır. Birçok ülkede yaygın kullanımına ve eski bir uygulama olmasına rağmen, ek şerit düzenlemelerinin performansına yönelik az sayıda değerlendirme ve araştırma yapılmıştır. Benzer şekilde, ek şerit düzenlemelerinin planlanması, tasarımı, çalışması, kontrolü, idaresi ve uygulamasını konu alan sınırlı miktarda yayın bulunmaktadır. Bu yüzden, kullanılan ek şerit sistemlerinin birçoğu, öncelikle tecrübe, profesyonel karar ve deneysel gözlemlere dayalı olarak geliştirilmekte ve yönetilmektedir. Ek şerit sistemlerinin gerçek maliyetleri ve faydalarının birçoğunun büyük ölçüde araştırılmamış olması, uygulama yapılan karayolu kesiminin verimliliğine veya güvenliğine ne denli etkisi olduğu konusunda belirsizliklere yol açmaktadır (NCHRP, 2004).

Genel Esaslar

Bir yoldaki ek şerit uygulamasının tasarım ve planlamasını etkileyen en önemli faktör o yolun hacim özellikleridir. İdeal olarak, şerit kullanım oranı yöne bağlı trafik hacim oranı ile uyum içinde olmalıdır. Ancak, ek şerit uygulamasını etkileyen başka birçok etken vardır (Wolshon ve Lambert, 2006):

- Trafik kontrolünün karmaşıklık seviyesi ve maliyeti,
- Uygulandığı yolun fonksiyonu,
- Uygulanma sebebi veya amacı,
- Planlama, tasarım, yürütme ve işletmeden sorumlu kurum veya firmalar.

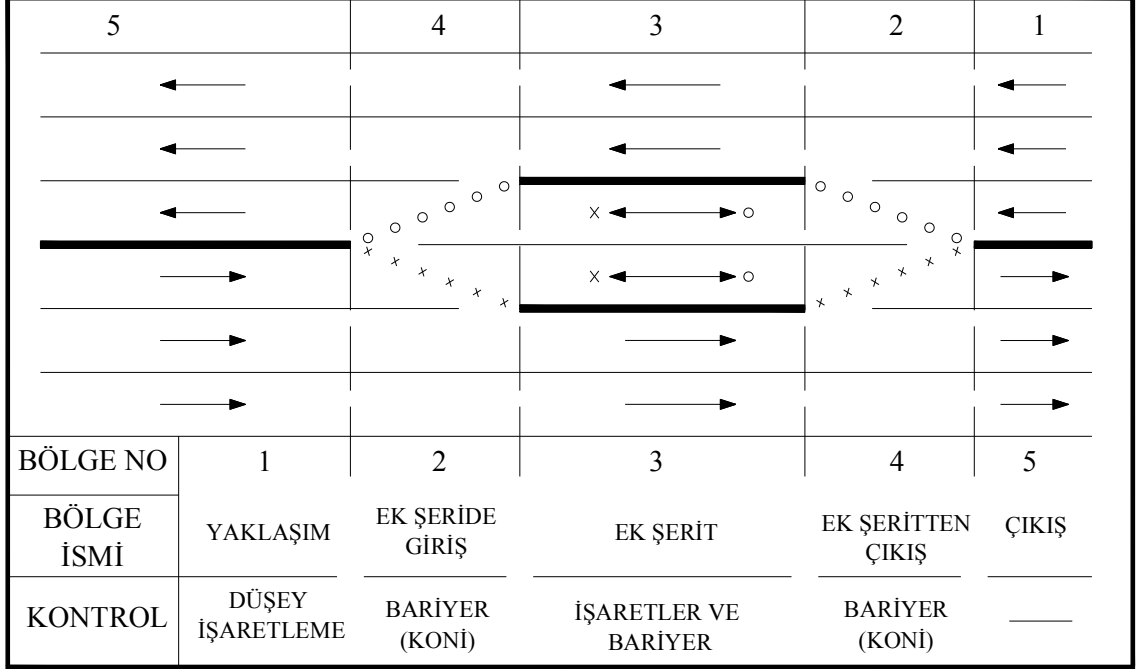
Bu faktörler genellikle birbiriyle bağlantılıdır. Örneğin, şehiriçi kullanıcılarının yoğun olduğu otoyollardaki ek şerit uygulamaları en karmaşık ve pahalı olan uygulamalardır. Bunun sebebi; karşılıklı trafik akımlarını ayırmak için daha sağlam bariyer sistemleri gerekmekte, saha personeli sayısını azaltmak için otomatik kontrol sistemlerine ihtiyaç duyulmakta ve güvenli bir işletim sağlamaya yönelik sürücülerin bilgilendirilmesi için daha fazla trafik kontrolü ve bilgisi gerekmektedir (Wolshon ve Lambert, 2006).

Ek şerit uygulamasının işletimini etkileyen ve tasarımında önemli olan geometrik faktörler şunlardır:

- toplam ek şerit uzunluğu,
- şerit sayısı ve
- giriş-çıkış bölgelerinin uzunluğu.

Lathrop (1972), ek şerit uygulaması yapılan karayolu kesimini, yolun geometrik özellikleri ve fonksiyonlarına göre tanımlayan beş ana bölgeye ayrılmaktadır (Şekil 4.2). 1. bölge, yaklaşım bölgesi olarak kabul edilmektedir. Bu bölgede, sürücüler, ilerde ek şerit uygulaması olduğuna dair bilgilendirilmeye ihtiyaç duyarlar. Sürücülere verilen bilgi, onlara açık ve müsait olan şeritleri ve sayısını kapsamalıdır. 2. bölge karar bölgesidir. Sürücülerin, ek şeride giriş yapmakta veya anayolda devam etmek zorunda oldukları ve buna göre hareket ettikleri bölgedir. Bu bölgede taşıt manevralarını kısıtlayacak geometrik düzenlemelerden kaçınılmalıdır. 3. bölgede, taşıtlar, bölünmemiş yolda normal ve ters yönlerde hareket etmektedirler. Sürücüler, her iki yönde de hangi şeritlerin kullanıma açık olduğu yatay ve düşey işaretlemeler hakkında bilgilendirilerek, taşıtların kafa kafaya çarpışma riski en aza indirilmelidir. Ek şerit uygulamasının bittiği yer, yani taşıtların anayola zorunlu olarak geçişi

4. bölgede gerçekleşmektedir. 2. bölgeye benzer olarak 4. bölgenin de uzunluğu taşıtların geçiş manevralarını ve anayola katılımı (örülmeyi) güvenli yapabilecekleri şekilde tasarlanmalıdır. 5. bölgede, taşıtlar ek şerit kısımdan tamamen çıkmıştır ve anayol trafik akışında hareket ederler (NCHRP, 2004).



Şekil 4.2 Ek şerit uygulamasının genel şematik gösterimi (Lathrop, 1972)

Ek şerit kapasitesini etkileyen en kritik alanlar geçiş bölgeleridir. Geçiş bölgesinin kapasitesi ek şeritteki taşıt hacminin artışına uyum sağlamalıdır. Ek şerit çıkışındaki geometrik düzenlemeye bağlı kapasite düşüşü yavaş bir tıkanıklık oluşumuna neden olacağından ek şerit uygulamasının etkinliğini azalacaktır. Bu yüzden, çıkış bölgesinde (anayola katılım) gerekli düşey işaretleme veya bariyer sistemleri kullanılarak, ek şerit ve anayoldaki trafik akışının en az etkileneceği şekilde geometrik düzenlemeler yapılmalıdır.

Ölçütler

Ek şerit uygulama ihtiyacı çoğunlukla, mevcut sistemde gözlenen tıkanıklık ve talep artışının yaşandığı ve gelecekte artışı beklenen bölgelerin (kesimlerin) tespitiyle başlar. Evrensel olarak kabul gören belirli ölçütler olmamasına rağmen AASHTO ve ITE gibi profesyonel ulaştırma kuruluşları, ek şerit düzenlemelerinin olumlu şekilde işletimine yardımcı olacak genel uygulamalara yönelik gerekli bazı ölçütler geliştirmişlerdir (NCHRP, 2004).

AASHTO (*Green Book*), “eğer zirve saatlerde trafiğin yüzde 65 veya daha fazlası bir yönde akıyorsa” ek şerit uygulamasını tavsiye etmektedir (NCHRP, 2004).

Ulaştırma Mühendisleri Enstitüsü (ITE), yollarda ek şerit uygulamasını “uygun koşullar altında mevcut yolların zirve saatlerdeki kapasitesini arttırmak için potansiyel olarak en etkili yöntem” olarak tanımlamıştır. Bu uygulama, değişken talep durumu için şerit kullanımında esneklik sağlar ve özellikle tünel ve köprüler gibi yeni şerit eklenmesinin ekonomik olarak uygun olmadığı yerler için çok kullanışlıdır. ITE, ek şerit uygulamasına ihtiyaç olup olmadığının kararlaştırılmasına yardımcı olacak bir takım ölçütler sunabilmektedir. ITE'nin ek şerit ihtiyacının belirlenmesine yönelik oluşturduğu dört ölçüt şunlardır (NCHRP, 2004):

1. Zirve saatlerde otoyoldaki ortalama hızda serbest akım hızı üzerinden %25 oranında bir düşüş gözlenmeli ve talebin otoyol kapasitesinden büyük olduğu belirlenmelidir.
2. Gözlenen trafik tıkanıklığı tekrarlı olmalı ve önceden kestirilebilmelidir.
3. Her iki yönün trafik hacimleri oranı en az 2:1 (*yüksek hacimli yön:düşük hacimli yön*) olmalı, tercihen 3:1 olması önerilmektedir. Aksi uygulamalar, ek şeridin ödünç alındığı yönde yeni trafik problemlerine yol açabilmektedir.
4. Ek şerit düzenlemeleri yapılırken, normal ve ters akış şeritleri arasındaki giriş ve çıkışı sağlayan bölgeler geçişi kolaylaştıracak şekilde tasarlanmalıdır. Aksi halde, ek şerit uygulamaları, mevcut trafik tıkanıklığına ek olarak darboğazlar ve diğer trafik problemlerinin nedeni olabilmektedir.

5. TRAFİK SİMÜLASYONU VE CORSIM (CORRIDOR SIMULATION)

5.1. Trafik Simülasyonu

Simülasyon, 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 kullanılabilir (Olsen, 2000):

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

5.1.1. Simülasyon Modellerinin Sınıflandırılması

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

- Mikroskobik (çok detaylı),
- Mezokobik (orta detaylı) ve
- Makroskobik (az detaylı).

Mikroskobik Model yöntemleri, çok detaylı olarak trafik işletimlerini ve taşıt-sürücü davranışlarını temsil edebilen taşıt-izleme ve şerit-değiştirme teorilerini 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.

Mezokobik Modeller genellikle sistem elemanlarının özelliklerini detaylı olarak temsil eder, fakat faaliyetler ve etkileşimler mikroskobik bir modele göre daha az detayda tanımlanırlar.

Makroskobik modeller, genellikle otoyol kesimlerindeki yol kapasitesi ve trafik akımının incelenmesi ile geliştirilmiş deterministik ilişkileri esas alırlar. Makroskobik model, sistem elemanlarını ve onların faaliyetlerini ve etkileşimlerini düşük detayda 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 formüle edilirken, sürücü reaksiyon süresini sabit bir değer olarak deterministik ilişki veya rasgele değişken olarak stokastik ilişki tanımlanabilir (Lieberman ve Rathi, 1992).

Çizelge 5.1’de yaygın olarak kullanılan bazı trafik simülasyon yazılımlarından örnekler verilerek sınıflandırılması yapılmıştır.

Çizelge 5.1 Bazı trafik simülasyon yazılımlarının sınıflandırılması

İSİM	MİKROSKOBİK	MEZOSKOBİK	MAKROSKOBİK	DETERMİNİSTİK	STOKASTİK	KENTİÇİ	OTOYOL	BİRLEŞİK ⁸
NETSIM	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

* Kentiçi+otoyol

5.2. Mikrosimülasyon

Trafik mikrosimülasyon modelleri taşıt takip, şerit değiştirme ve boşluk süresi kabulü kuralları dikkate alınarak yol ağında yolculuk eden taşıtların modellendiği bir bilgisayar yazılımıdır.

Mikrosimülasyon modelleri, karmaşık trafik problemlerini (akıllı ulaşım sistemleri, karmaşık kavşaklar, şok dalgaları ve kaza etkileri gibi) çözebilme yeteneğine sahip modelleme araçlarıdır. Ek olarak bu programlar bireysel taşıtların ağdaki hareketini, kavşak ve yol tiplerini görsel öğelerle çekicilik kazandırarak kullanıcıya sunarlar. Problemin gerçekçi temsili, anlaşılır ve profesyonel bir tarzda, kolay anlaşılabilir bir formatta oluşturulur [1].

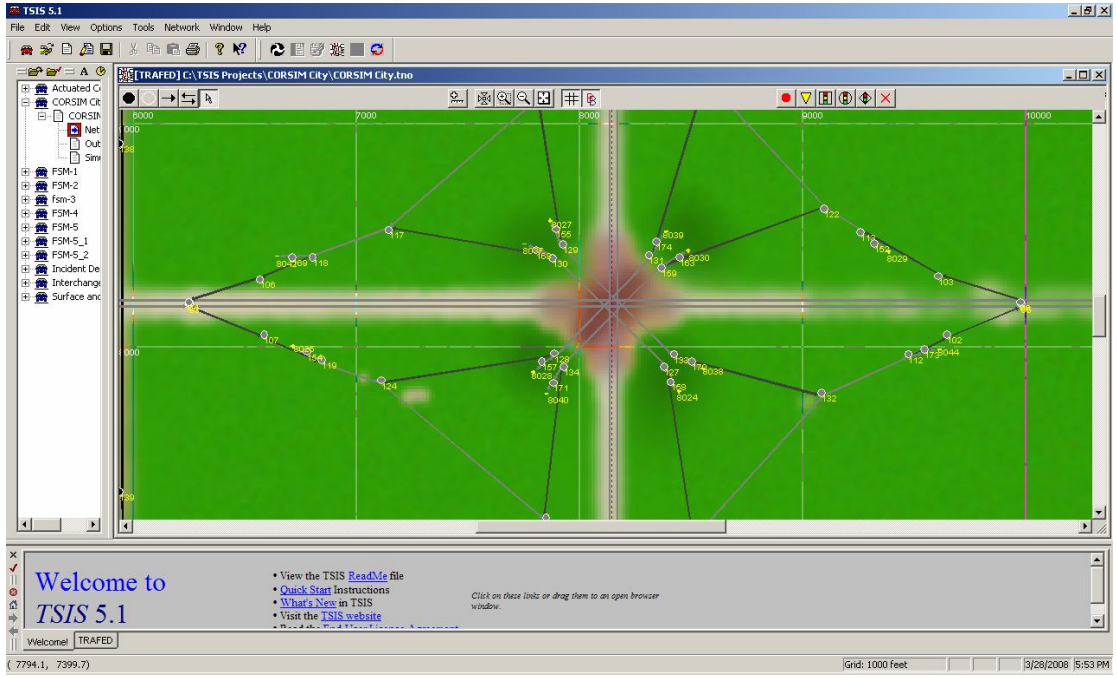
5.3. CORSIM (Corridor Simulation)

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

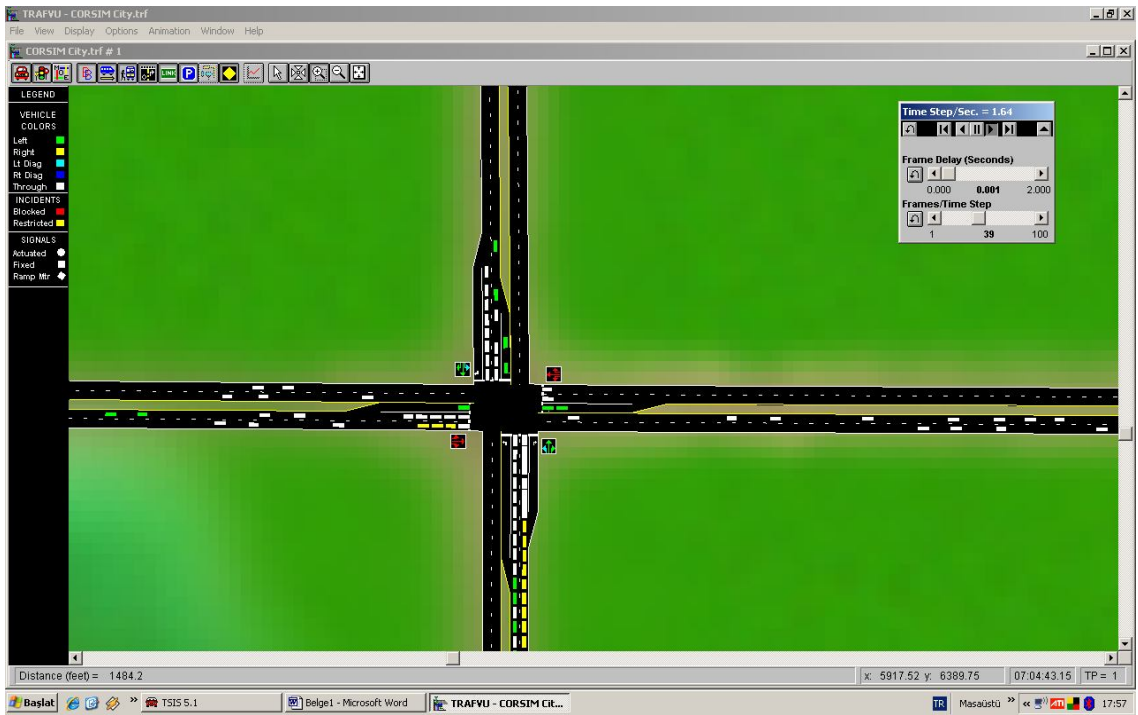
CORSIM simülasyon modeli, otoyolların, kentiçi cadde ve geçişlerin veya ağların analizi için tasarlanmıştır. CORSIM ana simülasyon modülü, FRESIM ve NETSIM olmak üzere iki simülasyon modelinin bütünleştirilmesiyle oluşturulmuştur. FRESIM, kesintisiz hizmet veren bölünmüş ekspres yollar ve otoyollardaki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

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 5.1).



Şekil 5.1 TRAFED ekran görüntüsü

TRAFVU (çıkış işlemcisi) ile kullanıcıya oluşturulan ağın grafiksel görüntüsü verilebilmekte ve animasyon aracılığıyla ağ performansını değerlendirmesine olanak sağlanmaktadır (Bloomberg ve Dale, 2000).(Şekil 5.2).



Şekil 5.2 TRAFVU ekran görüntüsü

5.3.1. CORSIM'in Yetenekleri

CORSIM'de modern trafik sistemlerinin birçok ögesi temsil edilebilir. CORSIM'in temel öğeleri kullanılarak, çeşitli mühendislik kararı için yaklaşık sonuçlar elde edilebilir. Belirli bir duruma ilişkin olarak çeşitli modelleme araçları da mevcuttur (FHWA, 2000).

Oluşturulacak ağın özelliklerine bağlı olarak, CORSIM'in uygun modelleme araçları kullanılmalıdır. Hangi modelin kullanılmasının daha uygun olacağına yalnızca analizcinin vereceği mühendislik kararı yön vermektedir. Örneğin, eğer analizin tek amacı dönel kavşak incelemekse, CORSIM uygun bir araç değildir. Eğer analizin temel amacı bir çıkışın sonunda kavşak bulunan bir otoyol kesimini modellemekse CORSIM geliştirilebilir ve uygulanabilir seçenekler sunabilmektedir (FHWA, 2000).

Çizelge 5.2'de, oluşturulmak istenen model için CORSIM aracının uygun olup olmadığının kararlaştırılmasına yönelik bilgiler verilmektedir.

5.3.2. FRESIM Simülasyon Modeli

FRESIM, otoyol trafik işletiminin modellenmesine duyarlı, mikroskobik, stokastik ve zaman tarayıcı bir simülatördür. Bireysel taşıt hareketlerini ve sürücü davranışlarını modeller. FRESIM ağı, bağlar (-link- örneğin, tek yönlü karayolu kesimleri) ve düğümlerden (geometrik düzensizlikler ve bitişik bağlar için eklem vazifesi görür) oluşmaktadır.

FRESIM modelindeki taşıt işletimlerinin simülasyon mantığı aşağıdaki başlıklar altında detaylı 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 çekiş değerine (jerk value) bağlı olmaktadır ve son hızları (resulting speeds) istenilen serbest akım hızından daha aşağıda tutulur. Artçıl taşıtlar, öncül araçları (Pitt) taşıt-takip modelini esas alarak izlerler.

Çizelge 5.2 CORSIM otoyol ve kent içi ağ modelleme yetenekleri

	MODELLEME ÖZELLİKLERİ	CORSIM Yeterli mi?
OTOYOL AĞLARI	Darboğazlar	Evet
	Yüksek doluluklu taşıt şeritleri (HOV), katılım kontrolü atlaması dahil	Evet
	Bariyerler	Evet
	Şerit kapatmalar	Evet
	Köprülü kavşaklar (alt ve üst geçitler)	Evet
	Örülme kesimleri	Evet
	Ücret Gişeleri / ağırlık ölçüm istasyonları / hareketli köprüler	Hayır*
	Tıkanıklık	Evet
	Zamanla değişen talep	Evet
	Ağır taşıtlara tahsis edilmiş şeritler	Evet
	Kaza-arıza olayları	Evet
	Yol çalışması kesimleri	Evet
	Gözlemeleme	Evet
	Sabit zamanlı katılım kontrolü	Evet
	Zamanla değişen sabit zamanlı katılım kontrolü	Evet
	Trafiğe duyarlı katılım kontrolü	Evet
	Otobüs işletimleri	Evet
KENT İÇİ AĞLAR	Darboğazlar	Evet
	Karmaşık kesişimler	Evet
	Yüksek doluluklu taşıt şeritleri	Evet
	Sokak/cadde üzerinde park etme	Evet
	İki yönlü sola dönüş şeritleri	Hayır*
	Tıkanıklık	Evet
	Zamanla değişen talep	Evet
	Kaza-arıza olayları	Evet
	Yayalara bağlı gecikme	Evet
	Yol çalışması yapılan kesimler	Evet
	Sinyalize olmayan kesişimler	Evet
	Tüm yaklaşım şeritlerinde dur işareti (All-way stops)	Evet
	Dönel kavşaklar	Hayır*
	Sabit zamanlı katılım kontrolü	Evet
	Trafiğe duyarlı sinyaller	Evet
	Sinyal koordinasyonu	Evet
	Gözlemeleme	Evet
	U - dönüşleri	Hayır*
	Toplu taşıma taşıtı yaklaşımına göre sinyal süresinin değişimi	Hayır
	Otobüs işletimleri	Evet
	Hafif raylı sistemler	Hayır*
* Bu özellikler CORSIM tarafından doğrudan modellenemezler, fakat CORSIM'in temel elemanları kullanılarak modellenebilirler. Bu durumlar için genellikle otoyol ve kent içi olmak üzere her iki modüle ait elemanların ortak kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (FHWA, 2000).		

Şerit Değişirme Mantiğı

FRESIM modeli, üç çeşit şerit değişirme 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 takip mesafesi boşluğu bulunmalıdır. Takip mesafesinin kabulü, hedef şeritteki öncül taşıtla çarpışmasını önleyecek şekilde ve şerit değiştiren taşıtın yeterli yavaşlama ivmesi göz önüne alınarak modellenir.

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 tayin edilir. 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.

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 karakteristikleri atanır.

Başlangıç-Son Mantiğı

FRESIM modeli her bir kesişim noktası için dönüş hareketleri yüzdesinin girdi olarak verilmesine imkan sağlamaktadır. Her bağda yolculuk eden taşıt sayılarının hesaplanmasında çekim (gravity) modelini esas alan yolculuk dağılım modeli kullanılır. Ayrıca, O-D (Origin-Destination/Başlangıç-Son) matrisi, belirli nokta çiftleri arasında bulunan bağlar üzerindeki taşıt sayılarını cinsinden tanımlanırsa, çekim modeli kullanılmaz.

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.

5.3.3. FRESIM Modelindeki Girdiler ve Çıktılar

Bu bölümde FRESIM trafik simülasyon modelinin girdi ve çıktı veri elemanları tanımlanmaktadır. Girdiler açısından FRESIM modeli üç ana sınıfta incelenebilir: geometrik özellikler, akım oranı değerleri ve işletim özellikleri. FRESIM modelinin analizinde Çizelge 5.3’de verilen tüm veri elemanları girdi olarak kullanılabilir (Middleton ve Cooner, 1999).

Çizelge 5.3 Üç kategoride incelenen girdi veri bileşenleri

KATEGORİ	GİRDİ VERİ BİLEŞENLERİ
GEOMETRİK ÖZELLİKLER	<ul style="list-style-type: none"> • Şerit sayısı • Şerit genişliği • Şerit ekleme • Şerit eksiltme • Hızlanma ve yavaşlama şeridi • Boyuna eğimler • Yatay kurp • Şerit ayırma
AKIM ORANI DEĞERLERİ	<ul style="list-style-type: none"> • İlk düğümün olduğu bölüme girilen toplam hacim • Katılım ve ayırım hacimleri (anayol hacminin belirli bir yüzdesi olarak ifade edilir)
İŞLETİM ÖZELLİKLERİ	<ul style="list-style-type: none"> • Stokastik sürücü tipleri • Taşıtların tipleri (trafik akışındaki ağır taşıtlar yüzdesi) • Kaza/arıza (olay) durumlarında etkilenme faktörü (Rubbernecking factor) • Taşıtların takibi duyarlılık faktörü • Kaza/arıza (olay) durumları (yeri, etki alanı, süresi) • Katılım kontrolü (yeri, tipi ve kontrol oranı) • Gözleme sistemleri (loop detektörlerinin yerleştirilmesi) • Uyarı işaretleri • Ağır taşıtlar için şerit ataması

FRESIM modeli, aşağıda belirtilen önemli bir çok çıktı verisini kullanıcıya sunabilmektedir;

- Taşıt hacimleri
- Şerit değiştirme sayısı,
- Taşıt-mil,
- Taşıt-dakika,
- Toplam yolculuk süresi,
- Gecikme süresi,
- Ortalama hacim ve hızlar,
- Hareket süresi (moving time),
- Yoğunluk,
- Yakıt tüketimi ve
- Emisyon (salınım) oranları (hidrokarbon, karbonmonoksit, azotoksit).

5.3.4. CORSIM - Ana Varsayılan (Default) Parametreleri

CORSIM modelinde önceden tanımlanmış önemli bir çok 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 kayıt tipleri için varsayılan parametreler şunlardır (Middleton ve Cooner, 1999):

Kayıt Tipi – 2 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, 3600saniye/N taşıt/saat-şerit 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.

Kayıt Tipi – 20 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. Kullanıcı varsayılan değer yerine 0 ile 70 mil/sa arasındaki hızları kabul edebilir.
- Varsayılan serbest akım hızı değeri → 65 mil/sa.
- Varsayılan ağır taşıt hareketi kodlaması → sıfır (taşıt trafiğinde ağır taşıtın olmadığı varsayılmıştır).
- Otoyol ayırımına yaklaşımlarda sürücülerini uyarı niteliği taşıyacak işaret, ayırımından 2500 ft mesafe (varsayılan) önceden konumlandırılır.

Kayıt Tipi – 68 Taşıt-Takip Duyarlılık Faktörü

Bu kayıt tipi, modelde taşıt takibi sırasındaki sürücü davranışlarının kontrolünde kullanılan taşıt-takip duyarlılık faktörünü içerir. FRESIM modelindeki bu faktör sayesinde, sürücüler varsayılan duyarlılık faktörü doğrultusunda öncül taşıtları istenilen biçimde takip edebileceklerdir. Bu duyarlılık faktörü sürücülerden sürücüye farklılık göstermektedir. Çizelge 5.4'de varsayılan değerler gösterilmektedir.

Çizelge 5.4 Varsayılan taşıt-takip 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

FRESIM aynı zamanda Pitt taşıt takip modelini de kullanır. Bu modelde ayırma sabiti (separation constant/Pitt car following constant) varsayılan olarak kullanılır. Kullanıcı, bu değerinde 3 ile 10 ft aralığında değişiklik yapabilir.

Kayıt Tipi – 69 Yol Kaplaması Sürtünme Katsayıları ve Hızlanma ve/veya Yavaşlama Süresi

Yol kaplaması sürtünme değerleri, bir kurptaki maksimum hızın hesaplanmasında kullanılır. Tüm kaplama yüzeyleri için varsayılan sürtünme katsayısı 0.16'dır. Kullanıcı bu değeri 0 ile 1.0 aralığında olmak üzere değiştirebilir. Ayrıca, saniyenin onda biri (çarpı 0.3) kadar hızlanma ve yavaşlama süresi değerleri de ayarlanabilir. Değerler için kabul edilebilir bir aralık önerilmemesine karşın, bu değerlerde değişiklik yapılabilir.

Kayıt Tipi – 70 Şerit Değişirme Parametreleri, Taşıt Yaratımı İçin Minimum Ayrım ve Maksimum Ani Olmayan Yavaşlama

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

- Bir şerit değişirme manevrasının tamamlanma süresi → 3.0 sn
- Taşıt yaratımı için minimum ayırım → 1.8 sn
- Sürücülerin sağ şeride geçme isteği – yol verme oranı (nezaket faktörü / courtesy factor) → 20%
- Maksimum ani olmayan yavaşlama ivmesi (otoyol) → 8.0 ft/sn²

Tüm bu varsayılan değerlerde aralık belirtilmemesine rağmen değişiklik yapılabilir.

Kayıt Tipi – 71 Taşıt Tipi Tarifnamesi

Simülasyon modelindeki tüm taşıt filosunun işletim performans özelliklerinin tanımlanmasında kullanılan taşıt tipi tarifnamesini içermektedir. Bazı ek varsayılan parametreler şunlardır;

- Varsayılan çekiş değeri (Jerk; bir zaman adımından diğerine izin verilen taşıt hızlanma ivmesinin değişim oranı) tüm taşıt tipleri için 7 sn'dir.
- Varsayılan maksimum yavaşlama ivmesi, %0 eğim ve kuru yüzey kaplamasında, tüm taşıtlar için 15ft/sn²'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. Çizelge 5.5'de, NETSIM (N) ve FRESIM (F) için taşıt tanımlama numaraları, taşıt tipleri ve her taşıt tipi için varsayılan filoda bulunma yüzdeleri listelenmiştir (FHWA, 2000).

Çizelge 5.5 Taşıt tipi tarifnamesi (FHWA, 2000)

Filo Bileşeni	Taşıt Tanımlama Numarası Ve Tipi		Taşıt Performans İndeksi	Uzunluk (ft)	Taşıtta Bulunan Ort. Kişi Sayısı (Occupants)	Filodaki Yüzdesi (%)
Otomobil	1(F) 5(N)	Düşük performanslı	1	14	1,3	75(F) 75(N)
	2(F) 1(N)	Yüksek performanslı	2	16	1,3	25(F) 25(N)
Kamyon	3(F) 2(N)	Kamyon (Tek Birimli)	3	35	1,2	31(F) 100(N)
	4(F) 6(N)	Yarı Treyler (Orta Yüklü)	4	53	1,2	36(F) 0(N)
	5(F) 7(N)	Yarı Treyler (Tam Yüklü)	5	53	1,2	24(F) 0(N)
	6(F) 8(N)	Treyler (İki Birimli)	6	64	1,2	9(F) 0(N)
Otobüs	7(F) 4(N)	Geleneksel	7	40	25	100(F) 100(N)
Taşıt Paylaşımı (Carpool)	8(F) 9(N)	Düşük Performanslı	1	14	2,5	75(F) 100(N)
	9(F) 3(N)	Yüksek Performanslı	2	16	2,5	25(F) 0(N)

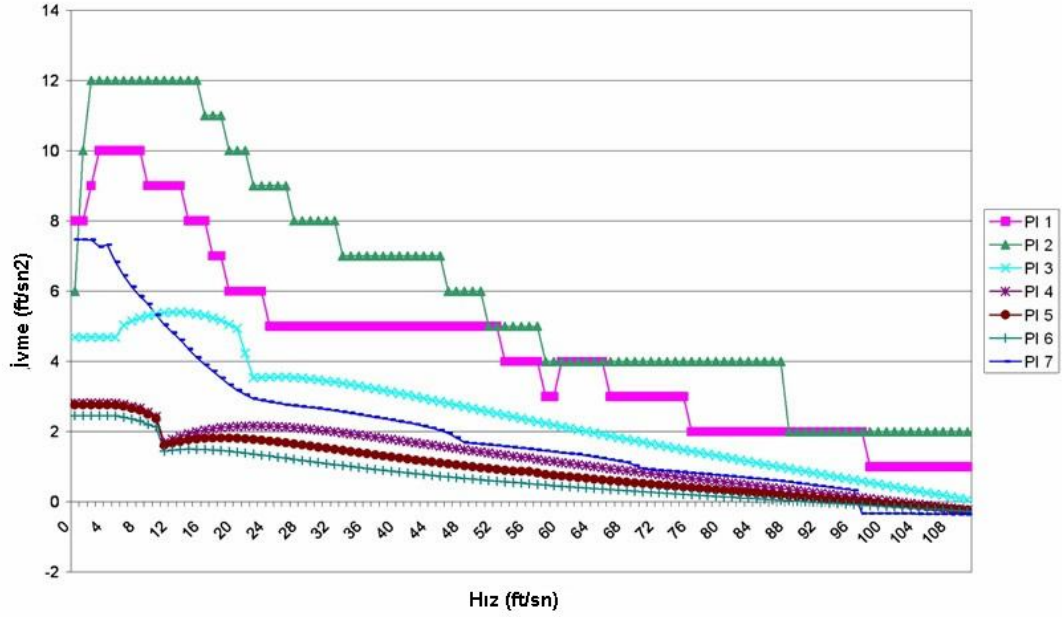
Çizelge 5.5’de aynı zamanda her taşıt tipi için varsayılan performans indeksi, varsayılan tampondan tampona uzunluk ve taşıtta bulunan varsayılan ortalama yolcu (occupants) sayısı gösterilmiştir.

Her taşıt tipi, mevcut yedi taşıt performans indekslerinden birini kullanmalıdır. Bunlar, taşıt ivmesi, emisyonları ve yakıt kullanımını kararlaştırmak için kullanılır. Her taşıt tipi kendi karakteristiklerine sahip olabilir.

Hızlanma Çizelgeleri

CORSIM, kullanıcıya maksimum hızlanmanın ve eğim düzeltme faktörünün (maksimum hızlanma ve yakıt tüketimi için) tanımlandığı çizelgelendirilmiş verilerin bir kısmını veya hepsini değiştirmesine izin verir. Bu veriler, 10 ft/s hız aralıklarında girilen hızlardır. Bu aralıkta girilen değerler doğrusal interpolasyon yoluyla CORSIM modeli tarafından hesaplanır (FHWA, 2000).

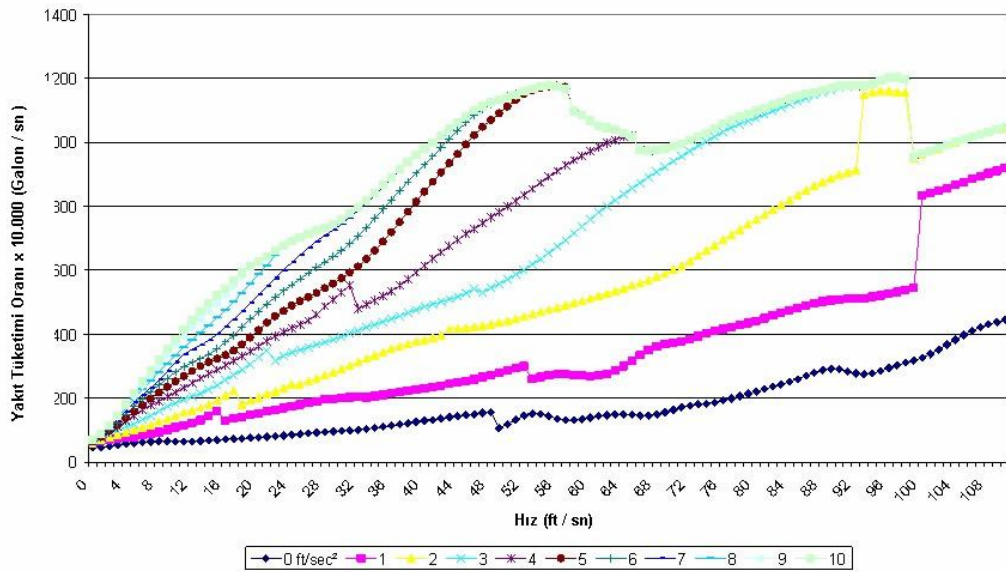
Şekil 5.3, yedi farklı performans indeksi dikkate alınarak oluşturulmuş her hız (ft/s) değeri için varsayılan maksimum hızlanma (ft/s²) grafiğini gösterir. Ağır taşıtlar, performans indeksi beş ve altıyı kullanırken, yüksek performanslı taşıtlar performans indeksi ikiyi kullanır (FHWA, 2000).



Şekil 5.3 Performans indeksine göre maksimum ivme – hız grafiği

Taşıt Yakıt Verileri ve Taşıt Salınımları (Emisyonları)

CORSIM, yakıt tüketimi ve kirletici madde salınım oranlarını tanımlayan veri çizelgelerinin herhangi birisi veya parçalarının hepsini değiştirmesi için kullanıcıya imkan sağlar. Çizelgeler, taşıt performans indeksi ve taşıt hızı girdilerine bağlı ivmenin bir fonksiyonu olarak bu oranları ifade eder. Şekil 5.4'de, farklı ivme oranlarındaki hıza karşı varsayılan yakıt tüketim oranlarının yer aldığı grafik gösterilmektedir. Benzer çizelgeler, çeşitli taşıt salınım tipleri için mevcuttur (FHWA, 2000).



Şekil 5.4 Performans indeksi (1) için farklı hızlanma oranlarındaki yakıt tüketimi

Bu verilerin toplanması ve kalibrasyonu zor bir iştir ve CORSIM’de uzun yıllardır gncelleştirilme yapılmamıştır. Yalnızca karşılaştırmalı analizler için bu verilerin kullanılması tavsiye edilir. Bu verilerin bugünün taşıtlarının yeteneklerinin mutlak bir göstergesi olarak kullanılması önerilmemektedir (FHWA, 2000).

6. CORSIM MODELİ VE UYGULAMA

Mikrosimülasyon ile analizi düşünülen trafik problemine yönelik modelinin oluşturulması ve geliştirilmesi için aşağıda sıralanan sekiz süreci izlemek yararlı olacaktır:

1. Çalışmanın konusu ve amacı
2. Analiz yönteminin belirlenmesi
3. Veri toplanması ve hazırlanması
4. Ana modelin geliştirilmesi
5. Hata kontrolü
6. Kalibrasyon
7. Alternatif analizler
8. Sonuç raporunun hazırlanması

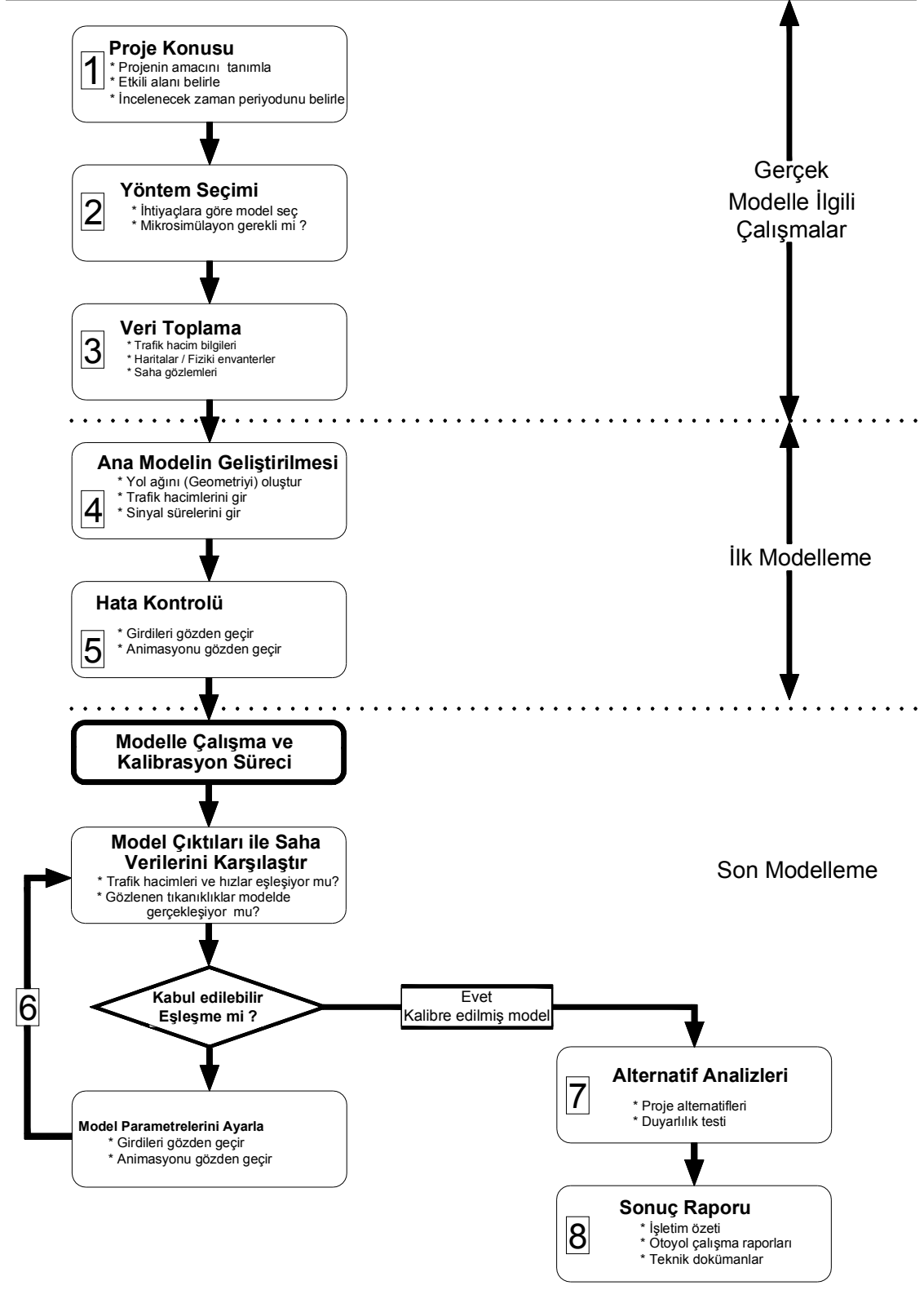
FHWA'nın hazırlamış olduğu *İleri CORSIM Eğitim El Kitabı*'nda (FHWA, 2003) bu modelleme süreçleri detaylı olarak anlatılmaktadır. Süreçlere ait özet akış şeması Şekil 6.1'de gösterilmektedir. Bu çalışmada belirtilen süreçler takip edilecektir.

6.1. Çalışmanın Konusu ve Amacı

Avrupa ve Asya yakalarını birbirine bağlayan Boğaz geçişleri, İstanbul'un karayollarında tekrarlı olarak yaşanan trafik tıkanıklık kesimleridir. Daha çok zirve saatlerde gözlenen bu duruma yönelik, talebin fazla olduğu yöne kapasite arttırımı amacıyla karşı yönden ödünç alınan bir şerit ilavesiyle her iki yönde oluşan talep dengesizliğinin önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Ek şerit düzenlemeleri genellikle her gün, sabah ve akşam belirli saatlerde Boğaziçi ve FSM Köprülerinde uygulanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında O-2 Otoyolu ve FSM Köprüsü'ndeki ek şerit uygulamasının verimliliği incelenecektir. O-2 Otoyolunun FSM Köprüsü geçişinde özellikle akşam saatlerinde her iki yöndeki trafik hacimlerinin yüksek olduğu bir gerçektir. Ancak, Avrupa - Asya yönündeki talep diğer yöne nazaran daha fazladır. Bu sebepten dolayı akşam saatlerinde bu yöne şerit ilavesi yapılmaktadır. Avrupa - Asya yönündeki trafik akışı için bu uygulamanın yetersiz olduğunu söylemek mümkün değildir. Fakat mevcut yararın yanı sıra, her iki yönde oluşan talep dengesizliği iyi analiz edilmediği takdirde, ek şerit düzenlemesi tam olarak etkili olamamakta ve uygulama sırasında diğer yöndeki trafik akışında tıkanıklığa ve kuyruklanmalara neden olabilmektedir. Bu çalışmanın öncelikli amacı, oluşturulacak

simülasyon modeliyle akşam saatlerinde FSM Köprüsü'ndeki ek şerit uygulamasının her iki yöndeki trafiğe olan etkilerinin analizi yapılarak mevcut durumun ortaya konması ve model üzerinde geliştirilecek senaryolarla karşılaştırılarak verimliliğinin incelenmesidir.



Şekil 6.1 Modelleme sürecine ait akış şeması (FHWA, 2003)

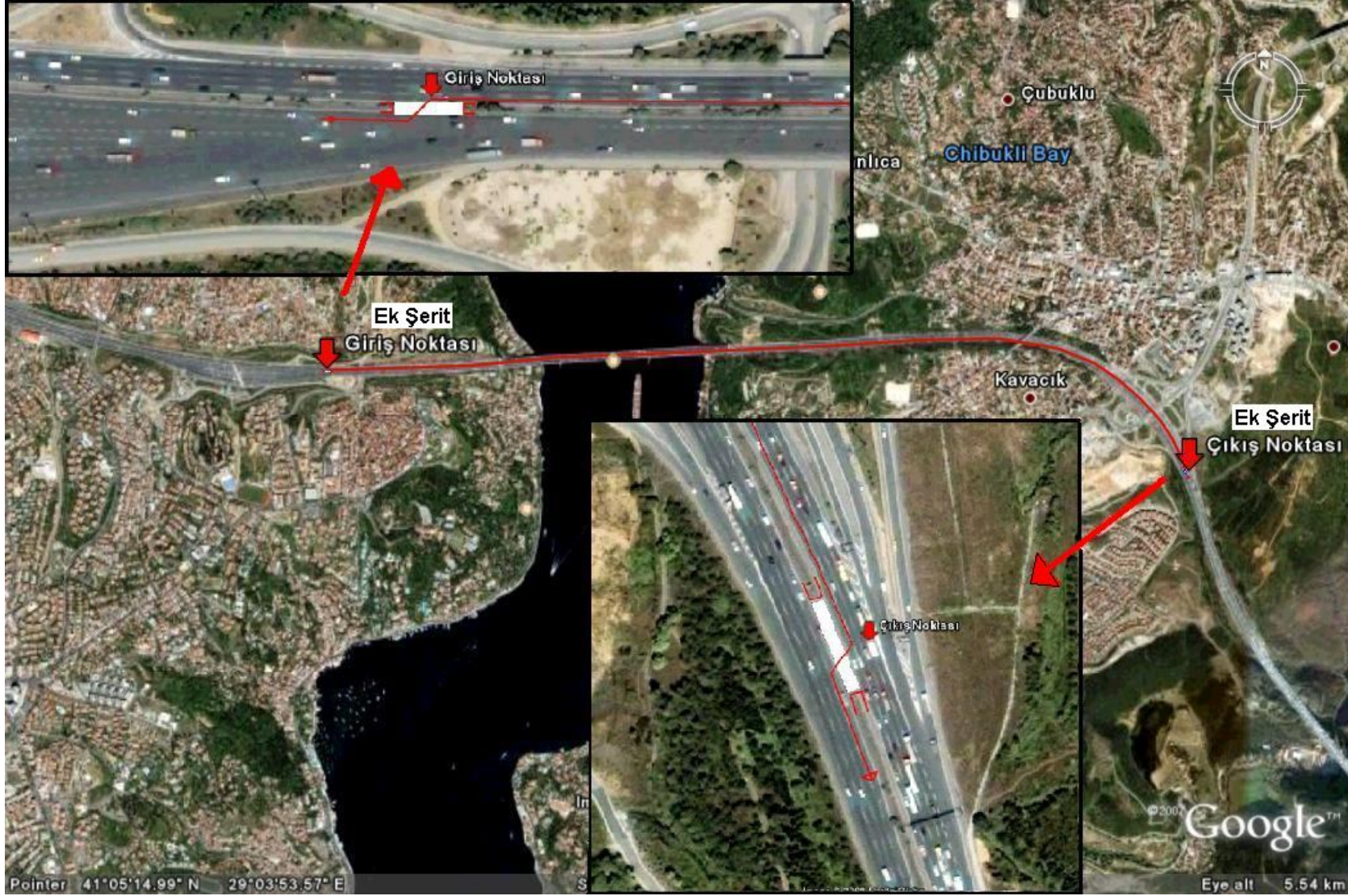
Akşam saatindeki ek şerit uygulaması, FSM Köprüsü gişe sahası çıkışında başlatılmakta ve Kavacak Köprüsü'nün yaklaşık 300m ilerisinde (Kozyatağı yönünde) sonlandırılmaktadır. Şekil 6.2'de Google Earth programından alınmış, ek şerit uygulamasının yapıldığı kesimi gösteren uydu fotoğrafı verilmektedir.

Ek şerit uygulamasının yapıldığı saatlerde, öncesi ve sonrasında her iki yöndeki trafik akımında oluşan etkilerin (hızlardaki değişim ve kuyruklanmalar) simülasyon modeline tam olarak yansıtılabilmesi için yol ağı üzerindeki radarlara ait veriler incelenerek etki alanları ve modellenecek yol ağı sınırları ile zaman dilimi belirlenmiştir. Şekil 6.3'de Avrupa ve Asya olmak üzere her iki yakada sınırları belirlenmiş, modellenecek yol ağı kesimi gösterilmektedir. Simülasyon için kullanılacak radar verilerinin, hava şartlarının trafiği etkilemediği ve yol üzerinde, trafik koşullarını anormal düzeyde etkileyecek bir olayın gerçekleşmediği bir güne ait olmasına dikkat edilmiştir. Değişik günlere ait radar verilerinin incelenmesi sonucunda, simülasyon için ek şerit uygulamasının yapıldığı saatleri de içine alan, Avrupa'dan Asya'ya geçiş için zirve trafiğinin gerçekleştiği akşam saat 16:20 – 21:00 arası zaman diliminin incelenmesine ve 21 Şubat 2008 gününe ait radar verilerinin kullanılmasına karar verilmiştir. İncelemelere ait bilgiler ileride verilecektir.

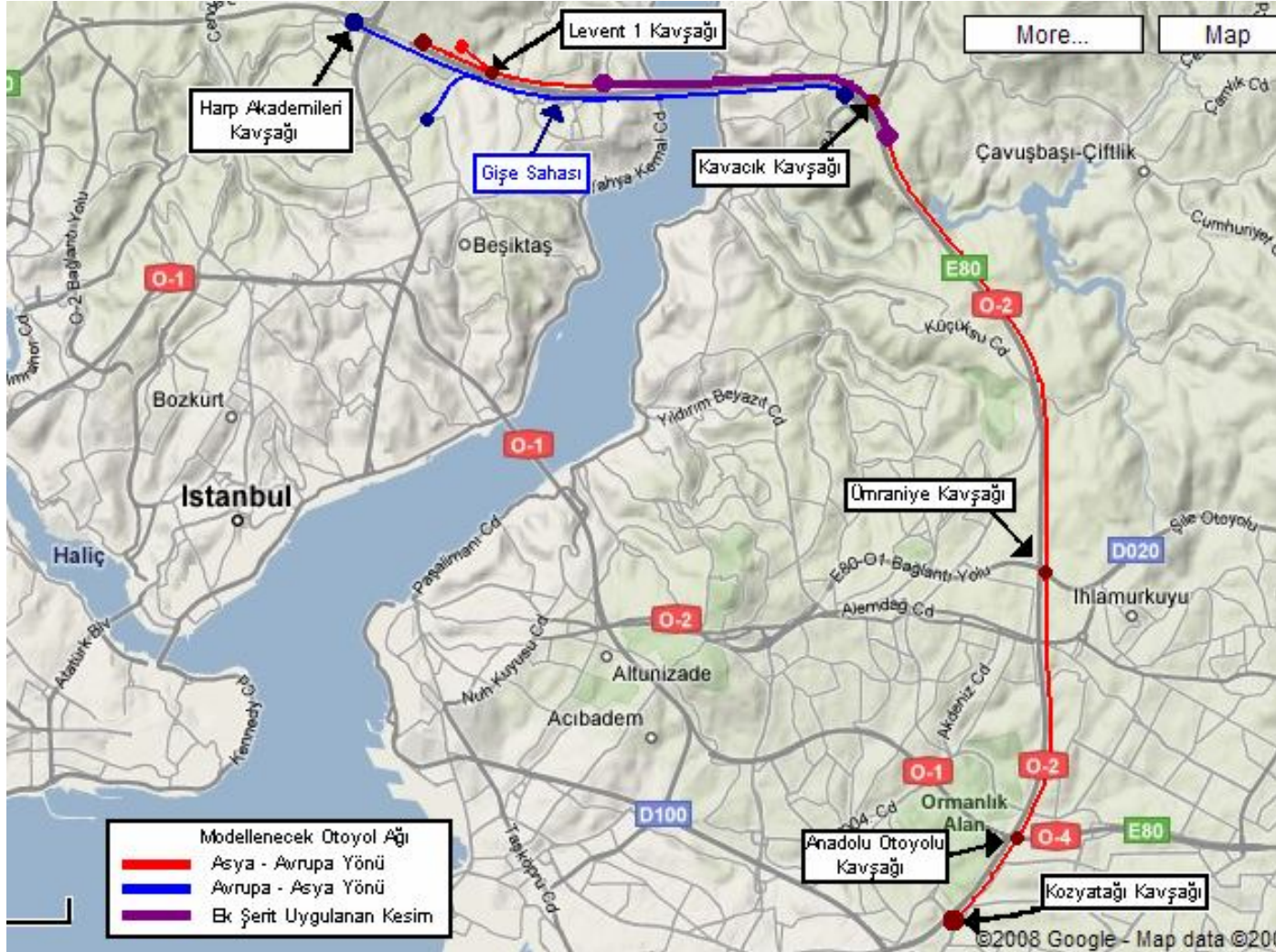
6.2. Analiz Yöntemini Belirlenmesi

Çalışmada incelenecek otoyol ağının etki alanlarına göre sınırları belirlenmiştir. Bu sınırlar uzun bir otoyol kesimini ve gişe sahasını kapsamaktadır. Bu bağlamda yapılacak mevcut durum analizi ve karşılaştırmalı (alternatif) analizler için trafik işletimlerini ve taşıt-sürücü davranışlarını detaylı olarak temsil edebilen mikrosimülasyon modelinin bu çalışma için uygun bir araç olacağı düşünülmüştür. Dolayısıyla, bu çalışmada, yaygın kullanıma sahip ve kullanıcıya önemli bir çok çıktı sunabilen, lisansı Yıldız Teknik Üniversitesi'ne ait TSIS (versiyon 5.1) yazılım paket programı kullanılmıştır. Modelin oluşturulması ve geliştirilmesi aşamasında FHWA'nın aşağıda adresi verilen resmi internet sitesinden, yazılım ile ilgili kullanıcıya sunulan detaylı hazırlanmış eğitim kitaplarından, örneklendirilmiş uygulamalardan ve program içindeki işlevsel "Help" dosyalarından yararlanılmıştır.

- <http://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/corsim.htm>
- Traffic Analysis Toolbox Volume IV: Guidelines for Applying CORSIM Microsimulation Modeling Software, (2007).
- Advanced CORSIM Training Manual: Final Corsim Manual 9-19-09.doc, (2003).



Şekil 6.2 Ek şerit uygulaması yapılan kesim



Şekil 6.3 Modellenecek yol ağı kesimi

6.3. Verilerin Toplanması

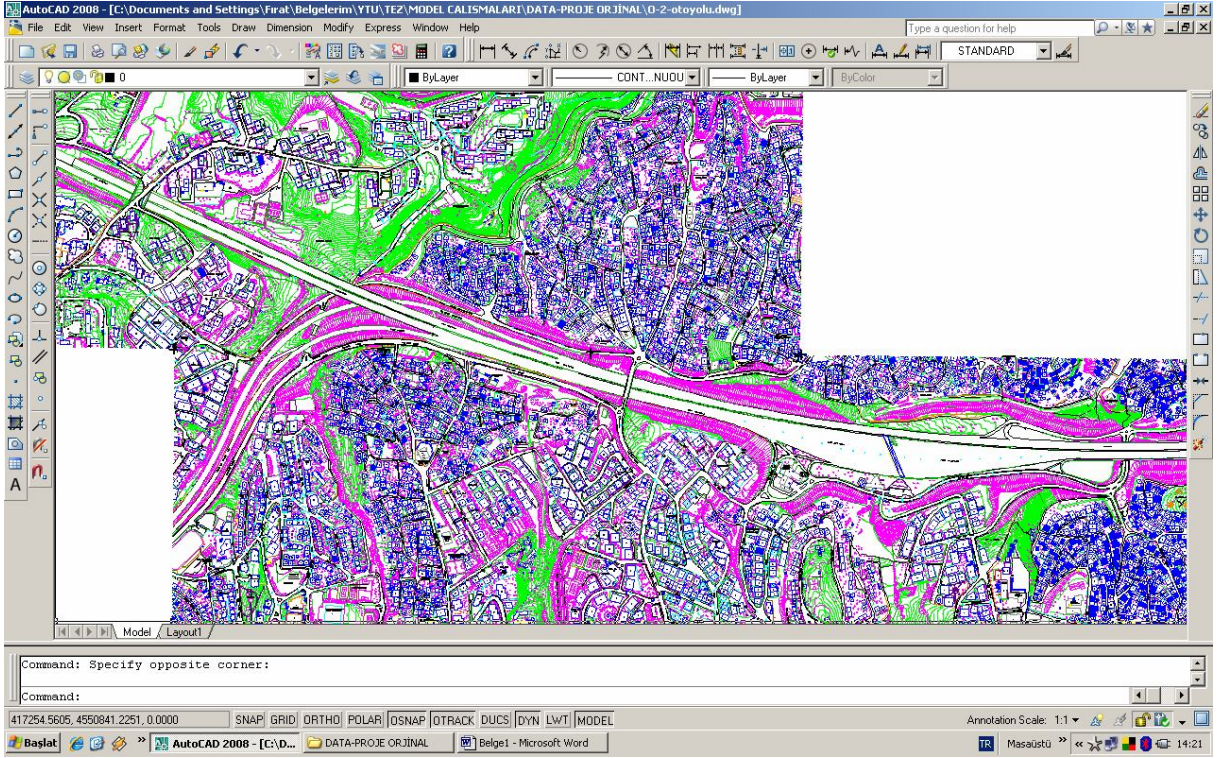
Yol ağının simülasyon modelinde oluşturulması için toplanacak geometrik veriler şu özellikleri kapsamalıdır;

- Şerit sayıları,
- Yolun eğimi,
- Katılım ve ayırım noktalarının km'leri ve
- Güvenli hızlanma ve yavaşlama şeridi uzunlukları.

Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen O-2 Otoyolunun Autocad formatındaki 1/1000 ölçekli dijital haritası ve mevcut geometrik durumla ilgili envanterlerle gerekli bilgiler elde edilmiştir. Çizelge 6.1'de mevcut geometrik durum özetlenmekte, Şekil 6.4'de modelde altlık olarak kullanılacak Autocad formatındaki O-2 Otoyol ağından örnek bir kesim gösterilmektedir.

Çizelge 6.1 Mevcut geometrik durum (anayol)

YOL NO	KONTROL KESİM NO	BAŞLANGIÇ NOKTASI	BİTİŞ NOKTASI	UZUNLUK KM	ŞERİT SAYISI	S.KAPLAMA/ BSK (Bitümlü Sıcak Karışım)	YOLUN EĞİMİ	ŞERİT GENİŞLİĞİ (m)	BANKET GENİŞLİĞİ (m)
O-2	O - 2 / 5	Harp Akademileri Köp. Kav. (K 4)	Levent 1 Köp. Kav. (K 5)	1,5	2x4	BSK	(±) 0%- 3%	3,50	3,00
O-2	O - 2 / 6	Levent 1 Köp. Kav. (K 5)	F.S.M.Köp. Avrupa Tarafı (Ankrajlar)	2,4	2x4	BSK	(±) 0%- 3%	3,50	3,00
O-2	O - 2 / 7	F.S.M.Köp. Avrupa Tarafı (Ankrajlar)	F.S.M.Köp. Anadolu Tarafı (Ankrajlar)	1,5	2x4	BSK	(±) 0%- 3%	3,50	3,00
O-2	O - 2 / 8	F.S.M.Köp. Anadolu Tarafı (Ankrajlar)	Kavacık Köp.Kav. (K 6)	1,9	2x4	BSK	(±) 0%- 3%	3,50	3,00
O-2	O - 2 / 9	Kavacık Köp.Kav. (K 6)	Ümraniye Köp.Kav. (K 7)	7,4	2x4	BSK	(±) 0%- 3%	3,50	3,00
O-2	O - 2 / 10	Ümraniye Köp.Kav. (K 7)	Anadolu Otoyolu Köp.Kav. (K 8)	3,9	2x4	BSK	(±) 0%- 3%	3,50	3,00
O-2	Kozyatağı - O-2 Bağlantısı	Anadolu Otoyolu Köp.Kav. (K 8)	Kozyatağı Kavşağı	1,3	2x3	BSK	(±) 0%- 4%	3,50	3,00



Şekil 6.4 Autocad ekranı - FSM Köprüsü gişe sahası ve yaklaşımı

Gerekli bir diğer veri ise trafik hacim verileridir. Bu çalışmada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından O-2 Otoyolu ve bazı bağlantı kollarına yerleştirilmiş olan RTMS (Road Traffic Microwave Sensor) verilerinden yararlanılacaktır. Bu sensörler trafik algılama uygulamaları için özel olarak tasarlanmış radarlı bir aygıttır. Şekil 6.5’de yol kenarına yerleştirilmiş bir RTMS cihazı gösterilmektedir. Cihaz her türlü hava koşulunda 1 ile 8 şerit arasında yolda duran veya hareket eden taşıtları tespit edebilmektedir. Belirlenen bir zaman aralığında yoldan geçen taşıt sayısını, ortalama hızlarını ve yoğunluğu şerit bazında ölçmekte ve bu veriler dijital ortamda kullanılacak şekilde Mobitex Modemler aracılığıyla ulaşım kontrol merkezi’ne ulaştırılmaktadır.



Şekil 6.5 Yol kenarına yerleştirilmiş bir RTMS

İnceleme yapılacak otoyol kesimde faydalanabileceğimiz radarları tespit edebilmek için, İ.B.B'nden mevcut radarları ve yerlerini gösterir haritalar talep edilmiş ve bu haritalar aracılığıyla gerekli radarlar belirlendikten sonra, değişik günler için 24 saatlik (2 dakikalık dilimler halinde) hacim (V=volume), işgal oranı (O=occupancy) ve hız (S=speed) verileri şerit bazında temin edilmiştir. Şekil 6.6'da Excel programında kullanılabilir hale getirilmiş bir radara ait veriler 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
1	MsgTime	Time	RtmsNo	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
100	21.02.2008	19:26:35.000	3	60	66	71	78	40	48	53	49	21	36	33	45	4	4	6	6	67	35	38	30	80	103	85	87
101	21.02.2008	19:28:35.000	3	47	57	72	74	43	41	47	43	37	47	43	42	4	4	5	6	22	23	29	31	82	105	86	82
102	21.02.2008	19:30:35.000	3	54	57	61	61	36	44	59	50	28	40	44	48	4	4	6	5	30	27	24	22	78	97	74	89
103	21.02.2008	19:32:35.000	3	58	69	59	78	38	47	47	52	18	34	30	36	2	5	6	6	72	39	35	38	78	90	93	81
104	21.02.2008	19:34:34.000	3	56	52	61	69	47	40	57	57	23	33	35	44	3	3	7	7	67	30	30	27	83	95	81	80
105	21.02.2008	19:36:35.000	3	59	60	62	70	38	45	52	44	21	37	44	31	3	3	5	5	77	31	25	38	80	92	98	85
106	21.02.2008	19:38:35.000	3	67	63	63	63	47	45	44	51	25	30	38	47	3	4	6	7	53	33	29	23	81	99	82	81
107	21.02.2008	19:40:35.000	3	50	60	65	66	31	42	53	46	26	41	35	34	4	4	6	7	45	28	32	34	72	90	82	80
108	21.02.2008	19:42:35.000	3	60	63	63	65	42	41	47	54	23	41	29	42	6	3	5	6	71	29	26	27	77	84	83	89

Şekil 6.6 Excel formatına dönüştürülmüş örnek radar verileri

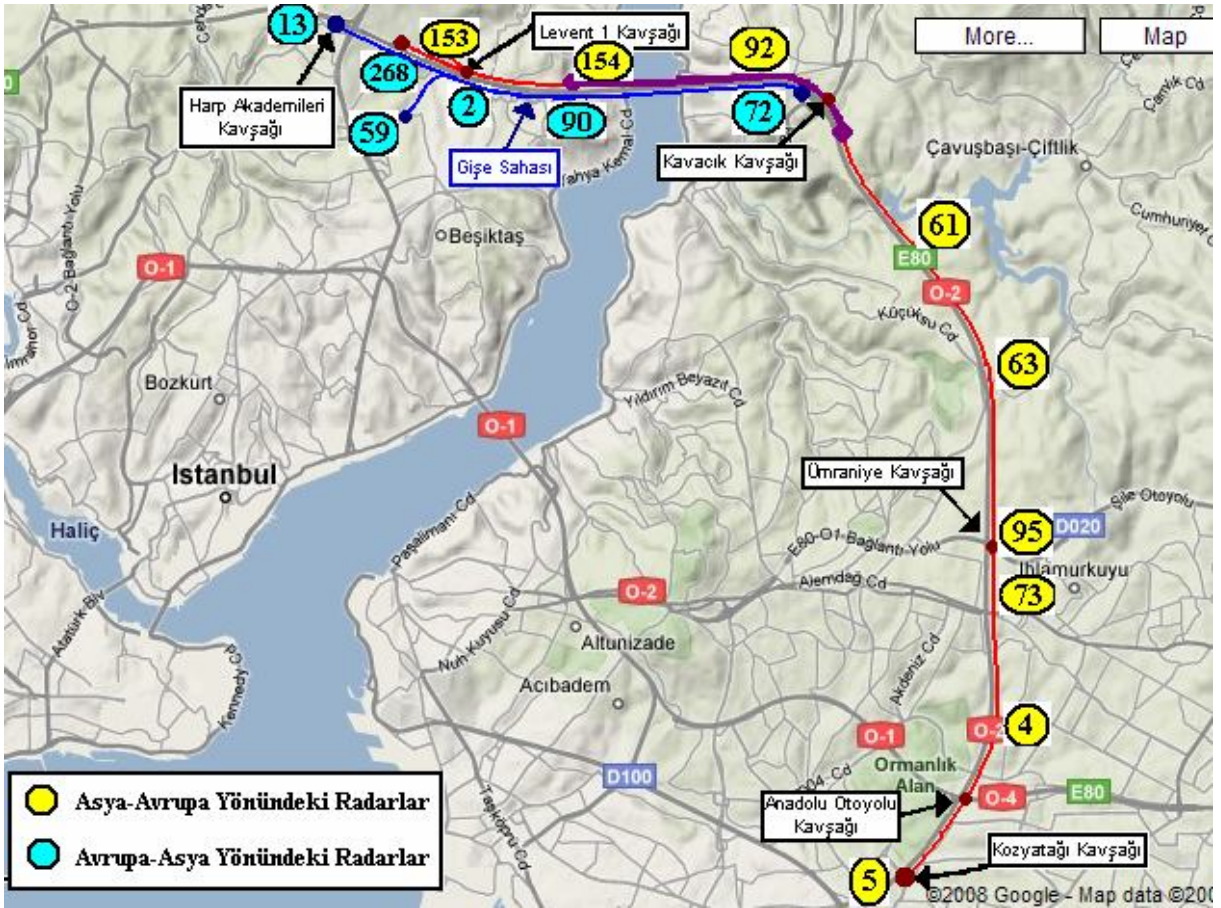
Simülasyon modelinde, verilerinden yaralanılacak radarlara ait bilgiler Çizelge 6.2'de verilmektedir. Bu radarların yol ağı üzerindeki konumları Şekil 6.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.2 Çalışmada verileri kullanılacak radarlar

	RTMS NO	KM	RTMS_ADI	İLÇESİ	YÖN	GELİŞ (Şerit Sayısı)	GİDİŞ (Şerit Sayısı)	GELİŞ YÖNÜ	GİDİŞİ YÖNÜ
ASYA - AVRUPA YÖNÜ	5	36+850	TEM Küçükbakkalköy	Kadıköy	1	3	0	Kozyatağı	Kavacık
	4	34+146	TEM Çakmak	Ümraniye	1	4	0	Kozyatağı	FSM Köprüsü
	73	32+289	Çakmak Köprüsü TEM	Ümraniye	2	4	4	Kozyatağı	FSM Köprüsü
	95	31+718	Ümraniye Kavşağı	Ümraniye	1	4	0	Kozyatağı	FSM Köprüsü
	63	29+188	Göksu Kamyon Parkı-TEM	Ümraniye	1	4	0	Kozyatağı	FSM Köprüsü
	61	27+297	TEM Kavacık 3	Ümraniye	1	4	0	Ümraniye	FSM Köprüsü
	92	23+048	FSM Anadolu Girişi	Beykoz	1	4	0	Kozyatağı	FSM Köprüsü
	154	20+767	FSM Avrupa Çıkışı	Beşiktaş	1	4	0	FSM Köprüsü	Mahmutbey
	153	18+198	TEM Levent	Kağıthane	1	4	0	FSM Köprüsü	Mahmutbey

Çizelge 6.2 Çalışmada verileri kullanılacak radarlar (devam)

	RTMS NO	KM	RTMS_ADI	İLÇESİ	YÖN	GELİŞ (Şerit Sayısı)	GİDİŞ (Şerit Sayısı)	GELİŞ YÖNÜ	GİDİŞİ YÖNÜ
AVRUPA - ASYA YÖNÜ	13	16+632	TEM Seyrantepe	Kağıthane	1	4	0	Mahmutbey	FSM Köprüsü
	268	18+067	TEM Levent	Beşiktaş	1	4	0	Mahmutbey	FSM Köprüsü
	59	---	TEM Beşiktaş Bağlantı	Beşiktaş	2	2	3	Beşiktaş	FSM Köprüsü
	2	18+533	TEM Karanfilköy	Beşiktaş	1	4	0	Mahmutbey	FSM Köprüsü
	90	20+266	FSM Avrupa Girişi	Beşiktaş	1	4	0	Karanfilköy	FSM Köprüsü
	72	23+304	TEM Kavacık	Beykoz	1	4	0	FSM Köprüsü	Ümraniye



Şekil 6.7 Radarların yol ağı üzerindeki konumları

Gişe sahasının modellenmesinde gişelerdeki talep verileri kullanılacaktır. Anayoldan gelen taşıtların gişe tiplerine göre dağılımının ve KGS-Nakit gişelerindeki bekleme sürelerinin modelde tanımlanabilmesi için gişe bazında geçen taşıt sayılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Karayolları 17. Bölge FSM Köprüsü Bakım İşletme Başmühendisliği'nden belirlenen günlere

ait geçiş tipine göre (OGS, KGS, Nakit) gişelerden geçen saatlik taşıt sayıları ve taşıt tipleri bilgileri çizelgeler halinde alınmıştır. Bu bilgiler modelde gişe sahası oluşturulurken taşıtların gişelere yönlendirilmesinde (dönüş yüzdeleri) ve gişelerde bekleme sürelerinin hesaplanmasında kullanılacaktır. Gişe sahası ve modellenmesi hakkında daha detaylı bilgi ileride verilecektir.

Çalışma için gerekli bir diğer önemli veri ise 21 şubat 2008 gününde yapılan ek şerit uygulamasının başlangıç ve bitiş saatleridir. Bu bilgi, düzenlemelerden sorumlu özel firma yetkilisinin tuttuğu günlük raporlardan temin edilmiştir. Uygulama esnasında yapılan işlemler ve zamanları izelge 6.3’de özetlenmiştir.

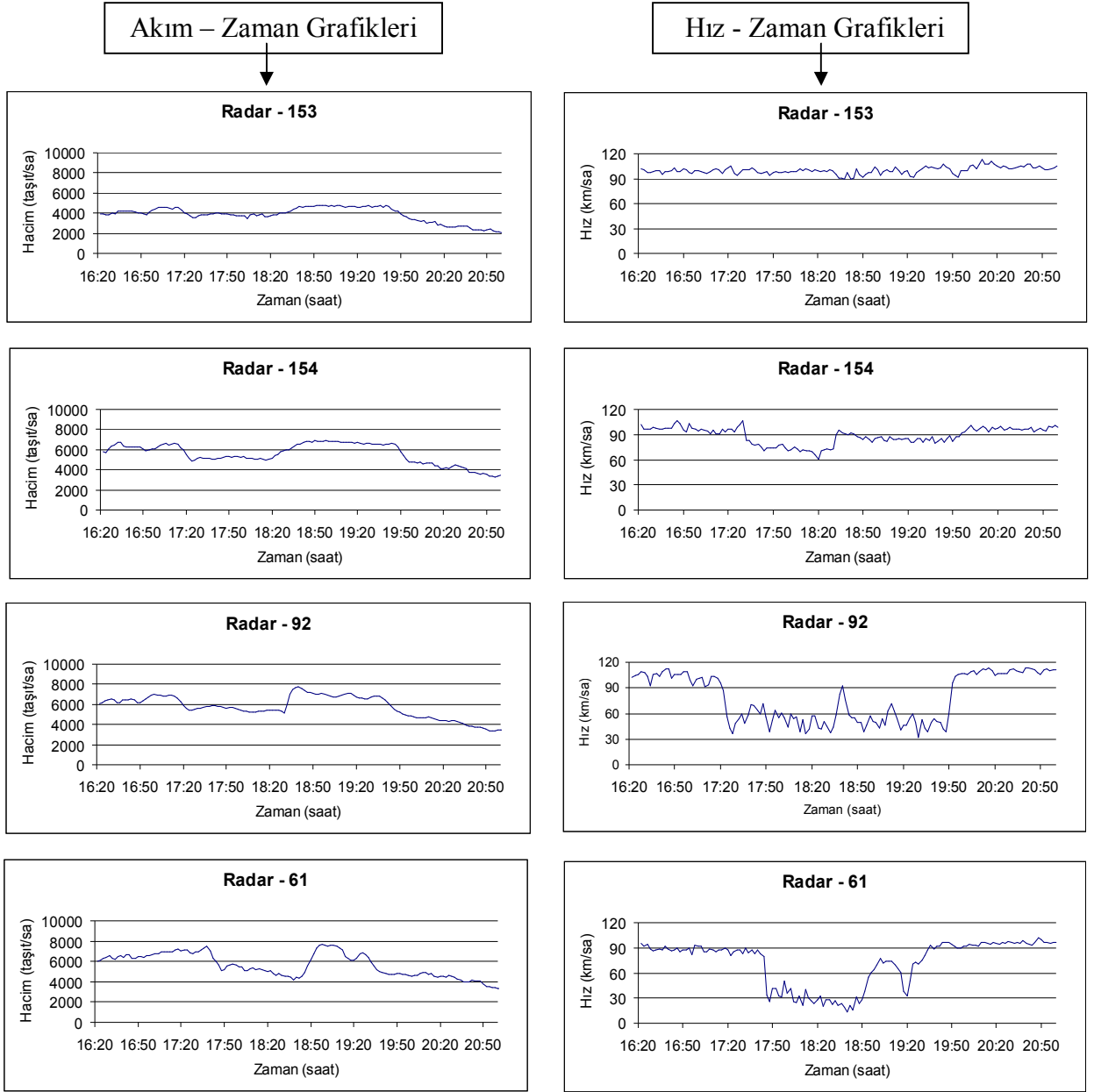
Çizelge 6.3 Ek şerit uygulamasında yapılan işlemler ve zamanları

SAAT	YAPILAN İŞLEMLER
17:10	şerit kapatmaya başlanması (Asya yakası - Kavacık)
17:30	şerit kapama işleminin tamamlanması (Avrupa yakası - Gişe sahası ıkışı)
17:30	Ek şeride taşıt girişi başlangıcı
18:25	Ek şeridin taşıt girişine kapatılması
18:25	şeritin trafiğe açılmaya başlanması (Avrupa yakası - Gişe sahası çıkışı)
18:45	şerit açma işleminin tamamlanması (Asya yakası - Kavacık)

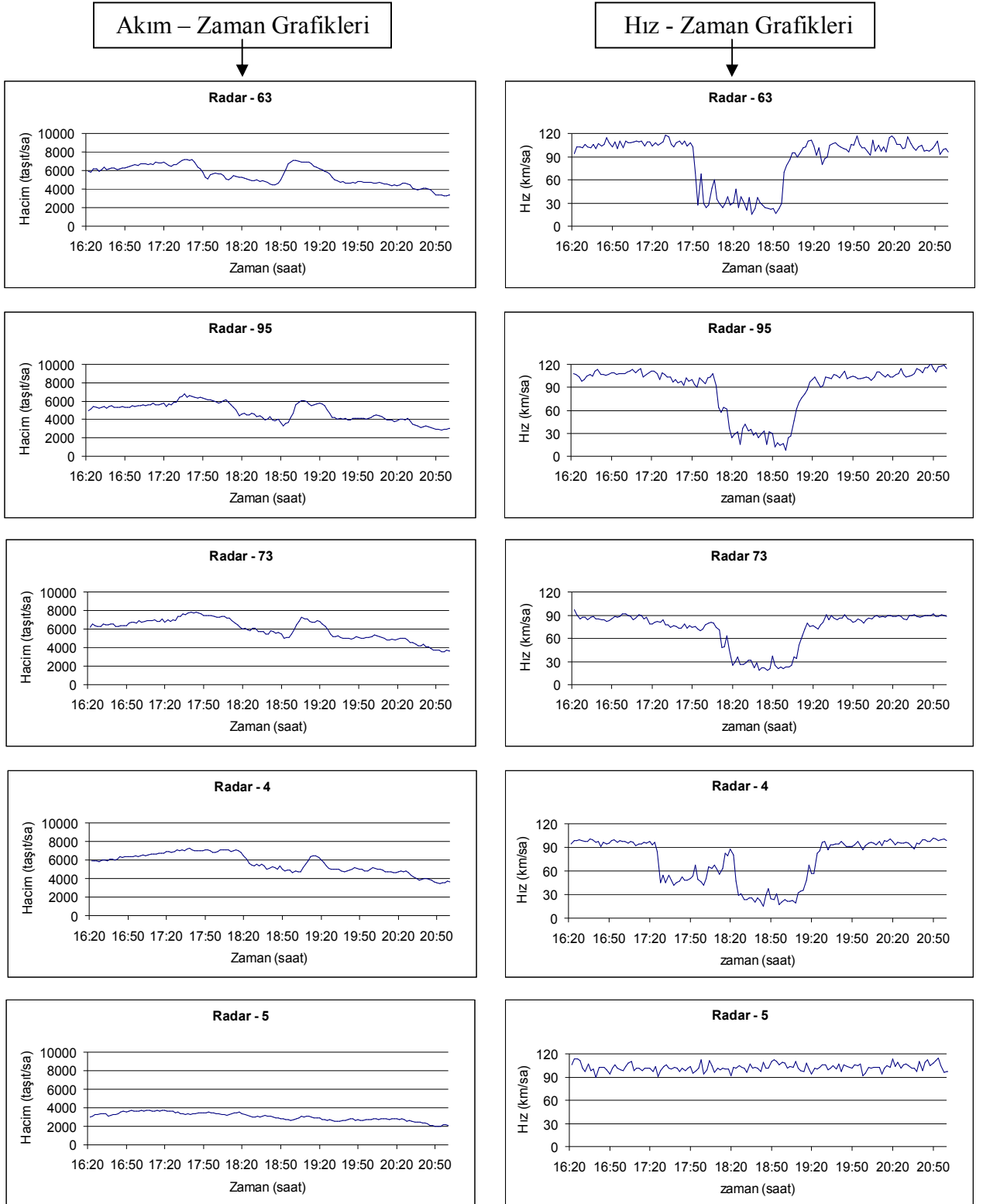
6.3.1. Verilerin İncelenmesi

Akım ve hız verilerinin incelenmesi

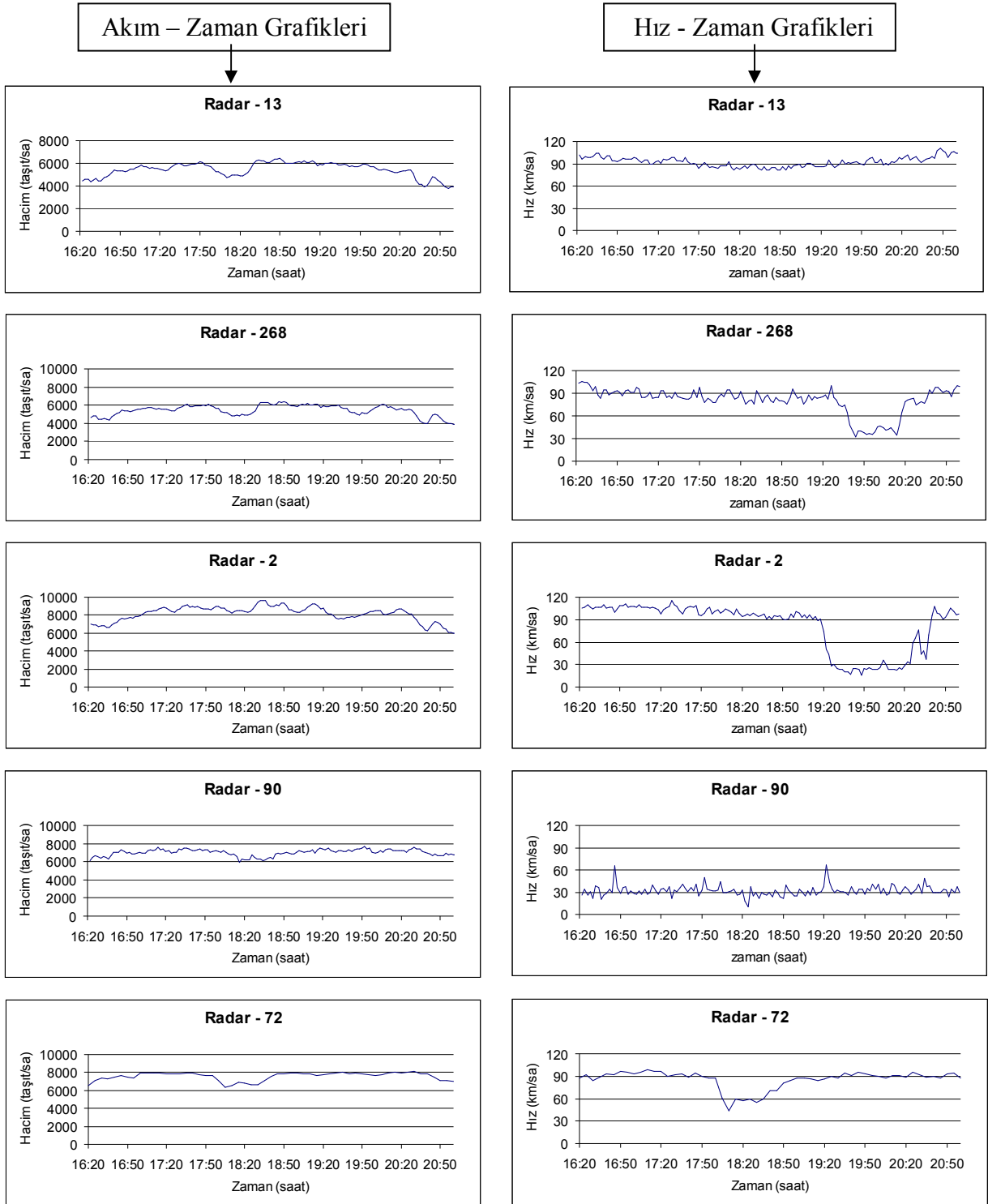
Mevcut radarlardan elde edilen hız ve hacim verileri kullanılarak her iki yön için hız-zaman ve akım-zaman grafikleri çizilmiş ve trafik akımındaki değişimler gözlenmiştir. şekil 6.8 ve şekil 6.9’de, Asya – Avrupa yönünde, Harp Akademileri Kavşağı’ndan başlayarak akım yukarı yönde Kozyatağı Kavşağı’na kadar, şekil 6.10’da ise, Avrupa – Asya yönünde, Kavacık Kavşağı’ndan başlayarak akım yukarı yönde Harp Akademileri Kavşağı’na kadar olan otoyol kesimindeki radarlara ait grafikler verilmektedir. Grafiklerdeki akım değeri, radar kesitindeki tüm şeritlerin toplamını, hız değeri ise ortalamaları yansıtılmaktadır.



Şekil 6.8 Radarlara ait akım-zaman ve hız-zaman grafikleri (Asya-Avrupa yönü)



Şekil 6.9 Radarlara ait akım-zaman ve hız-zaman grafikleri (Asya-Avrupa yönü)



Şekil 6.10 Radarlara ait akım-zaman ve hız-zaman grafikleri (Avrupa-Asya yönü)

Çizilen grafikler, incelenen zaman diliminde her iki yöndeki trafik akımında oluşan kuyruğun ilerlemesini ve erimesini göstermektedir.

Asya-Avrupa yönündeki radarlara ait grafiklere bakıldığında (Şekil 6.8-6.9), ek şerit düzenlemesinin başlangıcı itibariyle (sol şeridin kapatılması, saat 17:10) oluşan darboğazın kuyruklanmaya neden olduğu ve kuyruğun akım yukarısındaki radar noktalarına ulaştığı akım ve hız değerlerindeki düşüşlerden anlaşılmaktadır.

Avrupa-Asya yönündeki radarlara ait grafiklere bakıldığında (Şekil 6.10), 90 nolu radarın bulunduğu kesitte, (gişe sahası çıkışı-anayola bağlantı) incelenen zaman diliminde hızların düşük olduğu görülmekte, saha gözlemleri ve bu yönü sürekli kullanan sürücülerden edinilen bilgiler doğrultusunda anayola bağlantı noktasındaki darboğazın kuyruklanmaya sebep olduğu ve kuyruğun bazı gişe önlerine kadar ulaştığı tespit edilmiştir. 2 ve 268 nolu radar grafiklerindeki akım ve hız değerlerinin düştüğü zaman aralığında, gişe kuyruklarının anayola kadar ulaştığı görülmektedir.

Her iki yöne ait hacim verilerinin karşılaştırılması

AASHTO ve ITE tarafından ek şerit uygulamasına ihtiyaç olup olmadığının kararlaştırılmasına yardımcı olabilecek bir takım ölçütler geliştirildiğinden 4. bölümde bahsedilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen FSM Köprüsü'ndeki ek şerit uygulaması yapılan kesimde her iki yöne ait trafik hacim verileri belirtilen ölçütlere göre değerlendirilmiştir. Zirve trafiğinin gerçekleştiği akşam saat 17:00 – 20:00 arası zaman diliminde, Avrupa - Asya yönünde gişe çıkış hacimleri, Asya - Avrupa yönünde ise 92 nolu radar verileri kullanılarak bazı günler için belirlenen her iki yöne ait trafik hacimleri Çizelge 6.4'de verilmektedir. İncelenen günlerde ek şerit uygulaması yapılmıştır.

AASHTO (*Green Book*), “eğer zirve saatlerde trafiğin yüzde 65 veya daha fazlası bir yönde akıyorsa”, ITE ise “her iki yönün trafik hacimleri oranı en az 2:1 (yüksek hacimli yön:düşük hacimli yön), tercihen 3:1 oluyorsa” ek şerit uygulamasını önermektedir.

Çizelge 6.4 Saat 17:00 ile 20:00 arası trafik hacimleri ve oranlar

Tarih / Yön	Avrupa - Asya	Asya - Avrupa	ITE Ölçütü	AASHTO Ölçütü
	Yönü (A) Taşıt	Yönü (B) Taşıt	Oran (A/B:B)	A/(A+B) (%)
12.02.2008 (Salı)	25.537	17.167	1,5:1	59,8
14.02.2008 (Perşembe)	27.128	18.126	1,5:1	59,9
15.02.2008 (Cuma)	26.789	17.549	1,5:1	60,4
21.02.2008 (Perşembe)	26.164	18.714	1,4:1	58,3

Çizelge 6.4'de hesaplanan her iki yöne ait trafik hacim oranları görülmektedir. Bu oranlar, ITE ve AASHTO ölçütleri ile karşılaştırıldığında düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca, 92 nolu radarın olduğu kesitte (Asya - Avrupa yönü), ek şerit uygulaması nedeniyle anayol üç şerit olarak hizmet vermekte, dolayısıyla zorlamalı akım koşullarında ölçülen hacim değerleri gerçek talebi değil kapasite hacimlerini yansıtmaktadır. Uygulamanın yapılmadığı

düşünüldüğünde, Asya - Avrupa yönü trafik hacminin daha yüksek değerlerde olması beklenmelidir. Bunun sonucu olarak da her iki yöndeki talep dengesizliği azalacaktır. Bu veriler ışığında, Avrupa – Asya yönüne ek şerit ilavesinin zorunlu bir ihtiyaç olup olmadığının sorgulanması gerektiği söylenebilmektedir.

Taşıt tiplerinin belirlenmesi

Taşıt tiplerinin belirlenmesinde iki kaynaktan yararlanılmıştır: 1) Gişelerden geçen saatlik taşıt sayılarının ve tiplerinin verildiği çizelgeler, 2) 12m'den uzun taşıt sayısının tespit edildiği radar verileri.

Avrupa - Asya yönünde akşam saat 17:00 ile 20:00 arasında FSM Köprüsü'nden ağır taşıtların geçişine izin verilmemektedir. Bu yön için taşıt tiplerinin belirlenmesinde birinci kaynağın kullanılması doğru olacaktır. Çizelge 6.5'de incelenen zaman dilimi için gişelerden geçen saatlik taşıt sayıları sınıflandırılmış olarak verilmektedir.

Çizelge 6.5 Taşıt sınıflarına göre gişelerden geçen taşıt sayıları

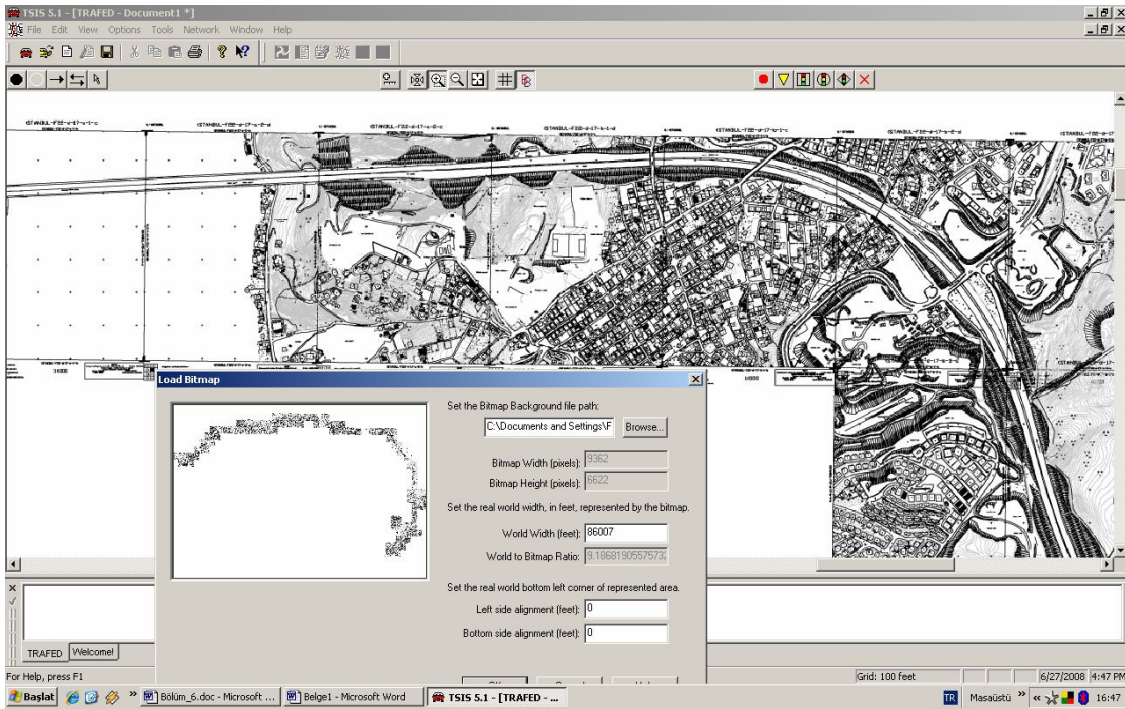
Saat	1. Sınıf	2. Sınıf	3. Sınıf	4. Sınıf	5. Sınıf	6. Sınıf	Toplam
16:00-17:00	6790	908	164	98	2	1	7963
17:00-18:00	8130	1033	36	0	1	10	9210
18:00-19:00	7275	1232	38	2	0	16	8563
19:00-20:00	7550	752	48	0	0	7	8357
20:00-21:00	7121	667	118	54	1	4	7965
Toplam	36866	4592	404	154	4	38	42058
ORAN (%)	87,7	10,9	1,0	0,4	0,0	0,1	100

Çizelge 6.5'deki 2.sınıf taşıt oranına otobüs ve minibüsler de dahildir, fakat oranları mevcut kaynaklardan elde edilememiştir. Bu veriler doğrultusunda, Avrupa – Asya yönü trafik hacminin %88'ini otomobil, %9'unu minibüs (kamyonet, pikap, van vb.) ve %3'ünü otobüslerin (İETT ve ÖHO ile şehirler arası otobüsler) oluşturduğu kabul edilmiştir. Bu taşıt kompozisyonu Asya – Avrupa yönü içinde aynen kullanılmıştır. Fakat Asya – Avrupa yönünde ağır taşıtlar için köprü geçiş yasağı uygulanmamaktadır. Dolayısıyla bu yön trafiğindeki ağır taşıt (uzun taşıt) oranının tespit edilebilmesi için Asya – Avrupa yönündeki mevcut radar verilerini inceleme gerekliliği ortaya çıkmıştır (ikinci veri kaynağı). Esas alınan zaman diliminde (saat 16:20-21:00), yolağı üzerindeki radar verileri incelendiğinde, trafikteki uzun taşıt oranının ortalama %5 olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak Asya – Avrupa yönü için trafik hacminin %86'sını otomobil, %9'unu minibüs, %3'ünü otobüs ve %2'sini de kamyonların oluşturduğu kabul edilmiştir.

6.4. Ana Modelin Oluşturulması

Çalışma sınırları belirlenmiş O-2 Otoyol ağı, Avrupa – Asya ve Asya – Avrupa yönü olmak üzere iki ayrı model oluşturularak incelenecektir. Her iki model için de simülasyon periyodu, öğleden sonra saat 16:20’de başlayan, akşam saat 21:00’de biten 4 saat 40 dakikalık (280 dakika) zaman dilimi olarak oluşturulmuştur.

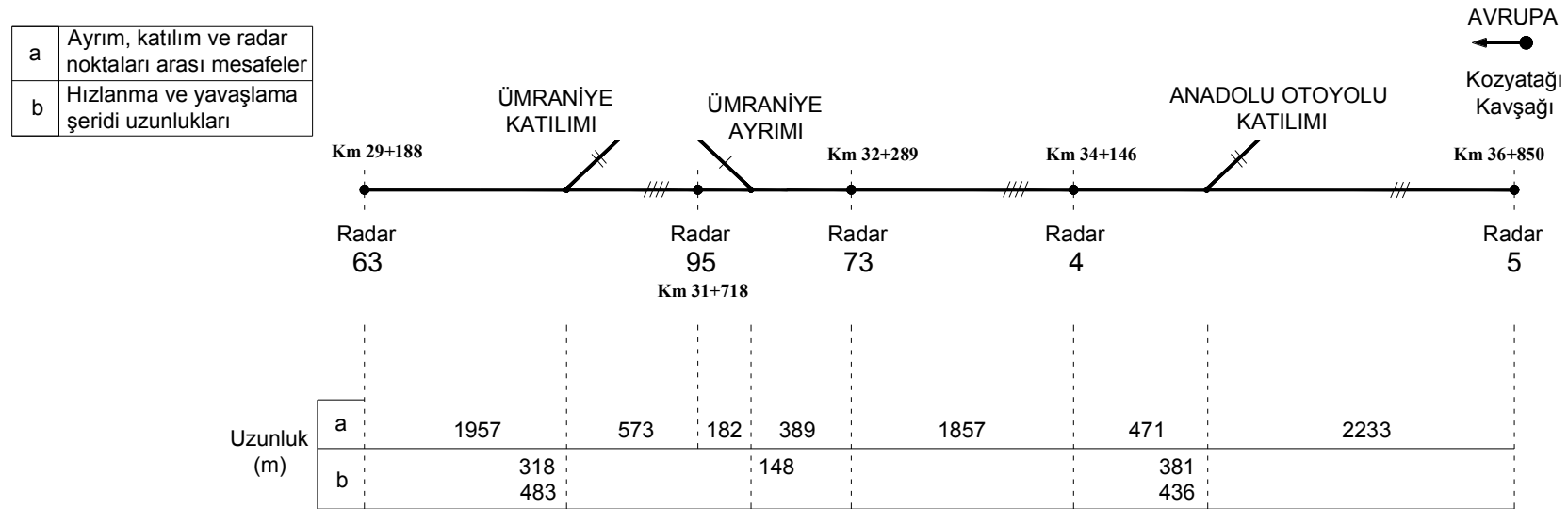
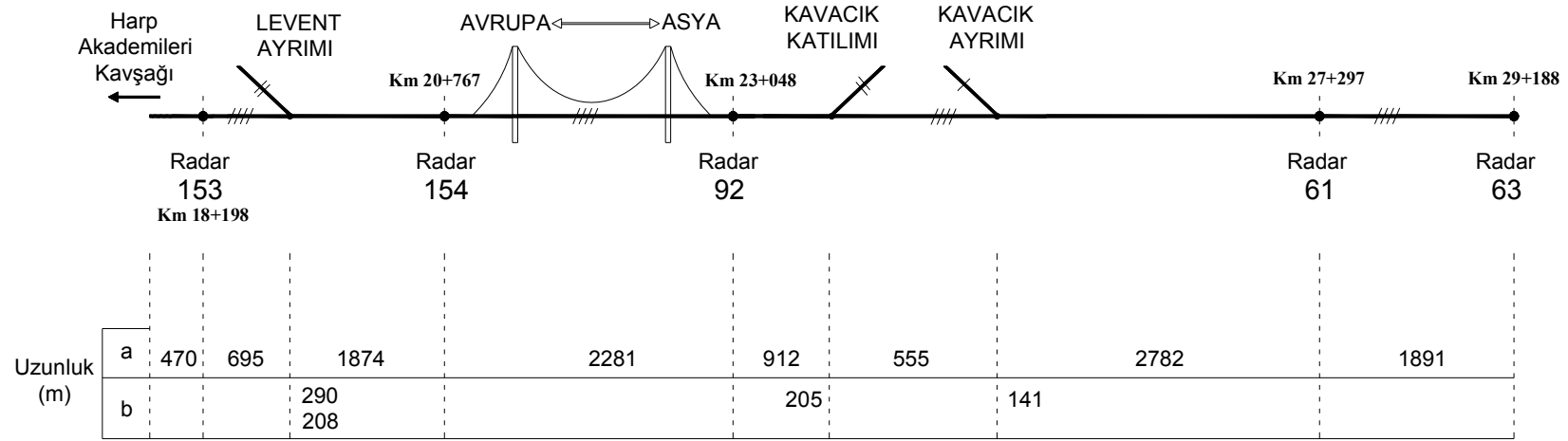
Çalışma için gerekli hazırlıkların ve incelemelerin tamamlanmasıyla TSIS’in bir aracı olan TRAFED (ağ düzenleyicisi) kullanılarak ağ geometrisinin oluşturulması işlemine geçildi. Çalışma sahasının geometrik özelliklerinin gerçeğe uygun oluşturulması için yakın planda çalışmaya uygun çözünürlükte tüm ağı doğru temsil edebilecek bir altlık (arka plan) kullanılmıştır. TRAFED, altlık olarak Bitmap formatındaki dosyaları kabul etmektedir. Elde edilen kaynaklardan O-2 Otoyolunun CAD formatındaki dijital haritası, önce EPS (Encapsulated PostScript) formatında kaydedilmiş, Adobe Photoshop programı aracılığıyla Bitmap (bmp) formatına dönüştürülerek modele eklenmiştir (Şekil 6.11).



Şekil 6.11 TRAFED’de oluşturulmuş/eklenmiş altlık

6.4.1. Asya – Avrupa Yönü Otoyol Ağının Oluşturulması

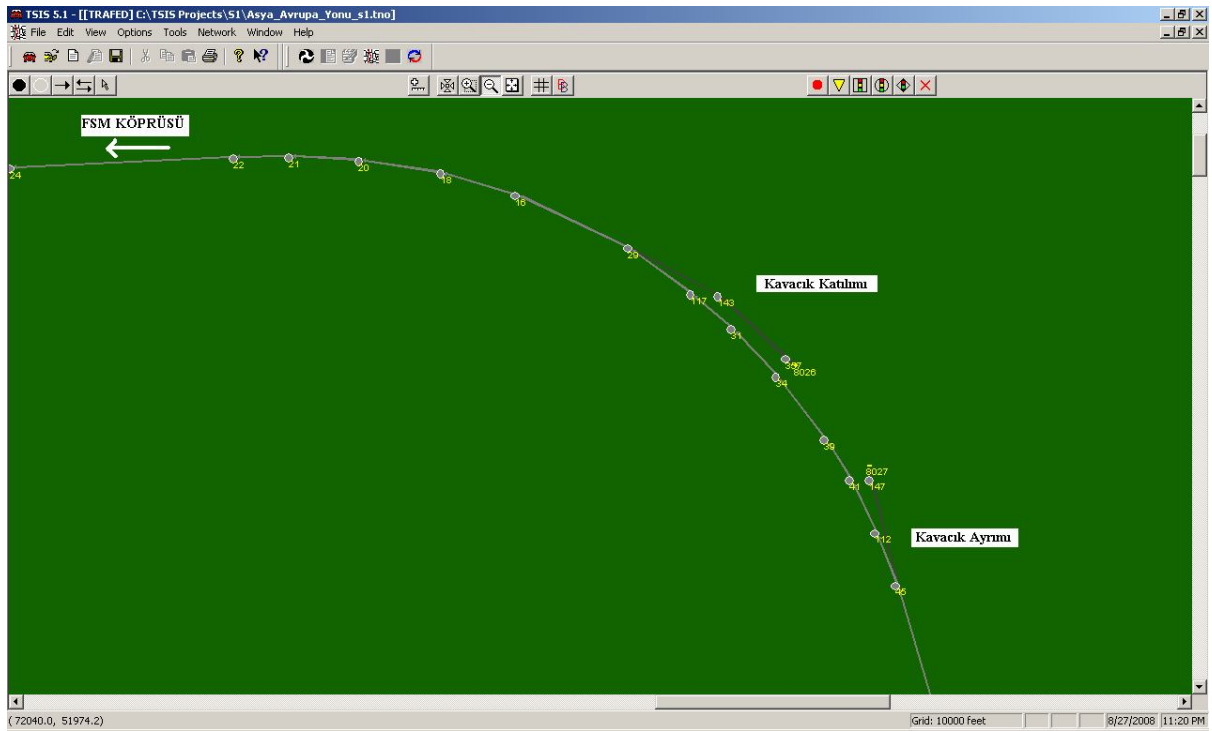
Modellenecek Asya – Avrupa yönü otoyol ağı, Asya yakasında Kozyatağı Kavşağı ile Avrupa yakasında Harp Akademileri Kavşağı arası otoyol kesimini kapsamaktadır. Modellenecek kesimin geometrik özellikleri ve üzerindeki radar noktaları Şekil 6.12’deki krokide gösterilmektedir.



Şekil 6.12 Asya-Avrupa yönü otoyol ağı

Düğüm ve Bağların Kodlanması

Arka planın eklenmesi ile birlikte FRESIM modülü kullanılarak düğüm ve bağların oluşturulması işlemine geçildi. FRESIM'in mantığına göre ağ, önce düğüm noktalarının oluşturulması ve sonrasında bu noktaların bağlarla birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Anayolun ekseni referans alınarak tüm ağda, katılım ve ayırım noktaları da dahil olmak üzere düğüm noktaları kodlandı. Kurplarda, düğüm noktaları daha sık aralıklarla kodlanarak yumuşak geçişler sağlandı (Şekil 6.13). Düğümlerin trafiğin akış yönünde otoyol bağlarıyla birleştirilmesiyle anayol ağı tamamlandı. Aynı işlem katılım ve ayırım kolları için uygulanarak anayola bağlantılar oluşturuldu (Şekil 6.13).



Şekil 6.13 TRAFED’de Oluşturulan bağ-düğüm diyagramı

Modelde oluşturulmuş anayol, katılım ve ayırım bağlarına ait mevcut geometrik bilgiler her bağın (şerit sayısı, eğim, güvenli hızlanma ve yavaşlama şeritleri) özellik tablolarına girilerek tanımlandı. Eğimler, eldeki kaynaklardan O-2 Otoyolunun dijital haritasında verilen belirli mesafelerdeki yol kotları kullanılarak modellenecek kesime ait eğimler hesaplanmış ve ilgili bağlarda tanımlandı. Güvenli hızlanma ve yavaşlama şerit uzunlukları ise Google Earth programı ve altlık üzerinden yapılan ölçümlerle belirlenerek ilgili bağlarda tanımlandı.

FRESIM’de otoyol bağları için varsayılan serbest akım hızı 65 mil/saat (105 km/saat)’dir. Oluşturulmuş tüm bağlar için bu değer esas alınmıştır.

Trafik Verilerinin Hazırlanması ve Modele Girilmesi

Geometrik verilere göre yol ağı oluşturulduktan sonra, anayol (başlangıç noktası), katılım ve ayrımın olduğu bütün noktalardan elde edilen radar verilerine göre, 10 dakikalık dilimlerle akım oranı değerleri (ayrım için dönüş yüzdeleri) saatlik (taşıt/saat) olarak hesaplanarak besleme noktalarında tanımlı giriş düğümlerine girildi. Simülasyon modeline girilen değerler Çizelge 6.6'de görülmektedir.

Çizelge 6.6 10 dakika aralıklarla yol ağına katılan akım oranı değerleri ve ayrım oranları

KATILIM AKIM ORANLARI VE AYRIM ORANLARI İÇİN KULLANILAN RADARLAR								
SAAT	ZAMAN DİLİMİ Dakika	Radar No 5	Radar No 5 ve 4	Radar No 73 ve 95	Radar No 95 ve 63	Radar No 61 ve 92	Radar No 61 ve 92	Radar No 154 ve 153
		Kozyatağı Kavşağı (Anayol) taşıt/saat	Anadolu Otoyolu Katılımı taşıt/saat	Ümraniye Ayrımı oran (%)	Ümraniye Katılımı taşıt/saat	Kavacık Ayrımı oran (%)	Kavacık Katılımı taşıt/saat	Levent Ayrımı oran (%)
16:20-16:30	0	3054	2832	12	702	17	1150	32
16:30-16:40	10	3360	2661	9	972	13	1150	37
16:40-16:50	20	3303	3024	16	750	13	1150	33
16:50-17:00	30	3672	2733	17	1158	15	1150	34
17:00-17:10	40	3684	2808	11	1050	14	1200	28
17:10-17:20	50	3669	3084	14	1302	12	1200	31
17:20-17:30	60	3633	3231	21	1200	10	1200	28
17:30-17:40	70	3363	3720	7	1200	15	1300	27
17:40-17:50	80	3363	3651	8	1200	25	1300	22
17:50-18:00	90	3531	3411	13	1200	25	1300	27
18:00-18:10	100	3318	3765	15	1200	20	1200	31
18:10-18:20	110	3390	3660	15	1200	20	1200	23
18:20-18:30	120	3213	3660	15	1200	10	1200	28
18:30-18:40	130	3057	3660	15	1200	10	1200	30
18:40-18:50	140	3045	3660	15	846	10	1200	31
18:50-19:00	150	2769	3000	15	846	15	1200	30
19:00-19:10	160	2886	2079	20	846	15	800	32
19:10-19:20	170	3033	2478	28	846	15	800	31
19:20-19:30	180	2721	2478	32	390	15	800	30
19:30-19:40	190	2556	2322	28	852	15	800	29
19:40-19:50	200	2778	2322	25	690	15	800	33
19:50-20:00	210	2637	2220	25	672	15	800	34
20:00-20:10	220	2811	2202	15	198	15	800	32
20:10-20:20	230	2751	1956	15	564	15	800	33
20:20-20:30	240	2805	1971	18	612	20	600	41
20:30-20:40	250	2493	1443	20	558	14	600	35
20:40-20:50	260	2334	1527	18	732	19	400	36
20:50-21:00	270	1986	1593	22	456	20	400	34

Çalışma sınırları içinde O-2 Otoyoluna katılım kollarındaki talep verilerini elde edebileceğimiz radarlar bulunmamaktadır.

Katılım noktalarından beslenecek talep verileri, anayol üzerindeki her katılım noktası için akım aşağısı ve akım yukarısında bulunan iki radardan elde edilen 10'ar dakikalık hacim verilerinin farkları alınarak elde edildi. Bu farklar, katılım hacimleri (talep verileri) olarak sisteme girildi. Ayrım noktaları için de aynı mantık kullanılarak anayolda devam eden ve anayoldan ayrılan taşıt yüzdeleri belirlendi ve bu yüzdeler ilgili düğüm noktalarında tanımlandı.

Ek şerit uygulamasının modelde oluşturulması

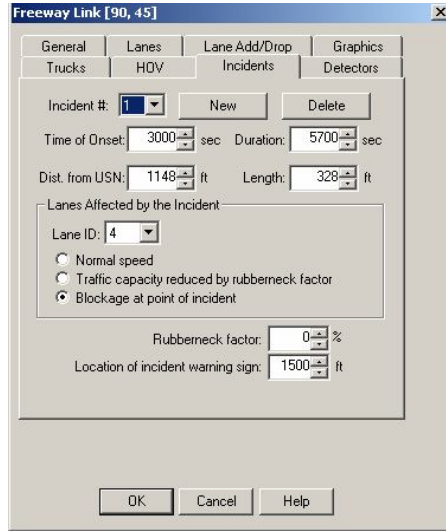
Ek şerit uygulanan kesimin modelde oluşturulmasına yönelik CORSIM yazılımının sağladığı imkanlar dahilinde bir takım yöntemler izlenilmiştir. CORSIM, bir otoyol bağında iki yönlü (ters istikamette) taşıt hareketine veya bölünmüş yolda ters yönlü iki bağ arasında geçişi sağlayabilecek bir bağ tanımlamaya izin vermemektedir. Yani mevcut durumda Asya – Avrupa yönünde ek şerit uygulamasına yönelik bir şeridin ters istikamette kullanılması işlemi gerçeğe uygun olarak modellenememektedir. Bu bağlamda izlenecek yöntem şudur; Asya – Avrupa yönünü temsil eden modelde, sol şerit uygulama süresince taşıt trafiğine kapatılacak (4 şeritten 3 şeride düşecek), Avrupa – Asya yönü modelinde ise ek şeride giriş yapılan noktadan (gişe sahası çıkışı) itibaren ek şeridi temsil eden mevcut yol ağına paralel bir şeritlik yol ağı oluşturulacaktır. Ek şeridin modelde oluşturulması işlemi, *Avrupa – Asya yönü otoyol ağının oluşturulması* kısmında anlatılacaktır.

Şerit Kapatma/Açma İşleminin Modelde Tanımlanması (Asya – Avrupa yönü)

Asya – Avrupa yönü simülasyon modelinde şerit kapatma/açma işlemi, “olay” (incident) fonksiyonu kullanılarak tanımlanmıştır. “Olay” fonksiyonu tanımlarken şu özellikler kullanılabilir: Olayın,

- hangi noktada başlayıp ne kadar mesafe boyunca gerçekleştiği,
- hangi şeritte gerçekleştiği ve
- başlangıç ve bitiş süresi.

Ek şerit uygulanan kesimde belirlenecek süre zarfında yapılmak istenen şerit kapatma/açma işlemi, ilgili bağa tıklayarak çıkan menüdeki “incidents” sekmesinde yer alan yukarıda bahsedilen özellikler kullanılarak tanımlamak mümkündür (Şekil 6.14).



Şekil 6.14 Otoyol bağında olay tanımlama menüsü (TRAFED)

Ek şeridin taşıt trafiğine açılmasından önce sırayla şu işlemler yapılmaktadır:

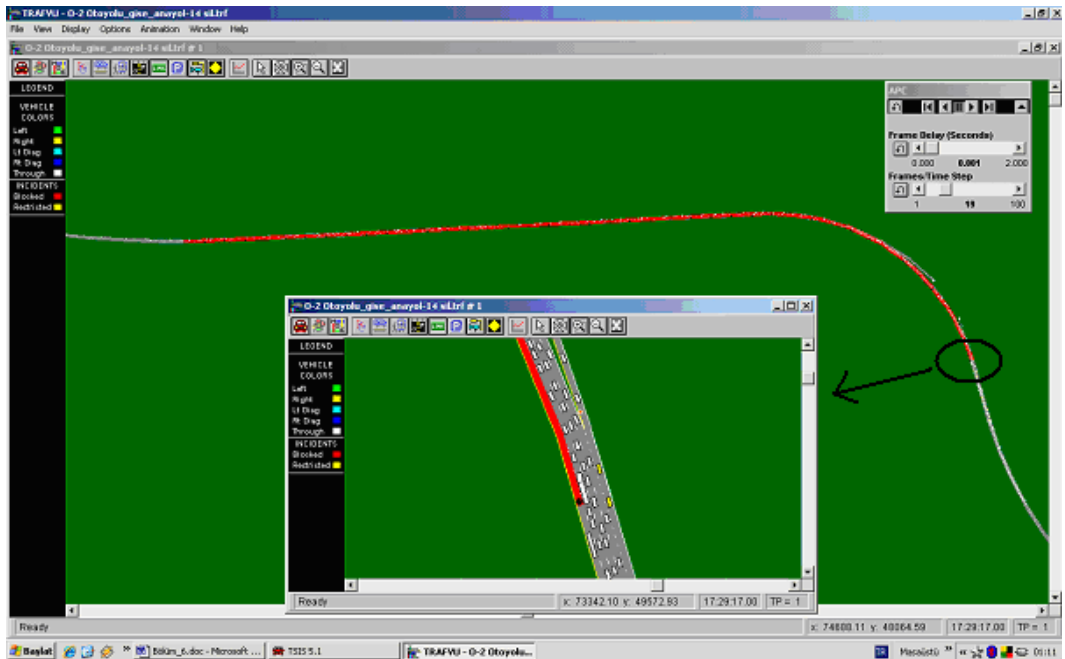
- 1) *Ek şerit çıkış bölgesinin düzenlenmesi işlemi:* Taşıtların ek şeritten çıkış yaptıkları bölge (anayola katılım) aynı zamanda Asya – Avrupa yönünde sol şeridin trafiğe kapatıldığı noktadır. Bu noktanın yaklaşık 150 m akım yukarisından başlayarak görevli personelce yol üzerine belirli mesafede yerleştirilen düşey işaretlemelerle sürücüler uyarılmakta ve güvenli bir şekilde şeridi terk etmeleri sağlanmaktadır. Bu düzenlemeyle, geçiş bölgesine 100 m mesafede taşıtların en sol şeride girişi tamamen engellenmiştir. Aynı işlem Avrupa – Asya yönünde de, geçiş bölgesine yaklaşımda, ek şeritten çıkan taşıtların anayola güvenli katılımını sağlamak için en sol şeritte yapılmaktadır. Sahadaki gözlemlerden ve yetkili kişiden edinen bilgiler doğrultusunda bu işlemlerin **3 dakika** içerisinde tamamlandığı saptanmıştır.
- 2) *Ek şerit uygulaması yapılan kesimin düzenlenmesi işlemi:* Geçiş bölgesi için gerekli düzenlemelerin tamamlanmasıyla Asya – Avrupa yönünde 4,3 km boyunca karşı yöne hizmet edecek şeridin kapatılması işlemine geçilmektedir. Ek şerit güzergahı boyunca trafiğin güvenli bir şekilde normal ve ters yönde akışını sağlaması ve her iki yön için sınır teşkil etmesi açısından yol üzerine belirli aralıklarla kukalar yerleştirilerek düşey işaretlemeler yapılmaktadır. Kuka yerleştirme işlemi iki personel ve bir kamyonet kullanılarak yapılmaktadır. Yerleştirilecek kukaların yüklü olduğu kamyonet ek şerit güzergahında düşük bir hızla ilerlerken, kukalar kamyonetin arkasında bulunan personel tarafından yola konulmaktadır. Bu işlem ek şeridin açılacağı nokta olan gişe sahası çıkışına kadar devam etmektedir. Belirli bir kesim için sahada yapılan gözlem sonucunda bu işlemin ortalama 15 km/saat hızla yapıldığı tespit edilmiştir.

- 3) *Ek şeride giriş bölgesinin düzenlenmesi işlemi:* Avrupa – Asya yönüne tahsis edilecek şeridin tamamen trafiğine kapatılması ile birlikte ek şeride giriş bölgesindeki engeller kaldırılarak taşıt girişine izin verilmektedir.

Elde edilen verilere göre şerit kapatma işlemi saat 17:10'da başlayıp, 17:30'da bitirilmekte ve ek şeride taşıt girişi başlamaktadır. 20 dakikalık sürenin 3 dakikasında 1. işlem, kalan 17 dakikasında ise 2. ve 3. işlemler yapılmaktadır.

Modelde taşıt trafiğine kapatılan nokta ile geçiş bölgesi arasındaki mesafe (100 m) için ilgili bağda (en sol şeritte) 3 dakika süren “olay” tanımlandı. Kalan 17 dakika içinde 4,3 km'lik kesim, ortalama 15 km/saat hızla, kapatılması gerekmektedir. Bu işlem modelde yaklaşık 24 saniyede bir 100m'lik adımlar halinde ilerleyen ardışık 43 adet “olay” tanımlanarak gerçekleştirildi.

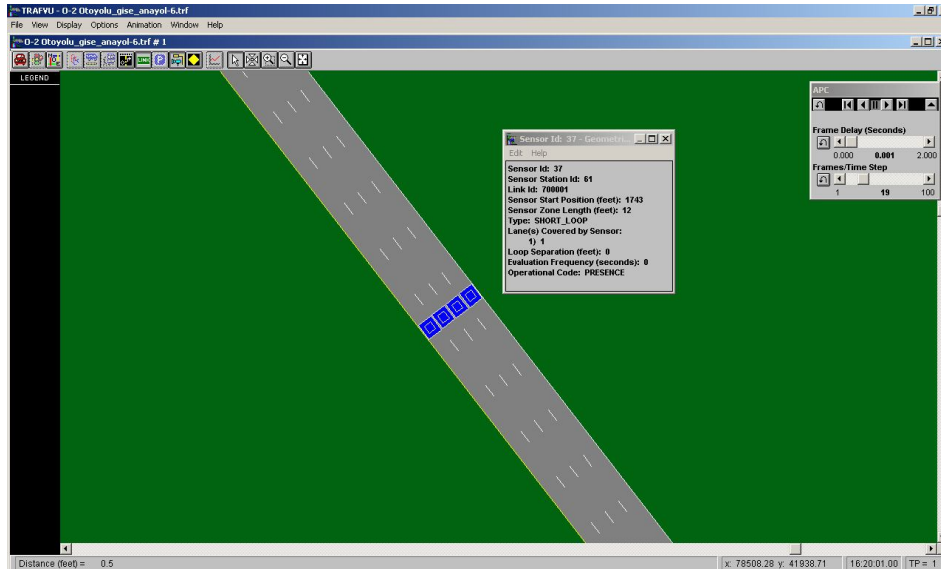
Saat 18:25'de ek şerit taşıt girişine kapatılmaktadır. Ek şeridin açık olduğu 17:30 ile 18:25 saatleri arasındaki 55 dakikalık zaman diliminde Asya – Avrupa yönünde trafiğine kapalı olan şerit, uygulamanın sonlandırılmasıyla birlikte yukarıda üç maddede özetlenen işlemler tersi istikamette gerçekleştirilerek saat 18:45'de (20 dakikada) tamamen trafiğe açılmaktadır. Toplamda tanımlanan 44 olayın bitiş süreleri de şerit kapama/açma işlemlerinin zamanları dikkate alınarak hesaplanmış ve sisteme girilmiştir. Şekil 6.15'de şeridin trafiğe kapatıldığı nokta ve kesimin animasyon ekranından bir görüntüsü verilmektedir. Kırmızı hat ek şerit uygulaması süresince kapatılan kesimi göstermektedir.



Şekil 6.15 Trafiğe kapatılan şerit kesimine ait animasyon görüntüsü

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 tanımlandı. 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. Şekil 6.16’de TRAFVU’den alınmış yol ağında tanımlı bir loop detektör görüntüsü verilmektedir.

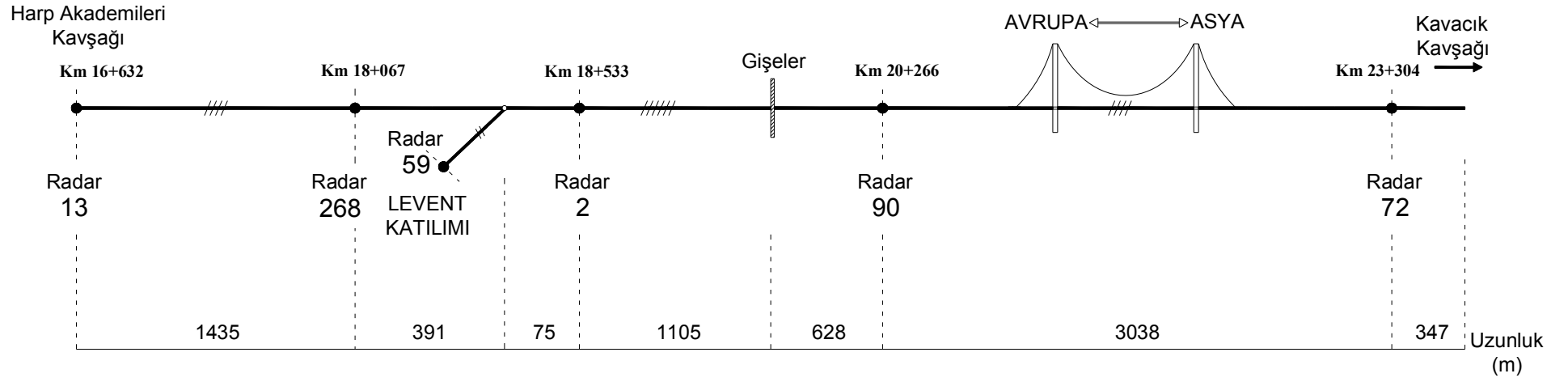


Şekil 6.16 Yol ağında tanımlı bir loop detektör görüntüsü

6.4.2. Avrupa – Asya Yönü Otoyol Ağına Oluşturulması

Avrupa – Asya yönü otoyol ağı simülasyon modeli, Avrupa yakasında Harp Akademileri Kavşağı ile Asya yakasında FSM Köprüsü çıkışı (72 nolu radarın 350 m akım aşağısı) arasındaki otoyol kesimini kapsamaktadır. Modellenecek kesimin geometrik özellikleri ve üzerindeki radar noktaları Şekil 6.17’deki krokide gösterilmektedir.

Gişe sahası geometrisinin gerçeğe uygun oluşturulması ve anayoldan gelen taşıtların gişelere dağılımının mantıklı olabilmesi için gişe sahasına girişten itibaren gişe yaklaşımlarına kadar yolun genişletilebilmesi ve oluşturulacak kavşak noktaları ile taşıtların gişelere yönlendirilmesi, gişe çıkışından itibaren ise yolun daraltılarak anayola bağlanması gerekmektedir. Ayrıca taşıtların KGS ve Nakit gişelerindeki bekleme sürelerinin modelde tanımlanabilmesi için gişelerde süre kontrol sayaçlarının tanımlanabileceği düğüm noktalarına ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 6.17 Avrupa-Asya yönü otoyol ağı

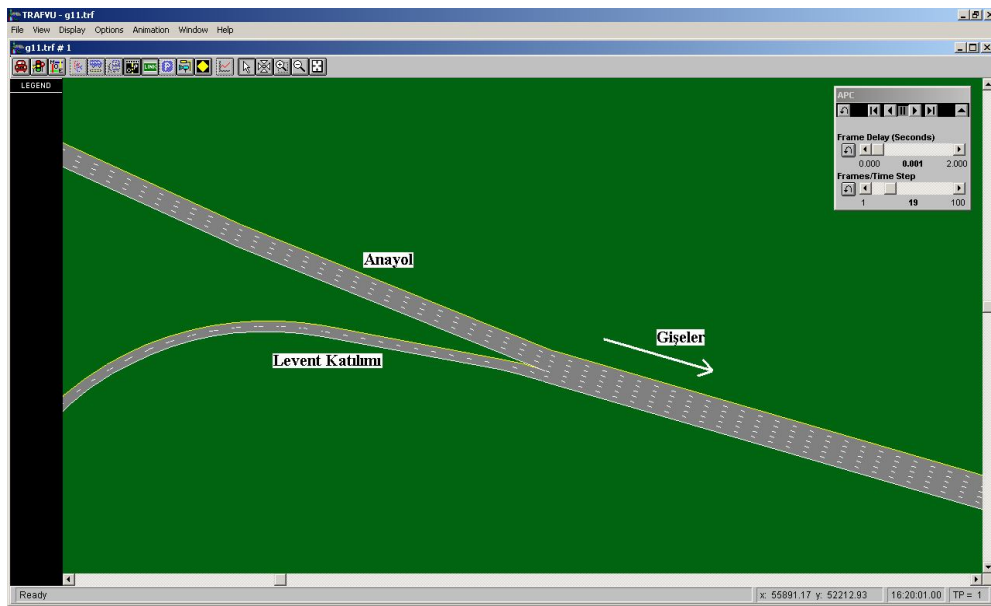
Modelde oluşturulması gereken bu işlemler FRESIM (otoyol bağı ve düğümleri) modülü ile tanımlanamamakta ve CORSIM yazılımı, gişe sahası oluşturulmasına yönelik özel komutlar içermemektedir. Fakat oluşturulmak istenen ağ ve özellikler, CORSIM'in temel modüllerinden biri olan NETSIM aracılığıyla tanımlanabilmektedir. FHWA kaynaklı dokümanlar ve örnek uygulamalar incelenerek, bu durum için FRESIM (otoyol) ve NETSIM (kentiçi) olmak üzere her iki modüle ait elemanların ortak kullanımı ile Avrupa - Asya otoyol ağı kesiminin modellenmesi işlemine geçildi. Otoyol ağı, gişe sahası kesimde NETSIM modülüyle, kalan diğer kesimlerde (anayol) ise FRESIM modülü kullanılarak oluşturuldu.

Anayol Ağının Oluşturulması

Düğüm ve Bağların Kodlanması

Asya – Avrupa yönü modelinde altlık olarak kullanılan aynı harita (bitmap dosyası) bu yön içinde arka plan olarak modele eklenerek düğüm ve bağların kodlanması işlemine geçildi. Harp Akademileri Kavşağı'ndan başlanarak Levent katılımı dahil olmak üzere gişe sahası girişine kadar ve gişe sahası çıkışından incelenen kesim sonuna kadar otoyol (FRESIM) düğümleri kodlandı. Gişe sahası kesiminde ise kentiçi (NETSIM) düğümleri kodlandı. Otoyol düğümlerin trafiğin akış yönünde otoyol bağlarıyla birleştirilmesi ve mevcut geometrik bilgilerin bağlarda tanımlanmasıyla anayol ağı tamamlandı.

Harp Akademileri Kavşağı noktasından gelen dört şeritli anayol, iki şeritli Levent katılımıyla altı şeride çıkarak gişe sahası girişine kadar devam etmektedir. Şekil 6.18'da ilgili kesimin 2 boyutlu TRAFVU ekran görüntüsü verilmektedir.



Şekil 6.18 TRAFVU ekran görüntüsü

Talep Verilerinin Modele Girilmesi

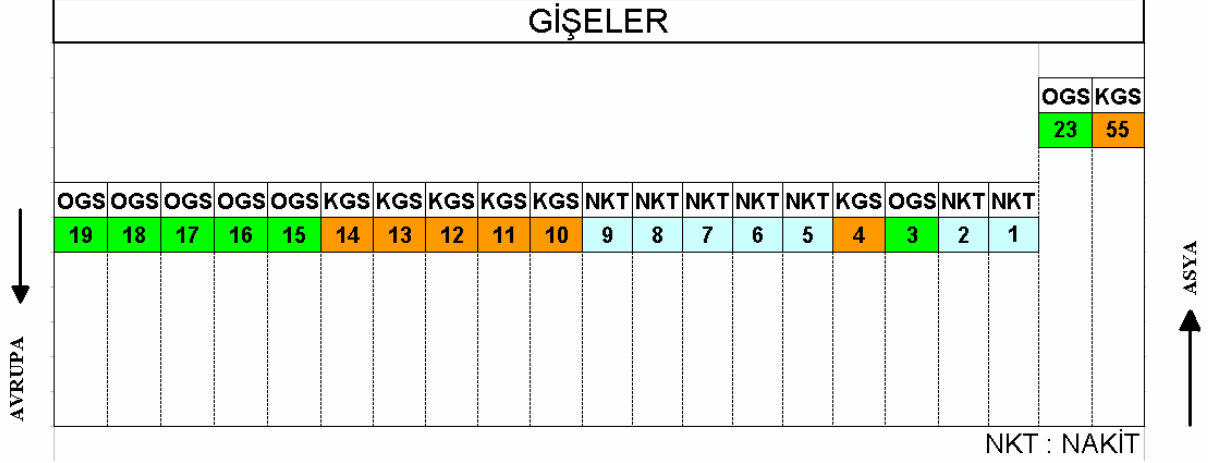
Anayol (başlangıç noktası) için 13, Levent katılımı için ise 59 numaralı radarlardan elde edilen verilerine göre, 10 dakikalık periyotlarla akım değerleri saatlik (taşıt/saat) olarak hesaplanarak radarların olduğu kesitlerde tanımlı olan giriş düğümlerine talep verileri olarak girildi. Saat 16:20 – 21:00 arası zaman dilimi için 13 ve 59 numaralı radarlara ait hız verileri incelendiğinde bu kesitlerde serbest akım koşullarının hakim olduğu görülmektedir. Simülasyon modelinde girilen 10 dakika aralıklarla yol ağına katılan trafik akım oranları Çizelge 6.7’de verilmektedir.

Çizelge 6.7 10 dakika aralıklarla yol ağına katılan trafik akım oranları

Saat	Zaman Dilimi (dakika)	KESİT	
		Radar No 13	Radar No 59
		Anayol (taşıt/saat)	Levent Katılımı (taşıt/saat)
16:20-16:30	0	4566	2304
16:30-16:40	10	4470	2328
16:40-16:50	20	5166	2424
16:50-17:00	30	5286	2628
17:00-17:10	40	5736	2544
17:10-17:20	50	5640	3102
17:20-17:30	60	5310	3174
17:30-17:40	70	5982	2904
17:40-17:50	80	5916	3096
17:50-18:00	90	5850	2844
18:00-18:10	100	5244	3354
18:10-18:20	110	4926	3570
18:20-18:30	120	5004	3564
18:30-18:40	130	6288	3426
18:40-18:50	140	6246	3060
18:50-19:00	150	5976	2754
19:00-19:10	160	6144	2466
19:10-19:20	170	6192	3036
19:20-19:30	180	5970	3120
19:30-19:40	190	5820	3078
19:40-19:50	200	5748	2994
19:50-20:00	210	5916	2664
20:00-20:10	220	5388	2628
20:10-20:20	230	5262	2526
20:20-20:30	240	5370	2532
20:30-20:40	250	4146	2388
20:40-20:50	260	4806	2346
20:50-21:00	270	3954	2310

Giše Sahasının Oluşturulması

FSM Köprüsü gişe sahasında, 21 Şubat 2008 tarihli mevcut durumunda, 7 adet OGS (Otomatik Geçiş Sistemi), 7 adet KGS (Kartlı Geçiş Sistemi) ve 7 adet Nakit gişesi olmak üzere toplam 21 gişe bulunmaktadır. Şekil 6.19'de bu gişelerin tipleri, numaraları ve konumları şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 6.19 Gişe yerleşim şeması

FSM Köprüsü gişe sahasının, anayol yaklaşımı ve gişelere kadar olan kesimine ait mevcut geometrik durumu gösterir uydu fotoğrafı Şekil 6.20'de gösterilmektedir. Altı şeritli anayoldan gelen taşıtlar Şekil 6.20'de görülen geometrik düzenlemeden geçerek 19 gişeye (1 ile 19 arası) ulaşmakta, bir kısmı ise gişelere gelmeden Etiler yönündeki ayrımdan çıkmaktadır (Şekil 6.20). En sağdaki 23 (OGS) ve 55 (KGS) nolu ötelenmiş iki gişeyi ise yalnızca Etiler katılımından gelen taşıtlar kullanmaktadır. İki şerit kapasiteli Etiler katılımı Şekil 6.20'de belirtilen noktadan bariyer aracılığıyla iki yöne ayrılmaktadır. Nakit gişeyi kullanacak olan sürücüler sol şeritten devam ederek 1 nolu nakit gişesine ulaşmakta, OGS (23) ve KGS (55) kullanıcıları ise sağ şeridi takip ederek gişelere kadar tek şerit üzerinden, bu noktadan itibaren tekrar iki yöne ayrılarak 23 ve 55 nolu gişelere ulaşmaktadır. 1 nolu nakit gişesini aynı zamanda anayoldan gelen taşıtlar da kullanabilmektedir.



Şekil 6.20 FSM Köprüsü gişe sahasının, anayol yaklaşımı ve gişelere kadar olan kesimine ait mevcut geometrik durum

Düğüm ve Bağların Kodlanması

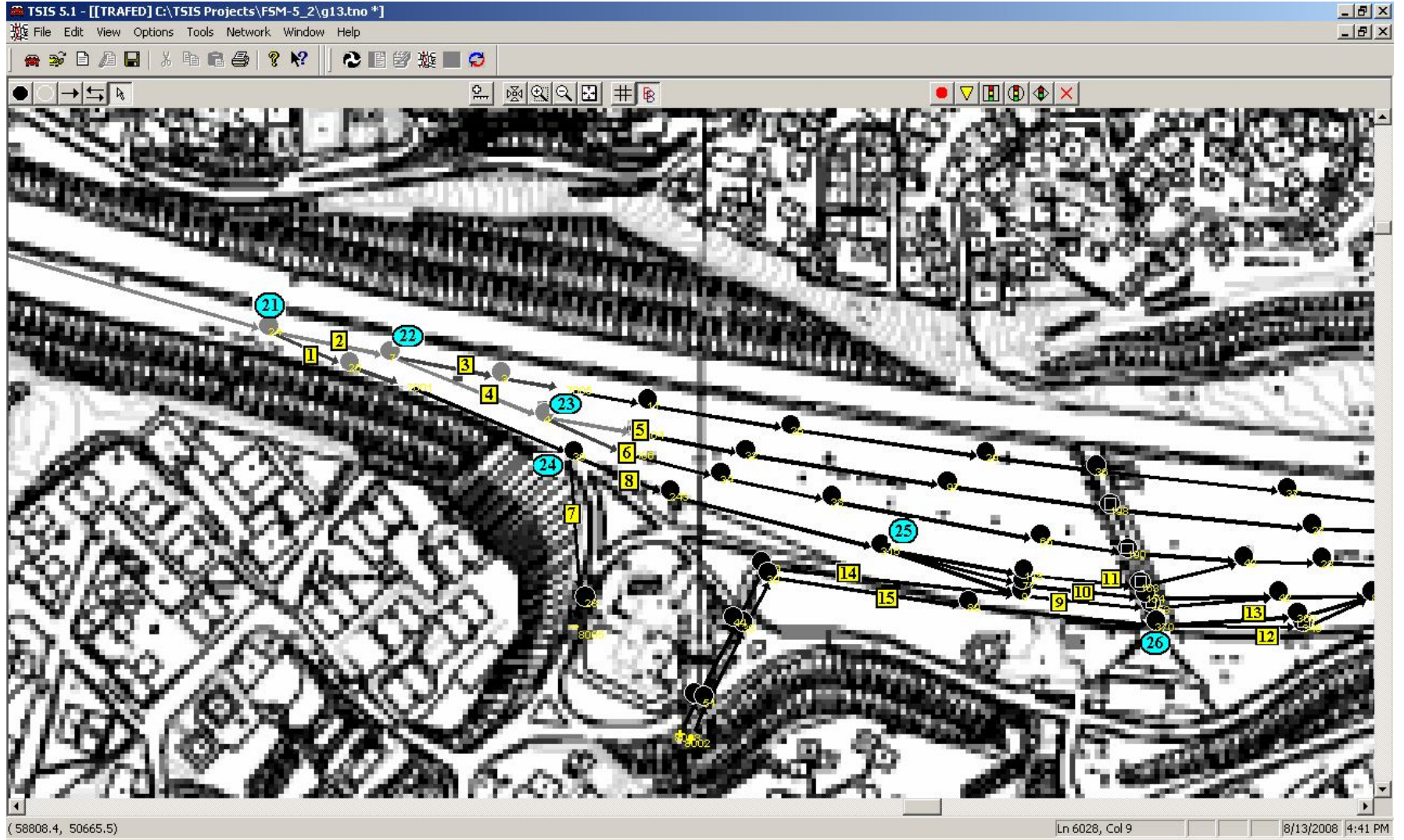
Gişe sahasına giren taşıtların talebe göre düzenli ve mantıklı bir şekilde gişelere ulaşması ve mevcut geometrinin doğru oluşturulabilmesi için gişe sahasına giriş noktasından gişelere kadar olan kesimdeki bağlar ikişerli ve üçerli şeritler grubu olarak genişletilerek kodlanmıştır (Şekil 6.20). Bu sayede, gişe sahasındaki şerit sayısı arttırılırken, aynı zamanda tanımlanan kavşak düğümleriyle taşıtların talebe göre gişelere yönlendirilmesi sağlanmaktadır. Taşıtların gişelere ulaşımı için oluşturulan bağ ve kavşak düğümlerini Şekil 6.21 ve Şekil 6.22'yi referans alarak inceleyelim. Gri renkli düğüm ve bağlar otoyol, siyah renkliler ise kentiçi yol bileşenlerini temsil etmektedir.

Gişe sahasına giriş noktasında tanımlı **kavşak 21**'de, anayoldan gelen taşıtlar 1 (sağ) ve 2 (düz istikamet) numaralı bağlara yönlendirilmektedir. 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 ve 19 nolu gişelerden (5 OGS+5 KGS+5 nakit) geçiş yapacak taşıtlar bağ 2'ye, 1, 2, 3 ve 4 nolu gişelerden geçiş yapacak ve Etiler ayrımına girecek olan taşıtlar bağ 1'e yönlendirilmektedir. Bağ 2'den geçerek **kavşak 22**'ye gelen taşıtlardan 15, 16, 17, 18 ve 19 nolu OGS gişelerini kullanacaklar bağ 3'e, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 nolu KGS ve nakit gişelerini kullanacaklar bağ 4'e yönelmektedir. Bağ 4'den **kavşak 23**'e gelen taşıtlardan 10, 11, 12, 13 ve 14 nolu KGS gişelerine gidecek olanlar bağ 5'e, 5, 6, 7, 8 ve 9 nolu nakit gişelerine gidecek olanlar ise bağ 6'ya yönelmektedirler.

Kavşak 22 ve kavşak 23'deki dağılımdan sonra, 15-19 arası nolu 5 adet OGS, 10-14 arası nolu 5 adet KGS ve 5-9 arası nolu 5 adet nakit gişesine şerit bazında ayrı bir yönlendirme yapılmamıştır. Her bir grup (5 OGS, 5 KGS, 5 nakit) için tanımlanan beş şeritlik bağlarla gişelere ulaşım sağlanmıştır. İncelenen günde 9 nolu nakit gişesi hizmet vermemektedir. Dolayısıyla, 9 nolu gişe şeridi bloke edilerek şerit sayısı dörde düşürülmüştür (Şekil 6.20).

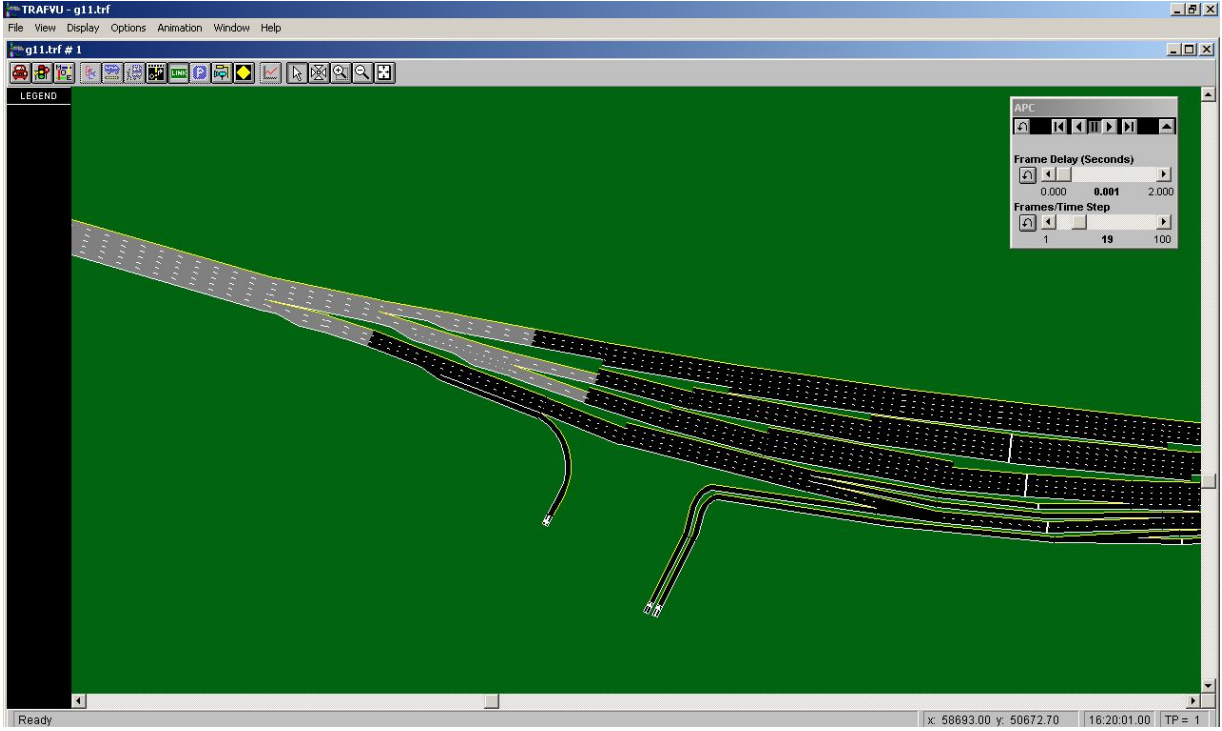
Bağ 1'den devam eden taşıtların bir bölümü **kavşak 24**'den bağ 7'ye yönelerek Etiler ayrımından çıkmakta, 1 (nakit), 2 (nakit), 3 (OGS) ve 4 (KGS) nolu gişeleri kullanacaklar ise bağ 8'den devam etmektedir. Bağ 8'den **kavşak 25**'e gelen taşıtlar bağ 11'e yönelerek 4 nolu KGS gişesine, bağ 10'a yönelerek 3 nolu OGS gişesine ve bağ 9'a yönelerek 1 ve 2 nolu nakit gişelerine ulaşmaktadır.

İki şerit kapasiteli Etiler katılımı, bağ 14 ve bağ 15 olmak üzere birer şeritlik iki ayrı bağ tanımlanarak oluşturuldu. Bağ 14'ü, 1 nolu nakit gişeye yönelecek taşıtlar, bağ 15'i ise 23 ve 55 nolu gişelere yönelecek taşıtlar kullanmaktadır. Etiler katılımından (bağ 15) **kavşak 26**'ya gelen KGS ve OGS kullanıcıları bağ 13'e yönelerek 23 nolu OGS gişesine, bağ 12'ye yönelerek 55 nolu KGS gişesine ulaşmaktadır.

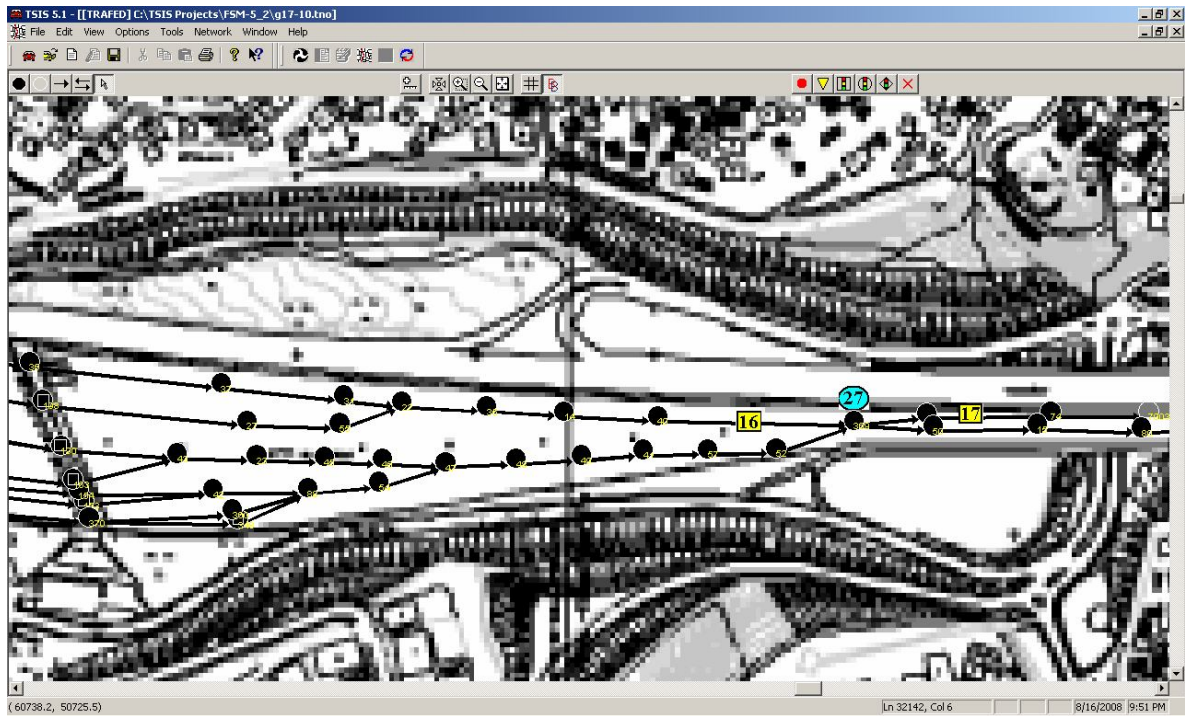


Şekil 6.21 Gişesi sahası bağ-düğüm diyagramı (TRAFED ekranı)

Tanımlanan ardışık bağlardaki şerit sayıları, gişe sahasına giriş noktasından gişelere kadar mevcut geometriyi yansıtacak şekilde artırılmıştır (Şekil 6.22). Şerit genişletmesinin yapılacağı noktalar gişe sahasına ait uydu görüntüsü (google earth programı) kullanılarak belirlenmiş, buna göre ilgili bağlarda tanımlamalar yapılmıştır.

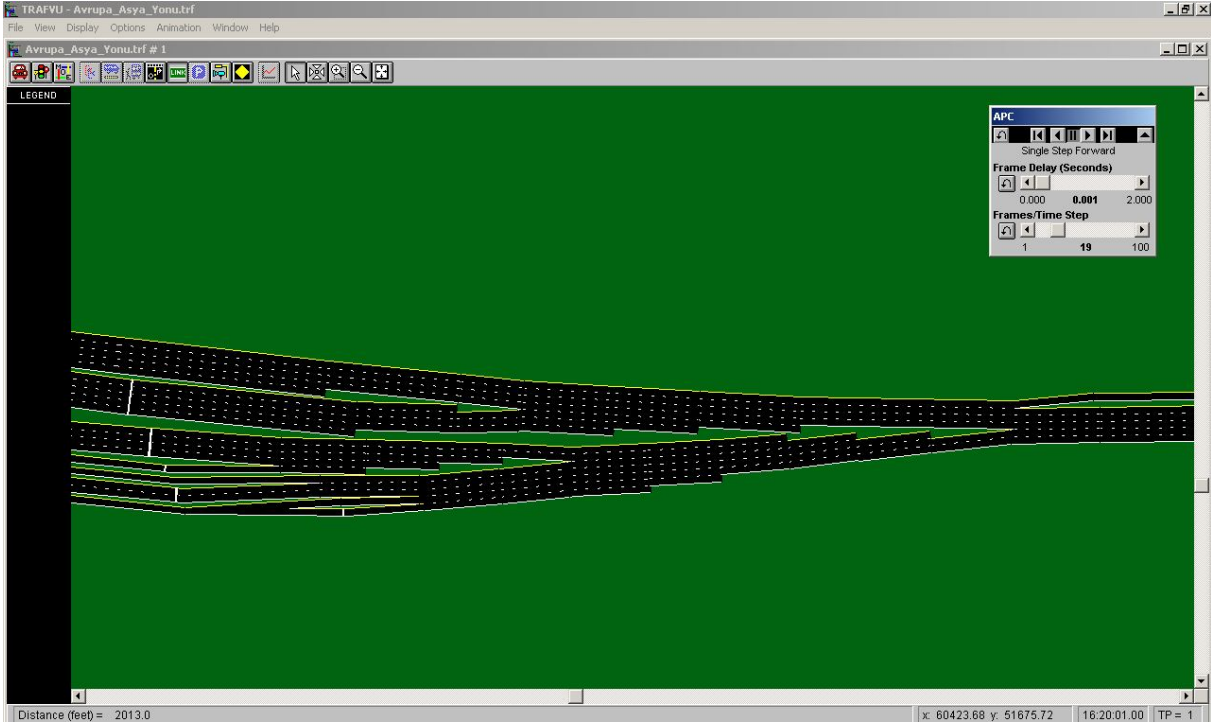


Şekil 6.22 Geometrisi oluşturulmuş gişe sahası-giriş bölgesi- (TRAFVU ekranı)



Şekil 6.23 Gişe sahası bağ-düğüm diyagramı (TRAFED ekranı)

Gişе çıkışlarındaki bağlar, toplayıcı düğümler tanımlanarak birleştirilmiş ve anayol düğümüne bağlantısı sağlanmıştır. Bağlardaki şerit sayıları mevcut geometrik duruma uygun olarak azaltılmış, anayola kadar gişе sahası çıkışı daraltılmıştır (Şekil 6.23 ve 6.24).



Şekil 6.24 Geometrisi oluşturulmuş gişе sahası-çıkış bölgesi- (TRAFVU ekranı)

Ek Şeridin Oluşturulması

Daha önce bahsedildiği üzere Avrupa-Asya yönü modelinde ek şeridi temsil eden ilave bir ağ oluşturuldu. Bir şeritlik bu ağ, ek şeride giriş yapılan noktadan başlayarak incelenen kesim sonuna kadar, mevcut yol ağına paralel olarak devam etmektedir. Gişelerden çıkış yaparak bağ 16 üzerinden gelen taşıtlar, kavşak 27 düğümünde tanımlanan dönüş yüzdesi oranında ek şerit bağına (bağ 17) giriş yapmaktadırlar (Şekil 6.23). İncelenen zaman diliminde, gişе sahası çıkışında trafiğin zorlamalı akım koşullarında olduğu bilindiğinden, gişе sahasının en sağ şeritlerinden gelen taşıtların ek şeride girebilmelerinin mantıklı olmadığı düşünülmüş, dolayısıyla yalnızca bağ 16' dan gelen taşıtların girişine izin verilmiştir.

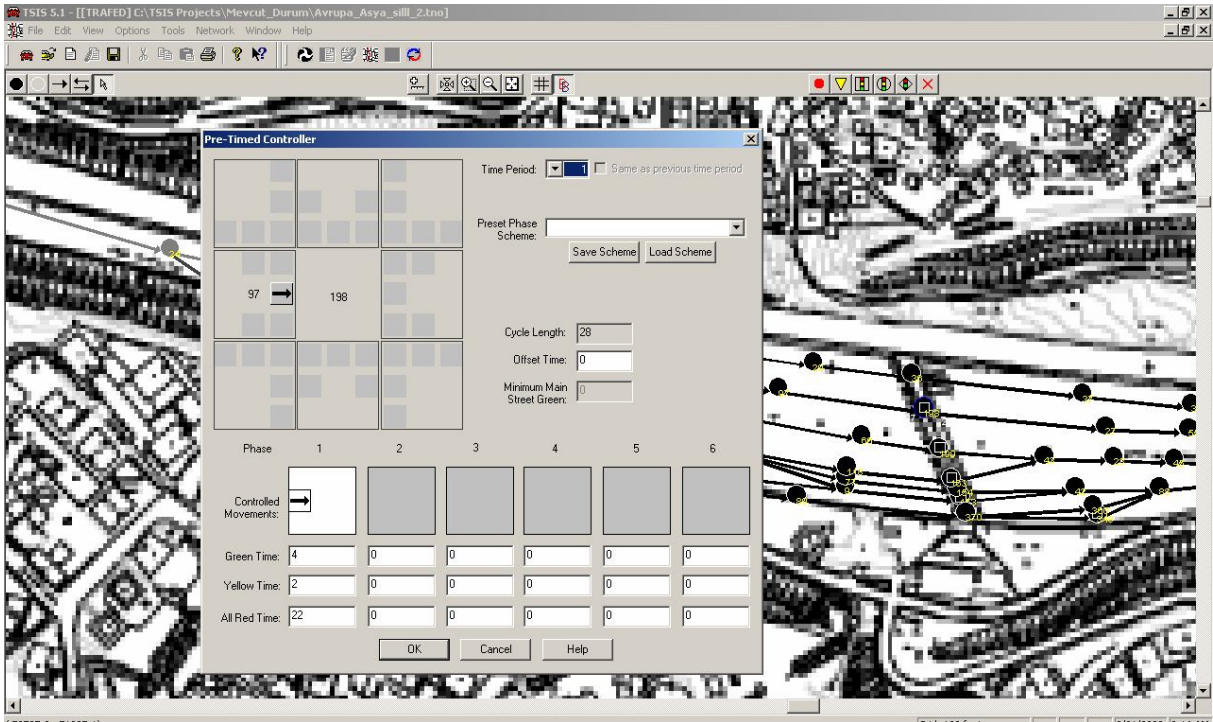
Ek Şeridin Trafiğe Açılması/Kapanması İşleminin Modelde Tanımlanması

Modelde ek şeridin trafiğe açılması ve kapanması işlemi, ek şeride giriş yapılacak kavşak noktasında, belirlenen zaman dilimi için dönüş yüzdesi tanımlanarak gerçekleştirildi. Saat 17:30-18:25 arasında bağ 16'dan gelen ve ek şerit bağına (bağ 17) giriş yapacak taşıt oranı, kavşak 27'de dönüş yüzdesi tanımlanarak belirlendi. 154 ve 92 nolu radar verilerine göre saat 17:30-18:25 arasında ek şeridi kullanan taşıt sayısı 1380'dir. Modelde ek şeride giriş yapacak

taşıt sayısı, bağ 16'dan gelen taşıt hacmine, dolayısıyla ilgili gişelerden çıkış yapan taşıt sayısına bağlıdır. Bu durumda, kavşak 27'deki dönüş yüzdesinin belirlenmesi, gişe sahasının kalibrasyonu aşamasında yapılan denemelerle %28 olarak belirlenmiştir. Bu zaman dilimi dışında, dönüş yüzdesi "0" (sıfır) seçilerek ek şeride taşıt girişi engellenmiştir. Ayrıca otobüslerin ek şeride girişleri, taşıt tiplerine özgü dönüş çarpanlarından otobüs için olanının "0" (sıfır) seçilmesi ile engellenmiştir.

Taşıtların Gişelerden Geçişinin Planlanması

Taşıtların gişelerden geçişinin modellenmesinde iki önemli tanımlama yapıldı. Birincisi, KGS ve nakit gişelerinde bekleme süreleri, ikincisi ise gişe sahasındaki hız sınırlamaları. Yazılımda, belirlenecek süre zarfında her taşıtın gişede beklemesini kontrol edebilen bir işlem tanımlanamamaktadır. Bu işlemi gerçekleştirmek için, KGS ve nakit gişelerinin bulunduğu noktalara düğümler kodlanarak bu düğümlerde "önceden zaman ayarlı kontrol" (pre-timed control) yani, trafik ışıkları tanımlandı. Bu işlem, "pre-timed control" düğmesine basıp, ilgili düğümün üzerine tıklayarak oluşturulur. Tanımlanan düğüm üzerine sağ tıklayıp "edit control" seçeneği seçilerek çıkan girdi tablosuna sinyal süreleri değerleri girilmiştir (Şekil 6.25). Taşıtların gişelerde beklemesi, tanımlanan trafik ışıklarındaki yeşil ve kırmızı yanma süreleri ayarlanarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda (detektör verisi) ve sahada, gişelerden geçen taşıt sayıları karşılaştırılarak en uygun sinyal süreleri belirlenmiştir.



Şekil 6.25 Sinyal sürelerinin tanımlandığı girdi tablosu

OGS gişelerinin bulunduğu düğüm noktalarında herhangi bir özellik tanımlanmamıştır. OGS gişelerine yaklaşım bağlarında hız sınırlaması yapılmıştır. FSM Köprüsü gişe sahasında hız sınırlaması 30 km/saattir. Fakat bu sınırlamayı tüm gişe sahasında tanımlı bağlarda uygulamak gerçeği yansıtmayacaktır. Anayoldan gişe sahasına girişten itibaren gişelere kadar (gişelere yaklaşım bağlarında) hız sınırlamaları kademeli olarak uygulanmıştır. OGS gişelerindeki geçişler dikkate alınarak, gişelerden geçiş için hız sınırlaması 32 km/sa (20 mil/sa) olarak tanımlanmıştır.

Talep Verilerinin Hazırlanması (Dönüş Yüzdeleri) ve Düğümlerde Tanımlanması

Anayoldan gişe sahasına giren taşıtların gişelere yönlendirilmesi işlemi, kodlanmış kavşak noktalarında dönüş yüzdeleri tanımlanarak yapıldı. Çizelge 6.8’de saatlik olarak gişelerden geçen taşıt sayıları verilmektedir. Gişelerden geçen taşıt sayıları, gişe talep verisi olarak değerlendirilmiş, kavşaklarda tanımlanacak olan dönüş yüzdeleri hesaplanmasında kullanılmıştır.

Çizelge 6.8 Gişelerden çıkış yapan saatlik taşıt sayıları

GİŞE NO	GİŞE TİPİ	SAAT / TAŞIT					TOPLAM
		16:20-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00	
1	Nakit	238	256	163	195	252	1104
2	Nakit	187	218	146	233	276	1060
3	OGS	116	1096	1308	1497	1332	5349
4	KGS	43	126	138	104	108	519
5	Nakit	193	275	224	300	337	1329
6	Nakit	180	280	223	263	286	1232
7	Nakit	175	278	267	271	291	1282
8	Nakit	190	308	285	282	270	1335
9	Nakit	0	0	0	0	0	0
10	KGS	126	314	385	490	339	1654
11	KGS	155	310	361	439	378	1643
12	KGS	139	203	237	310	267	1156
13	KGS	159	198	213	230	231	1031
14	KGS	192	231	233	234	226	1116
15	OGS	442	1092	766	1055	1002	4357
16	OGS	443	857	509	434	556	2799
17	OGS	492	744	516	243	274	2269
18	OGS	545	557	603	256	186	2147
19	OGS	772	639	731	279	311	2732
23	OGS	427	1041	966	1141	938	4513
55	KGS	114	228	220	159	161	882
TOPLAM		5328	9251	8494	8415	8021	39509

1 nolu nakit gişeden geçen taşıtların ne kadarının anayol, ne kadarının Etiler katılımından geldiği mevcut verilerden belirlenmemektedir. Taşıtların sayılarının belirlenmesinde izlenen

yöntem, saat 17:00-18:00 arası gişe verilerini örnek olarak inceleyerek şu şekilde açıklanabilir: Etiler katılımından gelip 23 ve 55 nolu gişelerden geçen taşıt sayısı 1269'dur. 1 nolu gişeden ise toplam 256 taşıt geçmiştir. Etiler katılımından 1400 taşıt geldiği kabulü yapılmıştır. Bu durumda, 1 nolu gişeye Etiler katılımından 131 (1400-1269=131), anayoldan 125 (256-131=125) taşıt geldiği hesaplanmıştır. İncelenen zaman dilimi için diğer tüm saat aralıklarında da bu yöntem izlenerek hacimler belirlenmiştir (Çizelge 6.9).

Çizelge 6.9 Etiler katılımı ve gişe çıkış hacimleri

	Saat - Trafik hacim değerleri (taşıt)				
	16:20-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00
23 (OGS) ve 55 (KGS) nolu gişelerden geçen taşıt sayısı	541	1269	1186	1300	1099
1 nolu gişeden geçen taşıt sayısı	238	256	163	195	252
Etiler katılımından geldiği kabul edilen taşıt sayısı	650	1400	1300	1400	1200
1 nolu gişeye Etiler katılımından gelen taşıt sayısı (kabul)	109	131	114	100	101
1 nolu gişeye anayoldan gelen taşıt sayısı (kabul)	129	125	49	95	151

Gişe sahasının oluşturulmasında bahsedildiği üzere, Etiler katılımı trafik hacimleri iki ayrı (1 nolu nakit gişe yönünde ve OGS-KGS gişeleri yönünde tanımlı bağlar için) giriş düğümünden beslendi. Elde edilen kaynaklarda gişe çıkış hacimleri birer saatlik zaman dilimleri için verildiğinden, simülasyona 1 saatlik aralıklarla hacimler girilmiştir (Çizelge 6.10).

Çizelge 6.10 Etiler katılımından gişe sahasına giren trafik akım değerleri (simülasyona girilen)

Saat	Zaman Dilimi	Etiler Katılımı	
		Nakit	OGS-KGS
	dakika	taşıt/saat	taşıt/saat
16:20-17:00*	0-40	164	812
17:00-18:00	40-100	131	1269
18:00-19:00	100-160	114	1186
19:00-20:00	160-220	100	1300
20:00-21:00	220-280	101	1099

*40 dakikalık zaman dilimindeki hacimler saatlik olarak hesaplandı. (109x(60/40)=164 ve 541x(60/40)=812)

Etiler ayrımına ait çıkış hacim bilgileri incelenen gün ve zaman dilimi için elde edilememiştir. Başka bir günde incelenen zaman dilimi için yapılan trafik sayımları ve 2 nolu radar ile gişe

çıkış hacimleri (1-19 arası gişeler toplamı) arasındaki farklar değerlendirilerek yaklaşık hacimler öngörülmüştür (Çizelge 6.11).

Çizelge 6.11 Etiler ayırımına ait çıkış hacimleri

	Saat				
	16:20-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00
Hacim (taşıt/saat)	600	900	1000	1100	900

Etiler ayırım ve katılım hacimlerinin belirlenmesinden sonra, her gişeden ve Etiler ayırımından yüzde kaç oranında taşıtın çıkış yaptığı Excel tabloları hazırlanarak hesaplandı. Çizelge 6.12 ve Çizelge 6.13’de, Etiler ve gişe çıkış hacimleri ile yüzdeleri mevcut durum için tablolaştırılmış, bu oranlar, gişelerin akım yukarısına doğru her kavşak için dönüş (ayrılma) yüzdelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Çizelge 6.12, 21, 22, 23, 24 ve 25 nolu kavşaklarda, Çizelge 6.13 ise 26 nolu kavşaktaki dönüş yüzdelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Trafik talep verileri arasından saat 17:00-18:00 arası için dönüş yüzdelerinin hesaplanması ve modelde tanımlanması işlemini örnek olarak inceleyelim (Şekil 6.19).

Çizelge 6.12’deki yüzdeler dikkate alınarak, anayoldan **Kavşak 21**’e gelen taşıtlar için bağ 1’e dönüş oranı %28 ($4+13+1+10$), bağ 2’ye dönüş oranı ise %72 ($13+14+44$) olarak belirlenmiştir.

Bağ 2’den **Kavşak 22**’e gelen taşıtlardan %62’si ($100 \times 44 / (13+14+44)$) bağ 3’den geçerek 15, 16, 17, 18, 19 nolu OGS gişelerine, %38’si ($100 \times (13+14) / (13+14+44)$) bağ 4’den geçerek 5, 6, 7, 8 ve 9 nolu nakit gişelerine ve 10, 11, 12, 13 ve 14 nolu KGS gişelerine yönelmektedir.

Bağ 4’den **Kavşak 23**’e gelen taşıtlardan %52’si ($100 \times 14 / (13+14)$) bağ 5’den geçerek 10, 11, 12, 13 ve 14 nolu KGS gişelerine, %48’si ($100 \times 13 / (13+14)$) bağ 6’dan geçerek 5, 6, 7, 8 ve 9 nolu nakit gişelerine yönelmektedir.

Bağ 1’den **Kavşak 24**’e gelen taşıtlardan %37’si ($100 \times 10 / (4+13+1+10)$) bağ 7’ye yönelerek Etiler ayırımından çıkmakta, %63’ü ($100 \times (4+13+1) / (4+13+1+10)$) bağ 8’den devam ederek 1 (nakit), 2 (nakit), 3 (OGS) ve 4 (KGS) nolu gişelere yönelmektedir.

Çizelge 6.12 Gişе sahasından çıkış yapan taşıt sayısı ve oranları (21-25 nolu kavşaklar için)

Gişе No	Gişе Tipi	Saat										TOPLAM (taşıt)
		16:20-17:00		17:00-18:00		18:00-19:00		19:00-20:00		20:00-21:00		
		Taşıt	Oran (%)	Taşıt	Oran (%)	Taşıt	Oran (%)	Taşıt	Oran (%)	Taşıt	Oran (%)	
1--2	NAKİT	317	6	343	4	195	2	328	4	427	6	1610
3	OGS	116	2	1096	13	1308	16	1497	18	1332	17	5349
4	KGS	43	1	126	1	138	2	104	1	108	1	519
5--6--7--8--9	NAKİT	738	15	1141	13	999	12	1116	14	1184	15	5178
10--11--12--13--14	KGS	770	15	1256	14	1429	17	1703	21	1441	19	6599
15--16--17--18--19	OGS	2694	53	3889	44	3125	38	2267	28	2329	30	14304
Etiler Ayrımı		400	8	900	10	1000	12	1100	14	900	12	4300
TOPLAM		5078	100	8751	100	8194	100	8115	100	7721	100	37859

Çizelge 6.13 Gişе sahasından çıkış yapan taşıt sayısı ve oranları (26 nolu kavşak için)

Gişе No	Gişе Tipi	Saat										TOPLAM (taşıt)
		16:20-17:00		17:00-18:00		18:00-19:00		19:00-20:00		20:00-21:00		
		Taşıt	Oran (%)	Taşıt	Oran (%)	Taşıt	Oran (%)	Taşıt	Oran (%)	Taşıt	Oran (%)	
23	OGS	427	79	1041	82	966	82	1141	88	938	85	4513
55	KGS	114	21	228	18	220	18	159	12	161	15	882
TOPLAM		541	100	1269	100	1186	100	1300	100	1099	100	5395

Bağ 8'den **Kavşak 25**'e gelen taşıtlardan %8'si ($100 \times \frac{1}{(4+13+1)}$) bağ 11'e yönelerek 4 nolu KGS gişesine, %70'si ($100 \times \frac{13}{(4+13+1)}$) bağ 10'a yönelerek 3 nolu OGS gişesine ve %22'si ($100 \times \frac{4}{(4+13+1)}$) bağ 9'a yönelerek 1 ve 2 nolu nakit gişelerine ulaşmaktadır.

Çizelge 6.13'deki yüzdeler dikkate alındığında, Etiler katılımından (bağ 15) **Kavşak 26**'ya gelen KGS ve OGS kullanıcılarının, %82'si bağ 13'e yönelerek 23 nolu OGS gişesine, %18'si ise bağ 14ye yönelerek 55 nolu OGS gişesine ulaşmaktadır.

Dönüş yüzdeleri birer saatlik zaman dilimleri için hesaplanarak kavşak düğümlerinde tanımlanmıştır. Tanımlama işlemi, ilgili düğüm noktasına tıklayarak çıkan özellik menüsündeki “*turn movements*” bölümünde, dönüş yapılacak yön, zaman dilimi ve hesaplanan dönüş yüzdeleri (dönüş hacimleri) bilgileri girilerek yapılmaktadır (Şekil 6.26).

Şekil 6.26 Kavşak özellikleri girdi menüsü

Simülasyon süresince tüm kavşak düğümlerinde her saat dilimi için tanımlanan dönüş yüzdeleri Çizelge 6.14'de verilmektedir.

Çizelge 6.14 Kavşaklarda tanımlanan dönüş yüzdeleri

Kavşak No	Yön - Bağ No	Yönlendirilen Gişe No	Saat / Dönüş Yüzdeleri (%)				
			16:20-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00
21	2	19, 18, 17, 16,15, 14, 13, 12, 11,10, 9, 8, 7, 6, 5	83	72	68	63	64
	1	Etiler ayrımı, 1, 2, 3, 4	17	28	32	37	36
22	3	19, 18, 17, 16, 15	64	62	56	45	47
	4	14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5	36	38	44	55	53
23	5	14, 13, 12, 11, 10	51	52	59	60	55
	6	9, 8, 7, 6, 5	49	48	41	40	45
24	7	Etiler ayrımı	46	37	38	36	33
	8	4, 3, 2, 1	54	63	62	64	67
25	9	1, 2	67	22	12	17	23
	10	3	24	70	80	78	71
	11	4	9	8	8	5	6

Detektörlerin Tanımlanması

Gişelerden geçen taşıt sayılarının kalibrasyonu için de her gişe çıkışına ilgili bağlar üzerinde aynı gişe numarasına sahip loop detektörler tanımlandı.

6.5. Hata Kontrolü

Hata testi aşamasında yapılan öncelikli çalışma, modele girilen tüm verilerin gözden geçirilmesidir. Bu kapsamda öncelikli olarak ağ geometrisi, yani ağ bağlantıları, bağ geometrisi (şerit sayısı, hızlanma ve yavaşlama şeritleri uzunlukları), katılım ve ayırım noktaları gözden geçirilmiş gerekli görülen düzeltmeler yapılmıştır. Belirlenen zaman dilimleri için anayol ve katılım giriş hacimleri ile ayırım noktalarında girilen dönüş yüzdeleri dikkatle incelenerek tüm talep verileri kontrol edilmiştir. Ayrıca modelin çalıştırılması aşamasında program, simülasyona geçmeden ağı kontrol ederek varsa modelle ilgili hata mesajları ve uyarılar vermektedir. Bunlar dikkate alınarak gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Hata testinin son aşaması olarak iki boyutlu animasyon tüm simülasyon süresi boyunca izlenmiş ve göz ile görülür herhangi bir sorunla karşılaşmamıştır.

6.6. Simülasyon Modelinin Kalibrasyonu

Oluşturulan simülasyon modelinin gerçek koşulları yansıtabilmesi için gerekli model parametrelerinin ayarlanması işlemine kalibrasyon denir. Parametrelerin ayarlanmasıyla,

modelin, yerel sürücü davranışlarını ve trafik performansı özelliklerini doğru olarak yansıtabilmesi amaçlanmaktadır. Gerçek yol ağında uygulanması düşünülen alternatif çözümlerin ne gibi sonuçlar doğuracağı, iyi kalibre edilmiş bir simülasyon modeli üzerinde uygulanarak görülebilir.

Her iki modelin (anayol kesiminin) gerçek trafik durumunu yansıtıp yansıtmadığını sahadaki radar verileri ile dedektör 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.

Asya – Avrupa yönü modelinin kalibrasyonunda esas olarak otoyol işletiminde etkili bir parametre olan taşıt takip duyarlılık faktörü kesim (link) bazında, ayrıca varsayılan olarak atanan serbest akım hızı değeri (65 mil/sa) yine kesim bazında 70 mil/sa olarak değiştirilmiştir.

Avrupa – Asya yönü modelinde sistem bazında ve kesim bazında değiştirilen parametreler şunlardır:

- yolun sağına geçerek, şerit değiştiren taşıtların öne geçmesine izin veren sürücü oranı (sistem bazında - FRESIM) → %30, varsayılan %20,
- izin verilen maksimum dönüş hızları (sistem bazında - NETSIM) → sağa (18 mil/sa, varsayılan 8 mil/sa), sola (30 mil/sa, varsayılan 15 mil/sa),
- serbest akım hızı değeri (kesim bazında - NETSIM).

6.6.1. Simülasyon Modelinin Gerçek Koşullara Uygunluğunun Araştırılması

Simülasyon modelinin gerçek koşullara uygunluğu yukarıda da bahsedildiği gibi incelenen kesimdeki radar verileri ile radar noktalarında tanımlanmış detektörlerden alınan verilerin karşılaştırılmasıyla test edilmiştir. İncelenen noktadaki akım ve hız değerleri ile sapma oranları, Asya-Avrupa yönü için Çizelge 6.15 ve Çizelge 6.16'da, Avrupa-Asya yönü için ise Çizelge 6.17 verilmektedir. Çizelgelerdeki akım değerleri (taşıt/saat) tüm şeritlerin toplamını, hız değerleri (km/saat) ise tüm şeritlerin ortalamalarını yansıtmaktadır. Şekil 6.27 ve 6.28'de ise çizelgelerdeki değerler kullanılarak çizilen hız-zaman ve akım-zaman grafikleri verilmektedir. Şekillerdeki mavi eğri saha, pembe eğri ise simülasyon verilerini temsil etmektedir.

Çizelge 6.15 Saha ve simülasyon akım (taş/sa) değerlerinin karşılaştırılması (Asya-Avrupa yönü)

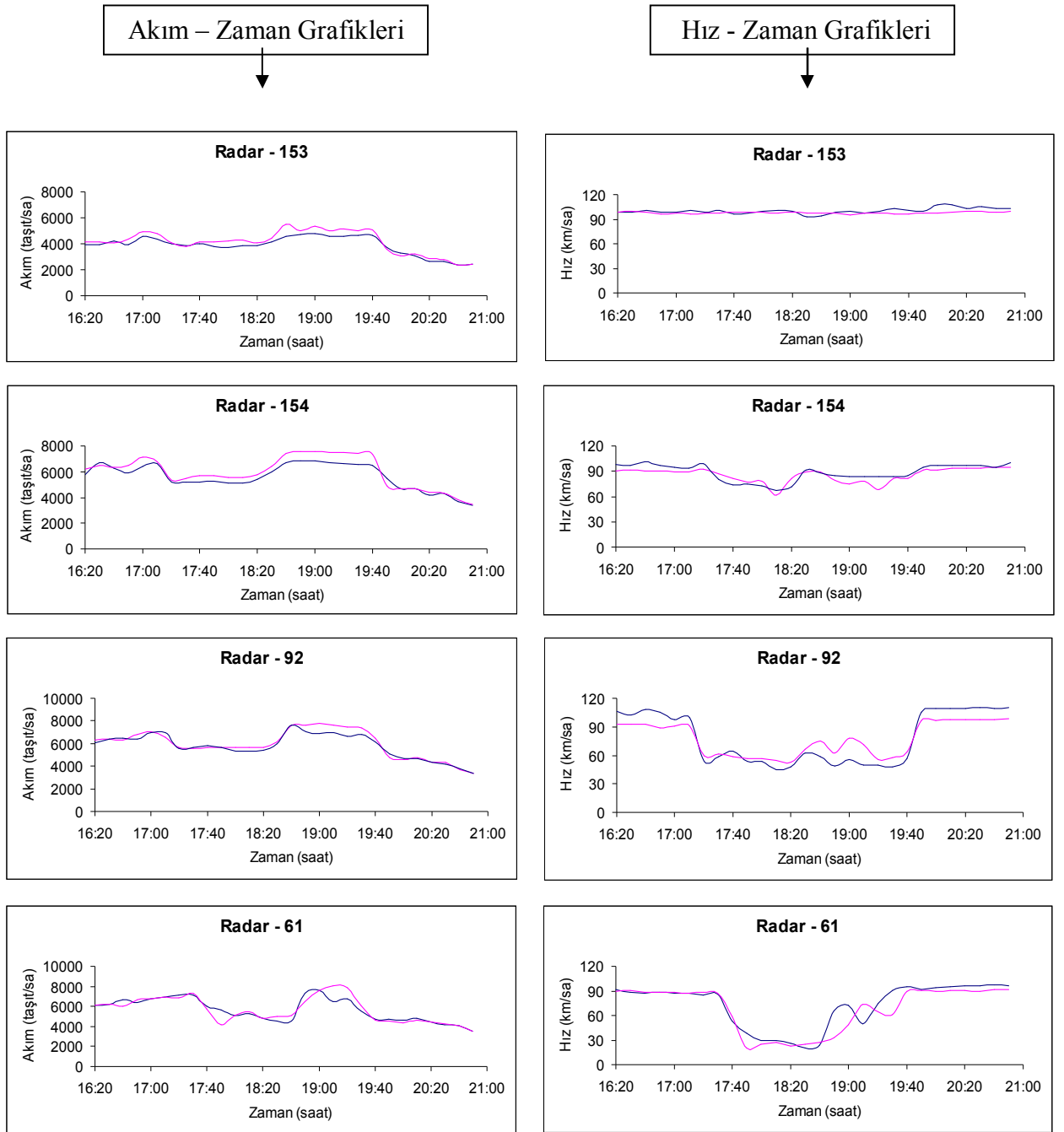
Rtms No	4			73			95			63			61			92			154			153		
Saat	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı
16:20-16:30	5880	5898	0,0031	6363	6018	-0,0542	5160	5460	0,0581	5868	6198	0,0562	6138	6150	0,0020	6057	6336	0,0461	5796	6210	0,0714	3942	4134	0,0487
16:30-16:40	5934	6012	0,0131	6471	5946	-0,0811	5370	5316	-0,0101	6222	6180	-0,0068	6216	6186	-0,0048	6420	6420	0,0000	6714	6510	-0,0304	3948	4152	0,0517
16:40-16:50	6384	6228	-0,0244	6279	6246	-0,0053	5298	5268	-0,0057	6153	6090	-0,0102	6654	6060	-0,0893	6444	6318	-0,0196	6270	6372	0,0163	4236	4086	-0,0354
16:50-17:00	6396	6384	-0,0019	6654	6390	-0,0397	5310	5490	0,0339	6408	6708	0,0468	6414	6642	0,0355	6396	6810	0,0647	5898	6522	0,1058	3924	4380	0,1162
17:00-17:10	6468	6456	-0,0019	6750	6444	-0,0453	5640	5784	0,0255	6699	6588	-0,0166	6780	6714	-0,0097	6927	7050	0,0178	6426	7104	0,1055	4590	4926	0,0732
17:10-17:20	6744	6714	-0,0044	6909	6558	-0,0508	5592	5628	0,0064	6768	7080	0,0461	6984	6918	-0,0095	6930	6522	-0,0589	6630	6792	0,0244	4350	4770	0,0966
17:20-17:30	6852	6798	-0,0079	6906	6798	-0,0156	5670	5712	0,0074	6609	6834	0,0340	7140	6852	-0,0403	5571	5682	0,0199	5178	5352	0,0336	3966	4086	0,0303
17:30-17:40	7014	7050	0,0051	7527	7056	-0,0626	6522	6594	0,0110	7011	7494	0,0689	7110	7320	0,0295	5634	5562	-0,0128	5154	5502	0,0675	3834	3792	-0,0110
17:40-17:50	6984	7038	0,0077	7761	6972	-0,1017	6444	6312	-0,0205	7062	7638	0,0816	6012	5742	-0,0449	5844	5634	-0,0359	5172	5658	0,0940	4014	4134	0,0299
17:50-18:00	7032	7044	0,0017	7458	7098	-0,0483	6108	6312	0,0334	5193	6102	0,1750	5616	4206	-0,2511	5655	5616	-0,0069	5262	5694	0,0821	3792	4134	0,0902
18:00-18:10	7056	6972	-0,0119	7284	7020	-0,0362	5910	6042	0,0223	5631	4638	-0,1763	5100	5076	-0,0047	5364	5628	0,0492	5100	5550	0,0882	3696	4206	0,1380
18:10-18:20	7104	7080	-0,0034	6735	6918	0,0272	5316	6138	0,1546	5292	5046	-0,0465	5304	5502	0,0373	5292	5652	0,0680	5112	5562	0,0880	3834	4290	0,1189
18:20-18:30	5598	6876	0,2283	6000	6576	0,0960	4524	4398	-0,0279	5157	5160	0,0006	4818	4776	-0,0087	5394	5634	0,0445	5376	5760	0,0714	3846	4074	0,0593
18:30-18:40	5574	6828	0,2250	5754	5202	-0,0959	4368	4050	-0,0728	4944	4638	-0,0619	4572	4998	0,0932	5973	6120	0,0246	5970	6402	0,0724	4146	4404	0,0622
18:40-18:50	5142	5562	0,0817	5760	4656	-0,1917	3960	3996	0,0091	4524	4836	0,0690	4560	5106	0,1197	7602	7620	0,0024	6708	7392	0,1020	4596	5484	0,1932
18:50-19:00	4926	4914	-0,0024	5043	5040	-0,0006	3576	4248	0,1879	5817	5172	-0,1109	7314	6456	-0,1173	7011	7608	0,0852	6834	7596	0,1115	4740	4974	0,0494
19:00-19:10	4770	4980	0,0440	6621	5634	-0,1491	5880	4764	-0,1898	7053	6906	-0,0208	7608	7620	0,0016	6846	7812	0,1411	6840	7548	0,1035	4764	5334	0,1196
19:10-19:20	6474	5916	-0,0862	6789	6912	0,0181	5544	5844	0,0541	6813	7464	0,0956	6468	8034	0,2421	7008	7584	0,0822	6726	7470	0,1106	4548	5034	0,1069
19:20-19:30	5340	5844	0,0944	6435	6840	0,0629	5496	4902	-0,1081	5979	7758	0,2975	6786	7848	0,1565	6606	7464	0,1299	6660	7518	0,1288	4578	5166	0,1284
19:30-19:40	4956	4944	-0,0024	5232	5310	0,0149	4074	3876	-0,0486	4983	4950	-0,0066	5574	6138	0,1012	6819	7380	0,0823	6558	7422	0,1317	4662	4968	0,0656
19:40-19:50	5022	5046	0,0048	4947	5064	0,0237	3942	4050	0,0274	4632	4620	-0,0026	4764	4650	-0,0239	6153	6468	0,0512	6498	7362	0,1330	4650	5094	0,0955
19:50-20:00	4860	4878	0,0037	4983	4878	-0,0211	4092	3828	-0,0645	4776	4560	-0,0452	4746	4524	-0,0468	5085	4758	-0,0643	5466	4872	-0,1087	3726	3588	-0,0370
20:00-20:10	5034	4968	-0,0131	5343	4926	-0,0780	4464	4086	-0,0847	4647	4404	-0,0523	4674	4380	-0,0629	4656	4602	-0,0116	4662	4686	0,0051	3282	3090	-0,0585
20:10-20:20	4770	4782	0,0025	4836	4782	-0,0112	3900	4152	0,0646	4527	4668	0,0311	4830	4662	-0,0348	4713	4740	0,0057	4674	4662	-0,0026	3048	3198	0,0492
20:20-20:30	4722	4728	0,0013	5025	4758	-0,0531	3996	3936	-0,0150	4551	4560	0,0020	4482	4470	-0,0027	4356	4362	0,0014	4194	4410	0,0515	2658	2856	0,0745
20:30-20:40	4020	4074	0,0134	4467	4218	-0,0557	3432	3522	0,0262	4050	4098	0,0119	4182	4254	0,0172	4212	4320	0,0256	4302	4344	0,0098	2664	2814	0,0563
20:40-20:50	3948	3912	-0,0091	4092	3852	-0,0587	3234	3342	0,0334	4041	4062	0,0052	4092	4050	-0,0103	3771	3702	-0,0183	3696	3822	0,0341	2334	2340	0,0026
20:50-21:00	3576	3606	0,0084	3630	3726	0,0264	2874	2958	0,0292	3345	3432	0,0260	3516	3510	-0,0017	3366	3378	0,0036	3384	3480	0,0284	2442	2412	-0,0123
Detektör Sapma Oranı Ortalaması (16:20-21:00)	0,0324			0,0545			0,0512			0,0573			0,0571			0,0419			0,0719			0,0718		
Tüm Detektörlerin Ortalama Sapma Oranı	0,0547																							

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

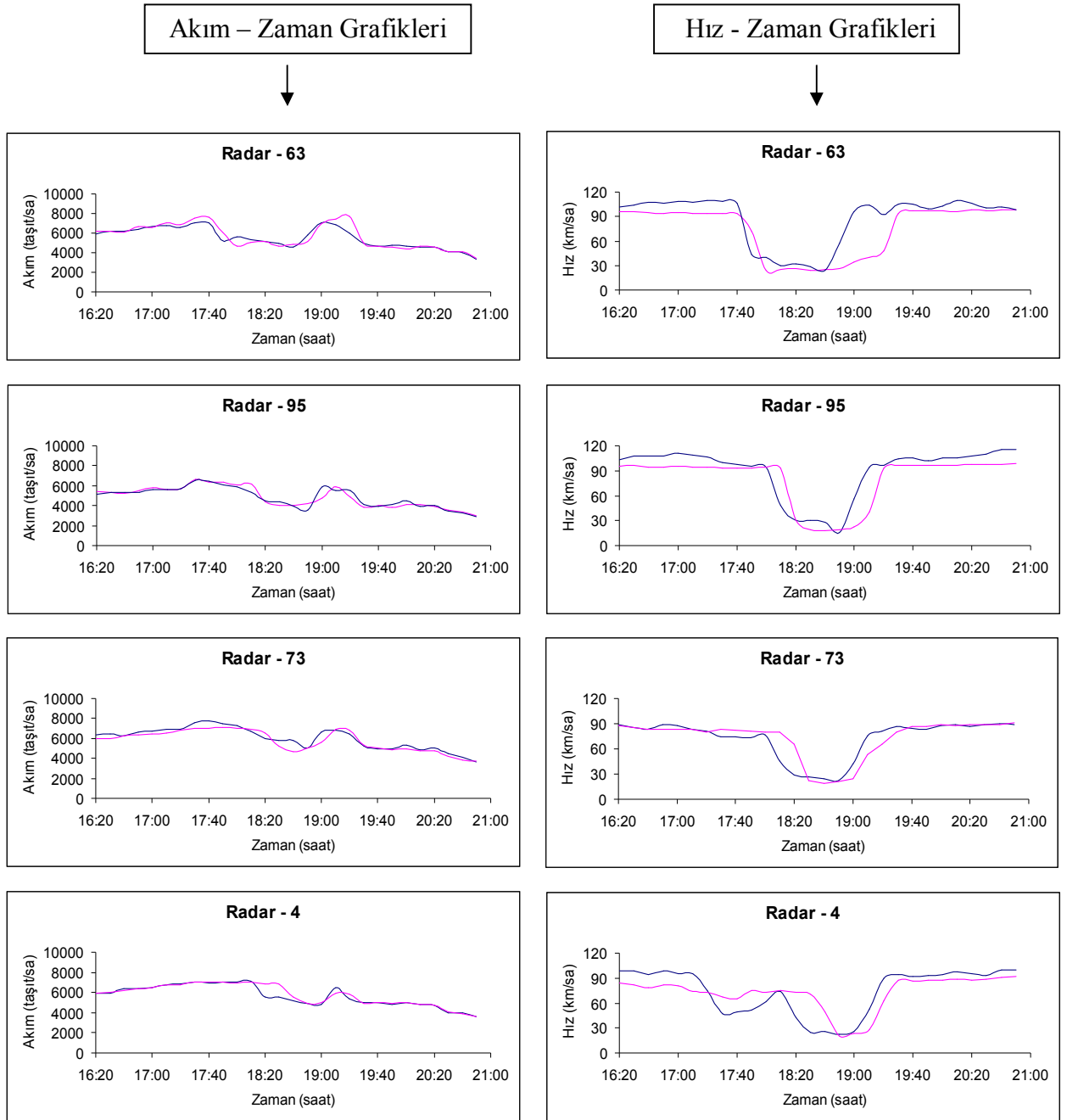
Rtms No	4			73			95			63			61			92			154			153		
Saat	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı
16:20-16:30	98	84	-0,1391	89	87	-0,0174	103	96	-0,0693	102	96	-0,0630	91	89	-0,0199	106	93	-0,1259	98	91	-0,0738	99	98	-0,0061
16:30-16:40	98	82	-0,1611	86	86	-0,0003	108	96	-0,1108	104	96	-0,0809	89	90	0,0116	102	93	-0,0880	97	91	-0,0587	99	99	0,0034
16:40-16:50	95	79	-0,1699	84	84	-0,0039	107	95	-0,1163	107	95	-0,1089	87	89	0,0205	108	93	-0,1380	101	91	-0,1026	101	98	-0,0298
16:50-17:00	98	81	-0,1695	89	84	-0,0599	108	95	-0,1233	106	94	-0,1113	89	88	-0,0091	106	89	-0,1649	97	90	-0,0739	99	97	-0,0252
17:00-17:10	96	81	-0,1541	88	83	-0,0571	111	95	-0,1421	109	95	-0,1246	88	89	0,0065	97	91	-0,0609	94	89	-0,0490	98	97	-0,0089
17:10-17:20	95	74	-0,2181	84	83	-0,0145	109	95	-0,1326	107	94	-0,1239	87	87	-0,0035	100	91	-0,0930	94	89	-0,0498	101	96	-0,0468
17:20-17:30	75	72	-0,0338	81	80	-0,0069	107	94	-0,1183	109	94	-0,1356	85	88	0,0358	54	59	0,0951	99	92	-0,0704	99	97	-0,0177
17:30-17:40	47	68	0,4424	75	83	0,1061	100	93	-0,0699	109	94	-0,1402	86	88	0,0191	58	62	0,0645	80	86	0,0811	101	98	-0,0311
17:40-17:50	49	65	0,3213	75	82	0,0946	98	93	-0,0522	106	94	-0,1138	53	59	0,1073	64	58	-0,0866	73	82	0,1225	96	98	0,0212
17:50-18:00	52	75	0,4513	73	81	0,1088	96	93	-0,0310	44	72	0,6467	38	21	-0,4593	54	56	0,0411	75	77	0,0221	98	98	0,0027
18:00-18:10	62	73	0,1735	77	80	0,0379	94	94	0,0024	40	24	-0,3996	29	24	-0,1587	54	56	0,0443	72	78	0,0885	100	99	-0,0133
18:10-18:20	74	75	0,0093	46	80	0,7334	49	93	0,9044	30	25	-0,1621	30	27	-0,1011	45	54	0,2075	68	62	-0,0919	100	98	-0,0244
18:20-18:30	42	73	0,7407	29	66	1,2695	31	31	-0,0119	32	26	-0,1798	26	23	-0,1206	48	53	0,0966	72	82	0,1337	100	99	-0,0147
18:30-18:40	24	71	1,9558	27	22	-0,1839	30	19	-0,3665	29	24	-0,1645	21	25	0,1779	63	66	0,0506	92	89	-0,0280	93	98	0,0523
18:40-18:50	26	50	0,9054	24	19	-0,2257	28	17	-0,3769	24	26	0,0668	24	28	0,1464	59	75	0,2788	88	89	0,0123	94	98	0,0373
18:50-19:00	23	20	-0,1267	22	21	-0,0604	16	19	0,2056	57	26	-0,5453	64	33	-0,4802	48	63	0,3053	85	79	-0,0733	99	97	-0,0189
19:00-19:10	26	23	-0,1148	42	25	-0,4103	56	22	-0,6085	96	35	-0,6375	73	49	-0,3295	56	78	0,3900	84	75	-0,1124	100	95	-0,0487
19:10-19:20	53	28	-0,4724	75	53	-0,2934	94	41	-0,5673	104	40	-0,6172	50	74	0,4732	50	71	0,4189	84	78	-0,0689	97	97	-0,0010
19:20-19:30	90	63	-0,2990	81	66	-0,1878	97	93	-0,0461	93	49	-0,4780	74	64	-0,1352	50	56	0,1210	83	68	-0,1813	99	97	-0,0215
19:30-19:40	94	88	-0,0670	86	80	-0,0680	105	97	-0,0798	105	93	-0,1124	91	61	-0,3305	47	58	0,2274	84	81	-0,0339	103	97	-0,0617
19:40-19:50	92	87	-0,0578	85	87	0,0185	105	96	-0,0854	105	97	-0,0733	95	90	-0,0532	57	63	0,1128	85	81	-0,0413	101	96	-0,0468
19:50-20:00	93	87	-0,0639	84	86	0,0267	102	97	-0,0520	99	97	-0,0179	92	90	-0,0215	106	96	-0,0905	94	91	-0,0317	99	97	-0,0189
20:00-20:10	95	88	-0,0783	87	89	0,0195	106	97	-0,0873	103	97	-0,0616	94	90	-0,0433	109	96	-0,1178	97	92	-0,0533	107	98	-0,0852
20:10-20:20	98	89	-0,0939	89	88	-0,0089	105	97	-0,0773	109	96	-0,1172	95	90	-0,0484	109	97	-0,1060	97	94	-0,0307	107	99	-0,0766
20:20-20:30	95	88	-0,0757	87	88	0,0160	108	97	-0,0982	106	98	-0,0757	96	91	-0,0550	109	98	-0,1008	97	94	-0,0357	103	100	-0,0326
20:30-20:40	94	89	-0,0554	89	89	0,0012	110	97	-0,1178	101	97	-0,0433	96	90	-0,0660	111	97	-0,1222	97	93	-0,0381	105	100	-0,0510
20:40-20:50	100	90	-0,0964	90	89	-0,0108	115	98	-0,1476	102	98	-0,0406	98	91	-0,0687	110	98	-0,1105	95	94	-0,0088	103	99	-0,0427
20:50-21:00	100	92	-0,0828	89	92	0,0283	116	99	-0,1475	98	99	0,0072	96	91	-0,0497	111	98	-0,1134	100	94	-0,0572	103	100	-0,0334
Detektör Sapma Oranı Ortalaması (16:20-21:00)	0,2760			0,1450			0,1767			0,1943			0,1164			0,1419			0,0652			0,0312		
Tüm Detektörlerin Ortalama Sapma Oranı	0,1434																							

Çizelge 6.17 Saha ve simülasyon hız (km/sa)-akım (taş/sa) değerlerinin karşılaştırılması (Avrupa-Asya yönü)

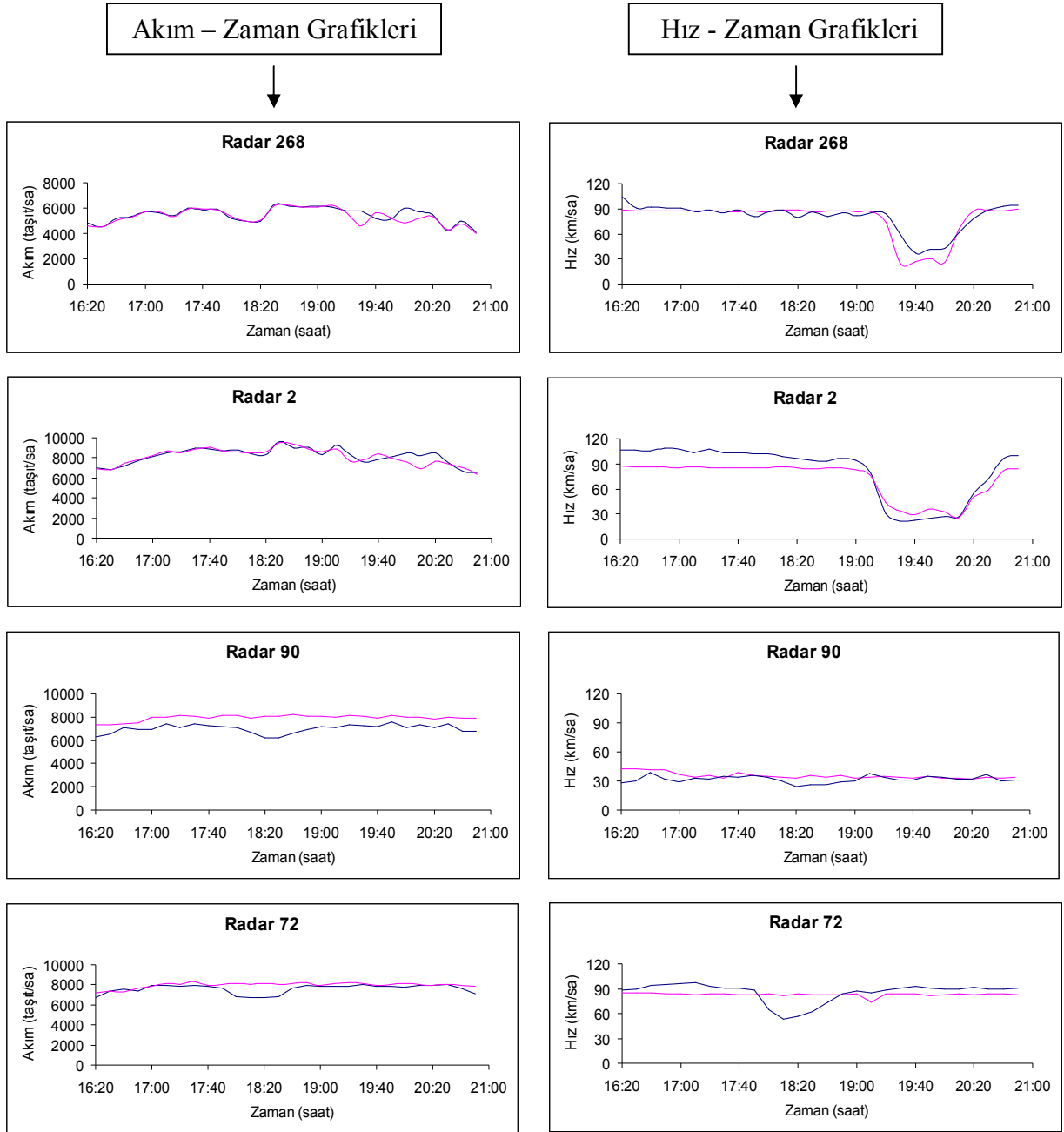
Rtms No	268			2			90			72			268			2			90			72		
	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı	Saha	Siml.	Sapma oranı
16:20-16:30	104	89	-0,1464	106	87	-0,1820	28	42	0,5163	88	85	-0,0396	4806	4560	-0,0512	7014	6870	-0,0205	6306	7320	0,1608	6752	7212	0,0681
16:30-16:40	91	88	-0,0419	107	86	-0,1941	30	42	0,4208	89	85	-0,0468	4488	4506	0,0040	6798	6834	0,0053	6527	7344	0,1252	7352	7368	0,0022
16:40-16:50	92	88	-0,0442	105	86	-0,1824	39	41	0,0735	94	85	-0,0994	5184	5070	-0,0220	7218	7494	0,0382	7065	7404	0,0480	7559	7332	-0,0300
16:50-17:00	91	88	-0,0364	109	87	-0,2008	32	42	0,3094	95	84	-0,1154	5334	5274	-0,0112	7758	7812	0,0070	6951	7512	0,0807	7417	7650	0,0314
17:00-17:10	91	87	-0,0428	107	86	-0,2022	29	36	0,2357	96	83	-0,1326	5670	5718	0,0085	8100	8256	0,0193	6948	7944	0,1434	7954	7806	-0,0186
17:10-17:20	86	87	0,0114	104	86	-0,1717	33	34	0,0422	97	82	-0,1514	5652	5676	0,0042	8514	8694	0,0211	7455	7998	0,0728	7951	8094	0,0180
17:20-17:30	88	87	-0,0080	108	85	-0,2101	32	36	0,1364	93	84	-0,1007	5412	5352	-0,0111	8586	8508	-0,0091	7074	8142	0,1510	7835	8052	0,0277
17:30-17:40	85	87	0,0229	104	85	-0,1779	35	33	-0,0451	91	84	-0,0773	6024	5910	-0,0189	8988	8832	-0,0174	7437	8070	0,0851	7898	8286	0,0491
17:40-17:50	89	86	-0,0307	103	85	-0,1751	33	38	0,1454	91	83	-0,0887	5886	5922	0,0061	8880	9048	0,0189	7278	7896	0,0849	7890	7968	0,0099
17:50-18:00	81	88	0,0787	102	85	-0,1640	36	35	-0,0223	88	83	-0,0589	5952	5844	-0,0181	8664	8724	0,0069	7188	8130	0,1311	7675	8052	0,0491
18:00-18:10	87	86	-0,0028	102	85	-0,1606	33	35	0,0505	64	84	0,3172	5202	5310	0,0208	8784	8640	-0,0164	7122	8112	0,1390	6806	8112	0,1919
18:10-18:20	88	88	-0,0028	99	86	-0,1266	30	34	0,1183	53	82	0,5402	4938	4968	0,0061	8436	8472	0,0043	6696	7938	0,1855	6706	8046	0,1998
18:20-18:30	80	89	0,1196	97	85	-0,1149	24	33	0,3969	57	84	0,4748	4974	5004	0,0060	8358	8598	0,0287	6234	8028	0,2878	6730	8100	0,2036
18:30-18:40	86	87	0,0101	94	84	-0,1058	27	35	0,3313	62	82	0,3294	6324	6192	-0,0209	9594	9510	-0,0088	6207	8064	0,2992	6830	8052	0,1789
18:40-18:50	80	87	0,0818	93	85	-0,0880	26	34	0,2825	74	83	0,1209	6150	6216	0,0107	9012	9366	0,0393	6573	8190	0,2460	7693	8148	0,0591
18:50-19:00	86	87	0,0169	96	85	-0,1151	29	35	0,2156	84	83	-0,0126	6054	6042	-0,0020	9060	8832	-0,0252	6960	8034	0,1543	7912	8190	0,0351
19:00-19:10	82	86	0,0490	94	83	-0,1140	30	33	0,1003	87	83	-0,0388	6126	6108	-0,0029	8304	8604	0,0361	7185	8076	0,1240	7884	7962	0,0099
19:10-19:20	85	87	0,0162	80	76	-0,0490	38	34	-0,1072	85	74	-0,1324	6090	6198	0,0177	9228	8922	-0,0332	7134	7968	0,1169	7818	8166	0,0445
19:20-19:30	85	74	-0,1311	30	44	0,4537	34	34	0,0124	88	83	-0,0520	5790	5604	-0,0321	8304	7692	-0,0737	7377	8154	0,1053	7811	8226	0,0531
19:30-19:40	60	25	-0,5847	21	34	0,6088	31	34	0,0945	91	84	-0,0744	5784	4626	-0,2002	7572	7866	0,0388	7221	8070	0,1176	8003	8118	0,0144
19:40-19:50	37	27	-0,2643	23	29	0,2801	31	33	0,0392	93	83	-0,1034	5178	5622	0,0857	7866	8442	0,0732	7182	7938	0,1053	7896	7956	0,0076
19:50-20:00	41	31	-0,2535	25	36	0,4628	35	35	-0,0103	91	81	-0,1072	5112	5226	0,0223	8154	7902	-0,0309	7542	8118	0,0764	7819	8064	0,0313
20:00-20:10	42	26	-0,3856	27	32	0,1744	34	33	-0,0363	90	82	-0,0843	5988	4836	-0,1924	8514	7608	-0,1064	7122	7974	0,1196	7727	8148	0,0545
20:10-20:20	61	67	0,0835	27	26	-0,0142	32	33	0,0269	90	84	-0,0717	5670	5190	-0,0847	8202	6894	-0,1595	7311	7980	0,0915	7973	8070	0,0122
20:20-20:30	79	87	0,1041	55	51	-0,0762	32	32	-0,0114	92	82	-0,1061	5484	5334	-0,0274	8466	7632	-0,0985	7122	7818	0,0977	7950	7956	0,0008
20:30-20:40	88	88	0,0002	71	58	-0,1908	37	34	-0,0819	90	84	-0,0658	4224	4278	0,0128	7446	7350	-0,0129	7407	7992	0,0790	8039	8052	0,0016
20:40-20:50	94	88	-0,0601	96	82	-0,1450	30	33	0,0819	90	84	-0,0644	4938	4716	-0,0450	6660	7050	0,0586	6792	7878	0,1599	7688	7914	0,0294
20:50-21:00	94	89	-0,0532	100	84	-0,1577	31	34	0,1059	91	82	-0,0949	4062	4026	-0,0089	6534	6336	-0,0303	6792	7938	0,1687	7102	7896	0,1118
Detektör Sapma Oranı Ortalaması (16:20-21:00)	0,0950		0,1892			0,1222			0,1322			0,0341			0,0551			0,1342			0,0364			
Tüm Detektörlerin Ortalama Sapma Oranı	0,1347						0,0419 (268, 2 ve 72 nolu radarlar)																	



Şekil 6.27 Saha ve simülasyon verilerine ait akım ve hız eğrileri (Asya-Avrupa yönü)



Şekil 6.27 Saha ve simülasyon verilerine ait akım ve hız eğrileri (Asya -Avrupa yönü)-devam



Şekil 6.28 Saha ve simülasyon verilerine ait akım ve hız eğrileri (Avrupa-Asya yönü)

Çizelge 6.18'de simülasyonda elde edilen gişe çıkış hacimleri saha verileriyle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.18 Gişelerden çıkış yapan taşıt sayıları

Saat aralığı	Saha (taşıtl)	Simülasyon (taşıtl)	Sapma oranı
16:20-17:00	5328	5082	-0,0462
17:00-18:00	9251	9060	-0,0206
18:00-19:00	8494	8988	0,0582
19:00-20:00	8415	8180	-0,0279
20:00-21:00	8021	7971	-0,0062

Sahada ve simülasyonda elde edilen her iki yönde ait akım ve hız eğrileri genel olarak benzerlik göstermektedir. Yapılan saha gözlemlerinde, 90 nolu radarın bulunduğu kesitte (gişe sahası çıkışı-anayola bağlantı noktası), sürücülerin dört şeritlik anayola ilave olarak emniyet şeridini de kullandıkları tespit edilmiştir. Dolayısıyla 90 nolu radardan elde edilen dört şeride ait akım değerleri kalibrasyon aşamasında ve hata oranlarının hesaplanmasında kullanılmamıştır.

Saha ve simülasyon verileri arasındaki hata oranı (mutlak değerde toplam ortalama hata), Asya-Avrupa yönü için hacimlerde %5,5, hızlarda %14,3, aynı değerler Avrupa-Asya yönünde ise %4,2 ve %13,5'dür. Simülasyon çalışmasında küçük hata oranları istenir, ancak bunları elde etmek genellikle çok zordur. Bunun nedeni, incelenen zaman diliminde trafik akışını etkileyen bir çok durumun (yolda oluşabilecek aksaklıklar, sürücü davranışları gibi) mevcut olanaklar dahilinde tespit edilebildiği kadarının modele yansıtılabildiği olmasıdır. Kalibrasyon için daha fazla zaman ayrılarak gerçeğe daha yakın bir model elde edilebilir.

6.7. Alternatif Analizi ve Senaryo Oluşturulması

Mevcut durumun yansıtıldığı her iki yöne ait modellerin kalibrasyon aşaması bitirildikten sonra, yapılan çalışmanın amacına uygun olarak, akşam saatindeki ek şerit uygulamasının verimliliğinin araştırılmasına yönelik senaryolar üretilmiştir. Bu senaryolar aşağıda sıralanmıştır:

1. Saat 17:30-18:25 arasında ek şerit uygulaması var (mevcut durum).
 2. Ek şerit uygulaması yok.
 3. Saat 17:00-18:25 arasında ek şerit uygulaması var.
 4. Saat 18:00-19:25 arasında ek şerit uygulaması var.
1. senaryo mevcut durumu yansıtmaktadır. 2. senaryoda, ek şerit uygulamasının yapılmadığı, 3. senaryoda ek şeridin hizmete girişi 30 dakika öne alınarak saat 17:00-18:25 arasında uygulanması durumu ve 4. senaryoda ise ek şeridin hizmete girişi 30 dakika ileri alınarak saat 18:00-19:25 arasında uygulanması durumu varsayılmış, oluşturulan bu dört senaryo trafiğin iki yönü için oluşturulan her iki modelde simüle edilmiştir.

6.8. Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Belirlenen senaryoların simülasyon sonuçları çeşitli etkinlik ölçütleri bazında elde edilmiştir. Alınan tüm sonuçlar, farklı başlangıç(tohum) sayılar (seed numbers) kullanılarak oluşturulan

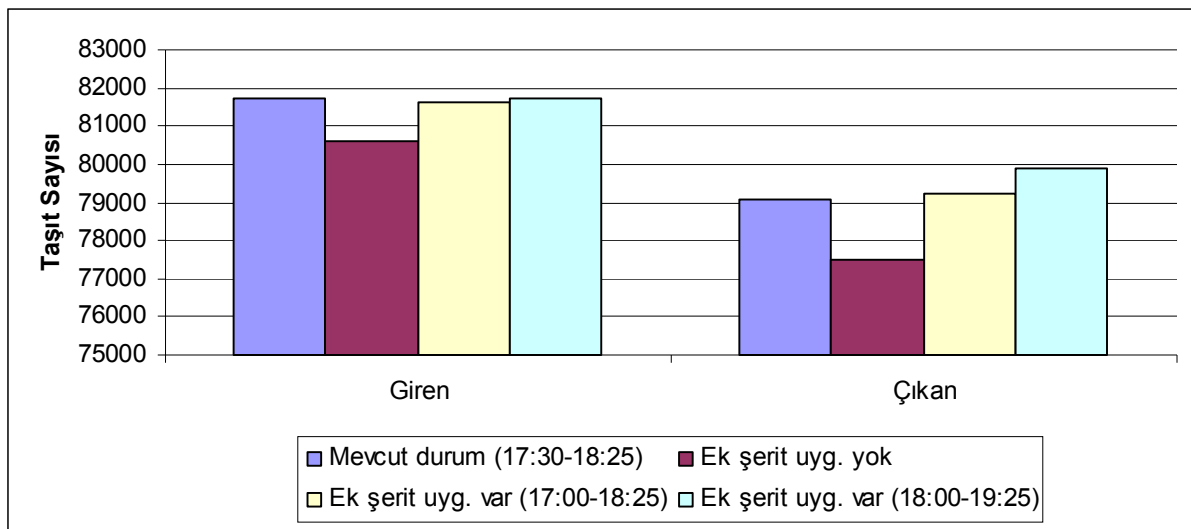
rasgele değişkenlerle modelin tekrarlı olarak 10 defa çalıştırılmasından elde edilen ortalama değerlerdir.

Çizelge 6.18'de saat 16:20-21:00 arası zaman dilimi için yapılan simülasyon sonucunda sisteme giren ve çıkan toplam taşıt sayıları verilmektedir. Bu değerler, sisteme giriş ve sistemden çıkış yapılan bağlar üzerinde tanımlanan detektörlerden alınmıştır.

Çizelge 6.18 Simülasyon sonu itibarıyla sisteme giriş ve çıkış yapan toplam taşıt sayıları

		Mevcut durum (17:30-18:25)	Ek şerit uyg. yok	Ek şerit uyg. var (17:00-18:25)	Ek şerit uyg. var (18:00-19:25)
Asya-Avrupa Yönü	Giren	36487	36484	36464	36485
	Çıkan	36333	36320	36320	36334
Avrupa-Asya Yönü	Giren	45243	44099	45165	45234
	Çıkan	42725	41199	42895	43540
TOPLAM	Giren	81730	80583	81629	81719
	Çıkan	79058	77519	79216	79873

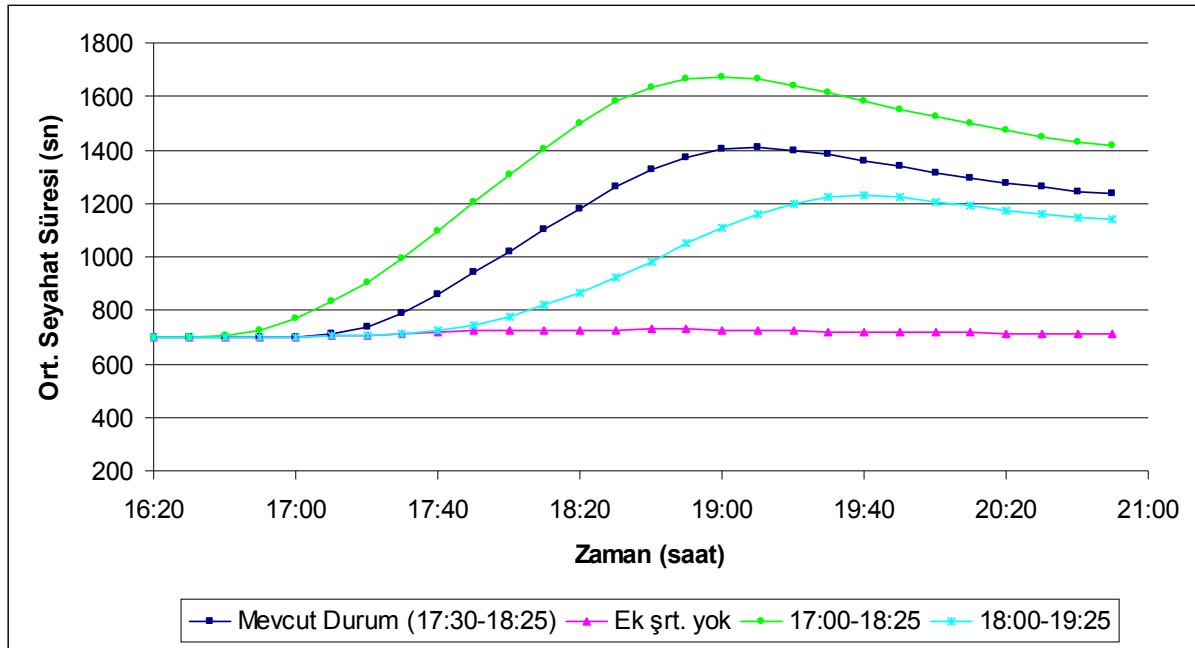
Şekil 6.29 referans alınarak oluşturulan dört senaryo karşılaştırıldığında, mevcut duruma göre ek şerit uygulaması yapılmadığı durumda sisteme (her iki yönün toplamı) giren ve çıkan taşıt sayısında sırasıyla %1,4 ve %1,9 azalma olmuştur. Ek şerit uygulamasının yapıldığı senaryolarda ise sisteme giren toplam taşıt sayıları hemen hemen aynı, saat 18:00-19:25 arası yapılan ek şerit uygulaması durumunda, sistemden çıkan toplam taşıt sayısı mevcut duruma göre %1 artış göstermiştir.



Şekil 6.29 Sisteme giren ve çıkan toplam taşıt sayılarının senaryo bazında karşılaştırılması

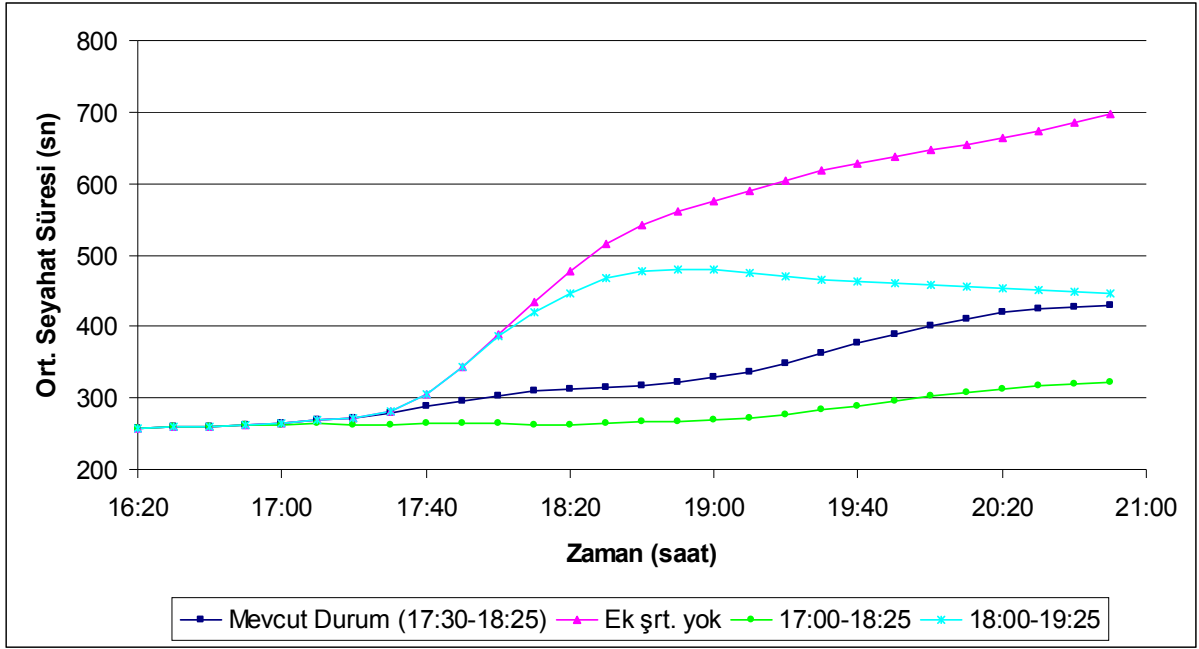
Başlangıç-son noktası Asya-Avrupa yönünde Kozyatağı Kavşağı- Harp Akademileri Kavşağı, Avrupa-Asya yönünde ise Harp Akademileri Kavşağı-FSM Köprüsü çıkışı (72 nolu radarın 350 m akım aşağısı) olmak üzere her iki yöne ait ortalama yolculuk süresi grafikleri dört senaryo için sırasıyla Şekil 6.30 ve 6.31’de verilmektedir.

Şekil 6.30’da görüldüğü üzere (Asya-Avrupa yönü), ek şerit uygulaması yapılmadığı durumda taşıt başına ortalama yolculuk süresi (yaklaşık 716 sn/11,9 dak.) simülasyon süresince neredeyse sabit kalmaktadır. Bu, Asya-Avrupa yönü trafiğinin serbest akım koşullarında olduğunu ve kuyruklanmanın oluşmadığını göstermektedir. Ek şerit uygulamasının yapıldığı senaryolara ait yolculuk süresi eğrileri incelendiğinde, serbest akım koşullarında (simülasyon başlangıcında), ortalama yolculuk süreleri üç durum için de yaklaşık 700 sn. (11,5 dak.) iken, zorlamalı akım koşullarında mevcut durumda 1408 sn. (23,5 dak.), saat 17:00-18:25 arası ek şerit uygulaması durumunda 1672 sn. (27,9 dak.) ve saat 18:00-19:25 arası ek şerit uygulaması durumunda ise 1232 sn. (20,5 dak.) olmaktadır.



Şekil 6.30 Başlangıç/son noktaları arası ortalama yolculuk süreleri (Asya-Avrupa yönü)

Saat 17:00-18:25 arasında yapılan ek şerit uygulaması (ek şeridin **mevcut duruma göre** 30 dak. önce hizmete girmesi) Asya-Avrupa yönü yolculuk sürelerinde artışa neden olurken, uygulama saat 18:00-19:25 arasında yapıldığında yolculuk süresinde azalma olduğu görülmektedir (Şekil 6.30).



Şekil 6.31 Başlangıç/son noktaları arası ortalama yolculuk süreleri (Avrupa-Asya yönü)

Avrupa-Asya yönündeki ortalama yolculuk sürelerine bakıldığında (Şekil 6.31), ek şeridin 30 dak. önce hizmete girerek saat 17:00-18:25 arasında uygulanması en iyi sonucu vermektedir. Gişe sahası çıkışındaki darboğaz etkisi, ek şeridin 30 dak. önce hizmete girmesiyle azalmakta, kuyruğun gişe önlerine ulaşmasını geciktirmektedir. Serbest akım koşullarında ortalama yolculuk süreleri dört durum içinde yaklaşık 265 sn. (4,5 dak.) iken, zorlamalı akım koşullarında, mevcut durumda 430 sn. (7 dak.), ek şerit uygulaması yapılmadığı durumda 697 (11,5 dak.), saat 17:00-18:25 arası ek şerit uygulaması durumunda 322 sn. (5,4 dak.) ve saat 18:00-19:25 arası ek şerit uygulaması durumunda ise 479 sn. (8 dak.) olmaktadır.

Simülasyon sonunda elde edilen ve sistem bazında (her iki yönün toplamı) değerlendirilen çeşitli etkinlik ölçütleri Çizelge 6.19'da verilmektedir. Çizelge 6.20'de ise Çizelge 6.19'da verilen değerler dikkate alınarak üç senaryo durumu, mevcut durumla karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.19 Senaryolara ait etkinlik ölçütleri

	Mevcut durum (17:30-18:25)	Ek şerit yok	Ek şerit var (17:00-18:25)	Ek şerit var (18:00-19:25)
Toplam yolculuk süresi (taşıt-dak.)	1016060,68	861923,12	1005762,45	919723,80
Toplam kat edilen yol (taşıt-km)	724343,56	711725,44	725242,74	727079,43
Ortalama hız (km/saat)	42,77	49,54	43,27	47,43
Toplam yakıt tüketimi (litre)	144093,72	123680,44	145043,82	135900,66
Salınım CO (kg/km-sa)	20,08	19,68	20,26	19,97
Salınım HC (kg/km-saat)	0,94	0,92	0,95	0,93
Salınım NOx (kg/km-saat)	2,35	2,29	2,38	2,33

Çizelge 6.20 Senaryoların mevcut durumla karşılaştırılması

	Ek şerit yok		Ek şerit var (17:00-18:25)		Ek şerit var (18:00-19:25)	
	Değişim oranı (%)	Fayda	Değişim oranı (%)	Fayda	Değişim oranı (%)	Fayda
Toplam yolculuk süresi	-15,17	yarar	-1,01	yarar	-9,48	yarar
Toplam kat edilen yol	-1,74	zarar	0,12	yarar	0,38	yarar
Ortalama hız	15,83	yarar	1,15	yarar	10,89	yarar
Toplam yakıt tüketimi	-14,17	yarar	0,66	zarar	-5,69	yarar
Salınım CO	-2,01	yarar	0,92	zarar	-0,53	yarar
Salınım HC	-2,35	yarar	1,42	zarar	-0,93	yarar
Salınım NOx	-2,64	yarar	1,36	zarar	-1,04	yarar

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada şerit yönetimi türlerinde biri olan ek şerit uygulaması, FSM Köprüsü (O-2 Otoyolu) örneği ele alınarak incelenmiştir. Oluşturulan simülasyon modeliyle akşam saatlerinde FSM Köprüsü'ndeki ek şerit uygulamasının her iki yöndeki trafiğe olan etkilerinin analizi yapılarak mevcut durum ortaya konmuş ve model üzerinde geliştirilen senaryolarla karşılaştırılarak verimliliği incelenmiştir.

Simülasyon uygulamasıyla (sistem bazında) elde edilen sonuçlar mevcut durumla kıyaslandığında:

- Ek şerit uygulamasının yapılmadığı durumda, toplam yolculuk süresinde %15,17 azalma, ortalama hızlarda %15,83 artış, toplam yakıt tüketiminde %14,17 azalma,
- Ek şerit uygulamasının saat 17:00-18:25 arasında yapıldığı durumda, toplam yolculuk süresinde %1,01 azalma, ortalama hızlarda %1,15 artış, toplam yakıt tüketiminde %0,66 artış,
- Ek şerit uygulamasının saat 18:00-19:25 arasında yapıldığı durumda, toplam yolculuk süresinde %9,48 azalma, ortalama hızlarda %10,89 artış, toplam yakıt tüketiminde %5,69 azalma görülmüştür.

Senaryo denemelerinin sonuçlarına göre ek şerit uygulamasının verimliliği, hizmet verdiği saat aralığına bağlı olarak değişim göstermektedir. Fakat en iyi sonuçlar ek şerit uygulaması yapılmadığı durumda elde edilmiştir.

Avrupa - Asya yönündeki trafik akışı için ek şerit uygulamasının yararsız olduğunu söylemek elde edilen sonuçlara göre mümkün değildir. Fakat bu uygulamanın Asya-Avrupa yönü trafiğine verdiği zarar (maliyet), Avrupa - Asya yönüne sağladığı yarardan (faydadan) daha fazladır. Ek şerit uygulamasının farklı saat aralıkları için yapıldığı durum senaryoları sistem bazında değerlendirildiğinde, sonuçların, ek şerit uygulamasının yapılmadığı duruma göre daha az yarar sağladığı görülmektedir. Dolayısıyla ek şerit uygulamasının sistem performansını düşürdüğü söylenebilmektedir. Bunun temel nedeni, her iki yöndeki trafik hacim oranlarının ek şerit uygulamasının tam anlamıyla verimli olabilmesini sağlayacak değerlerde olmamasıdır (1,5:1 - Avrupa-Asya yönü:Asya-Avrupa yönü).

Ek şeridin açılma/kapatılma zamanlarının (hizmet süresi), uygulamanın verimliliği açısından önemli olduğu simülasyon sonuçlarından anlaşılmaktadır. Ek şerit uygulamasının yapılacağı saat aralığının kararı, yetkili kurum tarafından, yoldaki trafik koşullarının anlık durumu hakkında edinilen bilgi ve uzun yıllar boyunca yapılan saha gözlemlerinin sağlamış olduğu

deneyimler doğrultusunda verilmektedir. Bu kararların sahada uygulanmasından önce simülasyon ortamında denenmesi kayıpları daha aza indirebilecektir. Bu da her iki yönün trafik durumuna ait daha kapsamlı veriler elde edilerek ve daha iyi kalibre edilmiş bir modelle mümkün olmaktadır.

Yapılan simülasyon uygulamasında, modelin oluşturulması işlemi ve kalibrasyonu, bir güne ait trafik talep verileri kullanılarak yapılmıştır. Farklı birkaç güne ait trafik verilerinin modelde denenmesiyle ve kalibrasyona daha fazla zaman ayrılmasıyla gerçeğe daha yakın bir model elde edilebilir. Böylece, sorunların çözümüne yönelik geliştirilen senaryolar model üzerinde denenerek daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilecek ve saha uygulamasında alınacak kararlara yardımcı olabilecektir.

KAYNAKLAR

Akyıldız, G., (2003), Boğaziçi Köprüsü Gişe Sahasındaki Trafik Akımlarının Gözlenen Özellikleri , Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).

Banks, H., (2002), Introduction to Transportation Engineering, McGraw Hill, Boston.

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

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

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.

Federal Highway Administration, (2003), Freeway Management and Operations Handbook, FHWA-OP-04-003, Washington DC, USA

Federal Highway Administration ve Hennepin County, (2003), Advance CORSIM Training Manual: Final Corsim Manual 9-19-09.doc, Minnesota Department of Transportation, Yayın No : FHWA-HOP-07-079, Washington, D.C.

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

Lathrop, W.H., (1972), Reversible Roadway Controls, Traffic Quarterly, Vol. 26, No. 1, pp. 133–147.

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. ve 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

National Academy of Sciences, National Research Council, (1965), Highway Capacity Manual, Yolların Kapasitesi, (1975), Çev. C. Yalgın, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, 219, Ankara.

National Cooperative Highway Research Program, (2004), Convertible Roadways and Lanes, Synthesis 340, Washington DC, USA.

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.

Şahin, İ., (2006), Trafik Akım Kuramı, Basılmamış Ders Notları, YTÜ, İstanbul.

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.

Tarko, A.P., (2003), Highway Traffic Operations. In The Civil Engineering Handbook, Second Edition, Ed. W.F. Chen and J.Y. Richard Liew, CRC Press LLC.

Turan, F., (1992), Karayolunda Daralan Kesimin (Şişeboynu) Trafik Akışkanlığı Yönünden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).

Vandaele, N., Woensel T.V. ve Verbruggen, A., (2000), “A Queueing Based Traffic Flow Model”, Transportation Research, Part D, 5:2:121-135.

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

Wolshon, B. ve Lambert, L., (2006), “Planning and Operational Practices For Reversible Roadways” The Institute of Transportation Engineers (ITE) Journal.

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

[1] <http://www.trafiksimulasyon.net/>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	21.11.1980	
Doğum yeri	Trabzon	
Lise	1995-1999	Ayrancı Süper Lisesi
Lisans	2000-2005	Atılım Üniversitesi Mühendislik Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

2005-2006	Sezer İnşaat Ltd. Şti.
2006-2007	Endem İnşaat San. ve Tic. A.Ş
2008-Devam ediyor.	Ulaşım-Art Ltd. Şti.