

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KATILIM KONTROLÜ SİMÜLASYONU:
BOĞAZIÇI KÖPRÜSÜ VE ÇEVREYOLUNDA (O-1)
BİR UYGULAMA**

İnşaat Müh. ADNAN ZORER

**FBE İnşaat Müh. Anabilim Dalı Ulaştırma Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

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

İSTANBUL, 2003

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. TRAFİK AKIMININ BÜYÜKLÜKLERİ.....	2
2.1 Trafikle ilgili Büyüklüklerin Elde Edilmesi.....	3
2.1.1 Trafik Akımının Tek Bir Noktadan Yapılan Gözlemle Elde Edilmesi.....	3
2.1.2 İki Noktada Yapılacak Gözlem İle Elde Edilebilecek Büyüklükler.....	3
2.1.3 Yoğunluğun Elde Edilmesi.....	4
2.1.4 Hızın Elde Edilmesi.....	5
2.2 Hız – Hacim – Yoğunluk Büyüklüklerinin İkili İlişkileri.....	6
2.2.1 Hacim - Yoğunluk İlişkisi.....	6
2.2.2 Hız – Yoğunluk İlişkisi.....	6
2.2.3 Hız – Hacim İlişkisi.....	7
2.3 Hidrodinamik Kuram.....	8
2.4 Yığışımli Taşıtların Sayısı Eğrileri ve Basitleştirilmiş Trafik Akım Kuramı....	9
2.4.1 Yığışımli Taşıtların Sayısı Eğrilerinin Elde Edilmesi.....	9
2.4.2 Yığışımli Taşıtların Sayısı Eğrilerinin Ölçeklendirilmesi.....	12
2.4.3 Kinematik Dalga Hareketleri.....	13
3. OTOYOL YÖNETİMİ.....	16
3.1 Otoyol Yönetiminin Amaçları.....	16
3.2 Sıkışıklık ve Nedenleri.....	16
3.3 Otoyol Yönetim Türleri.....	18
4. KATILIMLARIN KONTROLÜ.....	21
4.1 Katılımların Anayola Etkileri.....	21
4.2 Katılım Kontrolünün Amacı.....	22
4.3 Katılım Kontrolünün Yaratabileceği Etkiler.....	23
4.4 Uygulanmasına Göre Katılım Stratejileri.....	23
4.4.1 Tek Şerit Her Yeşilde Bir Taşıtların Sayısı.....	23
4.4.2 Tek Şerit Her Yeşilde Çok Taşıtların Sayısı.....	23
4.4.3 Çift Şeritli Katılım.....	23
4.5 Katılım Kontrolü Türleri (modları).....	24

4.5.1	Önceden Zaman Ayarlı Kontrol.....	25
4.5.2	Yerel Uyarmalı Kontrol.....	25
4.5.3	Sistem Bazlı Kontrol.....	27
4.6	Kontrol Türünün Seçimini Etkileyen Faktörler.....	29
4.7	Katılım Kontrolü Geometrik Tasarımı.....	31
4.8	Katılım Kontrol Algoritmaları.....	32
4.8.1	Bölge (Zone) Algoritması.....	33
4.8.2	ALINEA (Asservissement Linéaire d'Entrée Auotrouitière).....	35
4.8.3	Yapay Sinir Ağıyla Yerel Kont. (Local Metering Using ANN).....	39
4.8.4	Yardımcı (Helper) Algoritma.....	39
4.8.5	Bağlı (Linked) Algoritma.....	40
4.8.6	Compass Algoritması.....	40
4.8.7	Darboğaz (Bottleneck) Algoritması.....	41
4.8.8	SWARM (System Wide Adaptive Ramp Metering).....	43
4.8.9	Sperry Katılım Kontrol Algoritması.....	45
4.8.10	Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Algoritması.....	45
4.8.11	Doğrusal (Linear) Programlama Algoritması.....	49
4.8.12	METALINE.....	51
4.8.13	Ball Aerospace/ FHWA algoritması.....	51
4.8.14	ARMS (Advanced Real-time Metering System).....	52
4.8.15	Yapay Sinir Ağları Kullanarak Koordineli Kontrol Algoritması (Coordinated metering using Artificial Neural Networks).....	53
4.8.16	Dinamik Katılım Kontrol Algoritması (Dynamic metering control).....	54
4.8.17	Tekrarlanmayan Tıkanıklıklar İçin Katılım Kontrol Modeli (Metering Model for Non-Recurrent Congestion).....	55
4.9	Algoritmaları Değerlendirme.....	55
5.	SİMÜLASYON MODELİ VE KATILIM KONTROLÜ UYGULAMASI.....	58
5.1	Trafik Sisteminin Simülasyonu.....	58
5.2	CORSIM (Corridor Simulation).....	59
5.3	Simülasyon Modelinin Yaratılması.....	60
5.3.1	Simülasyon Modeli İçin Verilerin Elde Edilmesi.....	60
5.3.2	Simülasyon Modeli Uygulaması.....	61
5.3.3	Simülasyon Modelinin Gerçek Koşullar İçin Ayarlanması.....	65
5.3.4	Simülasyonun Gerçek Koşullara Uygunluğunun Araştırılması.....	65
5.4	Simülasyon Modeli Üzerinde Katılım Kontrolü Uygulaması ve Sonuçları... 72	72
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	80
	KAYNAKLAR.....	82
EK1	İngilizce Kavramlar Listesi.....	84
	ÖZGEÇMİŞ.....	85

SİMGE LİSTESİ

A	Anayol akım yukarı hacmi (ölçümden)
A_i	Ağırlık faktörü
B	Akım aşağı darboğaz kapasitesi (sabit)
C	Yol kapasitesi
C_a	Anayol kapasitesi
C_h	Her yol kesimi için gerçek zamanlı kapasite
D_i	Katılım talebi
f_v	Frenleme katsayısı
F	Otoyoldan otoyola (eğer varsa) katılan hacim (kontrollü)
h	Katılımlar arası kesimler
h	Headway (taşıt takip aralığı)
i	Otoyol katılımları
k	Yoğunluk (taşıt/yol)
k	Kontrol yenileme periyodu (sn)
k_c	Kritik yoğunluk
k_j	En büyük yoğunluk
k_m	En büyük akımdaki yoğunluk
k_t	Tıkanıklık yoğunluğu
K_R	Ayarlanabilir düzenleme faktörü ($K_R > 0$)
L_i	İzin verilen en büyük kuyruk uzunluğu
M	Kontrol yapılmış katılımlardan gelen hacim (kontrollü)
n	Taşıtlar sayısı
N	Taşıtlar
N_i	Kuyruk uzunluğu
o_c	Önceden belirlenmiş maksimum kapasitede sağlanacak işgal (occupancy) yüzdesi
$o_{out}(k)$	Katılımın olduğu yerde ölçülen işgal yüzdesi (dedektör verilerinden hesaplanır)
q	Hacim (taşıtlar/km)
q_m	Yolun en büyük kapasitesi
q_o	Referans akım
Q_{hi}	Ayarlanabilir etki faktörü
$Q_i(t)$	Geciken taşıtlar sayısı
$r(k)$	k periyodundaki katılım kontrol oranı
$r(k-1)$	(k-1)'deki katılım kontrol oranı
S	Bölge içerisindeki işgal edilmemiş alan (ölçümden)
T	Sürücü reaksiyon süresi (sn)
T	Zaman
u	Hız (yol/zaman)
u_m	En büyük akımdaki hız
u_s	Serbest hız
U	Kontrolün olmadığı katılımlardan gelen hacim (ölçümden)
U_i	Katılımlardan gelen akım
v	Trafik hızı (km/sa)
V_a	Anayol trafik hacmi
V_h	Her kesimde dedektörlerle elde edilen hız
V_k	Katılım trafik hacmi
V/C	Volume/Capacity
w	Dalga hızı
X	Ayrımlardan çıkan toplam hacim (ölçümden)
X	Durma mesafesi (m)

KISALTIMA LİSTESİ

AASHTO	American Association of State Highway Transportation Officials
ALINEA	Asservissement Linéaire d'Entrée Auotroutière
ARMS	Advanced Real-time Metering System
AS	Average Speed
BKKO	Bölgesel Katılım Kontrol Oranı
D/C	Demand/Capacity
DKKO	Darboğaz Katılım Kontrol Oranı
FHWA	Federal Highway Administration
FIFO	First In First Out
HOV	High Occupancy Volume
KKO	Katılım Kontrol Oranı
MTT	Miles Traversed Total
O-D	Origin-Destination
SWARM	System Wide Adaptive Ramp Metering
TTT	Travel Time Total

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Zamana bağlı yığışimli taşıt grafiği..... 3
Şekil 2.2	Yukarı akım ve aşağı akım yığışimli taşıt sayısı grafiği..... 3
Şekil 2.3	Kaydırılmış yığışimli taşıt eğrisi..... 4
Şekil 2.4	Mesafeye bağlı yığışimli taşıt grafiği..... 5
Şekil 2.5	Film karelerinden yol-zaman eğrilerinin çıkartılması..... 5
Şekil 2.6	Hacim – Yoğunluk ilişkisi..... 6
Şekil 2.7	Hız – Yoğunluk ilişkisi..... 6
Şekil 2.8	Hız – Hacim ilişkisi..... 7
Şekil 2.9	Hız, Hacim Yoğunluk arasındaki ilişkiler..... 7
Şekil 2.10	İki farklı trafik durumu arasındaki arayüzün hızı..... 9
Şekil 2.11	Yığışimli sayım eğrisi ve yumuşatılmış yaklaşımları..... 10
Şekil 2.12	İki kesitteki yığışimli akım..... 10
Şekil 2.13	Kaydırılmış yığışimli taşıt sayısı eğrileri..... 11
Şekil 2.14	Ölçeklendirilmiş ve ölçeklendirilmemiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri..... 12
Şekil 2.15	Akım ve yoğunluk arasındaki ilişkiler..... 13
Şekil 2.16	Yığışimli taşıt sayısı eğrileri ve dalga hareketleri 15
Şekil 3.1	İnternet üzerinde gerçek zamanlı bir trafik haritası 20
Şekil 4.1	Yol geometrisinden (a) ve katılımdan (b) kaynaklanan darboğaz etkisi ... 22
Şekil 4.2	Katılım kontrol stratejilerinin kalitesi..... 24
Şekil 4.3	Önceden zaman ayarlı kontrol uygulaması..... 25
Şekil 4.4	Bölge bazlı kontrol uygulaması 26
Şekil 4.5	Yol kesimindeki dedektörler..... 27
Şekil 4.6	Sistem bazlı kontrol uygulaması..... 28
Şekil 4.7	Katılım kontrolü türlerinin genel çalışma prensipleri..... 29
Şekil 4.8	Katılım kontrolü geometrik tasarımı..... 31
Şekil 4.9	Katılım kontrolü algoritmalarının sınıflandırılması..... 33
Şekil 4.10	Bir otoyol bölgesi..... 33
Şekil 4.11	Örnek katılım kesimi..... 35
Şekil 4.12	ALINEA algoritmasıyla katılım kontrolü 36
Şekil 4.13	Paris’teki çevreyolu 38
Şekil 4.14	Darboğaz algoritması akış diyagramı..... 42
Şekil 4.15	SWARM tahmin işlemi..... 44
Şekil 4.16	SWARM algoritması akış diyagramı..... 44
Şekil 4.17	Fuzzy Algoritması girdi değerleri..... 46
Şekil 4.18	Fuzzy Algoritması çalışma yöntemi..... 47
Şekil 4.19	Hız, akım ve KKO üyelik dereceleri 48
Şekil 4.20	Kuralların uygulanması..... 49
Şekil 4.21	Ball Aerospace algoritması akış diyagramı..... 52
Şekil 4.22	ARMS algoritması akış diyagramı..... 53
Şekil 4.23	Yapay sinir ağlarıyla kontrol modeli işlem katmanları..... 54
Şekil 4.24	Saklı katmanın işlevi..... 54
Şekil 4.25	Dinamik katılım kontrol algoritması akış diyagramı..... 54
Şekil 4.26	Sistemde toplam harcanan zaman olarak algoritmaların kıyaslaması..... 56
Şekil 4.27	Koridorda kontrollü ve kontrolsüz şartlardaki hız değişimi..... 56
Şekil 4.28	Zirve saatlerinde kontrollü ve kontrolsüz şartlardaki kaza miktarları..... 57
Şekil 5.1	Simülasyon için kullanılan TISIS 5.1..... 59
Şekil 5.2	Sayım noktaları..... 60
Şekil 5.3	TISIS’in aracı TRAFED’de hazırlanmış yol ağı..... 61
Şekil 5.4	Yol ağı için kullanılan geometrik veriler (üstte) ve dedektör

	noktaları (altta).....	61
Şekil 5.5	Köprü öncesi Gişeler bölgesindeki geometrik düzensizlik ve ek şerit Uygulaması.....	62
Şekil 5.6	A1 kesiti (anayol+ekşerit) saha ve simülasyon yığışimli taşıt eğrileri.....	66
Şekil 5.7	A22 kesiti (Beylerbeyi katılımı) saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	66
Şekil 5.8	A21 kesiti (anayol) saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	67
Şekil 5.9	A3 kesiti (anayol+varyant) saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı Eğrileri.....	67
Şekil 5.10	A4 katılım kesiti saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	68
Şekil 5.11	A4 kesiti (anayol) saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	68
Şekil 5.12	A51 kesiti (anayol) saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	69
Şekil 5.13	A52 katılım kesiti saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	69
Şekil 5.14	A52 ayırım kesiti saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	70
Şekil 5.15	A6 kesiti (anayol) saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	70
Şekil 5.16	A7 katılım saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	71
Şekil 5.17	A7 kesiti (anayol) saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	71
Şekil 5.18	Simülasyonda katılım kontrolü.....	72
Şekil 5.19	Simülasyonda sisteme giren ve çıkan toplam taşıt sayıları.....	73
Şekil 5.20	Dedektörlerde simülasyon sonunda okunan taşıt sayıları.....	74
Şekil 5.21	Kesim No'ları.....	74
Şekil 5.22	Hız grafikleri, Kontrolsüz (sol üstte), Talep/Kapasite (sağ üstte), ALINEA (altta).....	75
Şekil 5.23	Yoğunluk grafikleri, Kontrolsüz (sol üstte), Talep/Kapasite (sağ üstte), ALINEA (altta).....	76
Şekil 5.24	A7'den A1'e ortalama seyir süreleri (sn/taşıt).....	77

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1	Doluluk Yüzdesi ve katılım kontrol oranının ilişkilendirmesi..... 26
Çizelge 4.2	Dedektörlerden elde edilecek verilere göre katılım kontrol oranları..... 27
Çizelge 4.3	Katılım hızlarına göre hızlanma mesafeleri 32
Çizelge 4.4	%90 talepte, dedektörlere ve işgal yüzdesine göre anayol, katılım ve toplamda seyahat zaman kazançları 37
Çizelge 4.5	%100 talepte, dedektöre ve işgal yüzdesine göre anayol, katılım ve toplamda seyahat zaman kazançları 37
Çizelge 4.6	%90 talepte, %19 hedef işgal yüzdesi ile dedektöre ve akım aşağı yönde darboğaz oluşumuna göre anayol, katılım ve toplamda seyahat zaman kazançları..... 37
Çizelge 4.7	%100 talepte, %19 hedef işgal yüzdesi ile dedektöre ve akım aşağı yönde darboğaz oluşumuna göre anayol, katılım ve toplamda seyahat zaman kazançları 38
Çizelge 4.8	ALINEA'nın diğer sistemlerle kıyaslaması 39
Çizelge 4.9	Maksimum üyelik değerlerine göre Hız, Akım, KKO..... 48
Çizelge 4.10	Katılım kontrolü uygulanarak dolar olarak elde edilen kazanç..... 57
Çizelge 5.1	10 dakika aralıklarla yol ağına katılan trafik akım değerleri (sahada ölçülen)..... 63
Çizelge 5.2	10 dakika aralıklarla yol ağına katılan trafik akım değerleri (simülasyona girilen)..... 63
Çizelge 5.3	Yol ağından ayrılan trafik için simülasyonda kullanılan değerler..... 64
Çizelge 5.4	Simülasyonda kullanılan, otobüsler için taşıt takip aralığı değerleri..... 64
Çizelge 5.5	Simülasyonda katılımlara olan talepler ve girebilen araç sayıları..... 76
Çizelge 5.6	Katılımlarda oluşan kuyruklar (taşıt) ve kontrollerin yarattığı değişiklikler.. 77
Çizelge 5.7	Kontrolsüz, Talep/Kapasite genel kıyas tablosu..... 78
Çizelge 5.8	Kontrolsüz, ALINEA genel kıyas tablosu..... 79

ÖNSÖZ

Bu tezde Boğaziçi Köprüsü yolu üzerindeki sabah zirve trafiği tıkanıklığına bir çözüm alternatifi olabilecek katılımların kontrolü incelendi ve yapılan simülasyon çalışmasıyla bu alternatifin uygun bir çözüm olup olamayacağı araştırıldı.

Bu çalışmaya başladığım dönem hayatımı farklı noktalara yönlendirme konusunda karar vermeye çalıştığım bir dönemdi. Bu çalışmadan tamamen kopma noktasına geldiğim anlar çok oldu. Bu anlarda benim bu çalışmadan kopmamı önleyen, beni teşvik eden aileme ve bana sabır, anlayış gösteren, tezi yapma fırsatı veren tez hocam Yrd. Doç. Dr. İsmail ŞAHİN'e en başta teşekkürlerimi bildirmek isterim. Bu tezi bitirme ve üniversitede fiili çalışma kararı almamdan sonra beni aralarına kabul edip çalışmamı hazırlamama izin verip yardımcı olan bütün Ulaştırma Anabilim Dalı çalışanlarına ve hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim. Burada ayrıca, beni odasına kabul eden, yanında çalışmama izin veren Dr. M. Sinan YARDIM hocama, bizi gelip esprileriyle güldüren Mustafa GÜRSOY hocama da teşekkür ederim. Bu çalışmaya beraber başladığım ve çalışmasını erken bitirmeyip benimle kader arkadaşlığı yapan Güzin AKYILDIZ'a da teşekkür ederim. Onun da bu tezin hazırlanmasında yardımları oldu. Çeşitli dönemler boyunca bu çalışma için kullanacağım verileri toplamada, bizimle çalışan Bitirme Çalışması öğrencilerine ve saha çalışmalarında bize yardımcı olan güvenlik görevlileri ve diğer yetkililere de unutmadan teşekkürlerimi sunmak isterim. Son olarak veri toplanması sırasında binalarını bizlere açarak yardımcı olan Asya Finans ve Petrol-İş Sendikası'na teşekkür ederim.

Bu çalışma TÜBİTAK (İÇTAG-1920) ve YTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün (22-05-01-02) desteklediği araştırma projeleri kapsamında hazırlanmıştır.

ÖZET

Bu çalışmada katılımların kontrolünün otoyol trafik akımları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İstanbul şehrinin önemli problemleri arasında yer alan, Boğaziçi Köprüsü'nden zirve saatlerde geçiş sırasında oluşan tıkanıklığın ortadan kaldırılması ya da hafifletilmesi amacıyla katılım kontrolü bir çözüm olarak görülmektedir.

Hazırlanan tezde trafikle ilgili hız, trafik yoğunluk, akım (hacim) kavramlarına ve aralarındaki ilişkilere değinilmiştir. Ayrıca otoyol yönetimi ile ilgili genel bilgiler de (amacı, türleri, trafik sıkışıklığı ve nedenleri vd.) sunulmuştur. Katılım kontrolü özel olarak incelenmiş, amacı, çeşitleri ve uygulama yöntemleri, kıyaslamalı olarak anlatılmıştır. TSIS/CORSIM paket programı ile O-1 karayolunun Asya Avrupa yönünde Boğaziçi Köprüsü'ne yaklaşan kesimlerinin trafik simülasyon modeli oluşturulmuş ve bu simülasyon modeli üzerinde katılım kontrolü uygulaması yapılarak, kontrolün yarattığı etkiler incelenmiştir.

Simülasyon uygulamaları katılım kontrolünün, kontrolsüz duruma göre çeşitli faydalar sağladığı (özellikle anayol kesiminde) görülmüştür. Sağlanan faydalar arasında zaman kazancı dikkat çekici boyutlardadır (%10,85 iyileşme). Bununla birlikte, katılım kontrolü uygulandığında doğuracağı sonuçlar kapsamlı bir şekilde araştırılmalıdır. Bu çalışmaların öncelikle simülasyon ortamında yapılması faydalı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Katılım kontrolü, simülasyon, trafik tıkanıklığı, Boğaziçi Köprüsü, otoyol trafik yönetimi

ABSTRACT

In this study, we have analyzed the effects of ramp metering on freeway traffic flows. Traffic congestion on setting by vehicles passing through Bosphorus Bridge in Istanbul could be removed or at least ameliorated by utilizing ramp metering techniques as a traffic management option.

We give some descriptive information about speed, flow (volume) and density together with their interrelationships. Additionally, some background on freeway traffic management (e.g., its goals and types; congestion and its causes) was provided. We gave a special attention to ramp metering, its goals, types and implementation methods in a comparative manner. TSIS/CORSIM software was used to simulate O-1 freeway sections approaching to Bosphorus Bridge in Asia to Europe direction. In the simulation model, a ramp metering application was performed and its consequences were analyzed.

Simulation study was showed that ramp metering control option was superior to the one without control (i.e., current situation), especially for the mainline sections. Travel time benefit is significant (10.85% improvement). However, the side effects of ramp metering implementation should be given a special interest. It is recommended that such implications should first be simulated in computer environment.

Key words: Ramp metering, simulation, traffic congestion, Bosphorus Bridge, freeway traffic management

1. GİRİŞ

İnsanların her geçen gün şehirlerde daha fazla yaşamaya başladığı, dolayısıyla şehirlerin büyüdüğü dünyada ulaştırma önemli bir sorun olarak ön plana çıkmaktadır. Öyle ki, ulaştırma ağının bir kentin ana damarları olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Bu nedenle ulaştırma ağlarının verimli bir şekilde işletilmesi ve yönetilmesi son derece önemlidir. Özellikle trafik tıkanıklığını aşmak amacıyla yeni yolları inşa etmenin ekonomik ya da diğer sebeplerden dolayı mümkün olmadığı durumlarda, mevcut altyapının daha verimli bir şekilde kullanımı önemli olacaktır. Hatta bazı durumlarda yeni yol yapmaktansa altyapıyı daha verimli kullanmak daha iyi sonuçlar doğurabilecektir.

Bu çalışmada otoyol yönetim yöntemlerinden biri olan katılımların kontrolü işlenmiştir. Konu karayolu trafiğinin bir parçası olduğundan, 2. bölümde trafiğin temel değişkenleri ve bazı kavramları anlatılmış, aralarındaki ilişkiler verilmiştir. 3. bölümde otoyol yönetim sistemlerinden bahsedilmiştir. Otoyol yönetiminin önemi, amacı ve çeşitleri anlatılmıştır. 4. bölüm tezin ana kısmını içerir. Bu kısımda katılımların kontrolü işlenmiştir; özel olarak katılım kontrolünün çeşitleri, kullandıkları mekanizmalar, farklılıkları ve karşılaştırmaları üzerinde durulmuştur. 5. bölümde ise bir simülasyon programı kullanılarak, O-1 karayolu üzerindeki katılımların kontrolü ile ilgili bir simülasyon uygulaması yapılmış ve sonuçları verilmiştir. 6. ve son bölümde sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

2. TRAFİK AKIMININ BÜYÜKLÜKLERİ

Trafik akımının büyüklükleri arasındaki ilişkiler günümüze kadar birçok kez işlenmiştir. Bu büyüklükler arasındaki ilişkiler trafiğin çeşitli durumlarının tanımlanmasında kullanılmıştır. Bu ilişkileri açıklamadan önce trafik değişkenlerini tanımak yararlı olacaktır.

Değişkenler iki ayrı kısımda toplanabilir.

1) *Trafiğin temel değişkenleri:* Bu değişkenler çeşitli yöntemlerle elde edilirler; fakat, tek başına kullanılmazlar. Bu değişkenler; Uzunluk (X) (m, km), zaman (T) (sn, dak, sa) ve trafik birimi (N) (taşıt) olarak sıralanabilir. (Yardım, 2003)

2) *Trafiğin türetilmiş değişkenleri:* Trafik akımlarıyla ilgili olayları ifade edebilmek için temel değişkenlerin kullanımıyla türetilen değişkenlerdir. Bunlar; **Hacim (q)** (taşıt/dak, taşıt/sa), **Yoğunluk (k)** (taşıt/km) ve **Hız (u)** (m/sn, km/sa) şeklinde sıralanabilir. (Yardım, 2003)

Bu türetilmiş değişkenlere daha yakından bakılırsa.

Hacim (q)

Hacmin genel tanımlaması, belirli bir yol kesitinden 1 saat içinde geçen taşıt sayısıdır. Yolun tümü veya bir şeridi için verilebilir. Trafiğin temel değişkenleri kullanılarak şu şekilde ifade edilir; $q = N / T = \text{taşıt} / \text{zaman}$ (Yardım, 2003)

Yoğunluk (k)

Bir yolun belirli bir uzunluğunda (genelde 1 km) ya da kesiminde herhangi bir anda bulunan taşıt sayısı olarak tanımlanır. Hacimde olduğu gibi yolun tümü veya bir şeridi için verilebilir. Temel değişkenlerle türetilmesi şu şekilde olur; $k = N / X = \text{taşıt} / \text{yol}$ (Yardım, 2003)

Hız (u)

Trafikteki taşıtların tek tek değil toplu şekilde trafikte oluşturdukları akımın birim zamanda aldığı yoldur. Türetilmesi ise şöyledir; $u = X / T = \text{yol} / \text{zaman}$ (Yardım, 2003)

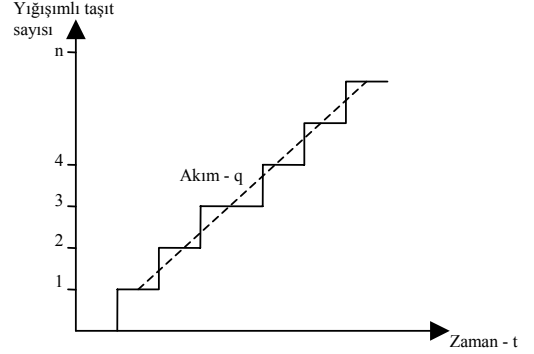
Buraya kadar bahsedilen bu üç türetilmiş değişkenler arasındaki ilişki şu formülle ortaya konur;

$$q = u \cdot k \quad (\text{hacim} = \text{hız} \cdot \text{yoğunluk}) \quad (2.1)$$

2.1 Trafikle İlgili Büyüklüklerin Elde Edilmesi

2.1.1 Trafik Akımının Tek Bir Noktadan Yapılan Gözlemle Elde Edilmesi

Bir kesitten gözlem yapıldığı düşünülürse. Bu gözlemden gözlem noktasından her taşıt geçişi zamanla birlikte kaydedilir ve veriler grafikte işlenilirse Şekil 2.1'deki gibi bir adım fonksiyonu elde edilir. Bu adımların orta noktaları birleştirilirse bir eğri elde edilir; bu eğrinin eğimi de N/T 'den akımı verecektir. (Cassidy, 1995)



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

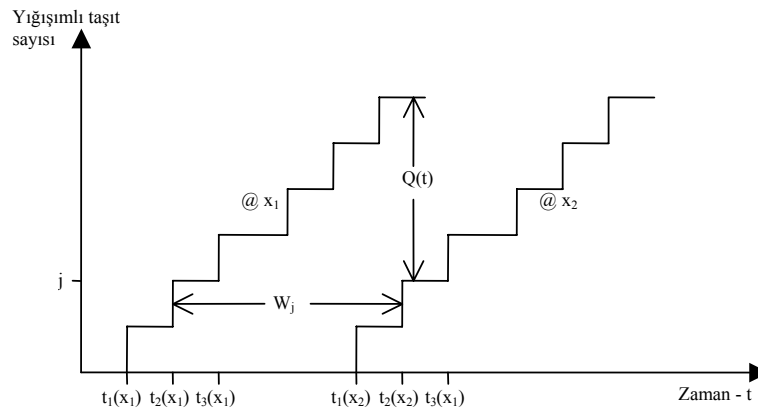
Akımı hesaplamamanın bir başka yolu da zaman olarak taşıt takip aralığını (headway, h) kullanmaktır. Taşıt sayısının, taşıtlar arası zaman farklarının toplamına bölünmesi akım oranını verecektir.

$$q = \frac{n}{\sum_{j=1}^n h_j} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n h_j} = \frac{1}{\bar{h}} \quad (2.2)$$

Burada taşıt takip aralığının ortalamasının tersi, akım oranını vermektedir. Sonuç olarak tek bir noktadan elde edilecek taşıt takip aralığı değerleri akım oranını verecektir. (Cassidy, 1995)

2.1.2 İki Noktada Yapılacak Gözlem İle Elde Edilebilecek Büyüklükler

Birden fazla noktada yapılacak gözlemlerle çeşitli büyüklükler elde edilebilir. Şekil 2.2'deki grafikte x_1 ve x_2 noktalarına ait (trafik x_1 'den x_2 'ye akmaktadır) grafikler görülmektedir. (Cassidy, 1995)



Şekil 2.2 Yukarı akım ve aşağı akım yığılımlı taşıt sayısı grafiği (Cassidy, 1995)

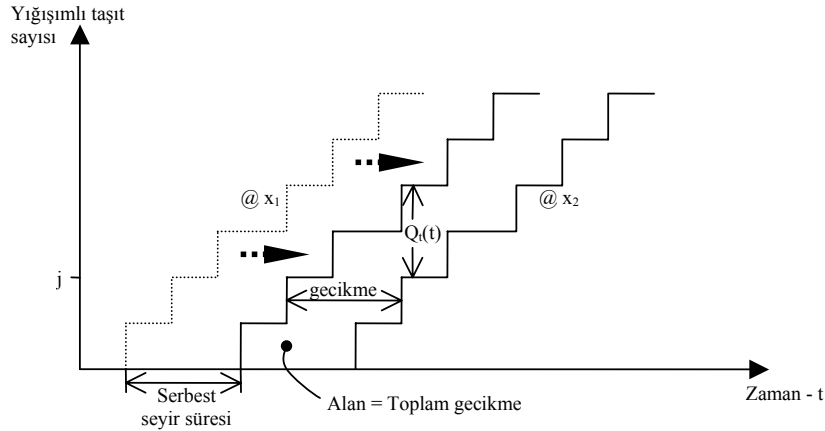
Bu grafikten elde edilen bilgiler şunlardır.;

- Herhangi bir t anındaki iki eğri arasındaki fark $Q(t)$, x_1 ve x_2 kesitleri arasındaki taşıt sayısıdır.
- W_j , j taşıtı için, x_1 ve x_2 eğrileri arasındaki seyir süresini verir.
- Bütün W_j 'lerin toplamı x_1 ve x_2 kesitleri arasındaki toplam seyahat süresini verecektir.
- Ortalama seyahat süresi de bu toplam W_j 'lerin ya da x_1 ve x_2 eğrileri arasındaki alanın toplam taşıt sayısına (n) bölünmesiyle elde edilir. (Cassidy, 1995)

Toplam seyahat süresi şu formülden bulunabilir.

$$\sum_{j=1}^n [t_j(x_2) - t_j(x_1)] = \sum_{j=1}^n t_j(x_2) - \sum_{j=1}^n t_j(x_1) \quad (2.3)$$

Eğer yukarı akım (x_1) eğrisi serbest akım süresi kadar aşağı akım (x_2) eğrisine doğru ötelenirse (bu yapılarak toplam seyir süresinden serbest seyir süresi çıkartılmış olunur), elde edilen farklar yatayda gecikme süresini düşeyde de geciken taşıt sayısını ($Q_t(t)$) verir (Şekil 2.3). İki eğri arasında kalan alan da toplam gecikmeyi verecektir. (Cassidy, 1995)



Şekil 2.3 Kaydırılmış yığışlımlı taşıt eğrisi (Cassidy, 1995)

Ayrıca x_2 kesitinde $Q_t(t)$ adet taşıt sayılmamış olacaktır. Çünkü seyahat süresi içinde aşağı akım kesitinden geçmemiş taşıtlar bulunmaktadır. Dolayısıyla kuyruk uzunluğu, serbest seyir süresi kadar kaydırılmış eğriler arasındaki düşey fark olacaktır. (Cassidy, 1995)

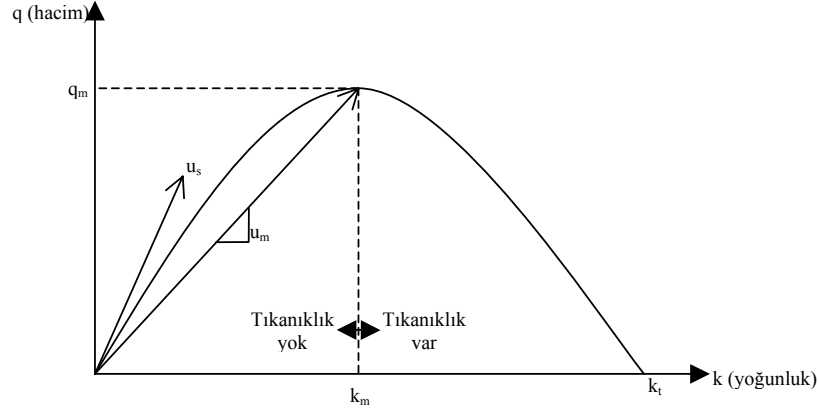
2.1.3 Yoğunluğun Elde Edilmesi

Yoğunluk iki kesit arasındaki taşıt sayısı olduğuna göre, yoğunluğu ölçmek için her hangi bir t anında x_1 ve x_2 kesitleri arasının yukardan fotoğrafının çekilmesi gerekir. Bu fotoğraftan elde edilen kesitler arasındaki taşıt sayısı, kesitler arası mesafe ile birlikte yoğunluğu

2.2 Hız – Hacim – Yoğunluk Büyüklüklerinin İkili İlişkileri

2.2.1 Hacim - Yoğunluk İlişkisi

Hacim – Yoğunluk ilişkisi Şekil 2.6’de görülmektedir. (Wattleworth, 1976)

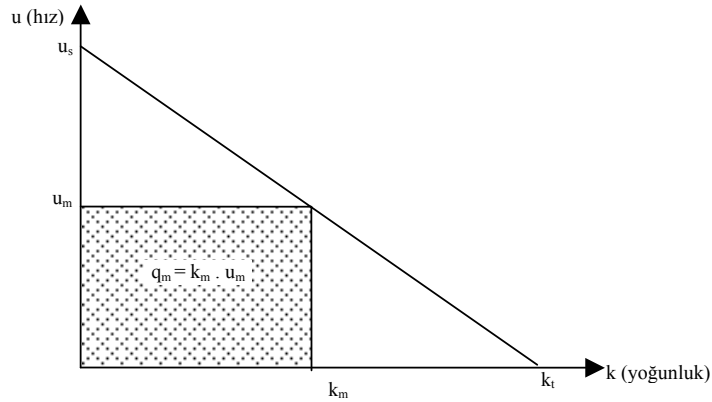


Şekil 2.6 Hacim – Yoğunluk ilişkisi (Wattleworth, 1976)

Grafikten de görüldüğü gibi, hacim yolun kapasitesine (q_m -yolun en büyük kapasitesi) erişinceye kadar akım arttıkça yoğunlukta artmaktadır. Bu noktadan sonra yoğunluk artmaya devam ederken hacim düşüşe geçer. Bu durum, taşıtlar tampon tampona gelinceye ve tıkanıklık tam manasıyla oluşuncaya kadar devam eder. Bu noktada yoğunluk en büyük değerini (k_t -tıkanıklık yoğunluğu) alır ve hacim sıfıra düşer. Bu grafikte, herhangi bir noktayı orijine birleştirilen doğrunun eğimi q/k oranından hızı verecektir. Başlangıç noktasındaki teğetin eğimi (u_s) de “serbest hızı” verir. (Wattleworth, 1976)

2.2.2 Hız – Yoğunluk İlişkisi

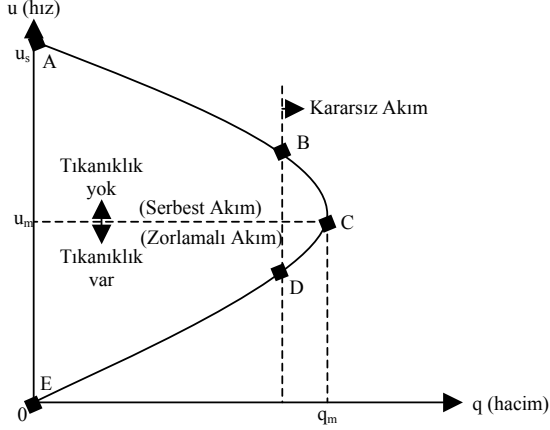
Hız yoğunluk ilişkisi de Şekil 2.7’de gösterilmiştir. (Wattleworth, 1976)



Şekil 2.7 Hız – Yoğunluk ilişkisi (Wattleworth, 1976)

Hız ve yoğunluk arasında ters ve neredeyse doğrusal bir ilişki vardır. Yoğunluk arttıkça hız düşer. Burada u_s serbest hızı göstermektedir. Bu grafik içerisindeki bir köşesi orijin bir köşesi de doğru üzerinde olan bir dikdörtgenin alanı akımı ya da hacmi verir. (Wattleworth, 1976)

2.2.3 Hız – Hacim İlişkisi



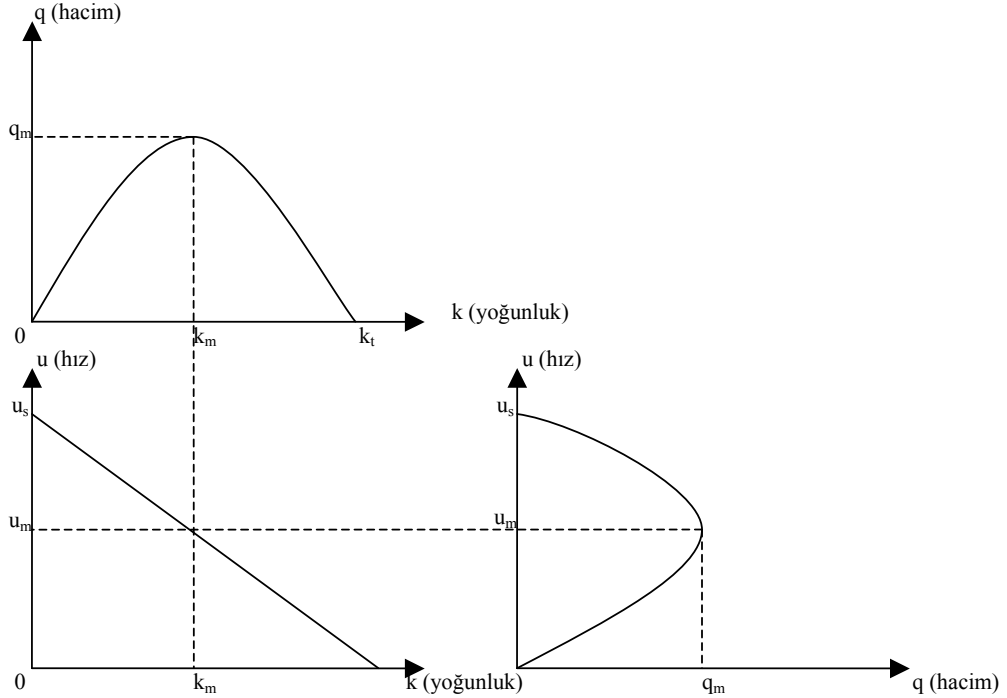
Şekil 2.8 Hız – Hacim ilişkisi
(Wattleworth, 1976)

Hız - hacim ilişkisini gösteren grafikte Şekil 2.8'de gösterilmiştir.(Wattleworth, 1976)

Grafikte görüldüğü üzere tıkanıklığın olmadığı bölgede akım arttıkça hız düşüyor. Bu durum kapasiteye (q_m) ulaşana kadar böyle devam ediyor. Kapasite aşıldıktan sonra hem akım hem de hız beraber düşüşe geçiyor. Kapasiteye yaklaşıldığı ve aşıldığı bir bölgede (BD) trafik akımı kararsız bir hal almaktadır. AB bölgesinde trafik serbest, DE

bölgesinde tıkanık (zorlamalı) olarak akmaktadır. (Wattleworth, 1976)

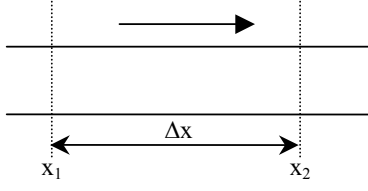
Bu üç grafiğin birbirleriyle ilişkileri Şekil 2.9'deki gibi gösterilebilir.(Wattleworth, 1976)



Şekil 2.9 Hız, Hacim Yoğunluk arasındaki ilişkiler (Wattleworth, 1976)

2.3 Hidrodinamik Kuram

Hidrodinamik teoriden yola çıkılarak trafik akımları tanımlanmaya çalışılmış ve çeşitli denklemler elde edilmiştir. Bu teoride akımın korunduğu varsayılmış; taşıtların su gibi



kesintisiz aktığı ve kesite giren bütün taşıtların kesitten çıktığı kabul edilmiştir. Bu durum bir örnekle açıklanacak olursa; örneğin, bir yol üzerinde x_1 ve x_2 gibi iki gözlem noktası bulunsun ve bu iki gözlem noktası arasında herhangi bir ayırım ya da katılım bulunmasın. Trafığın yönü de x_1 'den x_2 'ye doğru olsun. N_1 değeri (i gözlem noktası) Δt zamanı içinde kesitten geçen taşıt sayısını ifade etsin. q_i Δt zamanı için akım oranı, Δx ise iki gözlem noktası arasındaki mesafe olsun. (Cassidy, 1995)

1. gözlem noktasında sayılan taşıt sayısı, 2. gözlem noktasında sayılan taşıt sayısından büyük olacaktır. Yani $N_1 > N_2$ olacaktır. Bunun nedeni, x_1 ile x_2 kesitleri arasında birikmiş olan taşıtlardır. Bu taşıt sayısı N_1 ile N_2 kesitleri arasındaki taşıt sayısı farkını ortaya koyacaktır. Bu anlatılanlardan yola çıkarak;

$$N_2 - N_1 = \Delta N \quad (\Delta N \text{ burada negatiftir}) \quad (2.5)$$

$$N_1 / \Delta t = q_1 \quad (2.6)$$

$$N_2 / \Delta t = q_2 \quad (2.7)$$

$q_2 - q_1 = \Delta q = \Delta N / \Delta t$ olacaktır. Bu formülden de $\Delta N = \Delta q \cdot \Delta t$ olacaktır. (Cassidy, 1995)

x_1 ve x_2 kesitleri arasındaki yoğunluk şu şekilde ifade edilmektedir;

$$\Delta k = \frac{-(N_2 - N_1)}{\Delta x} \Rightarrow -\Delta N = \Delta k \cdot \Delta x \quad (2.8)$$

elde edilen bu iki ΔN denklemi eşitlenirse;

$$-(\Delta q) (\Delta t) = (\Delta k) (\Delta x) \text{ buradan da;} \quad (2.9)$$

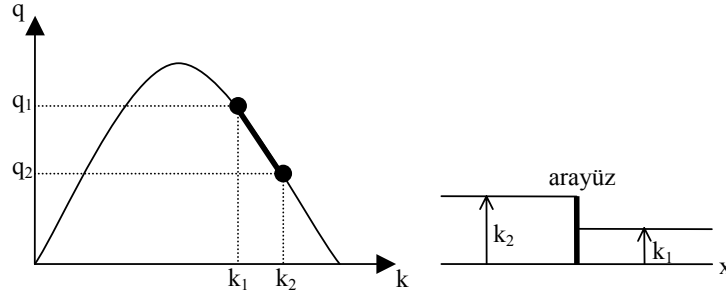
$$\frac{\Delta q}{\Delta x} + \frac{\Delta k}{\Delta t} = 0 \text{ denklemi çıkacaktır.} \quad (2.10)$$

Bu denklem akımın korunumu denklemdir. Bu denklem, yoğunluktan ve akımdan elde edilen ΔN 'ler birbirine eşitlenerek bulunmuştur. Bu denklem, akıma, yola, yoğunluğa ve zamana bağlı bir ifade sunmaktadır. Bu korunum denklemini sürekliliğin içerisinde tanımlamak için şu şekilde yazmakta mümkündür. (Cassidy, 1995)

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial k}{\partial t} = 0 \quad (2.11)$$

Buradaki formülden yola çıkacak olunursa; hacim-yoğunluk grafiğinin 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. Bu ara yüzü de Şekil 2.10'daki gibi gösterilebilir. Buradan, yukarıdaki ifade;

$$u = \frac{\Delta q}{\Delta k} \text{ şeklinde yazılabilir. Diğer bir ifadeyle de } q = k \cdot u \text{ dur. (Cassidy, 1995)}$$



Şekil 2.10 İki farklı trafik durumu arasındaki arayüzün hızı (Cassidy, 1995)

(q_1, k_2) ve (q_2, k_2) durumları arasındaki kinematik dalga hızı Şekil 2.10'a göre şu şekilde yazılabilir.

$$u = \frac{q_2 - q_1}{k_2 - k_1} = -\frac{\Delta q}{\Delta k} \quad (2.12)$$

2.4 Yığışımli Taşıtların Sayısı Eğrileri ve Basitleştirilmiş Trafik Akım Kuramı

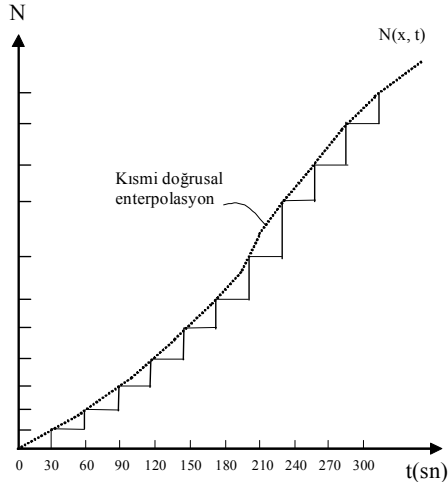
Karayolu üzerindeki belirli noktalardan geçen taşıtların yığışımli sayılarının incelenmesiyle akım, akım hızı ve yoğunluğun ortalama değerleri elde edilebilmektedir. Bu yöntem ilk olarak Newell (1993) tarafından açıklanmıştır. Basitleştirilmiş Kinematik Dalga Kuramı adıyla ortaya koyduğu yöntemin uygulama aracı, yığışımli taşıtların sayısı eğrileridir. Aşağıda, yığışımli taşıtların sayısı eğrilerinden faydalanılarak önerilen yöntemin nasıl kullanılabileceği anlatılmaktadır. (Şahin ve Zorer, 2001)

2.4.1 Yığışımli Taşıtların Sayısı Eğrilerinin Elde Edilmesi

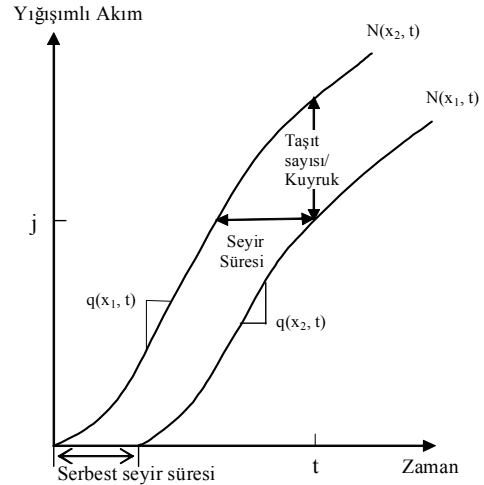
İncelenen karayolu üzerindeki belirli bir "x" gözlem kesitine/noktasına, "t" gözlem süresi içinde varan taşıtların yığışımli sayısı $N(x, t)$ olsun (Şekil 2.11). Buna göre, "x" gözlem

noktasında bulunan bir gözlemci, önünden geçen taşıtlara sırasıyla numara verdiğinde (ilk taşıtın numarası $t = 0$ için $N(x, 0) = 0$ olmak üzere), $N(x, t)$, gözlemcinin önünden “ t ” anından önce geçen son taşıtın numarasını göstermektedir. Burada taşıtların birbirlerini sollamadıkları kabulü yapılmaktadır. (Şahin ve Zorer, 2001)

Karayolunun homojen geometriye sahip bir kesiminde akım aşağı yönündeki “ x_1 ” ve akım yukarı yönündeki “ x_2 ” komşu kesitleri için $N(x_1, t)$ ve $N(x_2, t)$ yığışımlı taşıt sayısı eğrileri Şekil 2.12’deki gibi aynı eksen takımı üzerine çizildiğinde; belirli bir “ t ” anında eğriler arasındaki düşey mesafe, kesitler arasındaki taşıt sayısını gösterirken; belirli bir “ j ” (yüksekliğindeki) taşıt sayısına karşılık gelen eğriler arasındaki yatay mesafe de, 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 Zorer, 2001)



Şekil 2.11 Yığışımlı sayım eğrisi ve yumuşatılmış yaklaşımları (Şahin ve Zorer, 2001)

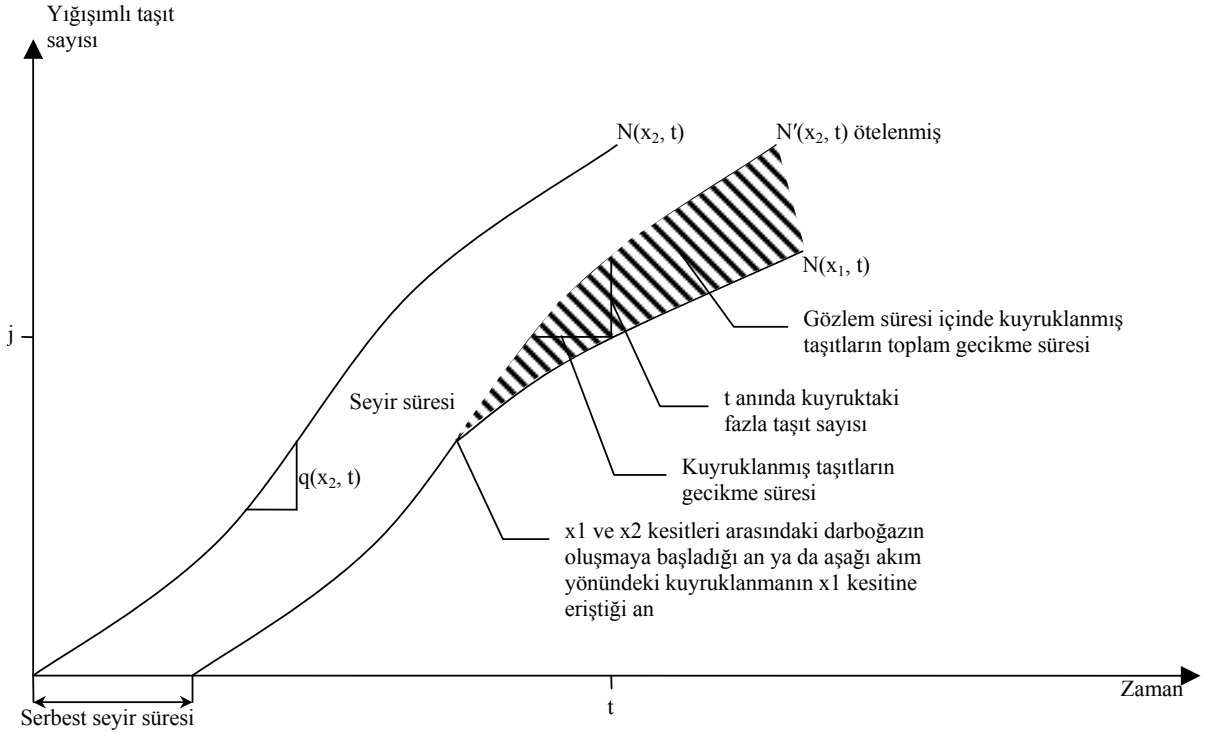


Şekil 2.12 İki kesitteki yığışımlı akım (Şahin ve Zorer, 2001)

Şekil 2.11’de görülen eğri, taşıt sayıları tamsayı olduğundan aslında bir adım fonksiyonudur; diğer bir deyimle, sabit zaman aralıklarında gözlem kesitine varan taşıtların yığışımlı sayıları da birer adım fonksiyonudur. Belirli bir gözlem kesitinde (örneğin, x_x) 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 2.11’de görüldüğü gibi doğrusal enterpolasyon kullanılarak basamakların tepe noktalarından geçirilen doğrular yardımıyla elde edilebilir. Bu çalışmada, sabit zaman aralıklı gözlemlerle elde edilen yığışimli taşıt sayıları kullanılarak ve (Cassidy, 1999)’de önerilen yöntem uygulanarak yığışimli eğriler $N(x, t)$ elde edilmiştir. (Şahin ve Zorer, 2001)

Komşu yığışimli eğrilerin ilişkisinden başka sonuçlar da elde edilebilir. Gözlem kesitleri x_1 ve x_2 arasında hareket eden taşıtların “serbest” (kuyruk bulunmaması durumundaki) seyir süresi bilindiğinde, x_2 kesitine ait yığışimli eğri $N(x_2, t)$, bu süre kadar sağa x_1 kesitine ait yığışimli eğriye doğru kaydırılır/ötelenir ve $N'(x_2, t)$ eğrisi elde edilir (Şekil 2.13). 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 aşağı akımdan (down-stream) yukarı 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. (Dalkıran ve diğ., 2002)

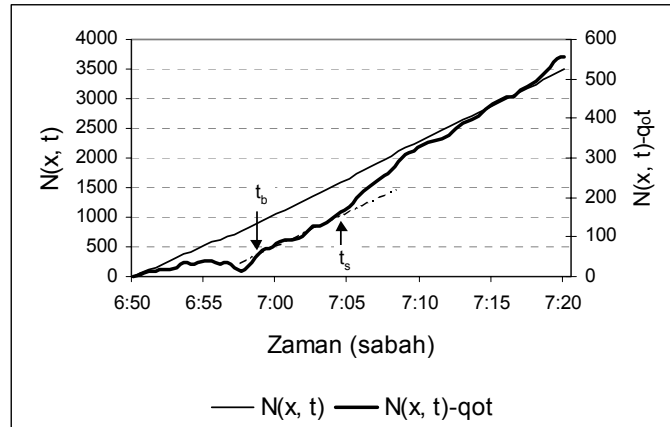


Şekil 2.13 Kaydırılmış yığışimli taşıt sayısı eğrileri (Dalkıran ve diğ., 2002)

2.4.2 Yığışımli Taşıit Sayısı Eğrilerinin Ölçeklendirilmesi

Herhangi bir karayolu kesitine ait, kısmi doğrusal enterpolasyon kullanılarak elde edilen yığışımli taşıit sayısı eğrisi genelde doğrusal bir eğilim gösterir. Kesitteki akım değişimlerini “görsel” olarak grafik üzerinde izleyebilmek için ölçeklendirme yapmak gerekmektedir. Eğrilerin ölçeklendirilmesinde basit bir matematiksel “hile” yapılmakta; böylece, orijinal eğrideki “gizli” akım değişimleri ortaya çıkmaktadır. Ölçeklendirilmiş yığışımli eğri üzerinde, kesitten geçen trafik akımının “neredeyse kararlı” (zamana göre değişimin çok küçük) olduğu zaman aralıklarının belirlenmesi mümkündür. (Şahin ve Zorer, 2001)

Ölçeklendirme şöyle yapılmaktadır: Belirli bir “x” gözlem (ya da dedektör) kesitine “t” zamanına kadar varan taşıitların yığışımli sayılarını gösteren $N(x, t)$ eğrisinden, q_0t doğru fonksiyonu çıkartılarak yeni bir grafik çizilir. Burada “ q_0 ” referans akımı olup, büyüklüğü, eğrideki akım değişimlerinin görsel biçimde incelenmesine izin verecek şekilde seçilmelidir. Tüm “t” değerleri için $[N(x, t) - q_0t]$ farkı, $N(x, t)$ 'den yeteri kadar küçük olduğunda, bu “farklar grafiği” yığışımli taşıit sayısını göstermek üzere büyütülmüş yeni bir ölçekle çizilebilmekte; akımdaki değişkenlik görsel olarak saptanabilmektedir. Kullanılan ölçeklendirme yöntemine ait bir örnek (Şahin, 2001)'den alınan Şekil 2.14'de görülmektedir. Yukarıda açıklanan ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen $N(x, t) - q_0t$ farklar eğrisinde, yaklaşık olarak sabit eğimli (yani, doğrusal eğilim gösteren neredeyse kararlı) aralıkların başlangıç (t_b) ve son (t_s) zamanları saptanır. Bu aralıkların her birine doğru parçaları yerleştirilir. Yerleştirilen doğru parçalarının eğimi, ilgili zaman aralığındaki akım (taşıit/saat) değerini verir. Kural olarak, farklar eğrisinin yatay eğilim gösteren kesimleri, q_0 ile aynı akım değerine; negatif eğimli kesimleri q_0 'dan daha küçük ve pozitif eğimli kesimleri ise daha büyük akım değerlerine sahiptir. (Şahin ve Zorer, 2001)



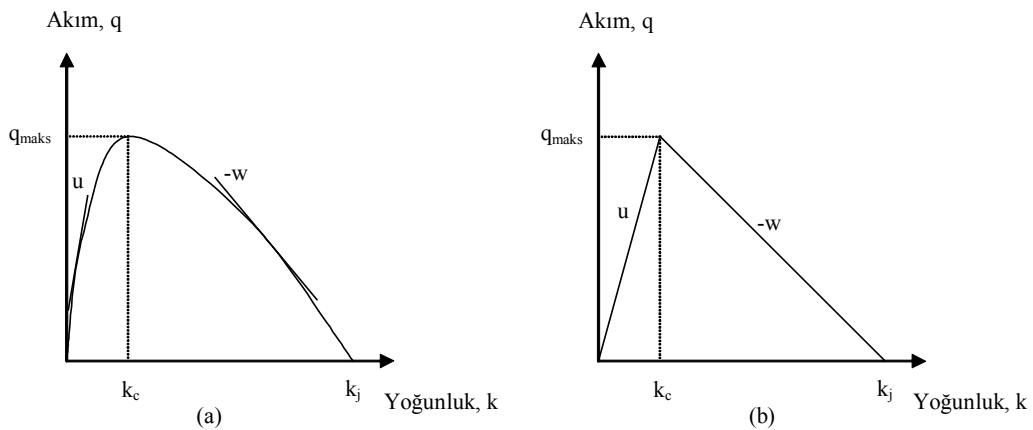
Şekil 2.14 Ölçeklendirilmiş ve ölçeklendirilmemiş yığışımli taşıit sayısı eğrileri (Şahin ve Zorer, 2001)

2.4.3 Kinematik Dalga Hareketleri

Son (1996), Newell (1993)'in "Karayolu Trafikinde Kinematik Dalgaların Basitleştirilmiş Kuramı"nı incelediği doktora çalışmasında, kurama ilişkin şu saptamaları yapmaktadır: Hidrodinamik (kinematik dalga) trafik akım kuramı, trafik akımı ve akışkanlar arasındaki benzerlikten faydalanarak geliştirilmiştir. Bu kuramın temel taşı, trafik akımı (q) ve yoğunluk (k) arasında fonksiyonel bir ilişki bulunduğu varsayımdır. Burada, trafik akımı, yolun belirli bir noktasından birim zamanda geçen taşıt sayısını ve yoğunluk, belirli bir anda yolun birim uzunluğu içinde bulunan taşıt sayısını göstermektedir. Makroskopik düzeyde, trafik akımı, trafik yoğunluğunun ortalama taşıt hızı (uzunluk anlamlı hız, u) ile çarpılmasıyla elde edilir; yani, $q = k \cdot u$ olur. Bu ilişki trafik akımının temel yasası olarak adlandırılmaktadır. (Şahin ve diğ., 2003)

Newell (1993)'in basitleştirilmiş kuramı, trafik içindeki dalgalar/dalgalanmalar fikrine dayanmaktadır. Bir *trafik dalgası* (ya da *dalga*), belirli bir yol-zaman yüzeyinde aynı akım, q ve yoğunluk, k değerlerine sahip noktaları birleştiren bir eğri olarak tanımlanmaktadır. Akım ve yoğunlukta bir değişme meydana geldiğinde, söz konusu dalganın taşıt dizisi aracılığıyla bu değişmeleri taşıdığı varsayılmaktadır. (Şahin ve diğ., 2003)

Karayolunun belirli bir x kesitindeki q akımını taşıyan dalganın hızı, Şekil 2.15'da görülen bu x kesitine ait akım-yoğunluk (q, k) ilişkisindeki teğet(ler)in eğimi olsun. Yoğunluk (k), kritik yoğunluktan (k_c) (k_c , kapasitedeki yoğunluğa karşılık gelmektedir) küçük olduğunda, dalganın hızı pozitif ve yoğunluk (k), kritik yoğunluktan (k_c) büyük olduğunda, dalganın hızı negatif olmaktadır. Pozitif dalga hızı, dalganın, taşıtlarla aynı yönde hareket ettiğini, negatif dalga hızı, dalganın, taşıtların hareket ettiği yönün ters yönünde hareket ettiğini gösterir. Buna göre dalgalar ileri veya geri yönde yayılabilmektedir. (Şahin ve diğ., 2003)



Şekil 2.15 Akım ve yoğunluk arasındaki ilişkiler. (Şahin ve diğ., 2003)

Tıkalı bir karayolunda, akım aşağı yöndeki bir sürücünün fren yapmasıyla tetiklenen bir zincirleme reaksiyonu gözlemek mümkündür; bu reaksiyon, akım yukarı yöndeki sürücülerin de fren yapmasına neden olur ve böylece yayılır. Taşıtlar ileriye doğru hareket ederken, trafik içindeki değişmelerin bir göstergesi olan fren lambaları, geriye doğru hareket ederler. Bu örnek, taşıtlar ileri doğru hareket ederken, dalgaların geriye doğru hareket edebileceğini göstermektedir (Son, 1996).

Newell (1993) bir otoyoldaki trafik akımı ve yoğunluk arasındaki ilişkinin Şekil 2.15’de görüldüğü gibi -basitleştirici bir yaklaşımla- üçgen biçimli akım-yoğunluk (q, k) ilişkisiyle ifade edilebileceğini kabul etmektedir. Trafik akımı içindeki tüm (q, k) durumlarının, bu ilişki/fonksiyon kapsamında bulunduğu kabul edilmektedir ki, homojen yol kesimlerinde bu ilişkinin mesafeyle değişmediği bilinmektedir. Belirli bir (q, k) durumu için taşıtların -uzunluk anlamlı- hızları, orijin ile bu (q, k) durumunu birleştiren çizginin eğimidir ($u = q / k$) (Windover, 1998). Şekil 2.15’de görülen üçgen biçimli q - k ilişkisi sadece iki dalga hızını işaret etmektedir. Yoğunluğun, kritik yoğunluktan (k_c) küçük bir değere sahip olduğu serbest akım koşullarında dalga hızının, $u > 0$; ve yoğunluğun, kritik yoğunluk ve tıkanma yoğunluğu (k_j) arasında bir değere sahip olduğu zorlamalı akım koşullarında dalga hızının, $-w$ ($w > 0$) olduğu kabul edilmektedir. Newell’in modelinde iki dalga hızı bulunması, modelin otoyollarda sadece iki hıza izin verdiği anlamına gelmemektedir. İleriye doğru yayılan dalga hızı, kapasitenin kritik yoğunluğa bölünmesiyle elde edilir ($u = q_{maks} / k_c$). Bu dalga hızı, serbest hızla yol alan taşıtların hızı olmaktadır; çünkü, Şekil 2.15’deki üçgen biçimli q - k ilişkinin/eğrisinin serbest akım koşullarının geçerli olduğu kesiminin eğimi serbest akım hızına eşittir. Geriye doğru yayılan dalga hızı ise $-w = -q_{maks} / (k_j - k_c)$ değerine eşittir (Son, 1996).

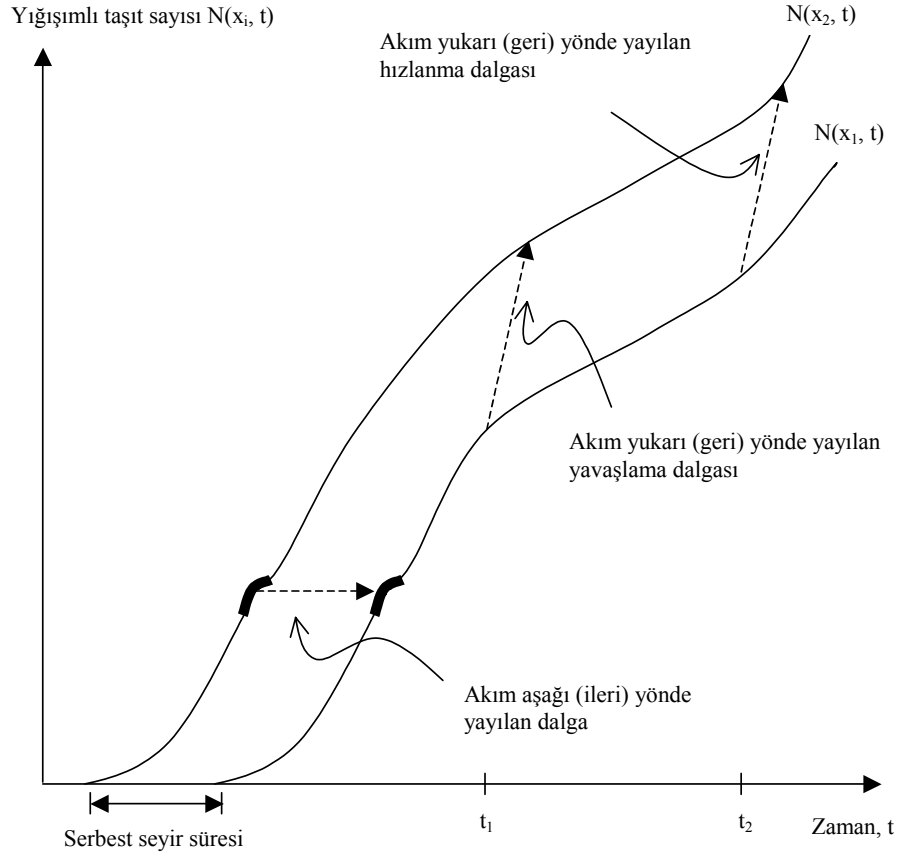
Newell (1993)’de önerilen üçgen biçimli akım-yoğunluk ilişkisi için Windover (1998) şu saptamaları yapmaktadır: Akımın korunumu ilkesi nedeniyle, trafik durumunda bir değişme meydana geldiğinde, örneğin, (q_1, k_1) durumundan (q_2, k_2) durumuna geçildiğinde, bu durumlar arasındaki süreksizlik trafik akımı içinde yayılacaktır. Bu süreksizliğin hızı aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir:

$$(q_1, k_1) \text{ ve } (q_2, k_2) \text{ durumları arasındaki süreksizliğin hızı: } (q_1 - q_2) / (k_1 - k_2).$$

Bu hız, akım-yoğunluk ilişkisi üzerindeki iki trafik durumunu birleştiren kirişin eğimidir. (Şahin ve diğ., 2003)

Şekil 2.16’de komşu iki gözlem kesitine (x_1 ve x_2) ait yığılımlı taşıt sayısı eğrileri, $N(x_i, t)$ arasında, “serbest” ve “zorlamalı” akım koşullarındaki dalga hareketleri gösterilmiştir. Trafik

x_2 kesitinden x_1 kesitine doğru hareket etmektedir. Newell'ın modeline göre, homojen bir karayolu kesiminde herhangi iki "serbest" akım durumunu ayıran bir süreksizliğin seyir süresi, daima taşıtların serbest akımdaki -serbest- seyir süresine eşit olacaktır. Bu süreksizlik, akım aşağı (ileri) yönde ilerleyen bir dalga hareketiyle yayılacaktır (Şekil 2.16). Bu tanımlama, akım-yoğunluk ilişkisinin serbest akım kısmının doğrusal olduğunu bildirmektedir; böylece, bu kısmın eğimi, taşıtların serbest seyir hızı (u) olmaktadır (Şekil 2.15). Modelde, ayrıca, "zorlamalı" akım koşullarında tüm akım değişmelerinin (durum değişmelerinin) eşdeğer seyir süreleriyle akım yukarı yönde (geriye doğru) hareket edeceği belirtilmektedir (Şekil 2.16'de t_1 ve t_2 zamanlarındaki değişmeler). Bu saptama da, akım-yoğunluk ilişkisinin zorlamalı akım kısmının doğrusal olduğunu bildirmektedir; bu kısmın eğimi, akım değişim hızının negatifi ($-w$) olmaktadır (Şekil 2.15) (Windover, 1998).



Şekil 2.16 Yığılımlı taşıtların sayısı eğrileri ve dalga hareketleri (Windover, 1998).

3. OTOYOL YÖNETİMİ

Büyüyen şehirlerde trafiğin kontrolü zor bir hal almaktadır. Özellikle ulaştırma altyapısı düzgün oluşturulmamış şehirlerde, nüfusla birlikte trafiğe çıkan araç sayısının artışıyla, trafikte istenmeyen sıkışıklıklar oluşmaya başlar. Yerleşim alanı olarak büyüyen şehirlerde uzak mesafelerde ulaşım gerçekleşir. Bu ulaşım, hızı sebebiyle otoyollar üzerinden olur. Ancak bir süre sonra gelişen şehirler içinde bu otoyollar da sıkışıklıklardan nasiplerini almaya başlarlar. İşte bu sıkışıklıkların azaltılması, yok edilmesi ya da trafiğin istenilen biçimde düzenlenmesi işlemesi, trafik yönetimi ile gerçekleştirilir. Otoyol üzerinde gerçekleşecek bu yönetim “otoyol yönetimi” olarak adlandırılmaktadır.

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 kalkınması için 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 kullanıldığına emin olunmalıdır. Bazı durumlarda varolan altyapının iyileştirilmesi yeni yol yapımından daha iyi sonuçlarda verecektir. Altyapının daha iyi kullanımı da otoyol yönetimiyle olacaktır.

3.1 Otoyol Yönetiminin Amaçları

Otoyol yönetimindeki amaçlar şu şekilde sıralanabilir;

- Tekrarlı sıkışıklıkları önlemek,
- Tekrarlı olmayan sıkışıklıkların etkilerini en aza indirmek,
- Yolun güvenliğini ve etkinliğini arttırmak,
- Sürücülerini en iyi şekilde bilgilendirmek,
- Kazaya karışan ya da arızalanan araçlara en çabuk şekilde yardım sağlamak, (Carwell ve diğ., 1997)

3.2 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 sıkışıklıkları 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 gurup sıkışıklığın etkileri sürücüler açısından değişik olmayacaktır. Trafik sıkışıklığının başlamasıyla yol üzerindeki taşıt yoğunluğu artacak, taşıtlar arası mesafe düşecek, şerit değiştirmeler zorlaşacak, kısacası kısıtlayıcı koşullarda trafik akışı başlayacaktır. Bunlarla birlikte hız azalacak, dur kalklar başlayacak, seyahat süresi uzayacak, kazalar artacak ve doğal olarak sürücülerin memnuniyetsizliği artacaktır. (Carwell ve diğ., 1997)

Trafik sıkışıklığının nedenleri aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir:

Geometrik Tasarım

Geometrik tasarım kapasiteyi düşüren önemli faktörlerden biridir. Şerit sayısındaki azalma en başlıcasıdır. Bu azalma yolda doğrudan darboğaz (şişeboynu) oluşumuna neden olacaktır. Küçük yarıçaplı kurbalar da kapasitenin düşmesine neden olabilir. Sürücüler bu kurbaları geçerken hız düşürecek veya yandaki şeride kayma olasılığı doğacaktır. Düşeydeki eğim değişiklikleri de kapasiteyi düşürebilir. Özellikle kamyonların seyahat ettiği yollarda bu etki görülür. Bunların dışında şerit genişlikleri, katılım tasarımları ve yolun yüzey koşulları gibi diğer etmenler de kapasite üzerinde rol oynamaktadır.(Carwell ve diğ., 1997)

Trafik Hareketleri

Trafik hareketleri de kapasiteyi etkileyecektir. Gerçek talebin varolan kapasiteden fazla olması; kontrolsüz katılımdan gelen akımın varolan 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.(Carwell ve diğ., 1997)

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.(Carwell ve diğ., 1997)

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 çabuk bitirilmelidir. Bu çalışmaların olduğu yerlerde de trafik kontrolü ve bilgilendirme yapılmalıdır.(Carwell ve diğ., 1997)

Hava Şartları

Hava şartları da kapasiteyi etkiler. Havanın karlı, yağmurlu, sisli, buzlu olması trafik akışını önemli ölçüde etkileyecektir.(Carwell ve diğ., 1997)

3.3 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; (Carwell ve diğ., 1997, Daganzo ve diğ., 2002)

- Takip ve olayların belirlenmesi,
- Şerit kullanımının kontrolü,
- Katılımların kontrolü,
- Yüksek doluluklu araçlara öncelik,
- Bilgilendirme yapılması,
- Olay yönetimi, olarak sıralanabilir.

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. (Carwell ve diğ., 1997, Daganzo ve diğ., 2002)

Şerit Kullanımının Kontrolü

Şerit bazında yönetim sağlayarak daha etkin kullanımı amaçlar; örneğin, büyük ve yavaş araçlarla ilgili kısıtlama ve yönlendirmelerin yapılması gibi. Sürücülerin kontrolsüz şerit değiştirmeleri de trafikte olumsuz koşullar doğurur. Dolayısıyla şerit değiştirmenin de kontrol altına alınması, sadece izin verilen yerlerde şerit değiştirmenin yapılması trafiği

rahatlatacaktır. Özellikle anayolda oluşan kuyruklar, kuyruğun başladığı yere gitmeyen, daha önce yoldan ayrılacak sürücüleri de kuyruğa katarak kuyruğun uzamasına neden olur. Şerit kullanımının kontrolüyle bu araçların kuyruktan daha çabuk ayrılması sağlanabilir. Ayrıca şerit kontrolü, tehlikeli şerit değiştirmelerden dolayı oluşacak kazaları da azaltacaktır. Bu yöntemin uygulanmasında başlangıç-son (origin-destination) matrisinin çıkartılması faydalı olacaktır. (Carwell ve diğ., 1997, Daganzo ve diğ., 2002)

Katılımların Kontrolü

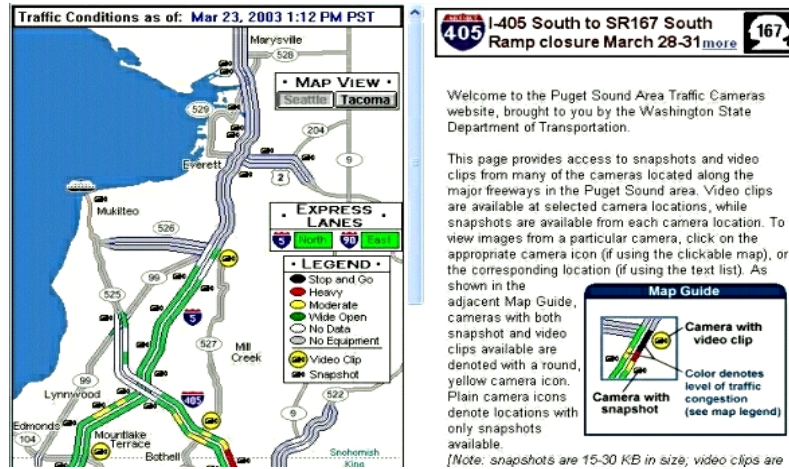
Otoyola giren ve çıkan araçların kontrolü yöntemidir. Özellikle zirve saatlerde katılımlarda oluşacak türbülansı azaltıcı ve trafik akışını rahatlatan özellikleri vardır. (Carwell ve diğ., 1997, Daganzo ve diğ., 2002) Bu konu ilerde anlatılacaktır.

Yüksek Doluluklu Araçlara Öncelik

Taşıt içindeki yolcu sayısına göre, taşıtlara geçiş önceliğinin verildiği yöntemdir (otobüslere özel şerit ayrılması gibi). Amaç taşıttan ziyade daha fazla insanın yer değiştirmesini sağlamaktır. (Carwell ve diğ., 1997, Daganzo ve diğ., 2002)

Bilgilendirme Yapılması

Bilgilendirme yapılması yönetim açısından dolayı bir yöntemdir. Özellikle sürücüler açısından 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. (Carwell ve diğ., 1997, Daganzo ve diğ., 2002) Şekil 3.1 İnternet’te yayınlanan gerçek zamanlı bir trafik haritasını göstermektedir.



Şekil 3.1 İnternet üzerinde gerçek zamanlı bir trafik haritası (Washington State Department of Transportation web sayfası)

Olay/Sorun 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. (Carwell ve diğ., 1997, Daganzo ve diğ., 2002)

4. KATILIMLARIN KONTROLÜ

Otoyollarda FIFO (First In First Out) sistemi yaygın olarak kullanılır. Buna göre otoyola ilk giren taşıt ilk olarak çıkmaktadır. Oysa non-FIFO (FIFO olmayan) sistemlerin kullanımının otoyoldaki darboğaz kapasitesini %50'lere varan oranlarda arttırdığı görülmüştür. Bu non-FIFO sistemlerinin başlıcalarından biri de katılımların kontrolüdür. (Daganzo ve diğ., 2002)

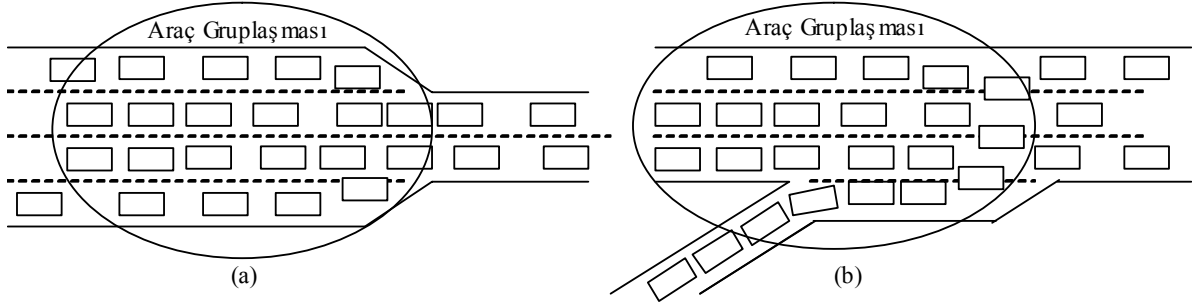
Katılımların kontrolü otoyol yönetimini etkileyen doğrudan bir yöntemdir. Asıl istenilen, otoyoldan geçen araç sayısını maksimum yapmaktır. Ancak tıkanma başladığında kapasite ani olarak büyük bir düşüş gösterir, bu durum da taşıt geçişini önler. Dolayısıyla katılım kontrolüyle sağlanmak istenen otoyol üzerinde sıkışıklığın hiç başlamamasıdır. Bunu sağlamak için de otoyol üzerinde sık sık gerçek zamanlı ölçümler yapılır ve bu ölçümlerden elde edilen veriler talep kapasite arasında ilişkiler kuran bir algoritma yardımıyla çözümlenir. Sonra da gerekli kararlar alınarak uygulanır. Bu kararlar otoyola girecek taşıtları kısıtlamaya yönelik olacaktır. Ola ki böyle bir sıkışıklığın başlaması durumunda, sıkışıklığın en kısa sürede ortadan kaldırılması için bazı katılımlardan otoyola giriş tamamen de engellenebilir. (Yoshino ve diğ., 1995)

Katılımların kontrolü yeni keşfedilen bir yöntem değildir. Örnek olarak, 1970'de Minneapolis/StPaul (ABD) bölgesindeki I-35 karayolu üzerinde uygulanmış olan katılım kontrol sistemi gösterilebilir. Bu uygulamada günün değişik zamanlarına göre kontrol programı kullanılmıştır. Tabii ki sistem zaman içerisinde geliştirilmiştir ve bu gelişmeyle birlikte trafik üzerindeki kontrolün de geliştiği görülmüştür. 1974'de katılım kontrolü daha uzun bir yol kesimine uygulanmıştır. Öyle ki bu yol kesiminde 39 katılımın kontrolü sağlanmış, 16 kapalı devre kamera sistemi kurulmuş, 380 otoyol dedektörü kullanılmıştır. Geçen on yıl içinde trafik hızının arttığı, kazaların ve hava kirliliğinin azaldığı net bir şekilde görülmüştür. 1988 ile 1995 arasında da 300'ün üzerinde katılım kontrolü uygulaması yapılmıştır ve bu uygulamaların sayısı da her geçen gün artmaktadır. (Bogenberger ve May, 1999)

4.1 Katılımların Anayola Etkileri

Katılımların özellikle zirve saatlerde, yani talebin yol kapasitesini aştığı saatlerde anayoldaki trafiğin düzgün seyrini bozabilecek etkileri vardır. Trafik güvenliği açısından da tehlike yaratabilmektedirler; araçların katılımları sırasında oluşacak kazalar gibi. Bunların dışında yarattığı en büyük etkilerden biri anayolda darboğaz oluşumuna yol açmasıdır. Darboğaz

oluşumuyla trafikteki akım büyük ölçüde azalacaktır. Şekil 4.1(a)'da geometrik nedenle oluşmuş bir darboğazın yarattığı etkinin bir benzerini Şekil 4.1(b)'de katılımın yarattığını görmekteyiz. Katılımdan gelen araçlar anayoldaki araçlarla birleşmeleri sırasında bir türbülans oluşturacaktır. Katılımın yarattığı bu türbülansın etkisiyle bir taşıt gruplaşması oluşacaktır. Bu taşıt gruplaşması da darboğazı oluşturacaktır. Bu gruplaşma varlığını uzun süre (akım yukarı yönden gelen talep kapasitenin altına düşürünceye kadar) sürdürecektir. Sonuç olarak katılımın darboğaz oluşumunu tetikleyici bir etkisi vardır. Eğer katılımın kontrollü bir şekilde anayola girmesine izin verilirse, oluşacak türbülansı, dolayısıyla darboğaz oluşumu önlenmiş olunur.



Şekil 4.1 Yol geometrisinden (a) ve katılımdan (b) kaynaklanan darboğaz etkisi

4.2 Katılım Kontrolünün Amacı

Katılımların kontrolü şu iki amacı gerçekleştirmeye yöneliktir:

- Anayola girecek taşıt sayısını kontrol altına alarak, talep seviyesini kontrol altına almak,
- Grup halinde yol alan taşıtları parçalara bölmek.

İlk amaç, talebin yol kapasitenin üstüne çıkmasını engeller. İkinci amaç ise katılımdan anayola güvenli bir birleşim sağlar ve oluşacak türbülansı önler. Katılım kontrolü bu amaçlar doğrultusunda şu yararları sağlar; (Chaudhary ve Messer, 2000)

- Anayol daha üretken olur, hizmet düzeyi artar,
- Hız artar,
- Gecikmeler azalır,
- Dur kalklar azalır,
- Taşıt hareketlerinde güvenlik artar, kaza sayısı azalır,
- Yakıt tüketimi ve hava kirliliği azalır.

4.3 Katılım Kontrolünün Yaratabileceği Etkiler

Yapılacak her yeni bir uygulamada olduğu gibi katılım kontrolünün de uygulanabilmesi için fizibilite çalışmasının yapılması gerekir. Bu çalışmalar, kontrolün darboğaza etkileri, yol geometrisi, trafikte yaratacağı sapma, kazalar, halkın kabulü ve fiyat analizleri şeklinde özetlenebilir. (Blumentritt ve diğ., 1981)

Katılımların kontrolü ile doğal olarak katılımlarda kuyruklanmalar oluşacaktır. Ancak çok sayıda katılımda oluşacak bir çok küçük kuyruk, anayol şeritlerinde oluşacak tek ve büyük bir kuyruktan daha az zararlı olacaktır. (Yoshino ve diğ., 1995)

4.4 Uygulanmasına Göre Katılım Stratejileri

Darboğaz olmadığı varsayılırsa kontrol altında olmayan tek şeritli bir katılımdan saatte 1800 ila 2200 arasında taşıt geçebilecektir. Uygulanan katılım kontrolü stratejisine göre bu yollar daha düşük kapasitede çalışacaktır. (Chaudhary ve Messer, 2000) Bu stratejiler aşağıda açıklanmaktadır.

4.4.1 Tek Şerit Her Yeşilde Bir Taşıt

Bu stratejide anayola her bir yeşilde, bir taşıt katılacaktır. Minimum olasılıkla ışıklarda 4 sn.lik bir devre için (1 sn. yeşil, 1 sn. sarı, 2 sn. kırmızı yanmasıyla) 900 taşıt/saat'lik bir hacim elde edilir. Kırmızı ışığın süresi arttırılarak katılım kapasitesi düşürülebilir. (Chaudhary ve Messer, 2000)

4.4.2 Tek Şerit Her Yeşilde Çok Taşıt

Bu stratejide ise her yeşilde anayola birden fazla taşıtın girmesine izin verilir. Dolayısıyla yeşil için verilen süre daha uzun tutulur. İki ya da üçten fazla taşıtın girişine izin vermekte çok doğru olmayacaktır. Bu durum tekrar araç gruplarının oluşmasına yol açacaktır. İki taşıt için ışık yanma devresinin 6 sn. ile 6,5 sn. arasında olacağı düşünülürse katılım kapasitesi 1100 ila 1200 taşıt/saat olacaktır. Görüldüğü üzere katılım kapasitesinde önceki stratejiye oranla çok fazla artış olmamaktadır. (Chaudhary ve Messer, 2000)

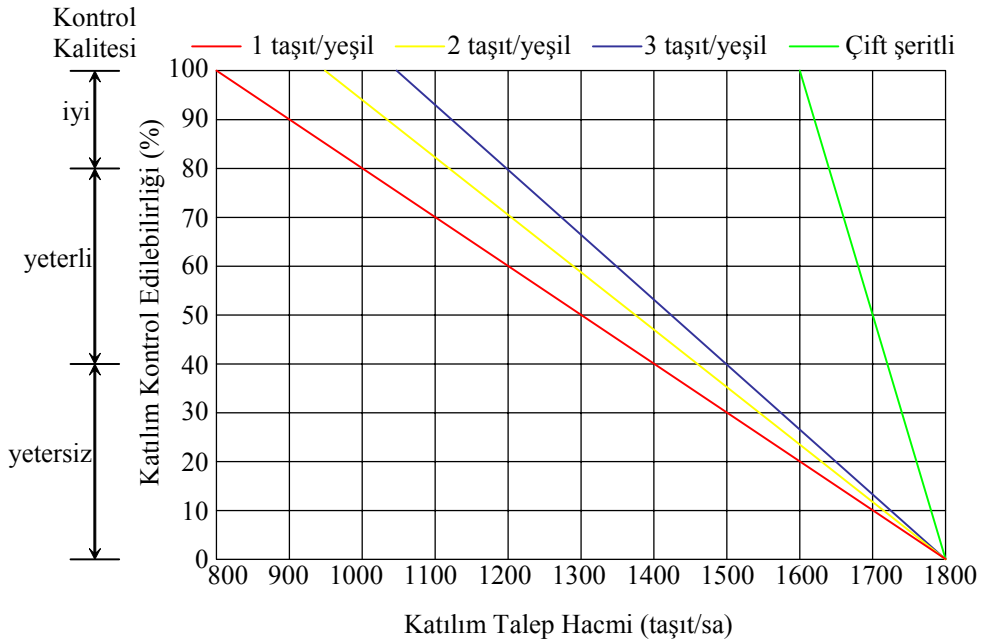
4.4.3 Çift Şeritli Katılım

Bu stratejide her iki şeritte de ayrı ışıklandırma yapılır. İki şeritte de aynı anda yeşil hiç bir zaman yanmaz. Senkronize bir periyot kullanılır. Bu strateji ile de 1600 ila 1700 taşıt/saat'lik

katılım kapasitesi sağlanabilmektedir. Bu strateji aynı zamanda katılım kolunun daha fazla taşıt depolamasını sağlayacaktır. (Chaudhary ve Messer, 2000)

Katılımdan gelen taşıtların gittikleri istikamete göre ayrı bir kontrol periyoduyla yola girişlerine izin verilebilir. Mesela anayoldan devam edecekler ayrı, yakın çıkışlardan ayrılacaklar ayrı olacak şekilde katılım sağlanabilir. Tabii bu strateji için en az çift şeritli katılım gerekecektir. (Daganzo ve diğ., 2002)

Bu üç strateji doğrultusunda Şekil 4.2 hangi katılım kontrol stratejisinin, değişik katılım taleplerine göre uygun olacağını göstermektedir. (Chaudhary ve Messer, 2000)



Şekil 4.2 Katılım kontrol stratejilerinin kalitesi (Chaudhary ve Messer, 2000)

Grafiğe bakacak olunursa 1200 taşıt/saat'in altında tek şeritli stratejiler iyi bir kontrol sağlamakta, 1400'e kadar da kullanılabilir düzeyde sonuç vermektedir. Çift şeritli katılımı da 1650 taşıt/saat'lik değere kadar iyi bir kontrol sağlanmaktadır. (Chaudhary ve Messer, 2000)

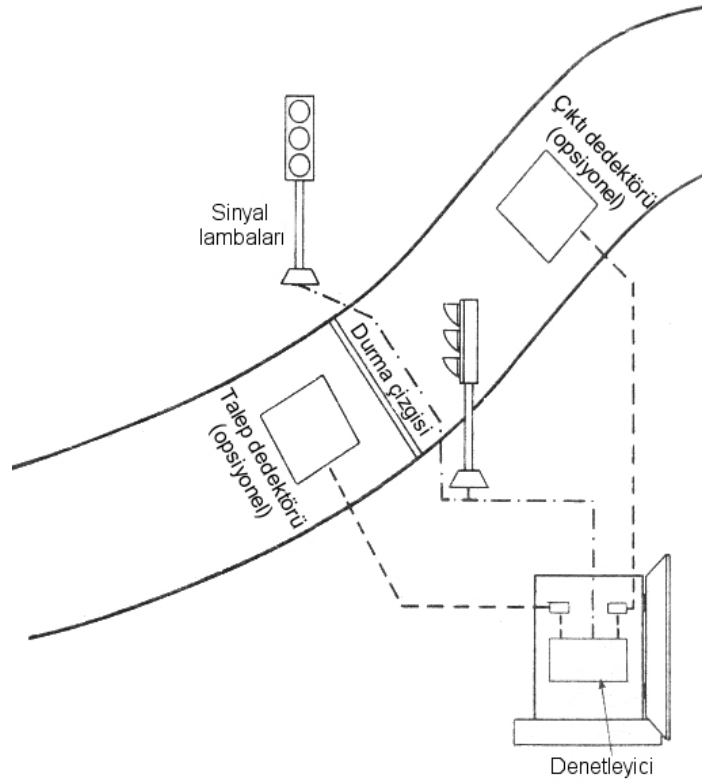
4.5 Katılım Kontrolü Türleri (Modları)

Katılım kontrolü için üç temel tür vardır:

- 1) Önceden zaman ayarlı kontrol (pretimed control)
- 2) Yerel uyarmalı kontrol (local actuated control)
- 3) Sistem bazlı kontrol (system control) (Blumentritt ve diğ., 1981)

4.5.1 Önceden Zaman Ayarlı Kontrol

Katılımdan gelen taşıtların anayol trafiğinin şartlarından doğrudan etkilenmediği katılım sistemidir. Önceden zaman ayarlı kontrolde dedektör kullanımı zorunlu değildir. Ancak istenirse anayolda değil katılım üzerinde kullanılabilir. Bu dedektörler katılımda taşıt bulunma durumuna göre ışıkları etkin hale getirirler. Katılım üzerindeki ışıkların periyotları daha önce yolda yapılmış gözlemlerle ve O-D (Origin-Destination/Başlangıç-Son) matrisi çalışmalarıyla belirlenir. Bu kontrol modu birden fazla katılıma uygulanabilir. Ancak bu katılım kontrolleri birbirinden bağımsız olarak çalışacaktır. Şekil 4.3'de önceden zaman ayarlı kontrole ilişkin bir uygulama görülmektedir. (Blumentritt ve diğ., 1981)



Şekil 4.3 Önceden zaman ayarlı kontrol uygulaması (Blumentritt ve diğ., 1981)

4.5.2 Yerel Uyarımalı Kontrol

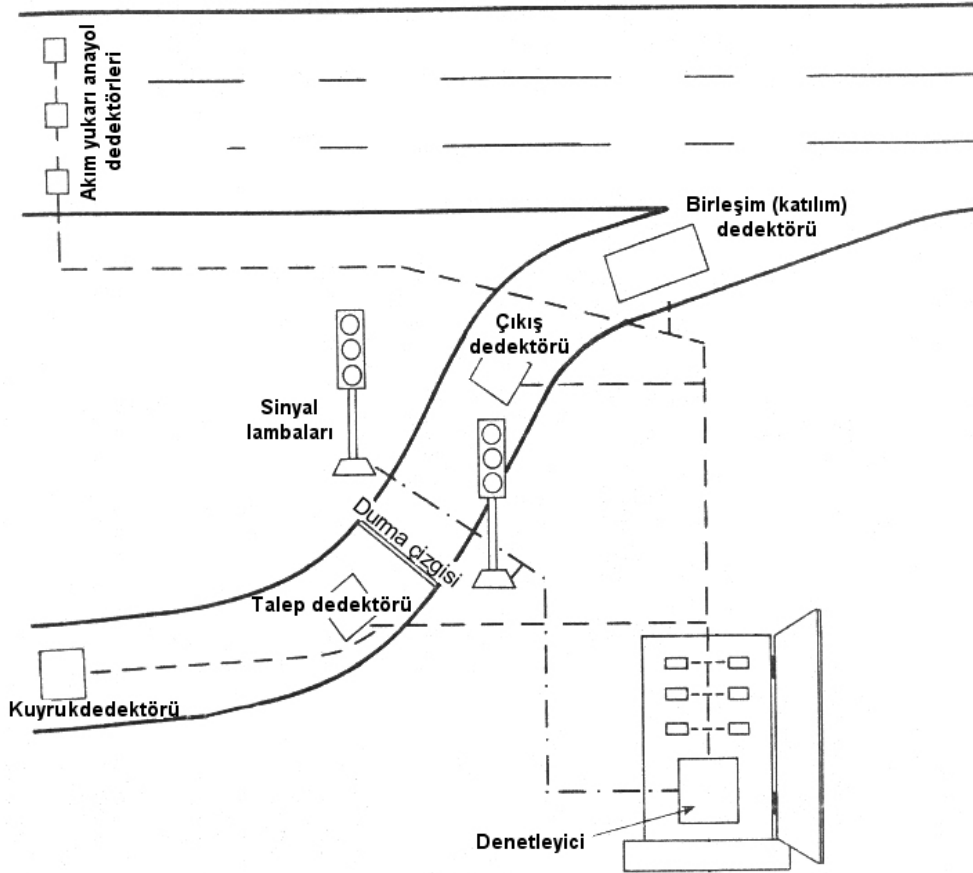
Yerel uyarımalı kontrolde önceden zaman ayarlı kontrolden farklı olarak kontrol sırasında sistem anayoldaki trafikten doğrudan etkilenir (Şekil 4.4). Örnek olarak anayoldaki trafik arttığında talebin kapasiteyi aşmaması için katılımdan gelen trafik kısıtlanır. Anayoldaki trafiğin durumunun belirlenmesi için anayol üzerinde dedektörlerle gerçek zamanlı sayım yapılır ve bu sayımlardan elde edilen veriler (hız, hacim, işgal, yoğunluk gibi) analiz edilerek

katılımda uygulanacak sinyal süreleri tespit edilip uygulanır. Genelde anayol işgal yüzdesi, katılım kontrol oranı (KKO) ile ilişkilendirilir (Çizelge 4.1). (Blumentritt ve diğ., 1981)

Çizelge 4.1 İşgal Yüzdesi ve katılım kontrol oranının ilişkilendirmesi
(Blumentritt ve diğ., 1981)

<u>Anayol İşgal Yüzdesi (%)</u>	<u>Katılım Kontrol Oranı (taşıt/dak)</u>
≤ 10	12
11-16	10
17-22	8
23-28	6
29-34	4
> 34	3

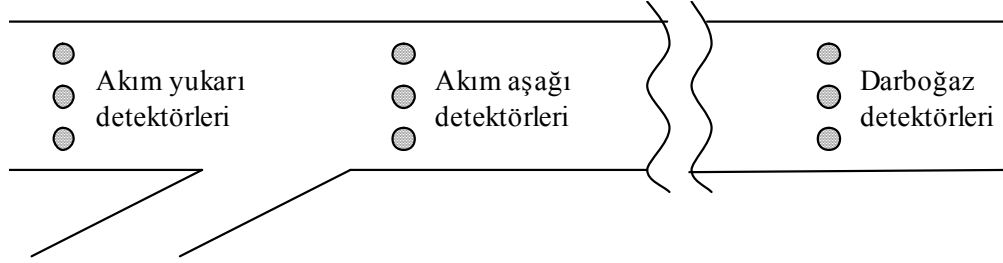
Bu sistemin de dezavantajı, önceki sistemde olduğu gibi birden fazla katılıma uygulanabilmesine rağmen, bu katılımların kontrolü arasında bir bağlantı ya da anayolun diğer kısımlarında oluşacak etkilerle ilgili bir girdinin bulunmamasıdır. Dolayısıyla bütün sistem üzerinde genel bir optimizasyon söz konusu değildir. Bununla birlikte kurulumu ve yönetimi çok karmaşık ya da zor değildir. (Blumentritt ve diğ., 1981)



Şekil 4.4 Bölge bazlı kontrol uygulaması (Blumentritt ve diğ., 1981)

4.5.3 Sistem Bazlı Kontrol

Buraya kadar bahsedilen iki türde stratejiden çok bir plana göre yönetim yapılmaktadır. Gerçek bir kontrol stratejisine sahip olan tür sistem bazlı kontrol türüdür. Sistem bazlı kontrol, bütün anayol üzerinde, gerçek zamanlı sayımlarla elde edilen verilerin işlenmesi ve o an için en iyi katılım kontrol periyotlarının bulunmasıyla yapılan optimizasyondur (Şekil 4.6). Doğal olarak böyle bir işlem için merkezi bir kontrol mekanizması (bilgisayar kontrolü) gereklidir. Bütün sistemden toplanan veriler bu kontrol mekanizmasında işlenir ve bu kontrol mekanizmasıyla da verilen kararlar sistemde uygulanır. Birden fazla kontrol mekanizması da bulunabilir. Bunlar birbirleriyle ilişki içinde çalışabilirler. Bu sistemin en önemli özelliği anayolda oluşan değişimlerin sistem stratejisini etkilemesidir. Böylece bu kontrol modunda sistem bazında bir optimizasyon gerçekleştirilebilir. Genelde elde edilen katılım kontrol periyotlarının en küçüğü kullanılır. Çizelge 4.2’de buna bir örnek verilmektedir. Şekil 4.5’deki değişik noktadaki dedektörlerle elde edilen çeşitli bilgilerden (Hacim, Hız vb.) faydalanılarak, önceden hazırlanmış katılım kontrol periyotları tablosundan, değişik durumlara göre katılım kontrol oranları belirlenir. (Blumentritt ve diğ., 1981)



Şekil 4.5 Yol kesimindeki dedektörler (Blumentritt ve diğ., 1981)

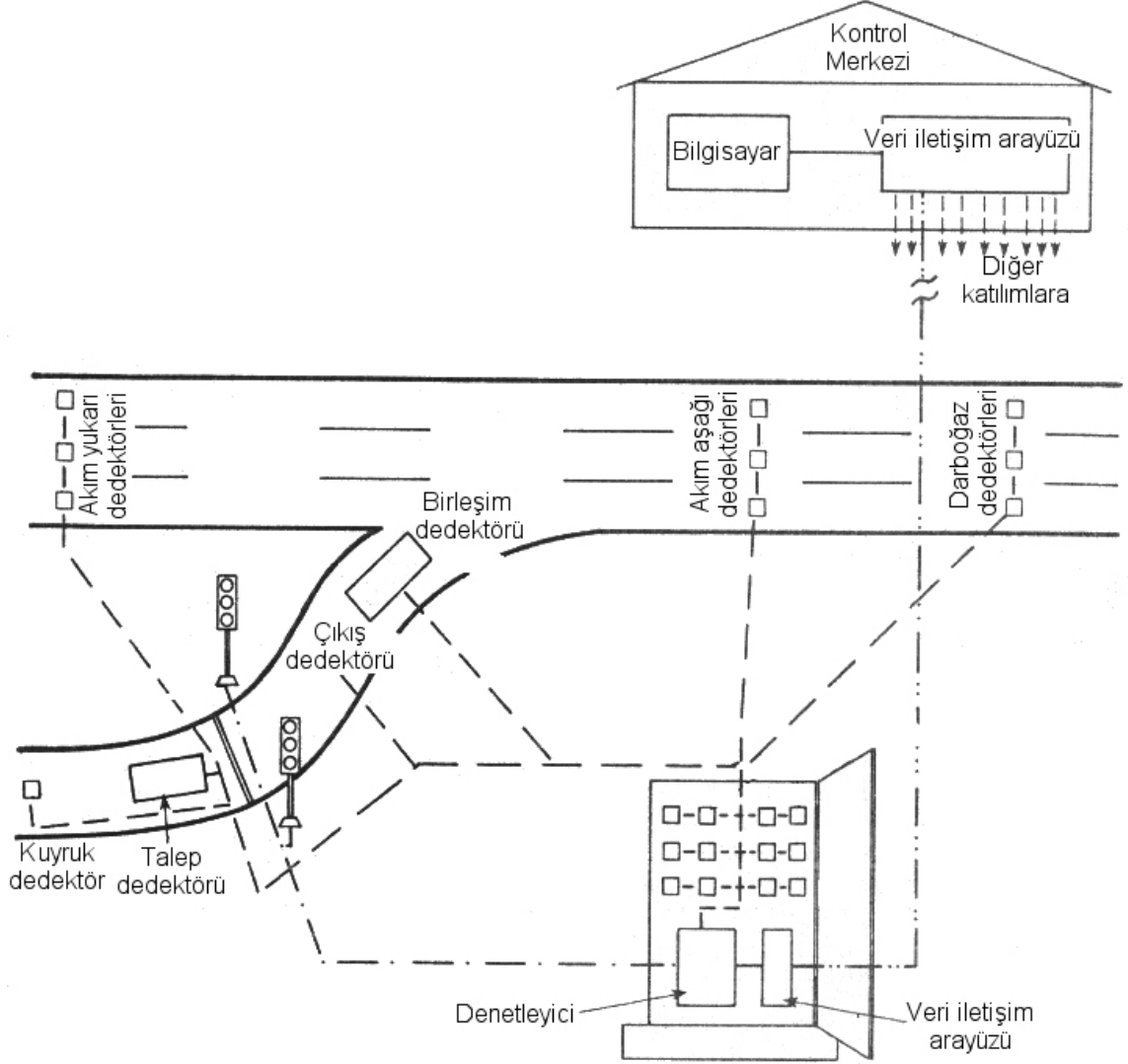
Çizelge 4.2 Dedektörlerden elde edilecek verilere göre katılım kontrol oranları (Blumentritt ve diğ., 1981)

Akım Yukarı Verileri		Akım Aşağı Verileri		Darboğaz Verileri	
1 dak.	Katılım	1 dak.	Katılım	Hız	Katılım
<u>Hacimler</u>	<u>(taşıt/dakika)</u>	<u>Hacimler</u>	<u>(taşıt/dakika)</u>	<u>(mil/saat)</u>	<u>(taşıt/dakika)</u>
91-100	3	91-100	3	41-50	15
81-90	6	81-90	6	31-40	12
71-80	9	71-80	9	21-30	9
61-70	12	61-70	12	11-20	6
<61	15	<61	15	0-10	3

Örneğin herhangi bir anda elde edilen verilere göre katılım kontrol oranı Çizelge 4.2’den akım yukarı için 6, akım aşağı için 9, darboğaz için 12 olursa, bunlardan en küçüğü uygulanır.

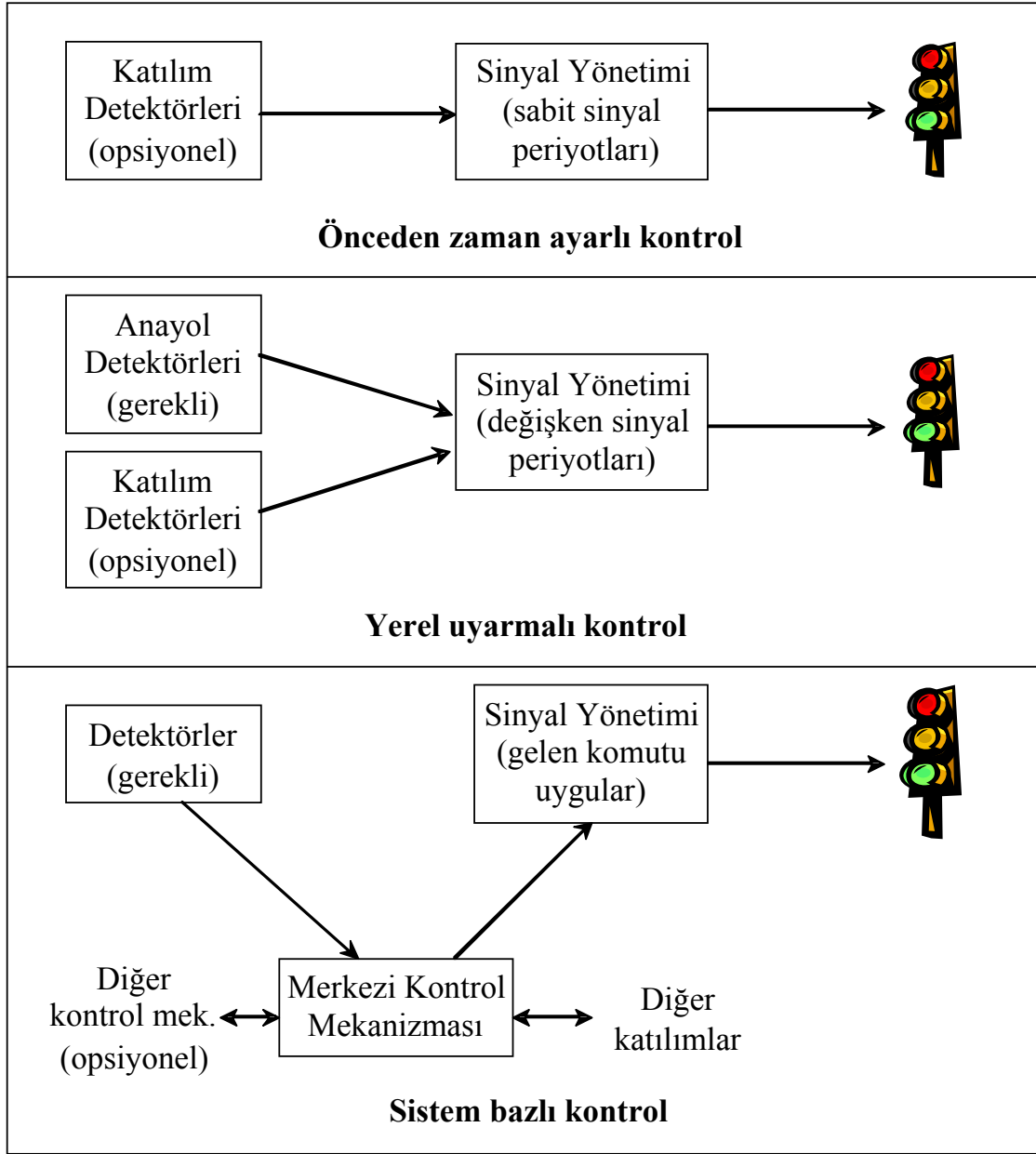
Yani akım yukarı için elde edilen 6 (taş/dak) değeri katılım kontrol oranı olarak seçilir. (Blumentritt ve diğ., 1981)

Bu kontrol türünün kurulumu ve yönetimi diğer türlere göre daha karmaşık ve zordur. Dolayısıyla böyle bir sistemin maliyeti de yüksek olacaktır. Ayrıca bu sistem kontrolünde otoyolda oluşan çeşitli sorunların çözümünde karmaşık algoritmalar kullanılır. (Blumentritt ve diğ., 1981)



Şekil 4.6 Sistem bazlı kontrol uygulaması (Blumentritt ve diğ., 1981)

Her üç kontrol türünün (modunun) genel çalışma prensipleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Katılım kontrolü türlerinin genel çalışma prensipleri (Blumentritt ve diğ., 1981)

4.6 Kontrol Türünün Seçimini Etkileyen Faktörler

Katılım kontrolü türü seçimini etkileyecek faktörler arasında şunlar sayılabilir.

- 1) Anayoldan gelen trafik hacminin ya da talebin zirve saat boyunca değişip değişmediği,
- 2) Katılımdan gelen hacmin ya da talebin zirve saat boyunca değişip değişmediği,
- 3) Anayol kapasitesinin değişiklikler gösterip göstermemesi,
- 4) Zirve saat boyunca değişen şartlar.

Özellikle zirve saatlerde gerçekleşen talep değişimleri kontrol türü seçiminde önemli rol oynarlar. Katılımdan ya da anayoldan gelen talepler çeşitli sebeplerle değişkendir. Bunların içinde olağan değişiklikler, kazalar, taşıt arızaları, haftanın değişik günleri, özel günler, hava koşulları gibi bir çok neden sayılabilir. Kaza gibi olaylar bu talep değişimlerini aniden yaratabilirler. Önceden zaman ayarlı kontrol, diğer türlere göre bu gibi durumlarda daha dezavantajlı olacaktır. Eğer anayoldan ve katılımdan gelen talep değişmiyor, yol kapasitesi sabit ve zirve saat boyunca da çok sık değişen şartlar oluşmuyorsa, önceden zaman ayarlı kontrol modu kullanılabilir. Bu sayılanların dışında oluşan durumlarda yerel uyarmalı ya da sistem bazlı kontrol modu uygulanması daha iyi bir çözüm getirecektir. Bu iki mod arasındaki seçimde de modun uygulanacağı yol kesiminin özellikleri ve yapılacak yatırım rol oynayacaktır. Olaya ekonomik yönden bakılırsa, yaklaşık değerlerle önceden zaman ayarlı kontrol modu için harcanan para 1 lira varsayılırsa, yerel uyarmalı kontrol modu için harcanacak para 1,25 lira, sistem bazlı kontrol için 2 lira olacaktır. (Blumentritt ve diğ., 1981)

Mod seçiminden önce elde edilmesi gereken veriler şu şekilde sıralanabilir.

Geometrik veriler: İlk olarak kontrol modunun uygulanacağı yol kesiminin geometrisi belirlenmelidir. Yol geometrisini belirleyen veriler arasında şunlar sıralanabilir: (Blumentritt ve diğ., 1981)

- şerit sayısı,
- katılım sayısı,
- anayolun sınıfı,
- katılımların geometrisi
- katılımların depolayabileceği taşıt sayıları,
- anayoldaki sağ şeridin kullanılabilirliği,
- toplam şerit uzunlukları,

Zirve saati talebi ve O-D modeli: O-D (Origin-Destination/Başlangıç-Son) modeli oluşturularak yol kesimine giren taşıtların hangi oranlarda hangi çıkışlara gittikleri tespit edilir. (Blumentritt ve diğ., 1981)

Önceden zaman ayarlı kontrol planlama: Girdi talepleri ve O-D modeli de belirlendikten sonra ilk kontrol planı yapılabilir. Her katılım için katılım oranı, talep/kapasite oranlarına göre belirlenir. (Blumentritt ve diğ., 1981)

Talep değişimlerinin analizi: Değişik talep durumları için sistem geliştirilmelidir. Talebin artması, düşmesi, kısa zamanlı değişimleri gibi durumlar hesaba katılmalıdır. (Blumentritt ve diğ., 1981)

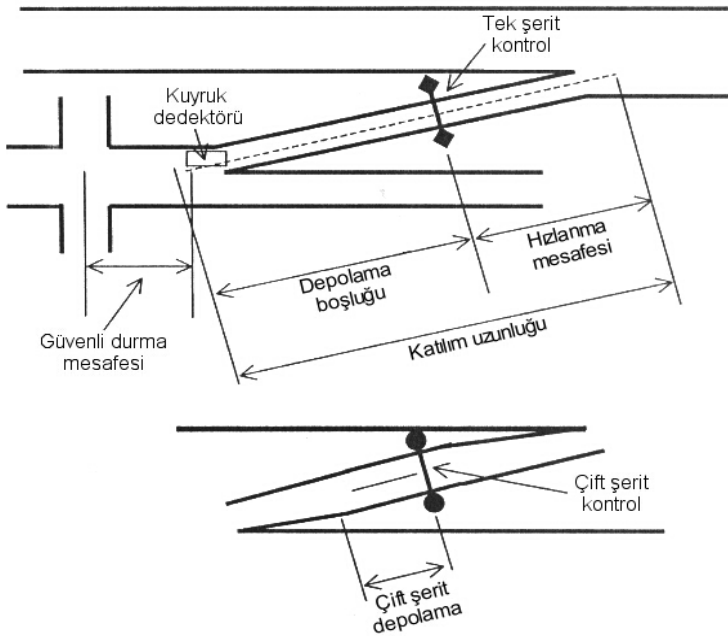
Kaza/arıza olaylarının analizi: Kaza ve arızaların yoldaki trafiğe etkisi büyüktür. Özellikle beklenmedik olayların gerçekleşmesi trafiği olumsuz etkiler. Sık gerçekleşen olaylar da mutlaka hesaba katılmalıdır. (Blumentritt ve diğ., 1981)

Çevresel analiz: Çevresel etmenlerde düşünülmelidir. Yağmur, kar, sis, buzlanma gibi etmenler de kapasiteyi ve talebi etkiler. Bu etkilerin boyutları ayrıca araştırılmalıdır. (Blumentritt ve diğ., 1981)

4.7 Katılım Kontrolü Geometrik Tasarımı

Katılım kontrolü tasarlanırken şu üç unsura dikkat edilmelidir:

- Taşıtların durabileceği ve anayola birleşme için yeterli hız kazanabilecekleri mesafe sağlanmalıdır.
- Sinyalizasyondan dolayı oluşacak kuyruk için katılım kolunda yeterli depolama alanı olmalıdır. Kuyruk arkaya çok fazla uzayarak kendisinden önceki yolu kapamamalıdır. Sinyal süreleri buna göre ayarlanmalıdır.
- Kuyruk arkasına araçların güvenle yanaşıp durabilmeleri içinde gerekli durma mesafesi bırakılmalıdır.



Şekil 4.8 Katılım kontrolü geometrik tasarımı
(Chaudhary ve Messer, 2000)

Şekil 4.8’de bu mesafeler gösterilmiştir. Kuyruk dedektörü gerçek zamanlı olarak maksimum kuyruk uzunluğunu belirler. Kuyruk dedektörü ile sinyal arasındaki mesafe depo alanı olarak kullanılır. Çift şeritli katılım için her şeritte minimum 4 araç olacak şekilde depo alanı tasarlanmalıdır. (Chaudhary ve Messer, 2000)

Taşıtların kuyruk arkasında minimum durma mesafesinin hesabı için, AASHTO’ ya

göre şu formül kullanılabilir. (Chaudhary ve Messer, 2000)

$$X = 0,278vT + \frac{v^2}{254f_v} \quad (4.1)$$

Burada;

X : Durma mesafesi (m),

v : Taşıt hızı (km/sa),

T : Sürücü reaksiyon süresi (sn)

f_v : Frenleme katsayısı

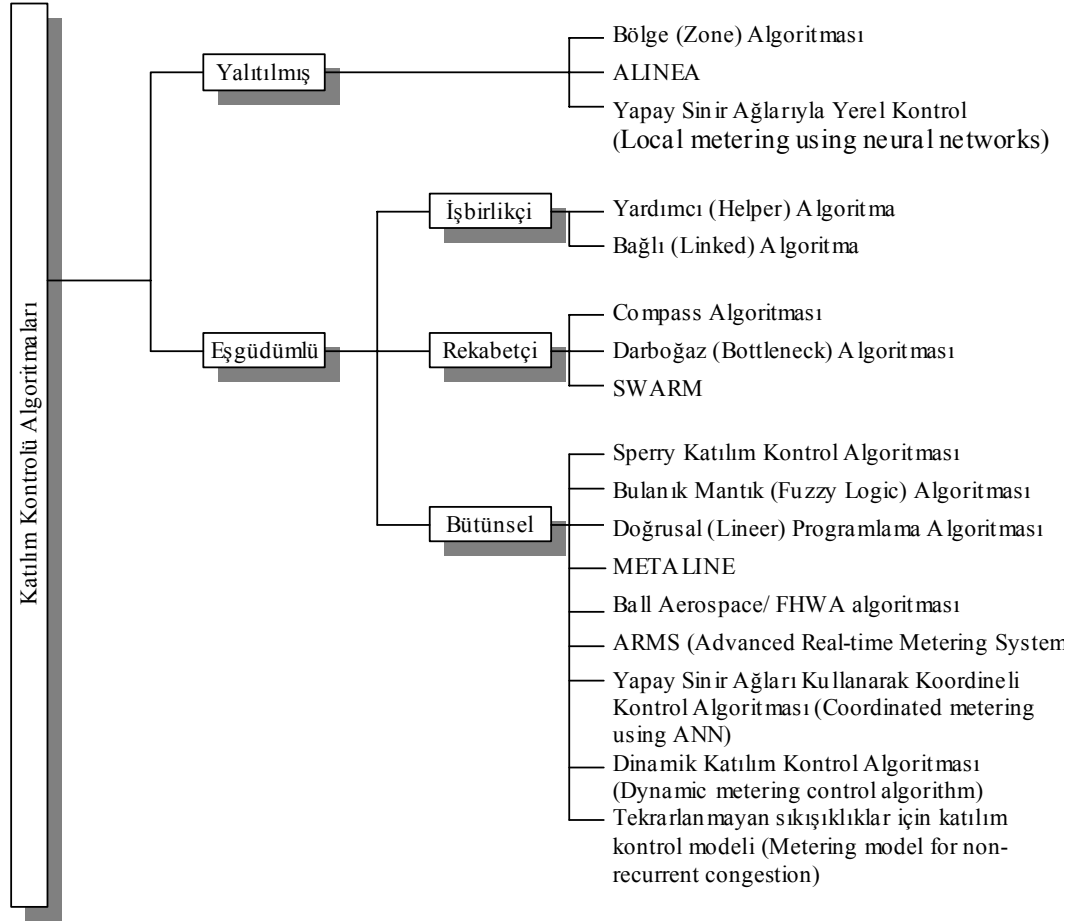
Gene AASHTO' ya göre ışıklardan sonra anayola katılmak için hızlanma mesafeleri birleşme hızına göre Çizelge 4.3'te verilmektedir. (Chaudhary ve Messer, 2000)

Çizelge 4.3 Katılım hızlarına göre hızlanma mesafeleri (Chaudhary ve Messer, 2000)

<u>Katılım Hızı (km/saat)</u>	<u>Hızlanma Mesafesi (m.)</u>
60	112
70	158
80	228
90	323
100	442

4.8 Katılım Kontrol Algoritmaları

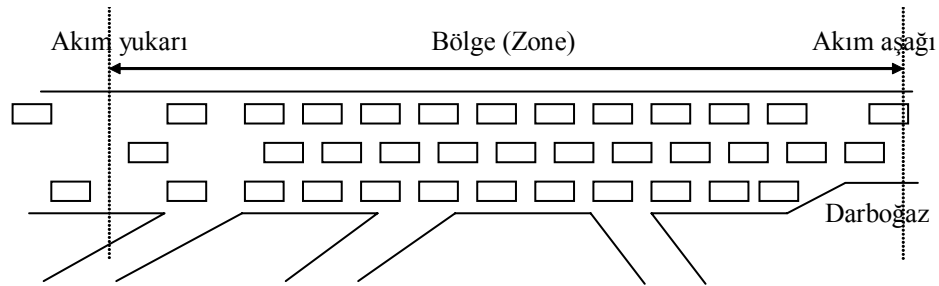
Katılım kontrolünün uygulanması için önceden zaman ayarlı kontrol hariç diğer iki (yerel ve sistem bazlı) kontrolün işlemesi için bir algoritma gereklidir. Yani, bu algoritmalara işlemlerin yapılıp katılım kontrol oranlarının hesaplandığı denklemler topluluğu denilebilir. Çok çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Bunların bazıları gerçek hayata geçirilmişken bazıları da şimdilik sadece simülasyon ortamında uygulanabilmiştir. Bu algoritmaları özelliklerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmayı yaparken yalıtılmış denilen grup, yerel bazlı çalışan kontrol sistemlerinin kullandığı algoritmaları kapsar. Eşgüdümlü diye ayrılan grup ise sistem bazlı çalışan kontrol sistemleri için geliştirilmiş algoritmaları içerir. Eşgüdümlü altında da üç ayrı grup açılmıştır. Bunlar işbirlikçi (bölgesel toplanan verilere göre KKO'nın hesaplandığı ve sistemin şartlarına göre ayarların yapıldığı algoritmalar), rekabetçi (her katılım için biri sistem bazlı diğeri yerel bazlı olmak üzere iki KKO'nın hesaplandığı ve bunlardan en kısıtlayıcısının uygulandığı algoritmalar), Bütünsel (hem yerel hem de sistem bazlı şartların beraber kullanılmasıyla KKO'nın elde edildiği algoritmalar) dır. (Jin ve Zhang, 1997)



Şekil 4.9 Katılım kontrolü algoritmalarının sınıflandırılması (Jin ve Zhang, 1997)

4.8.1 Bölge (Zone) Algoritması

Bu algoritmada çalışma alanı 3 ila 6 mil (4,8 km – 9,6 km) arası değişik uzunluklarda bölgelere ayrılır. Bu ayırım yapılırken anayol üzerindeki darboğazlar belirlenir. Bu darboğazların olduğu yer bölgenin başlangıcı, diğer bir ifadeyle akım aşağı sınırı olur. Bölgenin sonu ya da akım yukarı sınırı ise kuyruğun bittiği serbest akımın olduğu yer olacaktır (Şekil 4.10). (Bogenberger ve May, 1999)



Şekil 4.10 Bir otoyol bölgesi

Bölgenin içersine de bir çok katılım ve ayrımlar olabilir. Hatta bunların bazılarında kontrol yapılmıyor olabilir. Bu algoritmanın konsepti bölgeye giren taşıt hacmiyle çıkan taşıt hacmini dengelemektir. Dolayısıyla bölgeye araç girişinin ve çıkışının olduğu her yerde hacim ölçümü yapılır. Bu yapılan ölçümler kullanılarak giriş ve çıkış hacimleri birbirine eşitlenir. Bu işlem yapılarak bölge içersindeki yoğunluk sabitlenir. Algoritmada hacim dengelemesi için kullanılan formül aşağıdaki gibidir.(Bogenberger ve May, 1999)

$$A + U + M + F = X + B + S \quad (4.2)$$

Burada;

A: Anayol akım yukarı hacmi (ölçümden)

U: Kontrolün olmadığı katılımlardan gelen hacim (ölçümden)

M: Kontrol yapılmış katılımlardan gelen hacim (kontrollü)

F: Otoyoldan otoyola (eğer varsa) katılan hacim (kontrollü)

X: Ayrımlardan çıkan toplam hacim (ölçümden)

B: Akım aşağı darboğaz kapasitesi (sabit)

S: Bölge içersindeki işgal edilmemiş alan (ölçümden)

S'nin sıfır olduğunu yani bölgenin içersinde başka araçların yer alabileceği bir boşluğun bulunmadığı varsayılarak, kontrollü giren hacim için formül(Bogenberger ve May, 1999);

$$M + F = (X + B) - (A + U) \quad (4.3)$$

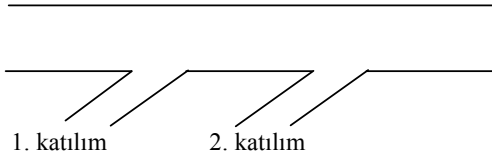
şeklinde olacaktır. Bu formül yardımıyla kontrol edilen katılımlardan toplam ne kadarlık taşıt girişine izin verilmesi gerektiği hesaplanmış olunur. Bu hacim değeri bulunduktan sonra bu hacmin kontrol yapılan katılımlara dağıtılması ve dağıtılan değerler için katılım kontrol oranının (KKO) hesabı kalıyor. Bu hacim dağıtımının gerçekleştirilmesi katılım faktörü denilen bir değerle gerçekleşiyor. Yani katılımlara bu hacim eşit şekilde dağıtılmıyor. Koridoru içersinde bazı katılımların özellikleri itibariyle önceliği olacaktır, dolayısıyla bu katılımlara toplam hacimden daha fazla pay verilmesi mantıklı olacaktır. İşte bu katılım faktörü de bu oranlamayı yapacak değer olacaktır. (Bogenberger ve May, 1999)

Katılım faktörünü kullanarak eldeki hacmi kontrollü katılımlara dağıttıktan sonra geriye KKO'larını belirlemek kalıyor: Daha basit bir söylemle, katılımlardaki ışıkların ne kadar süre yeşil, sarı ve kırmızı yanacağını bulunması. Bu hesaplama katılım stratejisine (tek şerit her yeşilde bir taşıt, tek şerit her yeşilde çok taşıt, çift şeritli katılım) bağlı olarak değişecektir. Eğer tek şerit bir araba stratejisi uygulayacaksa, bir arabanın girmesi için gereken sürenin 1,3 sn yeşil, 0,7 sn sarı (sarı ışıkta arabanın geçiş süresi olarak düşünülüyor) olduğu varsayılırsa,

istenilen hacim oranının sağlanması için bulunması gereken değer kırmızı ışık süresi olacaktır.(Bogenberger ve May, 1999) Bu sürenin hesabı içinde aşağıdaki formülü kullanılabilir;

$$\text{Kırmızı ışık Süresi} = \frac{\text{Algoritma hesap periyodu}}{\text{Katılım faktörü} \times \text{Toplam katılım hacmi}} - (\text{Yeşil ışık süresi} + \text{Sarı ışık süresi}) \quad (4.4)$$

Şekil 4.11’de görülen basit bir kesim için bir örnek:



Şekil 4.11 Örnek katılım kesimi

Algoritma verileri 5 dakikalık aralıklarla alıp işliyor, 1. ve 2. katılımların faktörleri sırayla 0,40 ve 0,60, katılımlarda tek şerit her yeşilde bir taşıt stratejisi uygulanıyor; buna göre de yeşil 1,7 sn, sarı 0,3 sn yanıyor; katılımlardan

girmesi gereken toplam hacim 130 taşıt / 5 dak ise;

$$1. \text{ katılım kırmızı ışık süresi} = (5 \times 60) / (0,40 \times 130) - (1,7 + 0,3) = 3,77 \text{ sn.}$$

$$2. \text{ katılım kırmızı ışık süresi} = (5 \times 60) / (0,60 \times 130) - (1,7 + 0,3) = 1,85 \text{ sn.}$$

değerleri elde edilir.

Bölge algoritmasının esnek olduğu söylenebilir; ancak gerekli parametrelerin trafik ve anayol şartlarına göre çok iyi belirlenmesi gerekecektir ve bu işlem görüldüğü kadar kolay değildir. Ayrıca bu algoritmanın trafik akımları için çok dinamik olduğu söylenemez. Anayolda oluşacak beklenmedik olaylarla hızlı değişen trafik akım koşullarına yeterli karşılığı veremeyebilmektedir.(Jin ve Zhang, 1997)

4.8.2 ALINEA (Asservissement Linéaire d'Entrée Auotrouitière)

ALINEA'yı bölgesel geri beslemeli katılım kontrolü olarak tanımlanabilir. Bu algoritmanın amacı maksimum akım değeri için optimum işgal düzeyini sağlamaktır. Birçok yerde başarılı uygulaması vardır ve en popüler algoritmalarından biridir. Algoritma, her zaman aralığı için aşağıdaki denklemi çözer ve KKO'nı bulur.(Bogenberger ve May, 1999)

$$r (k) = r (k - 1) + K_R [o_c - o_{out} (k)] \quad (4.5)$$

Burada;

k : zaman indeksi,

r(k) : önceki periyot katılım kontrol oranı,

r(k-1) : (k-1)'deki katılım kontrol oranı,

K_R : ayarlanabilir düzenleme faktörü ($K_R > 0$)

o_c : önceden belirlenmiş maksimum kapasitede sağlanacak işgal (occupancy) yüzdesi

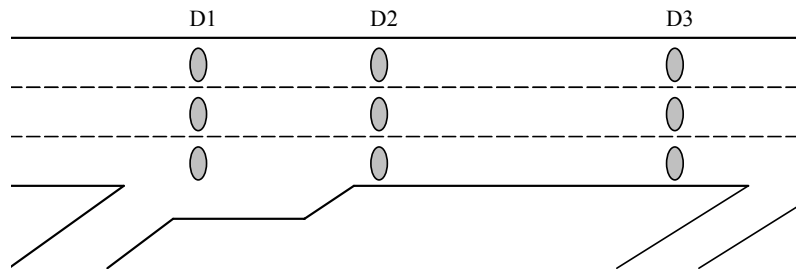
$o_{out}(k)$: katılımın olduğu yerde ölçülen işgal yüzdesi (dedektör verilerinden hesaplanır)

Formülde ölçülen işgal, istenen işgalden büyük çıktığında, K_R düzenleyici parametre ile çarpılan değer negatif çıkacak ve kontrol oranı düşürülmüş (katılımdan daha az araç geçişine izin verilmiş) olacaktır. Ters durumda da arttırılmış olacaktır. Ayrıca algoritmada kuyruk uzunluğu da göz önüne alınarak $r(k)$ oranı optimize edilir. Bu algoritmanın en büyük özelliklerinden biri de denklemin bir önceki zaman aralığıyla ilişkili olmasıdır. Bu durum KKO'lar arasında yumuşak bir geçiş olmasını sağlayıp ani ve büyük oran farklarını engeller.(Hasan ve diğ., 1999)

ALINEA akım aşağı anayol işgalini, "arzulanan değerler" doğrultusunda düzenler. Burada bahsedilen "arzulanan değer" maksimum akım değerindeki işgal değeridir. Bu işgal değeri hedef işgal olarak nitelendiriliyor. ALINEA algoritmasının çalışması için iki önemli husus vardır. Birincisi dedektörlerin yol üzerinde nerelere yerleştirileceğidir. Diğeri ise optimum işgal değerinin belirlenmesidir. Şurası açık ki algoritmanın performansı bu iki etmene bağlı olarak değişecektir. Dedektörler için yer seçiminde tıkanıklığın gerçekleştiği bölgeler tercih edilir bu bölgeler de genelde katılımların akım aşağısıdır. (Hasan ve diğ., 1999)

ALINEA algoritması için simülasyon üzerinde yapılmış olan denemelerle, en uygun işgal oranının ve dedektör yerlerinin belirlenmesine bir örnek aşağıda verilmektedir.(Hasan ve diğ., 1999)

Zirve saatlerde %90 ve %100'lük talep gerçekleşmesi durumunda, ALINEA için kullanılan optimum işgal oranı olarak %23, %21, %19, %15 değerleri seçildiğinde ve farklı yerlerdeki (Şekil 4.12) D1, D2, D3 dedektörlerine göre seyahat zaman kazanç değerleri (pozitif değerler kazanç, negatif değerler kayıp olduğunu gösteriyor) aşağıdaki tablolarda (Çizelge 4.4-4.7) verilmiştir.(Hasan ve diğ., 1999)



Şekil 4.12 ALINEA algoritmasıyla katılım kontrolü (Hasan ve diğ., 1999)

Çizelge 4.4 %90 talepte, dedektörlere ve işgal yüzdesine göre anayol, katılım ve toplamda seyahat zaman kazançları (Hasan ve diğ., 1999)

Dedektörler	İşgal (%)	Anayol (%)	Katılım (%)	Toplam (%)
D1	15	+2,3	-16,9	-8,6
	19	+8,4	-3,4	+1,7
	21	+6,4	-3,9	+0,5
	23	+7,3	-5,1	+0,2
D2	15	+1,8	-18,3	-9,7
	19	+9,3	-4,2	+1,6
	21	+6,1	-3,5	+0,6
	23	+7,9	-6,2	-0,1
D3	15	+3,0	-16,4	-8,1
	19	+8,0	-4,0	+1,2
	21	+5,2	-2,6	+0,8
	23	+5,4	-3,9	+0,1

Çizelge 4.5 %100 talepte, dedektöre ve işgal yüzdesine göre anayol, katılım ve toplamda seyahat zaman kazançları (Hasan ve diğ., 1999)

Dedektörler	İşgal (%)	Anayol (%)	Katılım (%)	Toplam (%)
D1	15	+6,1	-10,3	-3,4
	19	+11,8	+0,1	+5,0
	21	+12,4	-0,5	+4,9
	23	+8,1	-6,1	-0,1
D2	15	+1,2	-16,3	-8,9
	19	+11,0	-2,4	+3,2
	21	+6,1	-11,5	-4,1
	23	+5,2	-11,3	-4,4
D3	15	+1,1	-18,2	-10,1
	19	+10,3	-3,7	+2,2
	21	+8,1	-3,8	+1,2
	23	+6,2	-7,9	-2,0

Çizelge 4.6 %90 talepte, %19 hedef işgal yüzdesi ile dedektöre ve akım aşağı yönde darboğaz oluşumuna göre anayol, katılım ve toplamda seyahat zaman kazançları (Hasan ve diğ., 1999)

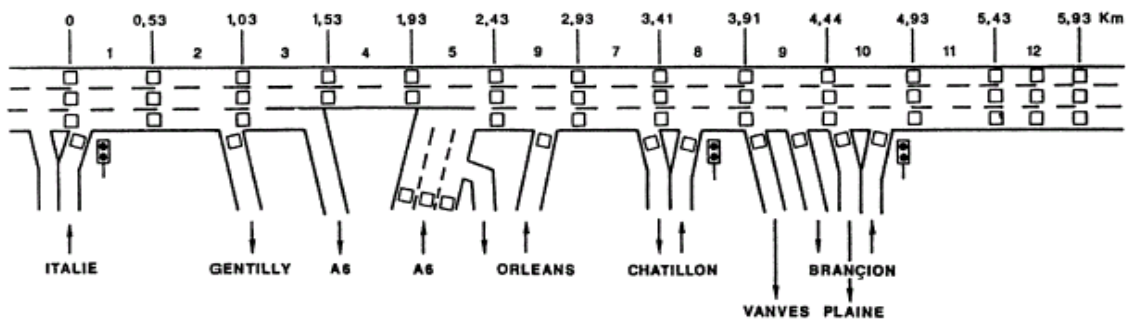
Dedektörler	Şartlar	Anayol (%)	Katılım (%)	Toplam (%)
D1	Alt akım darboğazı	+7,7	-2,4	+2,0
D2		+8,4	-1,5	+2,8
D3		+4,6	-4,5	-0,6
D1	Alt akım darboğazı	+8,4	-3,4	+1,7
D2		+9,3	-4,2	+1,6
D3		+8,0	-4,0	+1,2

Çizelge 4.7 %100 talepte, %19 hedef işgal yüzdesi ile dedektöre ve akım aşağı yönde darboğaz oluşumuna göre anayol, katılım ve toplamda seyahat zaman kazançları (Hasan ve diğ., 1999)

Dedektörler	Şartlar	Anayol (%)	Katılım (%)	Toplam (%)
D1	Alt akım	+6,9	-3,8	+0,7
D2	darboğazı	+8,8	-1,9	+2,6
D3	var	+0,7	-13,8	-7,7
D1	Alt akım	+11,8	+0,1	+5,0
D2	darboğazı	+11,0	-2,4	+3,2
D3	yok	+10,3	-3,7	+2,2

Çizelge 4.4 ve 4.5'e bakılacak olunursa, %90 ve %100 talepler için %19'luk hedef işgalin her üç dedektörde de en iyi kazancı sağladığını görürüz. Dolayısıyla verilen koşullar için en uygun hedef işgal değerinin %19 olduğu söylenebilir. Çizelge 4.6 ve 4.7'deki verilerden de akım aşağı yönde bir darboğaz oluşma ve oluşmama durumuna göre üç dedektörün hangisinden elde edilen değerlerin en iyi sonucu verdiği karar verilebilmektedir. Darboğaz oluşma durumuna göre D2, oluşmama durumuna göre de D1 dedektörünün en iyi sonucu verdiği görülüyor. D3 dedektörü ise hepsinde en kötü sonuçları vermiş. Dolayısıyla D3 dedektörünün kullanımına gerek olmadığı, akım aşağı yönde darboğaz oluştuğunda D2, oluşmadığında D3 dedektörünün kullanılacağı sonuçları çıkartılabilir. ALINEA bölgesel bazlı bir kontrol sistemi olduğu için akım aşağıda oluşan bir darboğazın etkisini karşılamakta tabii ki diğer sistem algoritmalarına göre daha düşük bir performans gösterecektir. Akım aşağı yönde oluşan bir darboğazdan etkilenmediği takdirde ALINEA kolay kurulumu ve performansıyla tercih edilir bir algoritmadır.(Hasan ve diğ., 1999)

ALINEA'nın kontrolsüz, talep-kapasite ve işgal (occupancy) yüzdesi gibi denetim yöntemleriyle kıyaslaması da Çizelge 4.8'de verilmiştir. Bu değerler Paris'teki çevre yolu için (Şekil 4.13) sabah saat 7:00 – 10:00 arasındaki zirve saatlerinde ve kaza olmayan 13 gün boyunca elde edilmiştir. Çizelgede gösterilen değerlendirme kriterlerindeki azalmalar (negatif değerler) ALINEA'nın bariz üstünlüğü göstermektedir.(Papageorgiou ve diğ., 1997)



Şekil 4.13 Paris'teki çevre yolu (Papageorgiou ve diğ., 1997)

Çizelge 4.8 ALINEA'nın diğer sistemlerle kıyaslaması (Papageorgiou ve diğ., 1997)

Kontrol Stratejileri	Toplam Harcanan Zaman		Toplam Yolculuk mesafesi		Ortalama hız		Ortalama tıkanma süresi	
	Taşıt.sa	Değişim %	taşıt.km	Değişim %	Km/sa	Değişim %	dak.	Değişim %
Kontrolsüz	421	-	16463	-	39	-	108	-
ALINEA	354	-15,9	16980	3,1	48	23,1	53	-50,9
Talep-Kapasite kontrolü	407	-3,3	15143	-8,0	37	-5,1	108	0,0
İşgal yüzdesine göre kont.	438	0,4	15673	-4,8	36	-7,7	103	-4,6

4.8.3 Yapay Sinir Ağıyla Yerel Kontrol (Local Metering Using Neural Network)

Bu algorithmada yerel bazda trafik uyarmalı katılım kontrolü yapılır. KKO hesaplanırken de yapay sinir ağından yararlanır. Bu modelde akım yoğunluk ilişkisi doğrusal değildir. Geri besleme denetçisi de aynı şekilde doğrusal çalışmaz. Bu algoritma sadece simülasyon ortamında çalıştırılmış ve kontrol amaçlarını sağlamakta başarılı olduğu gözlenmiştir. (Bogenberger ve May, 1999)

4.8.4 Yardımcı (Helper) Algoritma

İlk olarak 1981'de Denver'da (ABD) I-25 otoyolu üzerinde uygulanmış ve 1984'e kadar genişletilmiştir. Uygulandığı yerde algoritma, her kesimde 7 katılım olacak şekilde otoyol koridorunu 6 ayrı kesime bölmüştür ve her katılım için de 6 ayrı kontrol oranı belirlenmiştir. Sistem dahilindeki katılımlara bu oranlardan biri uygulanmaktadır. Algoritma hangi oranın uygulanması gerektiğini belirler. Yani bu algoritmanın, katılım kontrol oranı hesaplama gibi bir özelliği yoktur. (Bogenberger ve May, 1999)

Algoritma dedektörlerden elde ettiği 20sn'lik verilere göre katılımlar için iki kademede (kritik ve kritik değil) tanımlaması yapar. Kritik olma durumunu katılımın maksimum KKO ile çalışması ve katılımdaki kuyruğun maksimuma ulaşması şartlarına göre tanımlar. Diğer durumlarda katılım için kritik değil kademesi tanımlanır. Eğer bir katılım için kritik tanımlaması yapılmışsa, akım yukarı yöndeki ilk katılımın Katılım Kontrol Oranı, belirlenen kademedeki bir kademe düşürülür. Yani daha az taşıtın girişine izin verilir. Eğer kritik durum üç periyot sonra da devam ederse aynı işlem bir üst katılımda da gerçekleştirilir. Bu şekilde kesim içindeki bütün katılımların kısıtlamaları sırayla arttırılır. Eğer birinci kesim içersindeki katılımların kısıtlaması yeterli olmazsa bir üst kesimin katılımlarına geçilir. Bu yöntem, sistem "kritik değil" durumuna dönene kadar uygulanır. (Bogenberger ve May, 1999)

Yardımcı algoritma, elde hatasız bir trafik akım modeli ve O-D matrisi yoksa, uygulanabilecek en iyi çözümlerden biridir. (Jin ve Zhang, 1997)

4.8.5 Bağlı (Linked) Algoritma

Bu algoritma 1968'den beri San Diego (ABD) bölgesinde kullanılmaktadır. Temeli talep-kapasite teorisine dayanmaktadır. Belirlenmiş O-D'ye göre katılımlara ve kesimlere olabilecek maksimum kapasiteler dağıtılır. Bu dağıtım talebe, katılım kuyruklama deposuna ve maksimum kuyruk uzunluğuna göre değişecektir. Bu bilgilere göre de her katılım için KKO belirlenir. Bu işlemler zirve saatleri için yapılarak anayol kesimlerine göre değişik akım profilleri çıkartılır. Elde edilen bu akımlar hedef akım değerleri olacaktır. Bulunan farklı KKO'lar büyükten küçüğe ya da küçükten büyüğe sıralanarak çeşitli kademeler oluşturulur. Bir katılım için KKO belirlenirken şu formül kullanılır; (Bogenberger ve May, 1999)

$$\text{KKO} = \text{Hedeflenen akım oranı} - \text{Akım yukarıdan gelen akım oranı}$$

Burada akım yukarı yönden gelen akım oranı hedeflenen akım oranından büyük çıkarsa katılma en kısıtlayıcı orana sahip kademe uygulanır. Hedeflenen akım oranı, anayolda zirve saatindeki maksimum akımı ifade eder. Ayrıca sistem KKO'yu belirlerken akım yukarı işgal (occupancy) ölçümü de yapar ve buna göre de bir KKO belirler. Katılım için bulunan bu KKO'lardan en kısıtlayıcısı uygulanır. Bu noktadan sonrası Yardımcı (helper) Algoritmasına benzemektedir. Kontrol olarak en kısıtlayıcı üç kademedan birine ulaşan katılım akım yukarıdaki katılıma sinyal göndererek onun da kendisinin uyguladığı KKO ya da daha kısıtlayıcı bir KKO uygulamasını sağlar. Eğer kısıtlama yeterli olmuyorsa daha yukarıdaki katılımların kısıtlaması arttırılır. (Bogenberger ve May, 1999)

Bu algoritmanın da olumlu ve olumsuz yönleri birbirlerine benzerliklerinden dolayı Yardımcı Algoritma ile aynı olacaktır. (Jin ve Zhang, 1997)

4.8.6 Compass Algoritması

Bu algoritma ilk olarak 1975'de Toronto'da (Kanada) uygulanmıştır. Algoritma, her katılım için hazırlanmış, süresi 0-15 sn. arasında değişen 17 kontrol kademesinden birini seçerek katılıma uygular. Bu sistem manuel olarak da çalışabilir. Gerektiğinde otomatik moda geçer. Bu seçimi yaparken algoritma hem anayoldaki genel trafik akımını hem de yerel olarak, katılımın bulunduğu bölgedeki anayol akımını göz önüne alır. Bu algoritmanın başlıca dört

ögesi kontrol kesimi, kontrol periyodu, kontrol algoritması ve kuyruk aşımıdır. (Bogenberger ve May, 1999)

Kontrol kesiminin amacı her katılım kontrol stratejisi için karar değişkenlerinin elde edileceği bölgeyi ve birbiriyle ilişkili çalışacak katılımları tanımlamaktır. Kontrol periyotları da kontrolün otomatik mi manuel mi çalışacağını belirler. Bu durumu belirleyen beş periyot vardır: (Bogenberger ve May, 1999)

- Periyot 0: Katılımdaki bütün sinyaller yeşil
- Periyot 1: Anayol dedektörleri, belirlenen sınır hacim veya işgal değerlerinin aşıldığını saptarsa, katılım kontrolü başlar.
- Periyot 2: Bütün katılımların kontrolü koordineli bir şekilde çalışmaya başlar.
- Periyot 3: Anayol akımının akıp gitmesi için katılım kapatılır.
- Periyot 4: Bütün katılımların kontrolü günün değişik zamanları için hazırlanmış bir programa göre çalışabilir.

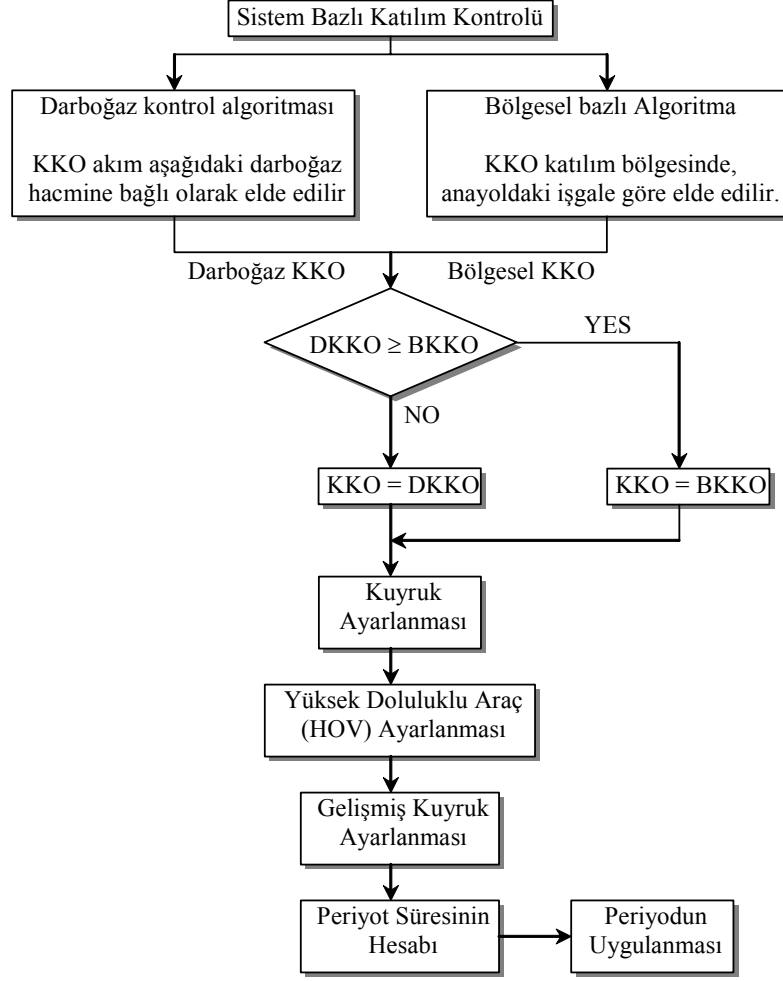
Katılım kontrol oranı hesabı her 30 saniyede bir çalışır. Oran değişkene göre belirlenir. Bunlar; katılım bölgesi anayol işgali, akım aşağı anayol işgali, akım yukarı anayol hacmidir. Bu değerlere göre daha önceden hazırlanmış sınır değerleri tablosuna bakılarak katılım kontrol oranı seçilir. Birden fazla oran çıktığında en kısıtlayıcısı uygulanır. (Bogenberger ve May, 1999)

Bu algoritma aynı zamanda katılım kuyruğunun geriye doğru yayılmasını da göz önünde bulundurur. Eğer bu kuyruk sınır uzunluk değerini aşarsa, kontrol kademesi daha az kısıtlayıcı olacak şekilde bir kademe arttırılır. (Jin ve Zhang, 1997)

Compass algoritması içerdiği çok sayıda kontrol kademesiyle esnek bir algoritmadır. Ancak kontrol oranlarının önceden belirlenmiş olması sebebiyle çokta optimize bir çözüm getirdiği söylenemez. (Jin ve Zhang, 1997)

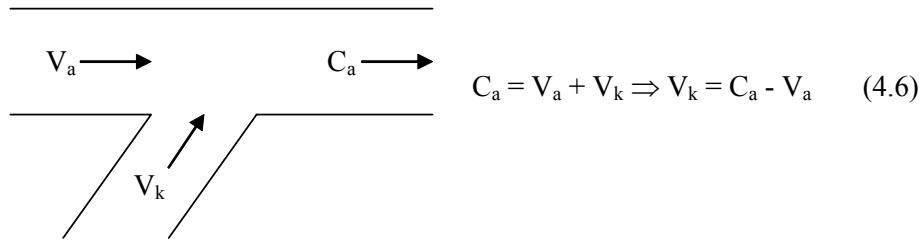
4.8.7 Darboğaz (Bottleneck) Algoritması

Bu algoritma katılımlardan bölgesel bazlı alınan veriler ve darboğazdan elde edilen veriler yardımıyla bulunan KKO'lardan en küçüğünün seçilip katılıma uygulanması mantığına dayanır (Şekil 4.14). (Bogenberger ve May, 1999)



Şekil 4.14 Darboğaz algoritması akış diyagramı (Bogenberger ve May, 1999)

Bölgesel KKO hesaplanırken, katılımdan gelen hacim ile katılım öncesi anayoldan gelen hacmin toplamının, katılım sonrası anayol kapasitesine eşitlenmesine çalışılarak bulunur. Bu formülden, uygulanacak KKO, katılımdan girecek hacim (V_k) çekilerek hesaplanır. Bu formülle talep kapasite denetimi yapılır. (Bogenberger ve May, 1999)



Darboğaz algoritması şu iki durum gerçekleştiğinde kontrolü aktif hale getirir;

1. Akım aşağıdaki darboğaz oluşumuna eğilimli bölge, işgal yüzdesi sınırını geçerse,
2. Darboğaz bölgesinin arkasına doğru araç depolanması başlarsa.

Bu iki durum gerçekleştiğinde önce sistem bazında darboğazdaki akımı koruyacak şekilde, hacim kapasite ilişkisinden gereken hacim düşüşü hesaplanır, bu düşüş katılımlara dağıtılır ve KKO hesaplanır. Aynı işlem katılımların olduğu yerde bölgesel olarak yapılır ve bir KKO da buradan elde edilir. Böylece her katılım için iki KKO değeri elde edilmiş olur. Bu iki değerden en kısıtlayıcısı katılıma uygulanmak üzere seçilir. KKO belirlendikten sonra bu oran fiziksel şartlara (kuyruk uzunluğu, hava şartları gibi) göre optimize edilir. Ayrıca yüksek doluluklu araçlar ve kontrollere uymayan araçlar da düşünülerek optimizasyon devam ettirilir.(Bogenberger ve May, 1999)

Bu algoritma çok sayıda ayar gerektirdiğinden dolayı biraz karmaşıktır. Ancak bu karmaşıklık onun trafik şartlarına iyi cevap veren bir algoritma olmasını sağlar. (Jin ve Zhang, 1997)

4.8.8 SWARM (System Wide Adaptive Ramp Metering)

SWARM algoritması aslında birbirinden bağımsız çalışan iki algoritmadan (SWARM1 ve SWARM2) oluşur. SWARM2 bölgesel kontrol mekanizmasıyla KKO'nı belirler. SWARM1 ise global kontrol mekanizmasıyla bütün sistemden elde ettiği hacim düşüşü değerlerine göre KKO'nı belirler. Sonuçta hangisi daha kısıtlayıcıysa o uygulanır.(Bogenberger ve May, 1999, Jin ve Zhang, 1997)

SWARM1 trafik yoğunluğuna göre çalışır. Amacı gerçek zamanlı elde edilen yoğunluğu her kesim için önceden belirlenmiş yoğunluk değerlerinin altında tutmaktır. SWARM1'de elde edilen yoğunluk değerlerinden faydalanılarak sonraki bir zaman için yoğunluk tahmini yapılır. Bu tahmin yoğunluğunun, doyma noktasının üstüne çıkması durumunda, yoğunluk fazlası (Şekil 4.15) hesaplanır. Bulunan bu yoğunluk fazlası hedef yoğunluğun hesabı için kullanılır. Formülasyon şu şekildedir. (Bogenberger ve May, 1999)

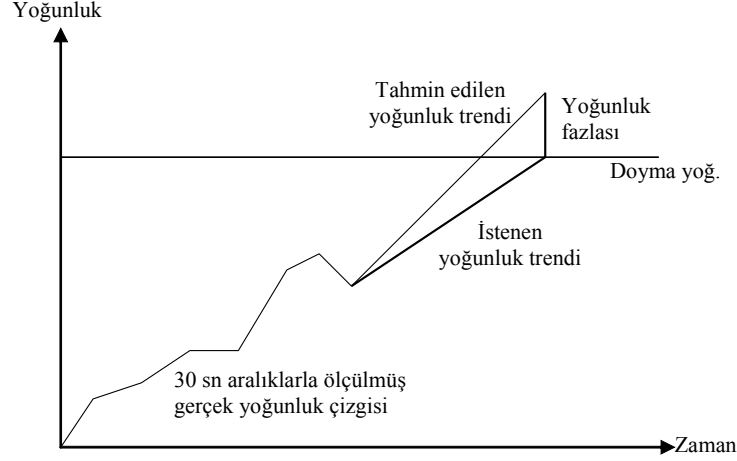
$$\text{Hedef yoğunluk} = \text{Şimdiki yoğunluk} - (1 / \text{tahmin süresi}) \times (\text{yoğunluk fazlası}) \quad (4.7)$$

Bu formülle hedef yoğunluk belirlendikten sonra her kesim için gereken hacimdeki düşüş şu formülle belirlenir. (Bogenberger ve May, 1999)

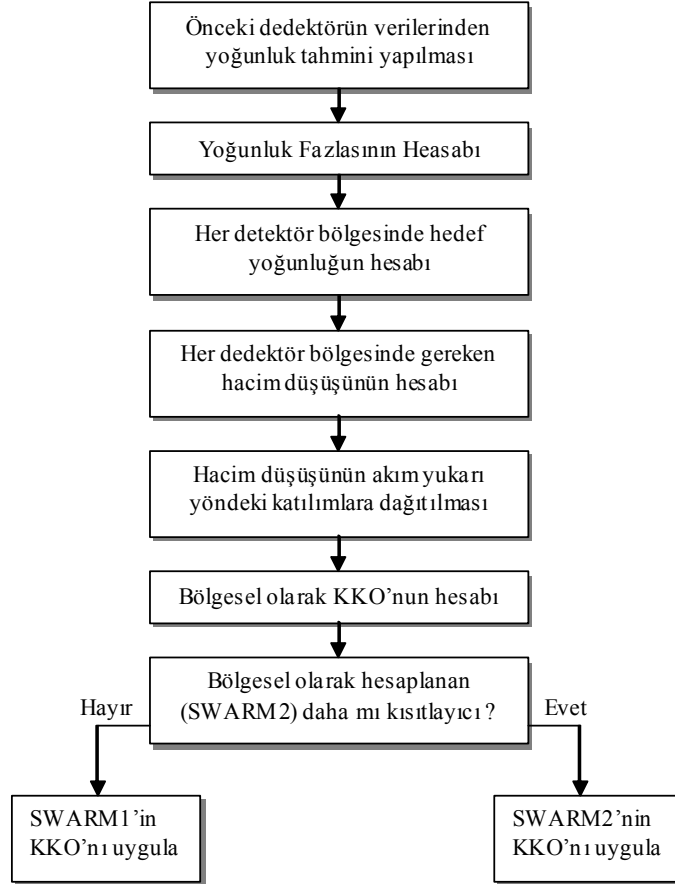
$$\text{Hacim düşüşü} = (\text{Bölg. yoğ.} - \text{Hedef yoğ.}) \times \text{Şerit say.} \times \text{Bir sonraki istasyona uzaklık} \quad (4.8)$$

Elde edilen bu hacim düşüşleri, akım yukarı yöndeki katılımlara daha önceden belirlenmiş olan ağırlık faktörleri yardımıyla dağıtılır ve katılımlar için KKO'lar belirlenir.(Bogenberger ve May, 1999)

SWARM2 hesaplanmış bölgesel yoğunlukları kullanarak KKO'ları belirler. SWARM1 ile beraber çalışır (Şekil 4.16). SWARM algoritmasının ayrı bir özelliği de dedektörlerden gelen bozuk verileri trende göre tespit etmesi ve bunları düzeltmesidir. (Jin ve Zhang, 1997)



Şekil 4.15 SWARM tahmin işlemi (Bogenberger ve May, 1999)



Şekil 4.16 SWARM algoritması akış diyagramı (Bogenberger ve May, 1999)

4.8.9 Sperry Katılım Kontrol Algoritması

Sperry algoritması katılım kontrolüyle ilgili, kısıtlamalı ve kısıtlamasız olarak isimlendirilen iki basit moddan oluşuyor. Kısıtlamasız kontrol, katılım kuyruğunun şehir içi yollara ulaşmasının ardından, kuyruğun iç yollara etkisi azalınca kadar uygulanır. Kısıtlamalı kontrol ise kuyruğun iç yolları etkilememesi durumunda uygulanır. Bu algorithmada talep/kapasite oranına göre katılımlarda kısıtlama yapılır. Amaç, toplam talebin kapasiteyi geçmemesidir. Sonuçta bu iki modda ana etmen kuyruk uzunluğudur. (Bogenberger ve May, 1999)

Algoritma otoyolu kontrol kesimlerine ayırır, her kesim on kadar katılım kontrolü içerebilir. Sistem her katılım ve ayırma yapılan trafik sayımlarını kullanır. Ayrıca kapasiteyi hava koşullarına göre ayarlar. Algoritma, hesaba bölge içinde akım aşağı yönde yakın olan katılımdan başlar ve talep kapasite yöntemine göre sırayla akım aşağıdan akım yukarıya doğru bütün katılımları kapsar. Ancak algoritma bu kadar basit değildir. Algoritmanın özel işlevleri de vardır. Bunlar; (Bogenberger ve May, 1999)

- Eğer katılım kuyruğu belli uzunluğu aşmışsa akım yukarıdaki katılımlarda ayarlamalar yapacaktır.
- Mümkün olduğunca daha yüksek hizmet düzeyi sağlamak için, KKO, gerekenden biraz daha az kısıtlayıcı olacak şekilde uygulanır.
- Algoritma, beklenen anayol talebi değerlerini uygulayarak, çeşitli katılımlardan bu taleplere bağlı araç sayılarındaki değişiklikleri çeşitli işaretlerle yansıtabilir.
- Algoritma, elde edilen katılım kontrol oranının en uygun zamanda uygulanmasını sağlayarak hassas bir düzenleme yapar.

Bu algoritmanın tek olumsuz yanının sadece kapasite hacim değerlerini kullanması olduğu söylenebilir. (Bogenberger ve May, 1999)

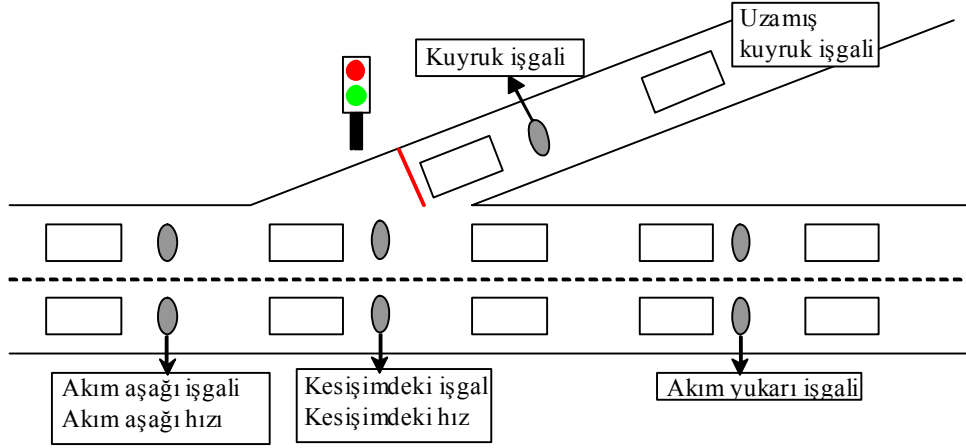
4.8.10 Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Algoritması

Fuzzy Logic algoritması temel olarak Fuzzy küme teorisine dayanmaktadır. Varolan katılım kontrol sistemlerinin kısıtlamalarını aşmak için geliştirilmiştir. Simülasyon ortamında bu algoritma, trafiğin hızını arttırmış, sıklıkla önlemiş, anayol katılım kesişmelerini akıllıca dengelemiş ve kolay ayarlanabilmiştir. (Bogenberger ve May, 1999)

Fuzzy mantığı aslında nesnel ve öznel bilginin birlikte kullanıldığı mantıktır. Diğer mantıklarda, örneğin bir x elemanının bir A kümesinin üyesi olma olasılığı ya 1 dir ya da 0

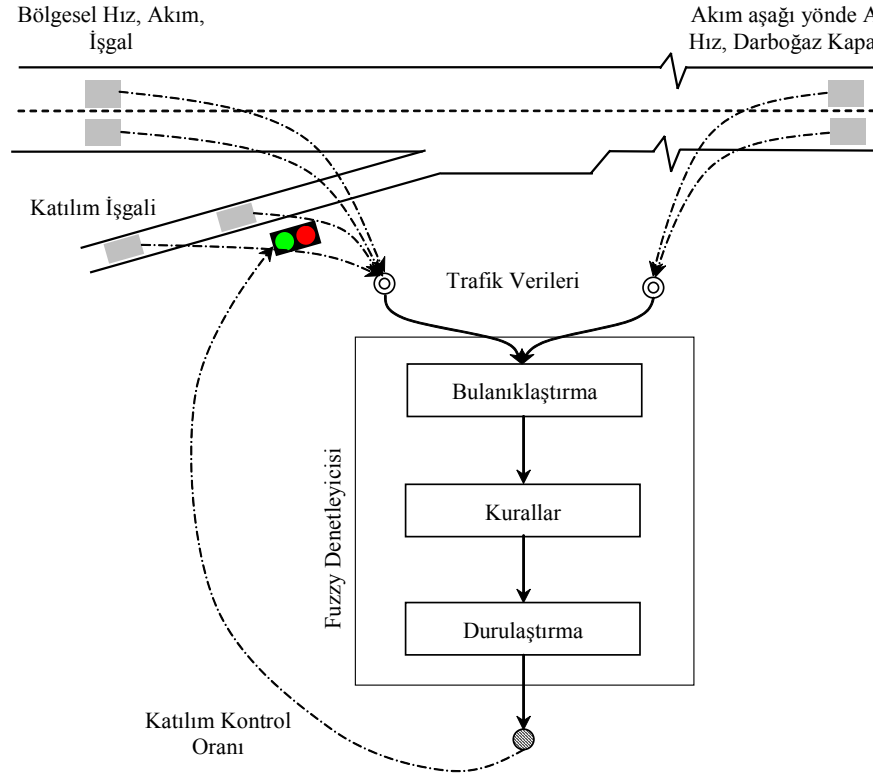
dır. Fuzzy’de ise bu üyelik 1 ile 0 arasında değişik derecede değer alır. Aldığı değer 1’e yaklaştıkça o kümenin üyesi olma gerçeği artar. Yani iki kesin yanıt arasında diğer olasılıklarda değerlendirilir. Ayrıca fuzzy de işlemler yerini cümlelere, sayılar da yerini kelimelere bırakabilir. Bu özelliği sayesinde diğer sistemlerin çözümsüz kaldığı yerde fuzzy çözüm getirebilir. Fuzzy’nin diğer bir özelliği doğrusal mantıkla çalışmak zorunda olmamasıdır. Genelde diğer sistemler bu mantıkla çalışırlar. Oysa gerçek hayattaki koşullar çoğunlukla doğrusal değildir. Bu açıdan da fuzzy diğer sistemlere göre avantaj sağlar. (Bogenberger ve May, 1999)

Fuzzy algoritmasının amacı, seyahat mesafesini maksimum, seyahat süresini minimum ve araç gecikmesini minimum yapmaktır. Bunlarla birlikte katılım kuyruğu uzunluğunu kabul edilebilir bir uzunlukta tutulmaktadır. Fuzzy mantığı üç aşamadan oluşur: Bulanıklaştırma, kuralların uygulanmasıyla sonuç ve durulaştırma aşamaları. Algoritma 20 sn.lik dedektör ölçüm değerlerini (Şekil 4.17) girdi olarak alır. (Bogenberger ve May, 1999)



Şekil 4.17 Fuzzy Algoritması girdi değerleri (Bogenberger ve May, 1999)

Şekil 4.18’de Fuzzy Algoritmasının çalışma yöntemi gösterilmiştir. Fuzzy mantığı bulanıklaştırma aşamasında bu değişkenleri (ölçüm değerlerini) alıp ayrı sınıflara (çok ufak, ufak, orta, büyük, çok büyük) koyar. Bu değerleri sınıflara koyarken her birine 1 ile 0 arasında bir derece verir. Buna bulanıklaştırma (fuzzification) denir. Daha sonra bu sınıflara ayrılmış değerlerde bir kurallar dizisinden geçerek kontrol aksiyonunu belirler. Kurallar dizisi oluşturulurken uzman fikirlerinden, operatör tecrübelerinden ve sistem bilgisinden yararlanılır. Bahsedilen bu kurallar, oluşan duruma karşı yapılacak işlemi belirler. Örneğin, eğer akım çok ufaksa ve darboğaz var ise, yüksek KKO kullan gibi. (Bogenberger ve May, 1999)



Şekil 4.18 Fuzzy Algoritması çalışma yöntemi (Bogenberger ve diğ., 2001)

Son olarak ta durulaştırma (defuzzification) uygulanır. Durulaştırmada elde edilen bulanık sonuçlardan gerçek hayata uygulanabilecek kesin ve net bir sonuç çıkartılır. Yani burada KKO elde edilir. Durulaştırma aşamasında başlıca iki yöntem kullanılır. (Bogenberger ve May, 1999)

- Maksimumların ortalaması yöntemi (Mean of Maximum)
- Ağırlık merkezi yöntemi (Centroid)

Maksimumların ortalaması yönteminde, maksimum üyelik derecesine göre değişkenlerin ortalaması alınır. Katılım kontrolünde daha çok kullanılan ikinci yöntemidir. Bu yöntemle birçok dedektörden gelen değişkenlerle elde edilen bulanık sonuçlardan katılım için kesin bir sinyal süresi bulunabilir. (Bogenberger ve May, 1999)

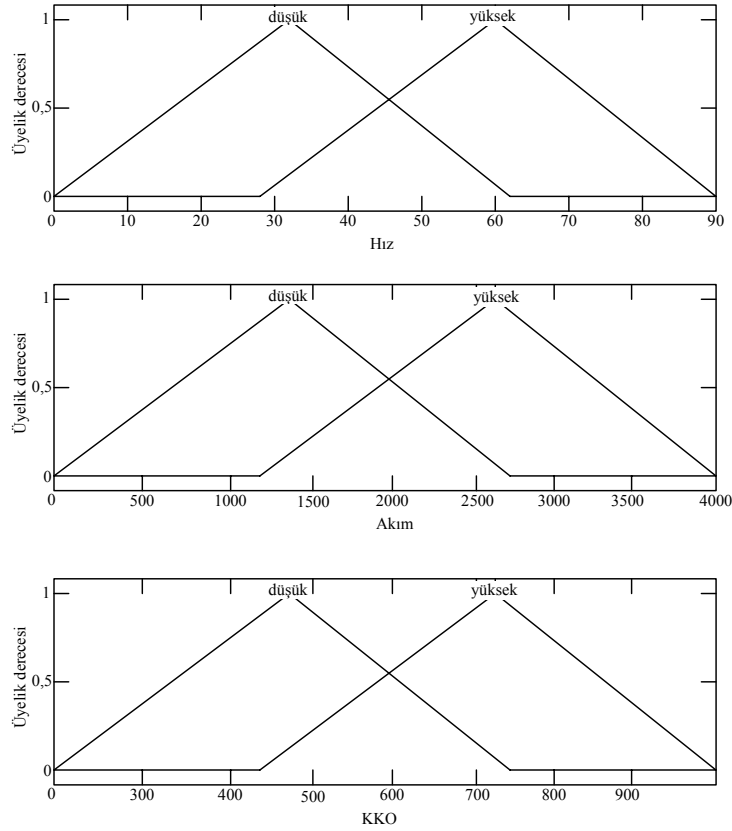
Fuzzy Logic için basit bir örnek:

Yolda akım yukarı dedektörleri hız ve akım verilerini dakikada bir denetleyiciye göndermektedir. Hız ve akım, düşük ve yüksek olmak üzere iki sınıfa ayrılıyor. Çıktı olarak da KKO elde edilmek isteniyor. KKO için de yine düşük ve yüksek diye iki sınıf tanımlanıyor. (Bogenberger ve May, 1999)

Kurallar:

- 1) EĞER $\langle Hız = Düşük \rangle$ VE $\langle Akım = Düşük \rangle$ İSE $\langle Katılım Kontrol Oranı = Yüksek \rangle$
- 2) EĞER $\langle Hız = Düşük \rangle$ VE $\langle Akım = Yüksek \rangle$ İSE $\langle Katılım Kontrol Oranı = Yüksek \rangle$
- 3) EĞER $\langle Hız = Yüksek \rangle$ VE $\langle Akım = Düşük \rangle$ İSE $\langle Katılım Kontrol Oranı = Düşük \rangle$
- 4) EĞER $\langle Hız = Yüksek \rangle$ VE $\langle Akım = Yüksek \rangle$ İSE $\langle Katılım Kontrol Oranı = Yüksek \rangle$

Hız, akım ve KKO değişkenlerinin yaratılan sınıflara üyelik dereceleri de Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Derecelerin değişimi sınıflar için üçgen olarak verilmiştir. Çizelge 4.9'da da sınıflara göre üyelik derecesinin 1 kabul edildiği hız, akım ve KKO değerleri verilmiştir. (Bogenberger ve May, 1999)

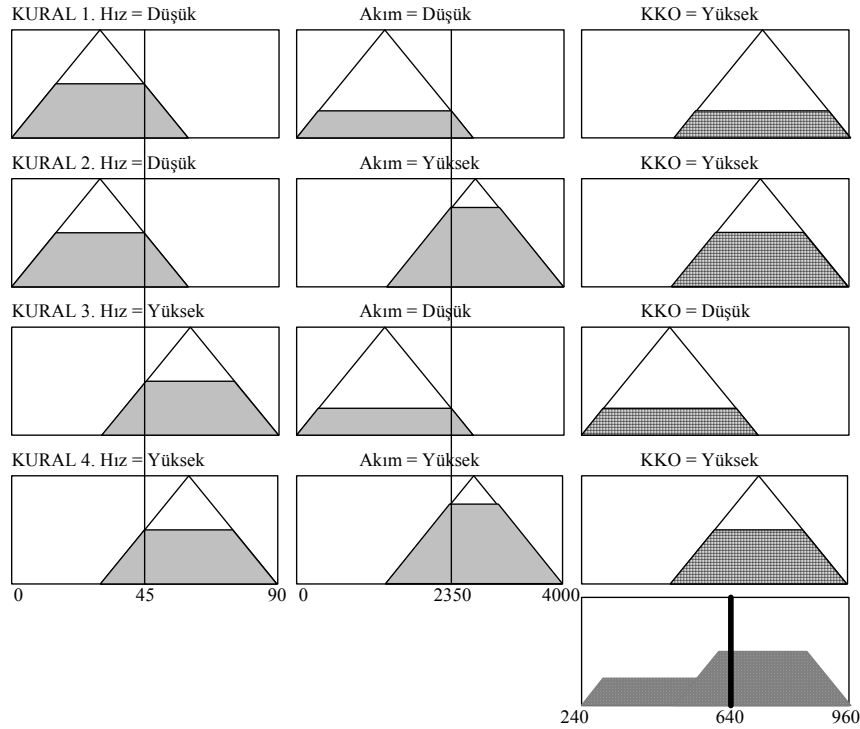


Şekil 4.19 Hız, akım ve KKO üyelik dereceleri (Bogenberger ve May, 1999)

Çizelge 4.9 Maksimum üyelik değerlerine göre Hız, Akım, KKO
(Bogenberger ve May, 1999)

	<u>“Düşük”</u>	<u>“Yüksek”</u>
Hız	30 mil/sa	60 mil/sa
Akım	1333 taşıt/sa	2666 taşıt/sa
KKO	480 taşıt/sa	720 taşıt/sa

Örnek olarak kullanılacak veriler, Hız: 45 mil/sa, Akım: 2350 taşıt/sa olsun. Şekil 4.20’de kuralların sırasıyla uygulanması gösterilmektedir. Burada üçgenler Hız ve akımın “Düşük” ve “Yüksek” olma durumlarına göre kullanılmıştır. Derece olarak, en olumsuz durumu ele almak için hız ile akım arasında düşük dereceli alınarak KKO dereceleri belirlenir. Son işlem olarak da elde edilen alanın ağırlık merkezi (centroid) yöntemi kullanılmıştır. KKO grafiklerinin ortak alanlarının ağırlık merkezine karşılık gelen KKO 640 araç/sa olarak belirlenmiştir. (Bogenberger ve May, 1999)



Şekil 4.20 Kuralların uygulanması (Bogenberger ve May, 1999)

4.8.11 Doğrusal (Linear) Programlama Algoritması

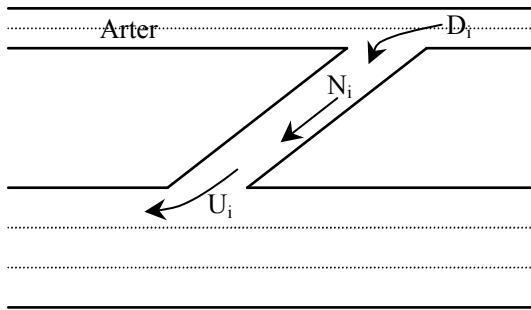
Bu algoritma Kobe’deki, (Japonya) Hanshin otoyolu üzerinde 1970’den beri uygulanmaktadır. Bu algoritmanın kullanıldığı sistemin en büyük özelliği, anayol üzerine yerleştirilmiş her 500 m’de bir dedektör istasyonlarıdır. Anayol dışında her katılım ve ayırında da dedektörler bulunmaktadır. İsminden de anlaşılacağı gibi algoritma doğrusal programlama ile çalışmaktadır. Doğrusal programlama ile bir amaç fonksiyonunun belli kısıtlar altında maksimum ya da minimum yapılması sağlanır. (Bogenberger ve May, 1999)

Sistemin uygulandığı yol kesimi boyunca birçok noktadan veri akışı olmaktadır. Sistem, katılım kontrol oranını bulmak için hem bu gelen gerçek zamanlı değerleri hem de önceden tanımlanmış değerleri (ayarlanabilir parametreler, katılım öncelik değerleri gibi) kullanmaktadır. İşte bu değerler kullanılarak optimum KKO'ya ulaşmaya çalışılır.(Bogenberger ve May, 1999)

Algoritmanın işlem adımları şöyledir: (Bogenberger ve May, 1999)

1. Otoyol katılımlar (i) arasında kesimlere (h) ayrılır.
2. Her kesimde dedektörlerle elde edilen hız (V_h) yardımıyla, gerçek zamanlı kapasitedeki düşüş hesaplanır. Böylece her yol kesimi için gerçek zamanlı kapasite (C_h) bulunur.
3. Kuyruklanmanın tespiti veya geçmişte hesaplanmış O-D bilgisi kullanılarak, katılım talebi (D_i) önceden tanımlanır. Katılımdaki dedektörler kuyruk uzunluğunu (N_i) belirler. Bu iki değer de hacim olarak ifade edilir.
4. İzin verilen en büyük kuyruk uzunluğu (L_i) katılımların araç depolama kapasitesine göre önceden hesaplanır.
5. Geçmişte bulunmuş O-D bilgisi ve ayarlanabilir etki faktörü (Q_{hi}), birbirinden farklı her katılım akımı ile aşağı akım yönündeki kesim kombinasyonu için önceden tanımlanabilir. Bu etki faktörü, herhangi bir katılımdan gelen akımın, aşağı akım yönündeki herhangi bir h kesimindeki ağırlığıdır/payıdır.
6. Ağırlık faktörü (A_i) de gene her katılım için önceden tanımlanır. Bu şekilde istenen katılıma öncelik verilebilir. Ağırlık faktörü yüksek olan katılımlardan daha fazla taşıt anayola girer.
7. Katılımlardan gelen akım değerlerinin (U_i) maksimizasyonu amaçlanır. Bunun için amaç fonksiyonu;

$$Z = (A_1 \cdot U_1) + (A_2 \cdot U_2) + \dots + (A_i \cdot U_i) \text{ olur.} \quad (4.9)$$



Kısıtlar ise;

$$(Q_{anayol} \cdot U_{anayol}) + (Q_{1h} \cdot U_1) + \dots + (Q_{ih} \cdot U_i) \leq C_h \quad (\text{bütün kesimler için})$$

$$0 \leq U_i \leq N_i + D_i$$

$$N_i + D_i - U_i \leq L_i$$

$$U_{\min} \leq U_i \leq U_{\max}$$

Doğrusal program bu işlemi sürekli olarak çözer ve her katılım için katılım oranını maksimum yapar. (Bogenberger ve May, 1999)

4.8.12 METALINE

METALINE'e koordineli katılım kontrolü denilebilir. METALINE aslında ALINEA algoritmasının genelleştirilmiş, geliştirilmiş ve koordine edilmiş halidir. Simülasyonlarda METALINE'nin ALINEA'ya göre, yolda oluşabilecek beklenmedik olaylar karşısında daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Normal şartlarda ise aşağı yukarı aynı sonuçlar elde edilmiştir. Katılım kontrol oranı şu formülle hesaplanır; (Bogenberger ve May, 1999)

$$r(k) = r(k-1) - K_1 \{ o(k) - o(k-1) \} - K_2 \{ O(k) - O^c \} \quad (4.10)$$

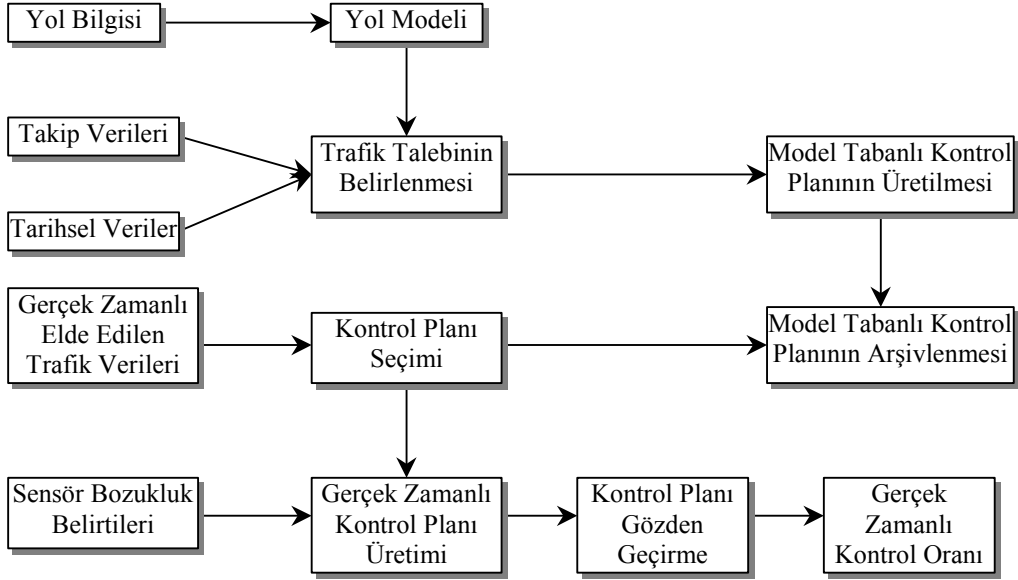
- k : şu anki zaman,
 r(k) : k anındaki katılım kontrol oranı,
 o(k) : k anında bir anayol kesiminde ölçülen işgal (occupancy),
 O(k) : k anında katılımlarda ölçülen işgal,
 O^c : maksimum kapasitedeki işgal,
 K₁, K₂ : katılım bölgeleri için ayarlanabilir ağırlık faktörlerini içeren iki fayda matrisi,

Bu yaklaşım ile bir katılımın katılım kontrol oranı birçok bölgeden gelen anayol verileriyle hesaplanabilir. K₁ matrisinden elde edilen faktör, anayoldaki birçok dedektörden gelen işgal bilgisine göre ayar yapar. K₂ matrisinden elde edilen faktör ise katılım bölgesinden gelen bilgilere göre ayar yapar. Bu algorithmada ALINEA gibi KKO'lar arasındaki geçişi yumuşak yapar. METALINE ekstra olarak sistem üzerindeki değişikliklere karşı yüksek duyarlılıkta işlem yapar. Algoritmanın performansı matrislerdeki ağırlık oranlarıyla oynanarak artırılabilir. Optimumu bulmak zahmetli bir iştir. (Bogenberger ve May, 1999, Jin ve Zhang, 1997)

4.8.13 Ball Aerospace/ FHWA algoritması

Bu algoritma gelişme ve test aşamasında olan bir algoritmadır. Üzerindeki çalışmalar 1997 yılında başlamıştır. Ball algoritması aslında koridor koordinasyonu sistemi için geliştirilmektedir ve katılım kontrolü bunun sadece bir parçasıdır. Şekil 4.21'de akış diyagramı verilen bu algoritmanın konsepti şu beş aşamadan oluşur; (Bogenberger ve May, 1999)

- 1) *Yolun modellenmesi*: Bu adımda koridorun fiziksel karakteristikleri (şeritler, katılım kurulumu, mesafeler gibi) elde edilir. Bu verilerle kontrol planı yaratılırken kullanılmak üzere simüle edilmiş fiziksel model yaratılır.
- 2) *Trafiğin modellenmesi*: Geçmişteki veriler, şuan elde edilen veriler, O-D tablosu ve ilk adımda elde edilen yol modellemesiyle, koridor için trafik talep modeli oluşturulur. Koridora değişik noktalardan gelecek talepler belirlenir.
- 3) *Model tabanlı kontrol planının üretilmesi*: Elde edilen yol modeli kullanılarak koridor simüle edilir. Bu simülasyon üzerinde, kontrol planı, değişik trafik şartları, günün değişik saatleri için belirlenir ve saklanır.
- 4) *Şu anki şartların keşfi*: Gerçek zamanlı şartlara en uygun (üçüncü adımda belirlenmiş) veri koridora uygulanır.
- 5) *Gerçek zamanlı kontrol oranının belirlenmesi*: Bu adımda olağandışı trafik modelinin oluşması durumunda önceden belirlenmiş kontrol planı üzerinde değişiklik yaparak varolan koşullara göre kontrol planı ayarlanır. Bu kısımda önceden bahsedilen algoritmalar (ALINEA, METALINE gibi) uygulanır.

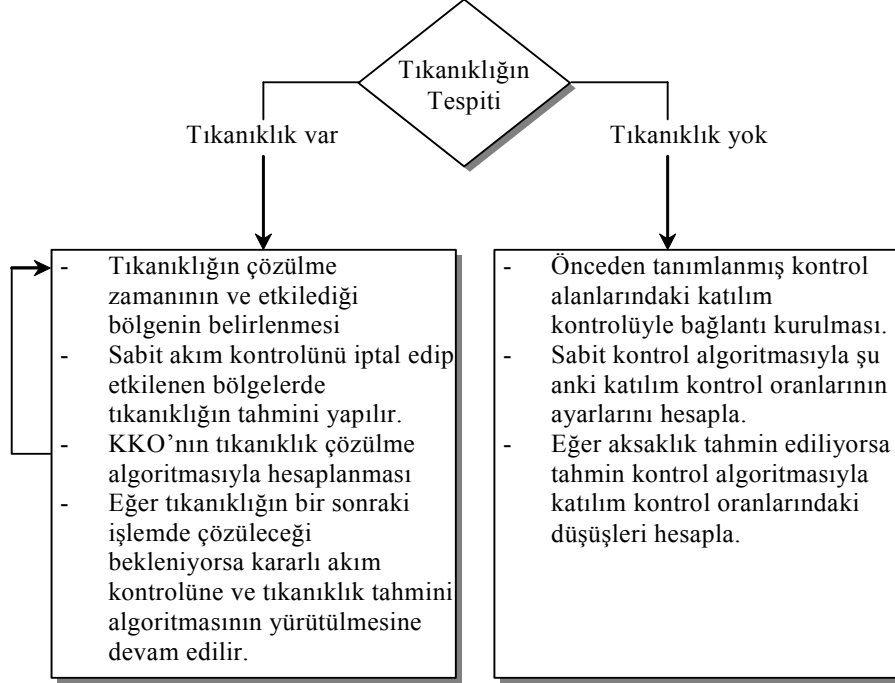


Şekil 4.21 Ball Aerospace algoritması akış diyagramı (Bogenberger ve May, 1999)

4.8.14 ARMS (Advanced Real-time Metering System)

ARMS bir algoritmayla üç işletimsel kontrol kademesinden oluşur (Şekil 4.22). Bunlar serbest akım kontrolü, tıkanıklık tahmini ve tıkanıklığın çözümü şeklindedir. Serbest akım kontrolü, zirve taleplerini yumuşatarak tekrarlı tıkanıklık olasılığını düşürür. Tıkanıklık

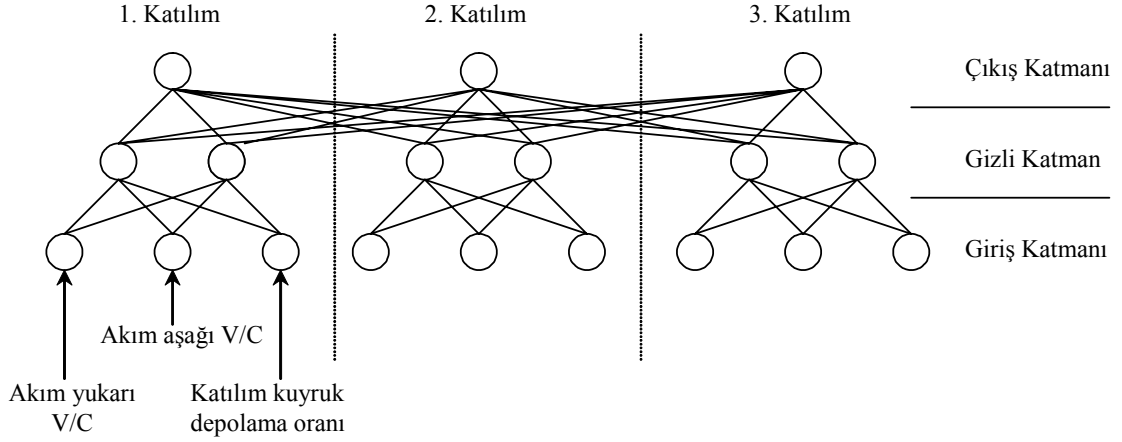
tahmini, trafikteki dalgalanmalardan dolayı oluşan akımlardaki düzensizlikleri öngörmeye çalışır. Algoritmanın bu kısmı öğrenme yeteneğine sahiptir. Tıkanıklık çözümü ise, yönetsel kontrolün entegre bir şekilde hem otoyolda hem de onunla ilişkili yollarda uygulanması şeklinde olur. (Bogenberger ve May, 1999)



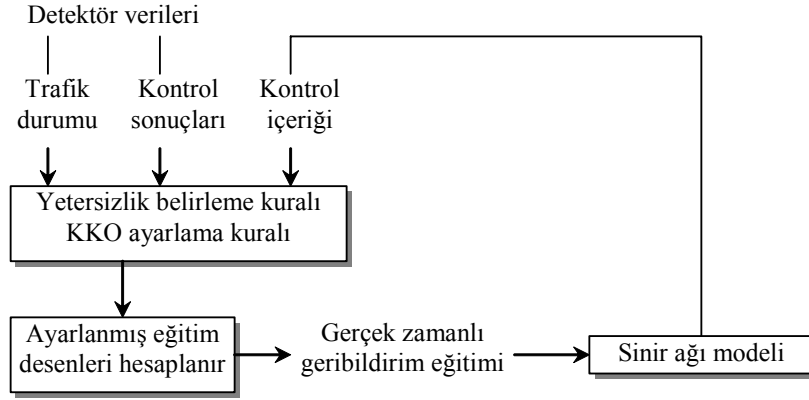
Şekil 4.22 ARMS algoritması akış diyagramı (Bogenberger ve May, 1999)

4.8.15 Yapay Sinir Ağları Kullanarak Koordineli Kontrol Algoritması (Coordinated metering using Artificial Neural Networks)

Bu algoritma yapay sinir ağlarını, öğrenme yeteneği ile birlikte kullanılır. Algoritmanın gerçek hayatta bir uygulaması yok ancak simülasyon ortamında iyi sonuçlar vermiştir. Otoyol sistemi bölgelere bölünür. Her bölgeden algoritma için girdi verileri toplanır. Her bir katılım oranı, esas olarak katılım yakınındaki anayol V/C ölçümlerinden ve kısmen bölge içinde diğer yerlerdeki trafik koşullarından etkilendiğinden, kısmi bağlantılı sinir ağı kullanılır. Ağ çeşitli alt sistemlerden (katılım bölgeleri) oluşur. Kontrol edilen her katılım için bir alt sistem bulunur. Her bir alt sistem “saklı katman” aracılığıyla tüm diğer alt sistemlere bağlıdır. Bu iç bağlantılar algoritmanın eşgüdüm birimini temsil eder. Son olarak da çıktı alınır (Şekil 4.23 ve 4.24). (Bogenberger ve May, 1999)



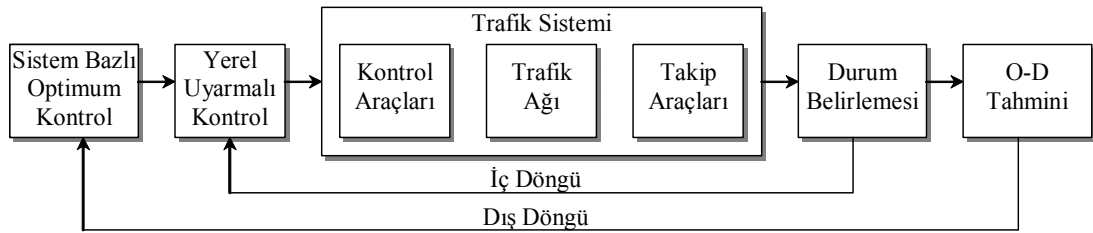
Şekil 4.23 Yapay sinir ağlarıyla kontrol modeli işlem katmanları (Bogenberger ve May, 1999)



Şekil 4.24 Saklı katmanın işlevi (Bogenberger ve May, 1999)

4.8.16 Dinamik Katılım Kontrol Algoritması (Dynamic metering control algorithm)

Bu algoritma dört yönetsel elemandan oluşur. Durum belirleme, O-D tahmini, Yerel uyarımlı katılım kontrolü ve sistem bazlı katılım kontrolü. Anlaşıldığı gibi bu algoritma yerel ve sistem bazlı kontrol yönetimlerini beraber kullanmaktadır (Şekil 4.25). (Bogenberger ve May, 1999)



Şekil 4.25 Dinamik katılım kontrol algoritması akış diyagramı (Bogenberger ve May, 1999)

Durum belirleme modülü takip araçlarından gelen bilgiyi kullanarak o anki ağ durumunu belirler. Zamana bağlı O-D akımları gerçek zamanlı olarak tahmin edilir ve bu bilgiler sistem bazlı kontrol modülüne girdileri oluşturur. Yerel uyarı kontrol algoritması da bölgelere dağılmış olan yerel denetleyicilerle kontrol edilir. Her denetleyici birbirinden bağımsız olarak yerel trafik şartlarına göre çalışır. Sistem bazlı algoritma tarafından üretilen değerler yerel olarak üretilen değerlerin dengelenmesinde kullanılır. (Bogenberger ve May, 1999)

Koordinasyon sistem bazlı optimizasyon yapılarak sağlanır. Bu da tüm sistem üzerinde performans artışı sağlar. Bu algoritma, içerdikleri açısından en karmaşık algoritmalarından biridir. Bu algoritma da yalnızca simülasyon ortamında test edilmiştir. (Bogenberger ve May, 1999)

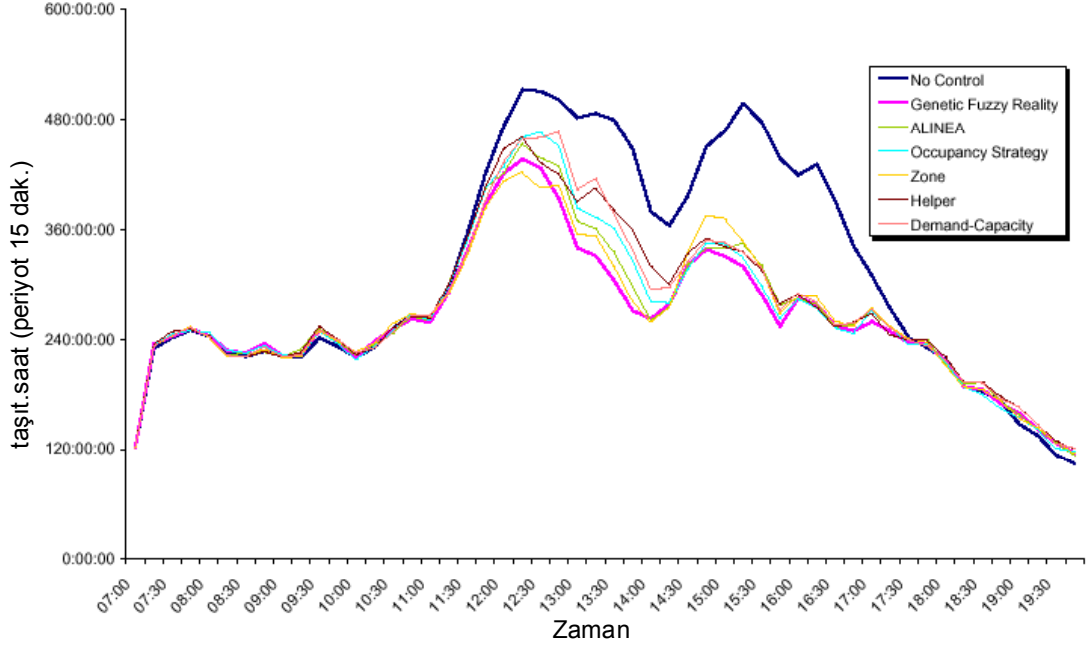
4.8.17 Tekrarlanmayan Tıkanıklıklar İçin Katılım Kontrol Modeli (Metering Model for Non-Recurrent Congestion)

Bu algoritma bir katılım kontrol algoritmasının içerebileceği bütün iyi elemanlara sahip bir modeldir. Bütün işlem bir optimum kontrol problemi olarak ele alınır. Bu problem, trafik akımını ifade etmek için kinematik dalga modelini kullanmakta ve problem içerisinde katılımdaki kuyruk uzunluğu, kapasitedeki düşüşler, gelecekteki talep gibi unsurlar da bulunmaktadır. Amaç, çıkan taşıt sayısının maksimizasyonudur. Daha doğru bir yaklaşım yöntemi kullanmak suretiyle (Godunov yöntemi gibi) hem akım öngörülerinin doğruluğu iyileştirilebilir, hem de Kalman filtreleme işleminin karmaşıklığı ortadan kaldırılabilir. Böylece katılım kontrol oranlarının hesabı çok daha hızlı yapılabilir. (Bogenberger ve May, 1999, Jin ve Zhang, 1997)

4.9 Algoritmaları Değerlendirme

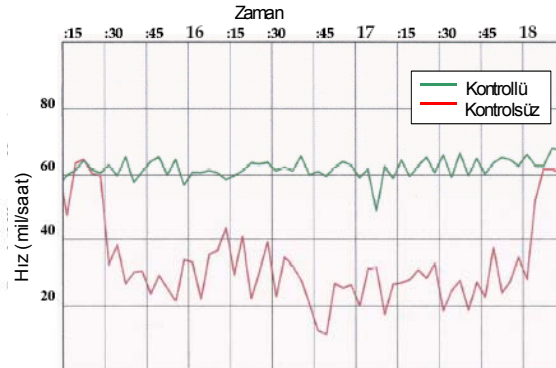
Algoritmalar katılım kontrolünde önemli bir rol oynamaktadır. Katılım kontrolünün uygulanacağı bölgede doğru algoritmanın seçimi kontrolün performansını önemli ölçüde etkileyecektir. Buraya kadar anlatılan algoritmalar günümüze kadar geliştirilmiş, uygulanmış ve halen geliştirilmekte olan algoritmalarlardır. Bu algoritmalarından bir tanesinin herhangi bir koridora tam uyacak bir algoritma olduğunu söylemek doğru değildir. Her koridor kendi özelliklerine göre farklı karakteristikler gösterir. Seçilen algoritmanın belirli bir koridorda daha iyi çalışmasını sağlamak için zaman içinde sürekli bir optimizasyon işlemi gerektirecektir. İyi çalışan bir algoritma bile zaman içinde değişen koşullarla özelliğini yitirebilir. Yeniden optimizasyonu gerekebilir. Hatta çok iyi çalıştığını düşündüğünüz bir algoritma bile ufak değişikliklerle daha iyi performans sunar hale gelebilir. Yani burada

anlatılmak istenen, uygulanacak katılım kontrol sisteminin, uygulanacağı koridora ait olmasıdır. Buraya kadar anlatılmış algoritmalar geliştirildikleri ortamda en iyi sonucu verecek şekilde geliştirilmiştir. Aynı algoritmalar bir başka koridorda farklı sonuçlar verebilir. Katılım kontrolünün kontrolsüzlüğe göre çok daha avantajlı olduğu bugüne kadar yapılmış çalışmalardan ve elde edilen sonuçlardan çok rahat söylenebilir. Şekil 4.26'da değişik algoritmalar ve kontrolsüz durumun kıyaslaması bir grafikte verilmiştir.

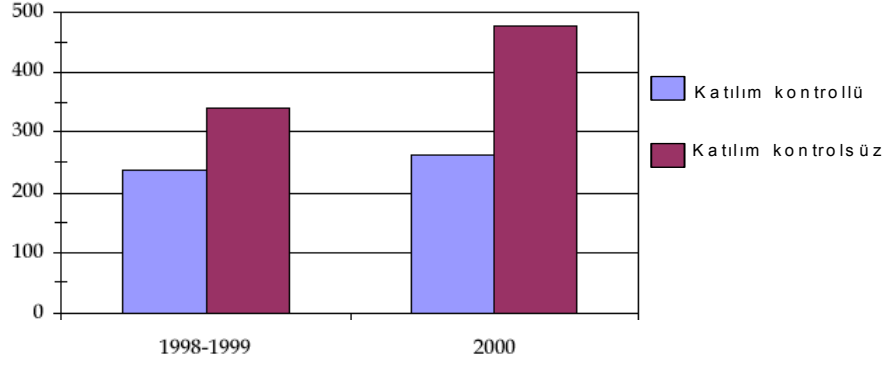


Şekil 4.26 Sistemde toplam harcanan zaman olarak algoritmaların kıyaslaması (Bogenberger ve diğ., 2001)

Minnesota Ulaştırma Bölümünün (Minnesota Department of Transportation, USA) 2001 yılında I-494, I-94, I-35E, I-35W karayollarında yapılan çalışmalar sonucunda sunduğu sonuç raporundan kontrollü sistem ile kontrolsüz sistemin kıyaslaması aşağıdaki Şekillerde (4.27, 4.28, Çizelge 4.10) görülmekte.



Şekil 4.27 Koridorda kontrollü ve kontrolsüz şartlardaki hız değişimi (Cambridge Sys., 2001)



Şekil 4.28 Zirve saatlerinde kontrollü ve kontrolsüz şartlardaki kaza miktarları
(Cambridge Sys., 2001)

Çizelge 4.10 Katılım kontrolü uygulanarak dolar olarak elde edilen kazanç
(Cambridge Sys., 2001)

Performans ölçütü	Yıllık kazançlar	Yıllık kâr (\$)
Seyahat süresi	25.121 saat seyahat süresi kazancı	247.000
Seyahat süresi güvenilirliği	2.583.620 saat beklenmedik gecikme önlendi	25.449.000
Kazalar	1.041 adet kaza önlendi	18.198.000
Hava kirliliği	1.161 ton kirlilik önlendi	4.101.000
Yakıt harcaması	5,5 milyon galon benzin tüketildi	(7.967.000)
Toplam yıllık kâr		40.028.000

5. SİMÜLASYON MODELİ VE KATILIM KONTROLÜ UYGULAMASI

5.1 Trafik Sisteminin Simülasyonu

Trafik mühendisliğinin en önemli araçlarından biri bilgisayar simülasyonudur (benzetimdir). Bilgisayar simülasyonları ile çalışmak saha çalışmalarına göre çok daha pratiktir. Bunun nedenlerini şu şekilde sıralanabilir (TSIS Help);

- Daha düşük maliyetlidir.
- Sonuçlar çok çabuk elde edilir.
- Simülasyon tarafından üretilen bir çok veriyi, saha çalışmalarından elde etmek zordur.
- Trafik yönetiminde meydana gelebilecek düzensizliklerden kaçınılmış olunur.
- Birçok tasarım, tesisler üzerinde büyük ölçüde değişiklik gerektirir. Gerçek hayatta bunları deneysel amaçla uygulayamayız; ancak simülasyon ile yapılabilir.
- Geliştirilen çeşitli yönetim stratejilerinin, gelecekteki trafik talepleri üzerinde yaratacağı etkiler belirlenebilir.
- Birçok değişken sabit tutulabilir.

Karayolu trafik sisteminin bilgisayar simülasyon modeli oluşturulabilirse, planlanan trafik kontrolü ve yönetimi uygulamalarının sistem performansı üzerinde yaratacağı etkiler değişik giriş değerlerine bağlı olarak elde edilebilir. Bu özelliği ile simülasyon modelleri yeni geliştirilmiş trafik yönetim sistemlerinin denenmesi için uygun bir ortam sunmaktadır. Böylece yaratıcılık konusunda trafik mühendislerini kısıtlayan etmenler ortadan kalkmış olur. Ayrıca mevcut yönetim sistemlerinin de optimum işletilmesine yardımcı olacaktır. (TSIS Help)

Yaygın olarak kullanılan simülasyon modelleri “mikroskobik” ve “makroskobik” düzeyde iki gruba ayrılırlar. Bu iki türün özelliklerine sahip üçüncü bir tür olan “mezoskopik” modeller de kullanılmaktadır. Aşağıda bu modellere kısaca değinilmiştir. (Lieberman ve Rathi, 200?)

- Mikroskobik düzeyde çalışan simülasyonlar: Trafiği taşıt bazında simüle ederler. Taşıtların özel olarak trafik içindeki davranışlarını, birbirleriyle olan ilişkilerini incelerler. (Bazı örnekler: INTEGRATION, INTRAS, FRESIM, NETSIM, CORSIM, THOREAU, FLEXYT-II, AIMSUN2, MITSIM, , PARAMICS)
- Makroskobik düzeyde çalışan simülasyonlar: Trafiği hız, akım ve yoğunluk değişkenlerinin ilişkileriyle simüle ederler. (Bazı örnekler: FREFLO, NETVACI, KRONOS, METANET, METACOR, AUTOS, METROPOLIS, DYNASMART)
- Mezoskobik düzeyde çalışan simülasyonlar: NETFLO 1, DYNAMIT, TRANSIMS

Bu çalışmada TSIS versiyon 5.1 yazılım paketi içindeki FRESIM, otoyol simülasyon programı kullanılmıştır. FRESIM, CORSIM adındaki ana simülasyon modülünün bir alt programıdır. Şekil 5.1’de TSIS’in ekran görüntüsü görülmektedir.



Şekil 5.1 Simülasyon için kullanılan TSIS 5.1

5.2 CORSIM (Corridor Simulation)

CORSIM iki mikroskobik simülasyon modelinin birleşmesiyle oluşan bir programdır. Bu iki modelden biri NETSIM diğeri de FRESIM dir. NETSIM kent içi trafiğini simüle ederken, FRESIM otoyollardaki trafiği simüle eder. Yani CORSIM şehir içi trafiği ile otoyol trafiğini beraber çalışacak şekilde simüle eder. CORSIM mikroskobik bir simülasyon modeli olarak taşıt karakteristikleri bazında işlem yapar ve bu işlemi her bir zaman adımı (1 sn) için uygular. Bu çalışmada Boğaziçi Köprüsü ve bağlantı yollarını, dolayısıyla O-1 otoyolunun simüle edilmesi için, asıl kullanılan program CORSIM içinde bulunan FRESIM’dir. (Sabra ve diğ., 2000)

CORSIM/FRESIM’in kullanıcıya sundukları arasında, kapsamlı şerit değiştirme modeli, günün değişik zamanları için trafiğe duyarlı katılım kontrolü, kapsamlı otoyol takip sistemi gösterimi, her biri kendine ait kapasite ve performansa sahip altı ayrı türde taşıt tipi, ağır taşıtların hareketi, sürücülerin davranış alışkanlıklarındaki farklılıklar bulunmaktadır. (Sabra ve diğ., 2000)

CORSIM’in istediği veriler arasında şunlar sayılabilir; geometrik ve yönetimsel parametreler, dönüş hareketleri, hacim girdileri, dedektör takip, katılım kontrol verileri ve opsiyonel olarak

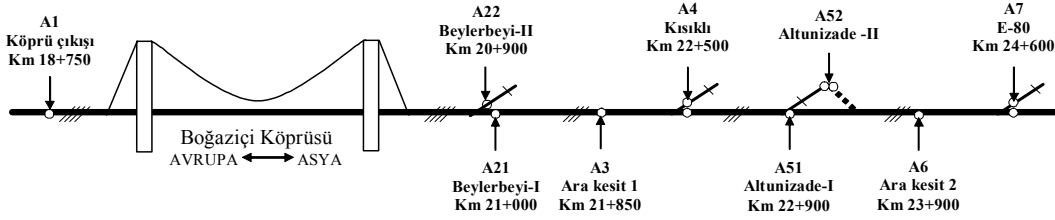
O-D (Origin-Destination) verileri. CORSIM; toplam seyahat süresi, hareket süresi, gecikme süresi, kilometre(mil) başına toplam taşıt sayısı/yoğunluk, seyahat hızı, yakıt tüketimi ve salınım miktarı gibi sonuçları çıktı olarak verir. (Sabra ve diğ., 2000)

5.3. Simülasyon Modelinin Yaratılması

5.3.1 Simülasyon Modeli İçin Verilerin Elde Edilmesi

Verilerin elde edilmesinde, Boğaziçi Köprüsü bağlantı yolları ve katılımları üzerinde saha çalışması yapılmıştır. Bu saha çalışması, Anadolu'dan Avrupa'ya geçiş için zirve trafiğinin gerçekleştiği sabah saat 6:00 – 9:00 arasında veri toplama çalışması gerçekleştirilmiştir.

Verilerin toplanma noktaları (gözlem kesitleri) Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Sayım noktaları (Şahin ve diğ., 2002)

Bu veriler tekrarlı trafik sayımları sonucunda elde edilmiştir. Değişik günlerde elde edilen veriler arasından, hangi gün elde edilen verilerin simülasyon için kullanılacağı kararında şu hususlara dikkat edilmiştir;

- Hava şartlarının trafiği etkilemediği,
- Yol üzerinde, trafik koşullarını anormal düzeyde etkileyecek bir olayın gerçekleşmediği,
- Teknik ve donanım sorunlarının yaşanmadığı,
- Verilerin en sağlıklı şekilde toplandığı, bir gün seçilmiştir.

Bu hususlar ışığında simülasyon için kullanılan veriler 20 Haziran 2002 tarihine aittir. Veri toplama işlemi, seçilen gün için diz üstü bilgisayarlar aracılığıyla gerçek zamanlı yapılmıştır. Bu verilerin toplanması için özel hazırlanmış bir bilgisayar programı kullanılmıştır.

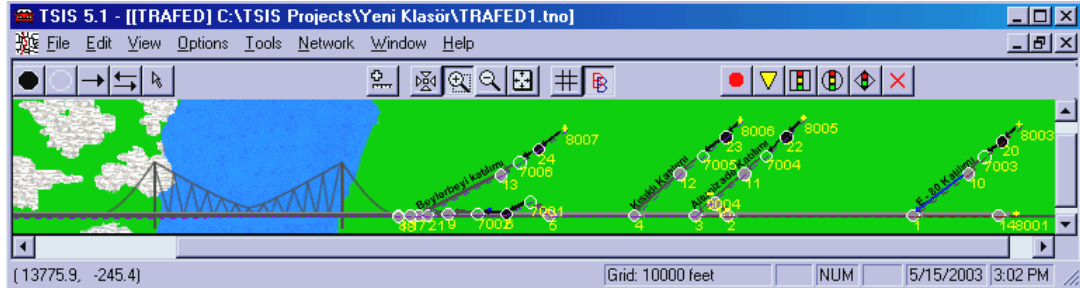
Toplanan veri zamana bağlı olarak yığışlı taşıt sayısıdır. Bu yığışlı sayı bilgisayardaki program ile her 5 saniyede bir saklanmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, birden fazla noktada sayım yapıldığı için, bilgisayarlardaki saat ayarlarının senkronize edilmiş olması gerekliliğidir. Bu senkronizasyon işlemi sahaya çıkmadan önce yapılmaktadır.

Bu şekilde elde edilen veriler, ofis ortamında Excel'e aktarılarak, BÖLÜM 2'de anlatıldığı gibi her nokta (kesit) için ölçeklendirilmiş yığışlı taşıt sayısı - zaman eğrilerine dönüştürülmekte ve eğriler arasındaki ilişkiler incelenmektedir.

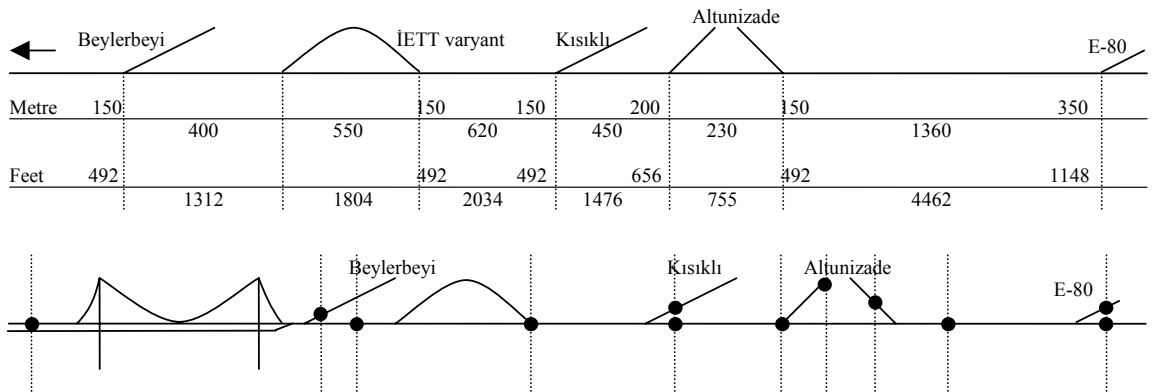
5.3.2 Simülasyon Modeli Uygulaması

Simülasyon modeli için oluşturulacak projede kullanılacak bütün değerler varsayılan/default kabul edildi. Simülasyon periyodu, başlangıç zamanı sabah saat 6:00'dan saat 8:30'a kadar olan 2,5 saatlik (150 dakika) tek bir periyot olarak oluşturuldu. Proje yaratıldıktan sonra TSIS'in bir aracı olan TRAFED kullanılarak yol ağının çizilmesi işlemine geçildi. (Şekil 5.3). Bu ağın oluşturulması içinde öncelikle geometrik verilere ihtiyaç vardı (Şekil 5.4). Bu geometrik verileri şu şekilde sıralanabilir;

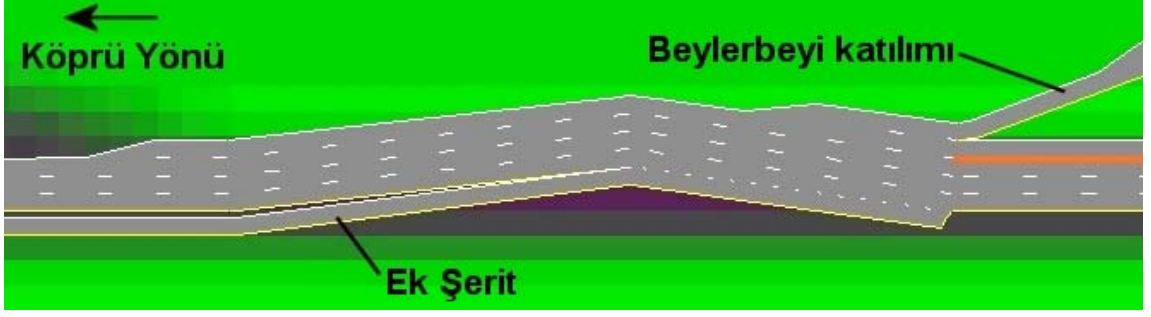
- Katılımlar ve varyantlar arası mesafe,
- Katılımlar için trafiğe katılma mesafesi (güvenli hızlanma şeridi),
- Ayrımlar için trafikten ayrılma mesafesi (güvenli yavaşlama şeridi),
- Sayım/gözlem noktalarının yerleri,
- Trafiği etkileyen geometrik düzensizlikler (Şekil 5.5),



Şekil 5.3 TSIS'in aracı TRAFED'de hazırlanmış yol ağı.



Şekil 5.4 Yol ağı için kullanılan geometrik veriler (üstte) ve dedektör noktaları (altta).



Şekil 5.5 Köprü öncesi Gişeler bölgesindeki geometrik düzensizlik ve ek şerit uygulaması

Geometrik verilere göre yol ağı çizildikten sonra, yola katılımın olduğu bütün noktalardan sahada elde edilen verilere göre, 10 dakikalık periyotlarla akım (hacim) değerleri saatlik (taşıt/saat) olarak hesaplandı ve yol ağındaki besleme noktalarına girildi. İETT otobüs, Altunizade ayırım ve ek şerit varyantlarında 10 dakikalık periyotlar için, saha verileri kullanılarak, anayoldan gelip anayolda devam eden ve anayoldan varyanta ayrılan taşıt sayıları hesaplandı ve yol ağına girildi. Ancak bu girdilerden elde edilen simülasyonda, katılımlardan gelen her taşıtın sisteme (yani anayola) sorunsuz giriş yaptığı görülmüştür. Diğer bir deyimle, yani katılım kolları üzerinde herhangi bir kuyruk oluşumu gözlenmemiştir. Bunun nedeni ise aşıkardır; simülasyona girilen değerler, varolan koşullarda sisteme giren taşıt sayılarından oluşmaktadır. Oysa ki, gerçek talep, katılım noktalarında ölçülen değerlerden daha fazladır; bu durum da sahada kuyruk olarak görülmektedir. Dolayısıyla, simülasyonda asıl girilmesi gereken akım (hacim) değerleri, gerçek talepler olmalıdır. Bu gerçek talep değerini elde etmek çok daha geniş kapsamlı bir saha çalışmasını gerektirmektedir.

Gerçek talebin belirlenmesi için kuyruğun ulaşmadığı yerlerde sayım yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu durumun aşılması için tüm katılım kollarında sahada elde edilen en yüksek akım değeri, simülasyonda ulaştığı zaman itibarıyla korunmuş ve bu başlangıç zamanından itibaren bütün katılımlara uygulanmıştır. Anayolda da (A7 kesiti) ulaştığı maksimum akım değerinden sonra akım değeri düşürülmemiş, aynı değerinde devam ettirilmiştir. Katılımlar için, Beylerbeyi katılımında 70. dakikadan itibaren oluşan 2100 taşıt/saat'lik akım değeri geri kalan zaman zarfında bütün katılımlarda da olacak şekilde 2100 taşıt/saat olarak devam ettirilmiştir. (2100 taşıt/saat değeri yeteri kadar büyük bir talep olduğu için, tüm katılımlarda "hayali" olarak bu zirve talebinin bulunduğu varsayılmıştır.) Anayolda (A7) ise 60. dakikadan itibaren oluşan 5076 taşıt/saat'lik akım değeri devam ettirilmiştir. Sonuç olarak sahada elde edilen değerler ve simülasyon girdi değerleri Çizelge 5.2 ve 5.3'de görülmektedir.

Çizelge 5.1 10 dakika aralıklarla yol ağına katılan trafik akım değerleri (sahada ölçülen)

Zaman dilimi başlangıcı (dakika)	Anayol (taş/sa)	E80 (taş/sa)	Altunizade (taş/sa)	Kısıklı (taş/sa)	Beylerbeyi (taş/sa)
0	732	84	138	276	162
10	1548	252	180	330	252
20	1770	318	222	474	270
30	2478	516	264	750	384
40	3720	564	468	1080	576
50	4398	708	618	1164	882
60	5076	1020	972	1476	1428
70	4434	960	1026	1668	2100
80	2970	1128	1584	1122	2040
90	1566	1272	1590	1020	1908
100	1926	1680	1620	1758	1878
110	1650	1350	1332	1668	2022
120	1554	990	1272	1878	1758
130	1500	924	1362	1680	1788
140	1338	846	1482	1824	1950

Çizelge 5.2 10 dakika aralıklarla yol ağına katılan trafik akım değerleri (simülasyona girilen)

Zaman dilimi başlangıcı (dakika)	Anayol (taş/sa)	E80 (taş/sa)	Altunizade (taş/sa)	Kısıklı (taş/sa)	Beylerbeyi (taş/sa)
0	732	84	138	276	162
10	1548	252	180	330	252
20	1770	318	222	474	270
30	2478	516	264	750	384
40	3720	564	468	1080	576
50	4398	708	618	1164	882
60	5076	1020	972	1476	1428
70	5076	2100	2100	2100	2100
80	5076	2100	2100	2100	2100
90	5076	2100	2100	2100	2100
100	5076	2100	2100	2100	2100
110	5076	2100	2100	2100	2100
120	5076	2100	2100	2100	2100
130	5076	2100	2100	2100	2100
140	5076	2100	2100	2100	2100

Çizelge 5.3 Yol ağında ayrılan trafik için simülasyonda kullanılan değerler

Zaman dilimi baş. (dakika)	Altunizade		İETT varyant		Ek şerit	
	Devam eden trafik (taşıt)	Ayrılan trafik (taşıt)	Devam eden trafik (taşıt)	Ayrılan trafik (taşıt)*	Devam eden trafik (taşıt)	Ayrılan trafik (taşıt)
0	189	25	196	0	385	0
10	262	27	356	1	460	0
20	321	32	472	0	647	0
30	440	30	668	0	922	0
40	663	49	902	1	1013	90
50	750	45	1102	0	995	219
60	872	67	1059	5	989	267
70	608	63	883	9	1050	290
80	446	52	881	9	1088	256
90	538	36	881	5	1018	300
100	499	21	848	8	1080	233
110	419	27	804	10	1042	295
120	388	21	862	5	976	317
130	318	21	858	8	1019	279
140	366	29	839	9	1048	277

*İETT varyantta ayrılan trafik, İETT ve Özel Halk Otobüsleri hariç sayılan değerlerdir. Otobüsler izleme süresi (headway) olarak ayrıca girilmiştir.

Model oluşturulurken dikkate alınan diğer bir hususta yolcu otobüsleri (İETT ve Halk otobüsleri) olmuştur. Bu otobüslerin sayımları noktalarda ayrı olarak yapıldı. Böylece hangi katılımdan hangi sayıda otobüs geçtiği belirlendi. Yol ağında da her katılımdan otobüs hatları tanımlandı. Elde edilen otobüs sayıları her katılım için otobüs izleme (takip) aralıklarını (headway) hesaplamak için kullanıldı. Yol ağında tanımlanan otobüs hatları için bu izleme süreleri kullanılmıştır. Çizelge 5.4'de katılımlara göre hesaplanan otobüs takip aralığı değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.4 Simülasyonda kullanılan, otobüsler için taşıt takip aralığı değerleri

Anayol	Altunizade	Kısıklı
100 sn.	132 sn.	124 sn.

Modelde ana yollar için serbest hız 96 km/sa (60 mil/sa), katılım ve varyantlar için 64 km/sa (40 mil/sa); yol kaplaması olarak bütün yollarda kuru asfalt seçilmiştir. Diğer değerler varsayılan olarak kullanılmıştır.

Modelin gerçek durumu taklit (simule) edip edemediğini görmek için, sahada sayımların yapıldığı noktalar, modeldeki yol ağı üzerinde belirlenerek dedektörler yerleştirilmiştir. Bu dedektörlerden de her 5 saniye için hacim verileri toplanmıştır.

5.3.3 Simülasyon Modelinin Gerçek Koşullar İçin Ayarlanması

Oluşturulan Simülasyon modelinin amacına uygun olarak gerçek koşulları sunması gerekmektedir. Bu gerçek koşullar da sahada elde edilen verilerdir. Dolayısıyla simülasyon modelinin bu verileri taklit edecek şekilde ayarlanması gerekmektedir. Bu ayarlama işlemine kalibrasyon da denir. Kalibrasyon simülasyon çalışmasının en önemli ve en zahmetli işlerinden biridir. Kalibrasyonu iyi yapar ve gerçek koşulları yansıtan bir simülasyon elde edilebilirse, gerçek yol ortamına uygulanması düşünülen kontrol koşullarının ne gibi sonuçlar doğuracağını, bu kontroller simülasyon üzerinde uygulanarak görülebilir. Bu çalışmada söz konusu kontrol mekanizması “katılım kontrolü” olacaktır.

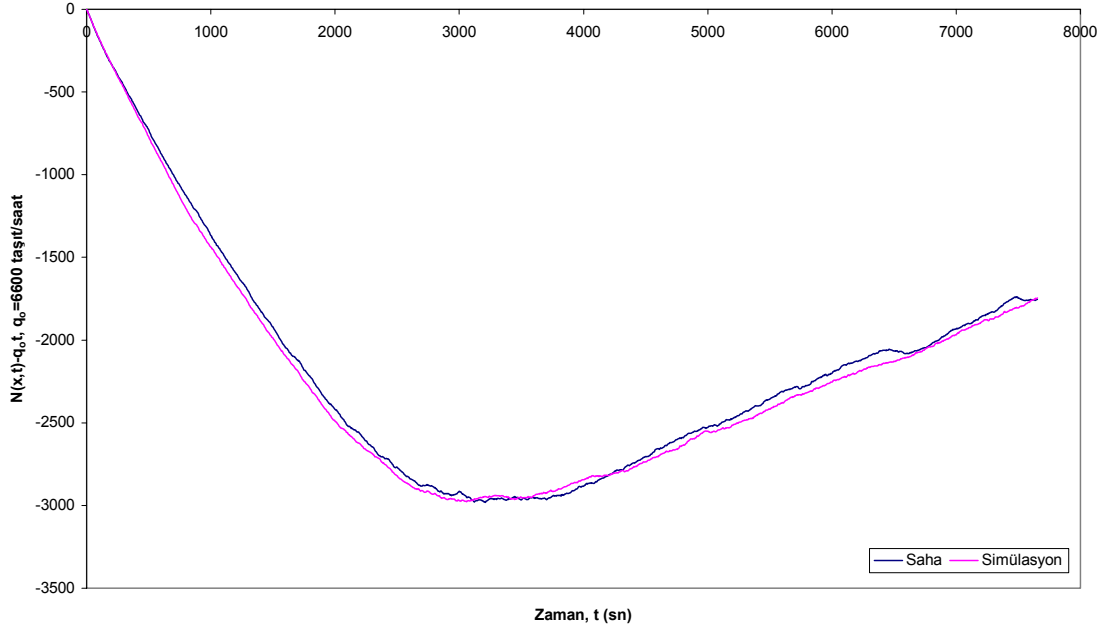
Simülasyonun gerçek trafik ortamını yansıtip yansıtmadığını anlamak için, sahada toplanan veriler modele girilerek, gözlem kesitleri için ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı - zaman eğrileri elde edilmiştir. Yığışimli taşıt sayıları, simülasyondaki yol ağında, sayım yapılan noktalara yerleştirilen dedektörlerden toplanan 5 saniyelik hacim değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Bu hacim değerleriyle de ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı – zaman eğrileri çizilmiştir. Eğer simülasyon modeli doğru çalışıyorsa, sahadan alınmış verilerle çizilen eğriler, simülasyondan alınan verilerle çizilen eğrilere benzer karakteristikler göstermesi gerekmektedir. Benzerlik göstermediği durumlarda, bunlar incelenip gerekli ayarlamalar yapılarak simülasyon gerçeğe yaklaştırılmıştır. Varsayılanlar haricinde, kalibrasyon için değeri değiştirilen parametreler aşağıda sıralanmıştır. Kesim (Link) bazında tanımlanan değerler kesimden kesime değişiklik gösterirken, “sistem” bazında tanımlanan değerler tüm kesimler için geçerlidir.

- Taşıt takip aralığı hassaslık çarpanı; kesim bazında
- Trafikğin şerit değiştirmelere karşı göstereceği reaksiyon mesafesi; kesim bazında
- Şerit değiştirmeyi tamamlama süresi (10 saniye; varsayılan 3 saniye), sistem bazında
- Keyfi şerit değiştirme çarpanı (0.3; varsayılan 0.5); sistem bazında
- Keyfi şerit değiştirme için eşik değeri (0.3; varsayılan 0.4); sistem bazında

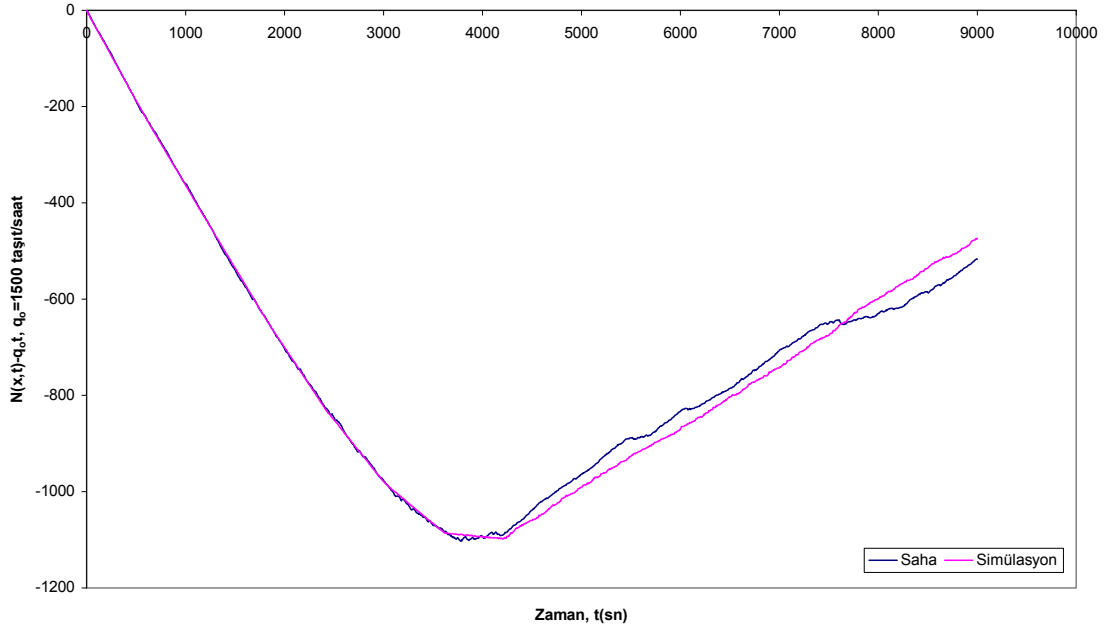
5.3.4 Simülasyonun Gerçek Koşullara Uygunluğunun Araştırılması

Yukarıda belirtildiği gibi, simülasyonun doğruluğu, sahada elde edilen verilerle, simülasyonda aynı noktalardan elde edilen verilerin benzer olması gerekliliğine dayanmaktadır. Bu iki grup veri doğrultusunda çizilen gözlem kesitlerine/noktalarına ait

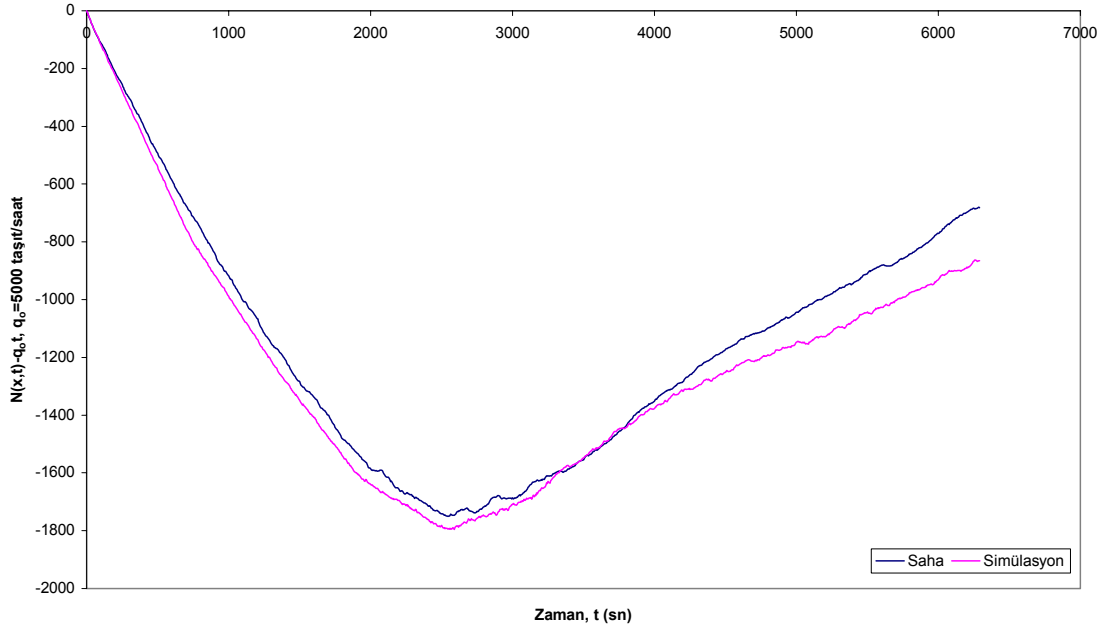
ölçeklendirilmiş yığışımli taşıt sayısı grafikleri, saha ve simülasyon için Şekil 5.6-5.17'de gösterilmiştir.



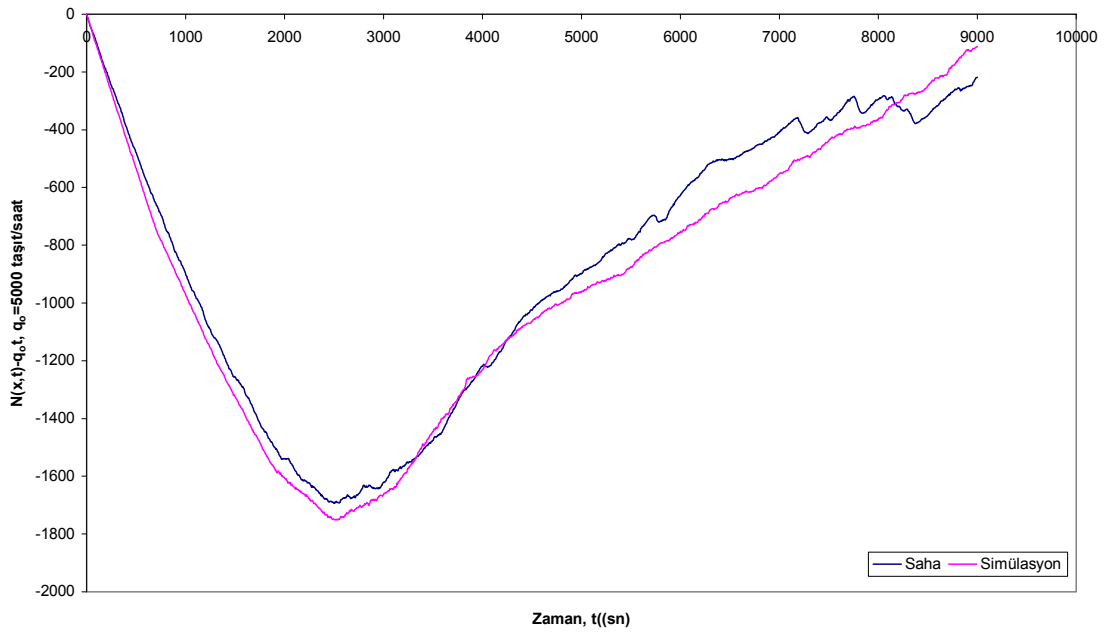
Şekil 5.6 A1 kesiti (anayol+ekşerit) saha ve simülasyon yığışımli taşıt eğrileri



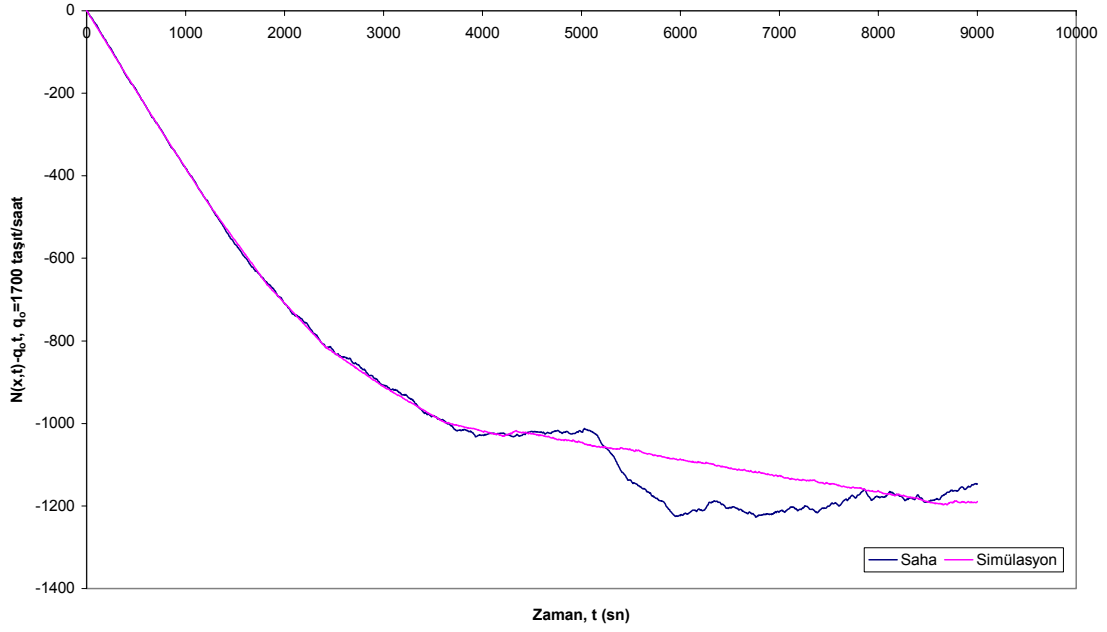
Şekil 5.7 A22 kesiti (Beylerbeyi katılımı) saha ve simülasyon yığışımli taşıt sayısı eğrileri



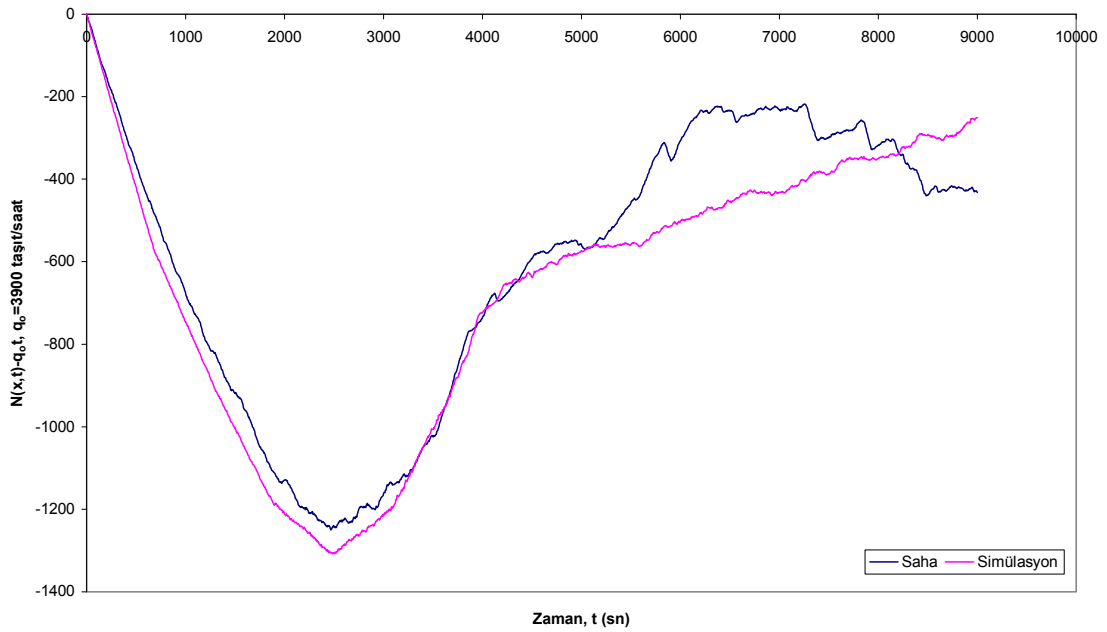
Şekil 5.8 A21 kesiti (anayol) saha ve simülasyon yığışımlı taşıt sayısı eğrileri



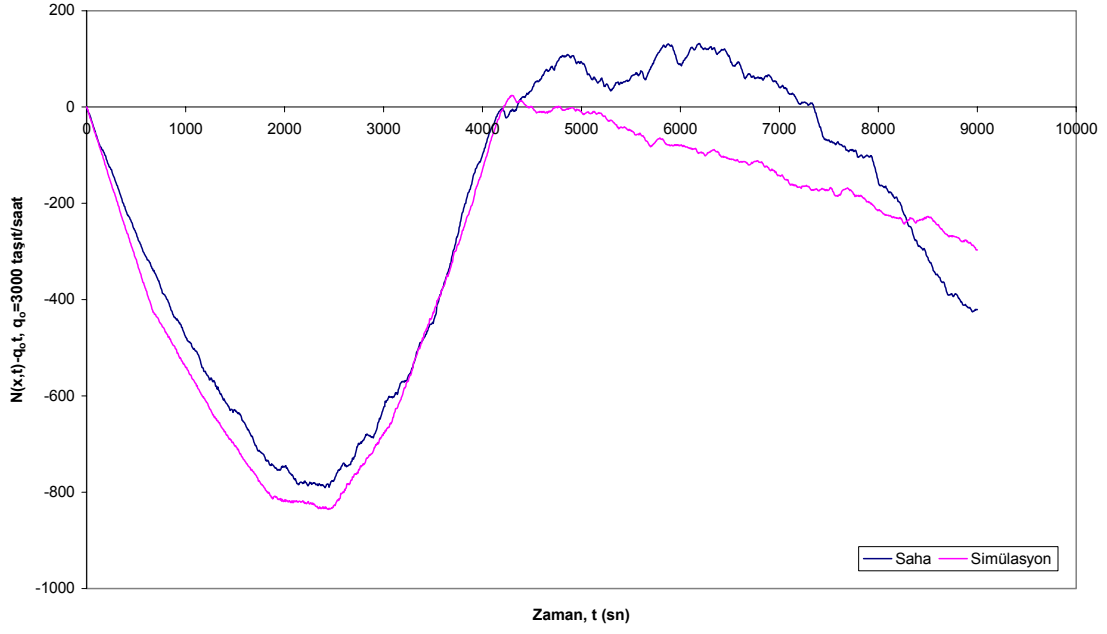
Şekil 5.9 A3 kesiti (anayol+varyant) saha ve simülasyon yığışımlı taşıt sayısı eğrileri



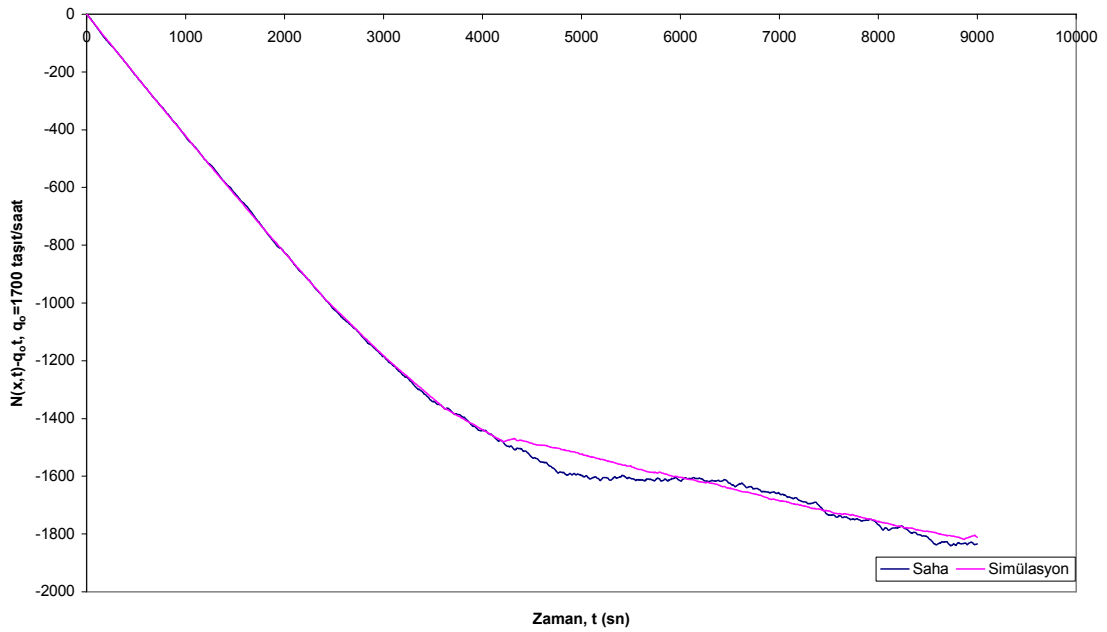
Şekil 5.10 A4 katılım kesiti saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı eğrileri



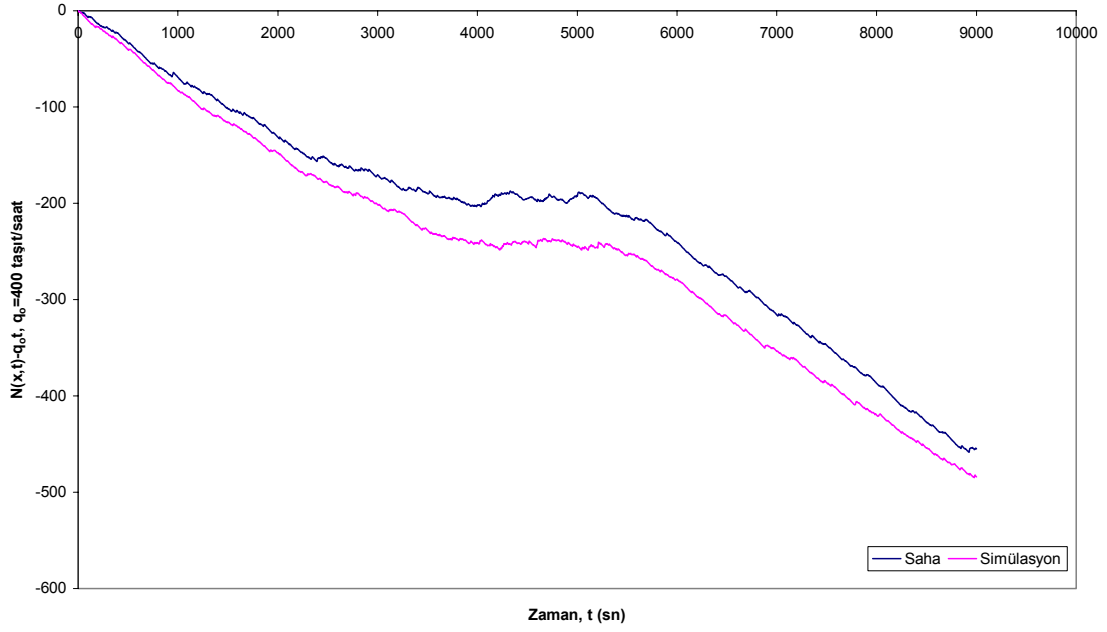
Şekil 5.11 A4 kesiti (anayol) saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı eğrileri



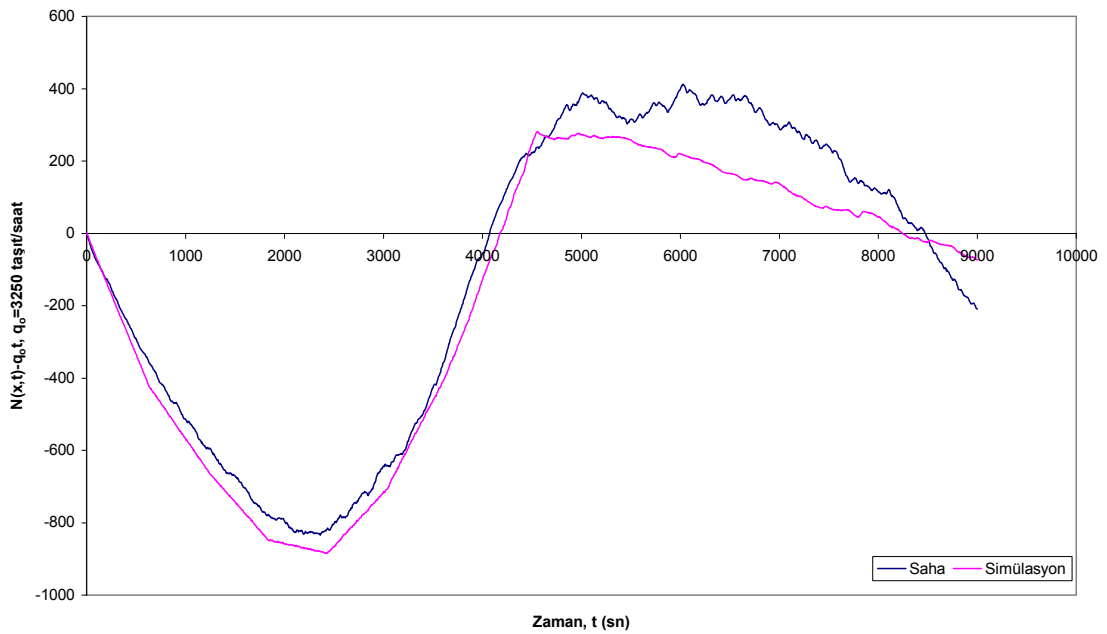
Şekil 5.12 A51 kesiti (anayol) saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı eğrileri



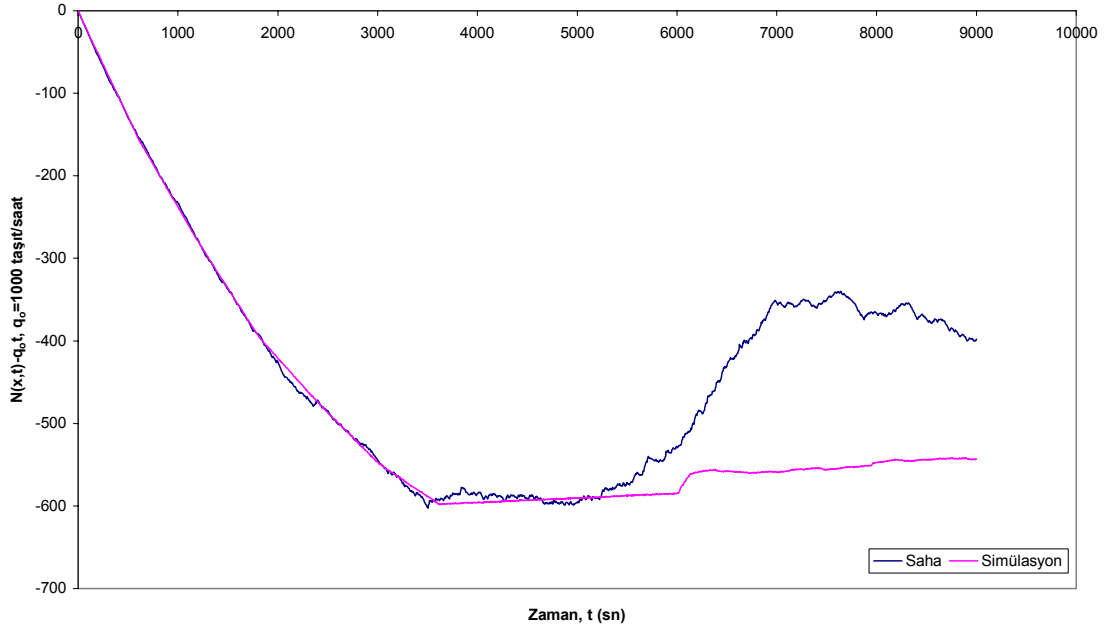
Şekil 5.13 A52 katılım kesiti saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı eğrileri



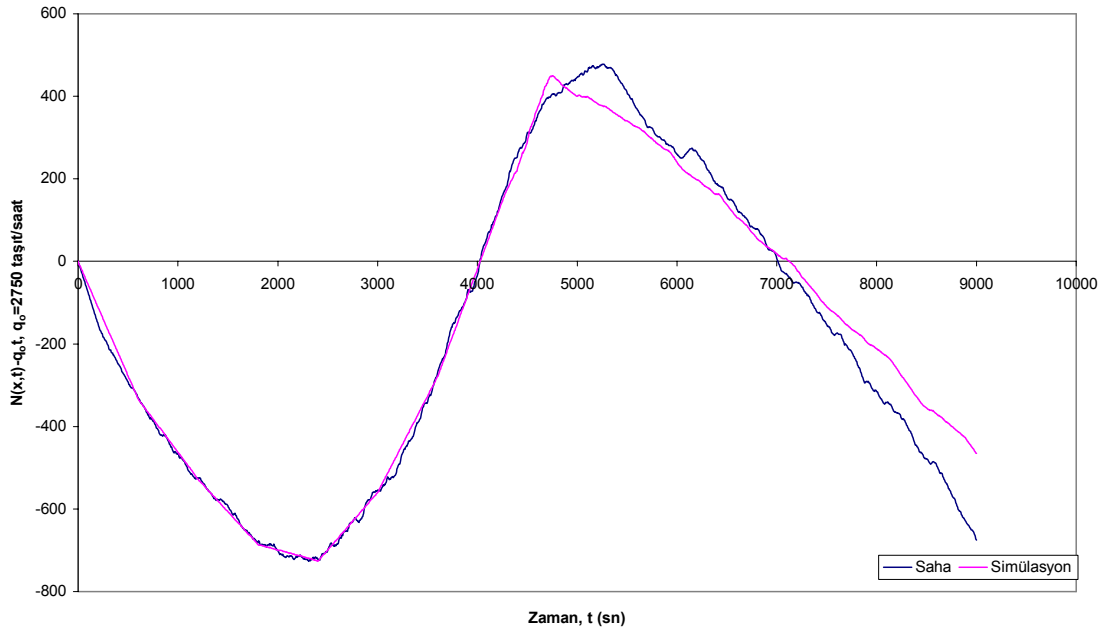
Şekil 5.14 A52 ayırım kesiti saha ve simülasyon yığışımlı taşıt sayısı eğrileri



Şekil 5.15 A6 kesiti (anayol) saha ve simülasyon yığışımlı taşıt sayısı eğrileri



Şekil 5.16 A7 katılım saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı eğrileri



Şekil 5.17 A7 kesiti (anayol) saha ve simülasyon yığışimli taşıt sayısı eğrileri

Grafikler benzerlikleri görsel olarak ifade etmektedir. Bire bir benzerlik elde etmek çok zordur. Bunun nedeni sayım yapılan gün içinde trafiği etkileyen birçok farklı etkenin olmasıdır. Mesela, trafik polisinin katılımlara müdahale etmesi, yolda oluşabilecek

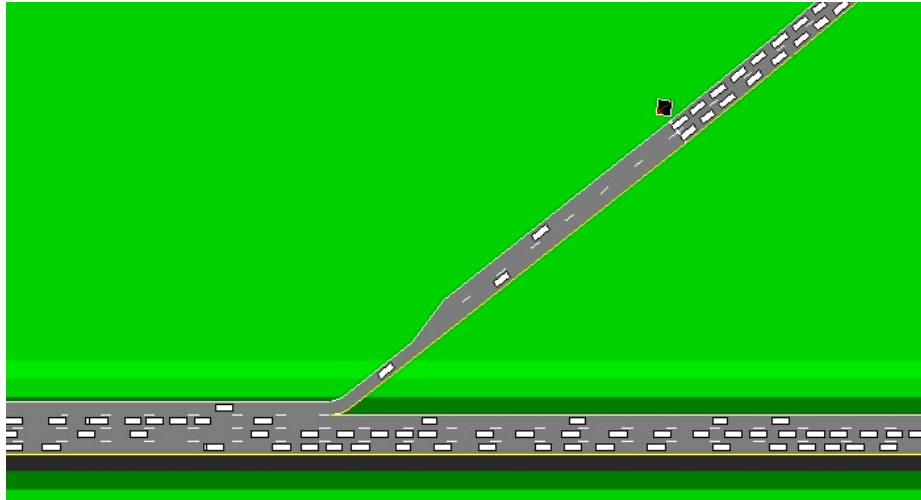
aksaklıklar, sürücülerin davranışları gibi. Bu etkilerin tamamının simülasyon modeline aktarılması zor bir iştir. Kalibrasyon için çok daha fazla zaman ayırarak gerçeğe daha yakın eğriler elde edilebilir. Bu çalışmada kalibrasyon için harcanan zaman yaklaşık olarak 1,5 aydır.

5.4 Simülasyon Modeli Üzerinde Katılım Kontrolü Uygulaması ve Sonuçları

Simülasyonun kalibrasyonu yeterli düzeye geldikten sonra, katılım kontrolünün yol ağında yaratacağı değişiklikleri görmek için çalışmalara başlanmıştır. Kullanılan program nedeniyle ne yazık ki sistem bazlı bir katılım kontrol mekanizması uygulanamadı. TSIS programının sunduğu olanaklar, önceden zaman ayarlı kontrol ve yerel uyarlamalı kontroldür. TSIS programı ile uygulanabilecek kontrol yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Saat ayarlı (Clock-Time)
- Talep/Kapasite (Demand/Capacity, D/C)
- Hız Kontrollü (Speed Control)
- Çok Eşikli İşgal Oranı (Multiple Threshold Occupancy)
- ALINEA

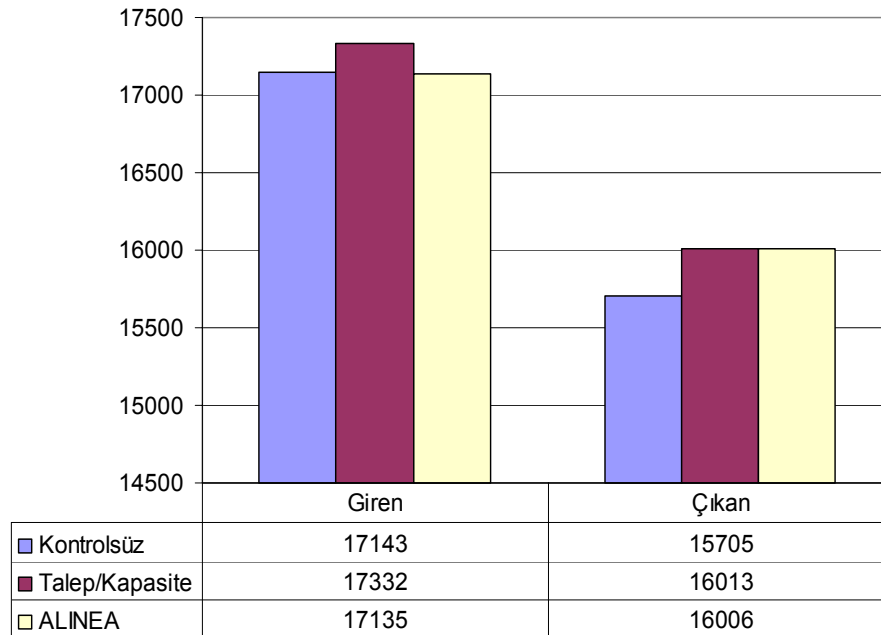
Bu kontrol yöntemlerinden Talep/Kapasite ve ALINEA, kontrol mekanizması olarak kullanılmıştır. Katılım stratejisi olarak çok şeritli katılım uygulanmıştır (Şekil 5.18). Bunun nedeni ise katılımlarda çok yüksek değerlerde taleplerin olmasıdır. Simülasyon modeli tek şeritli katılımdan en fazla 1000-1200 taşıt/saat'lik akımın anayola giriş yapabilmesine izin verirken, sahadaki ölçümlerde katılımlardan 2100 taşıt/saat'e kadar akımlar anayola girebilmiştir.



Şekil 5.18 Simülasyonda katılım kontrolü

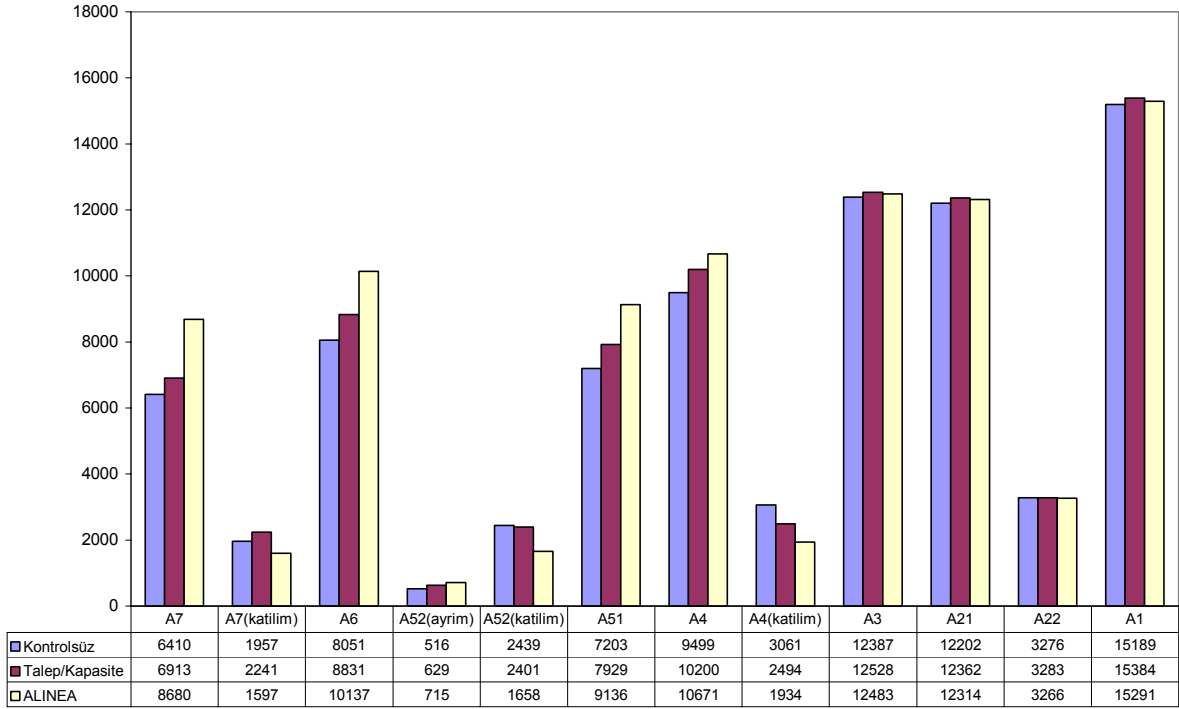
Katılım kontrolü katılımlardan üçüne (Kısıklı, Altunizade ve E80) uygulanmıştır. Beylerbeyi katılımına kısıtlama uygulanmamıştır. Bunun nedeni ise beylerbeyi katılımından sonra ek şeritin açılması ve bu ek şeritle birlikte yolun 4 şerite çıkması gösterilebilir. Ayrıca simülasyonda Beylerbeyi'nde uygulanan kısıtlamanın köprüden çıkan taşıt sayısını düşürdüğü görülmüştür. Kalibrasyon her iki kontrol yönteminde de 2,5 saatlik periyot sonunda sistemden çıkış yapan taşıt sayısının en yüksek olmasına göre yapılmıştır. Sistemden çıkış yapan taşıt sayıları da A1 (köprü çıkışı) ve A52 ayırım (Altunizade ayırımı)'dan geçen taşıt sayılarının toplamı olmaktadır. Talep/Kapasite kontrol yönteminde şerit kapasiteleri 2250 taşıt/sa alınmıştır. ALINEA yönteminde kapasitede sağlanacak işgal yüzdesi (ρ_c) %20 ve düzenleme faktörü (K_R) 5 birim alınmıştır. Her iki yöntemde de katılım kontrolü 06:50'de başlatılmıştır.

Kalibrasyonun ardından simülasyon modeli, farklı kök sayıları kullanılarak 10 kez çalıştırılmıştır. Model şartlarının ortalaması alınarak çeşitli performans ölçütleri elde edilmiştir. Bu işlemler üç yöntem (Kontrolsüz, Talep/Kapasite ve ALINEA) için gerçekleştirilmiştir. Katılım kontrolü sonucunda sisteme toplamda giren ve çıkan taşıtların Kontrolsüz, Talep/Kapasite ve ALINEA yöntemleri için kıyaslaması Şekil 5.19'daki gibidir.



Şekil 5.19 Simülasyonda sisteme giren ve çıkan toplam taşıt sayıları

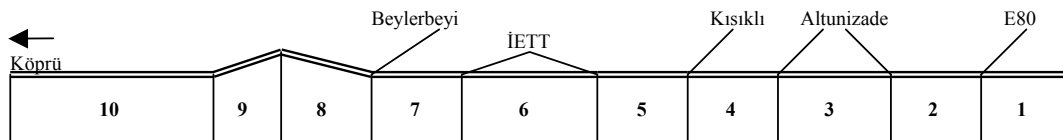
Çıkan taşıt sayısı bakımından ALINEA ve Talep/Kapasite hemen hemen eşitken Kontrolsüz duruma göre her ikisi de avantaj sağlamışlardır. Sisteme (yani anayola) girebilen taşıt sayısı açısından da Talep/Kapasite üstünlük sağlamıştır. Şekil 5.20'de de 2,5 saat sonucunda üç durum için dedektörlerden geçen toplam taşıt sayıları verilmiştir.



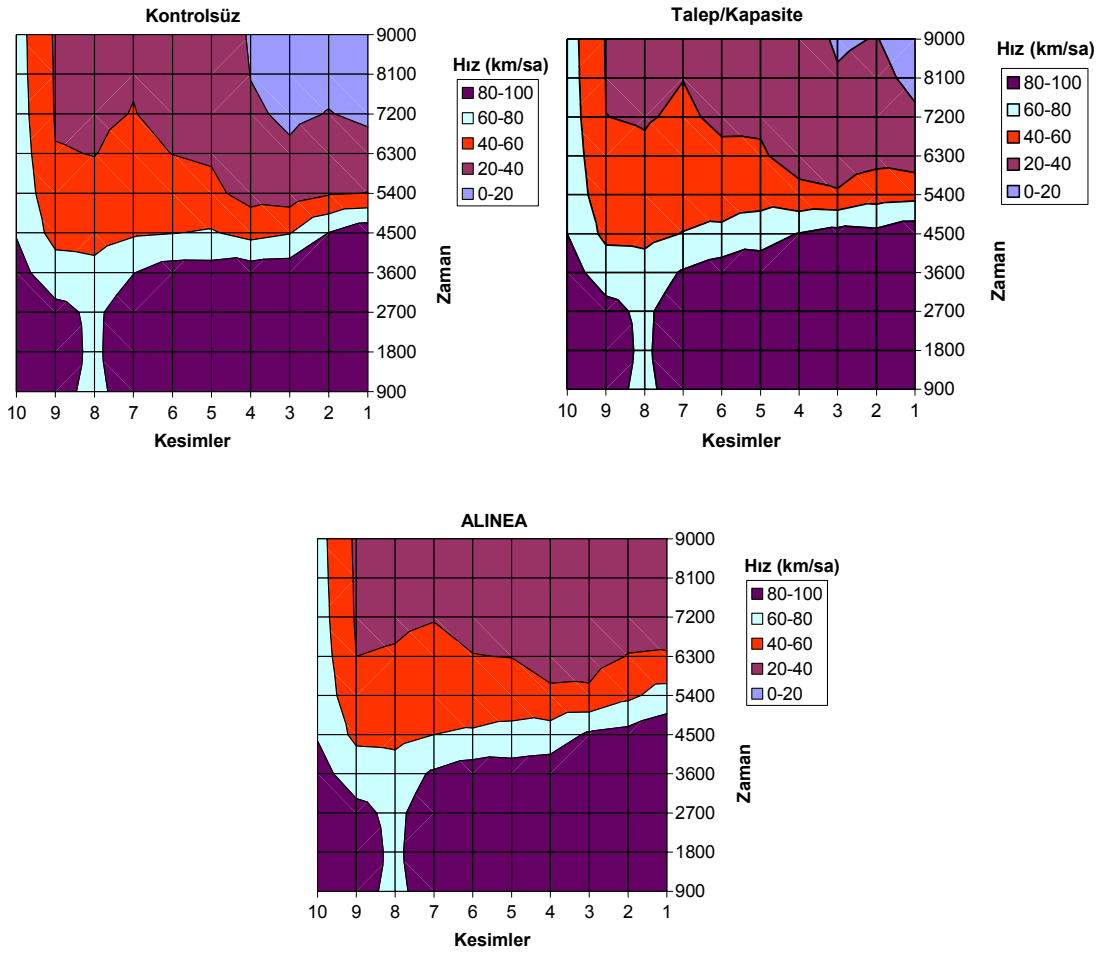
Şekil 5.20 Dedektörlerde simülasyon sonunda okunan taşıt sayıları

Şekil 5.20'deki Dedektör verilerine (taşıt sayılarına) bakarak ALINEA'nın anayol üzerindeki dedektörler de (özellikle akım yukarıdaki A51, A6 ve A7) üstünlüğü görülmektedir. Talep/Kapasite'nin de Kontrolsüz duruma göre avantaj sağladığı görülmektedir. Katılımlarda ise ALINEA anayoldakinin tam tersine en düşük düzeylerde kalmaktadır. Akım aşağıdaki değerlerde ise (Kısıklıdan -A4'den- sonra) her üç durumun birbirine çok yakın seyrettiği söylenebilir. Taşıt sayıları dikkate alındığında ilk bakışta anayol için ALINEA'nın iyi bir çözüm olabileceği, hem anayol hem de katılımlar düşünüldüğünde ise Talep/Kapasite'nin daha iyi sonuç verdiği söylenebilir.

Her üç durumun kıyaslanabileceği diğer özellikler, yol kesimlerindeki hız ve yoğunluk değerleridir. Bu amaçla, yolun kesimleri (linkleri) Şekil 5.21'deki gibi numaralandırılmıştır. Bu kesimlerde (dedektör aracılığıyla) belirlenen Hız ve Yoğunluk grafikleri sırasıyla Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'de gösterilmiştir.



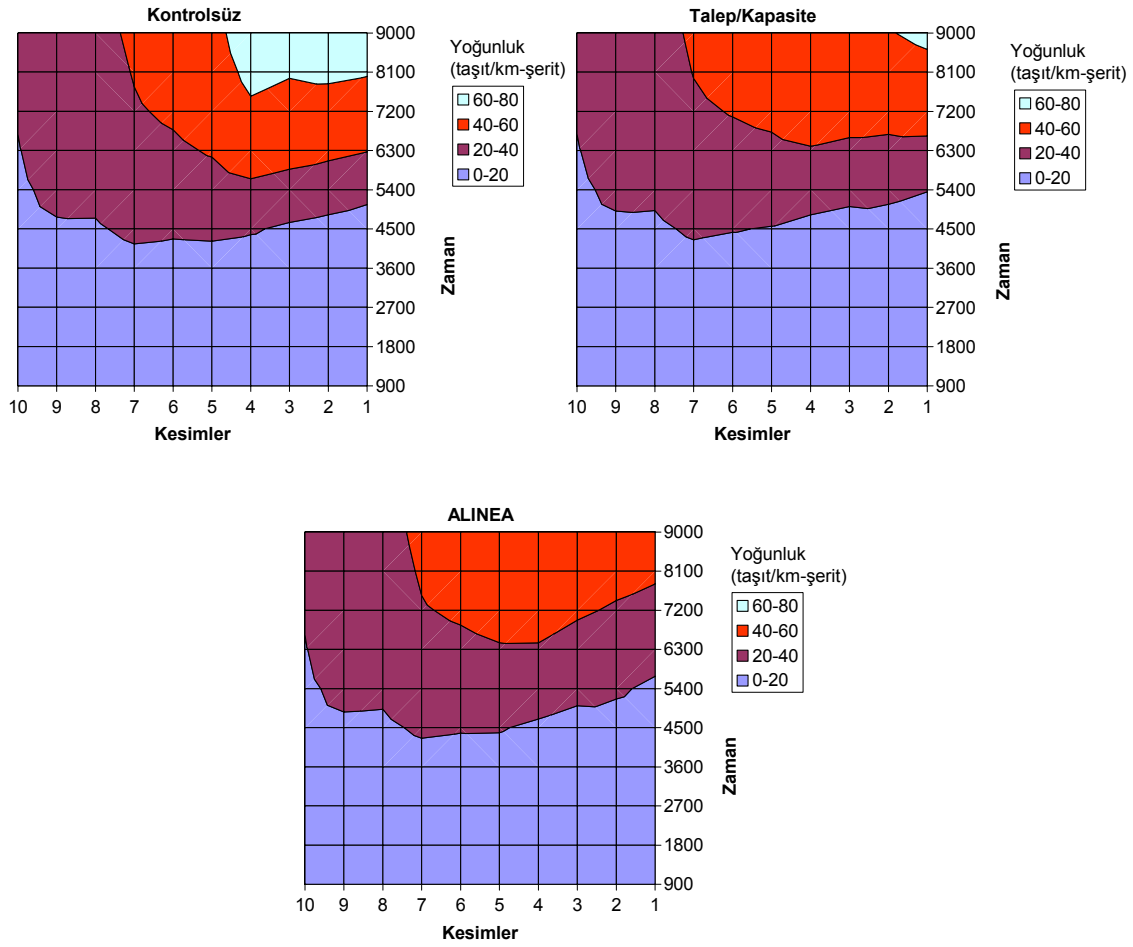
Şekil 5.21 Kesim No'ları



Şekil 5.22 Hız grafikleri, Kontrolsüz (sol üstte), Talep/Kapasite (sağ üstte), ALINEA (altta)

Hız grafiklerinden görüldüğü gibi zaman ilerledikçe ve kesitlerde akım yukarı doğru ilerledikçe (Kesim1'e doğru) hızlar düşmektedir. Kontrol uygulanan grafiklere bakıldığında 0-20 km/sa'lık hızlar Talep/Kapasite grafiğinde kontrolsüz duruma göre çok daha az yer kaplamakta; ALINEA'da ise bu hız bölgesi hiç görülmemektedir. Bu grafikler katılım kontrolünün anayoldaki hızları arttırdığını göstermektedir.

Şekil 5.23'de hız grafiklerini doğrularcasına, hızın düşük olduğu bölgelerde yoğunlukların yüksek olduğu görülmektedir. Yine zaman ilerledikçe ve kesimlerde akım yukarı doğru ilerledikçe (kesim 1'e doğru) yoğunluğun arttığı görülmekte. Kıyaslama için hız grafiklerinde olduğu gibi benzer saptamalar yapılabilir. Katılım kontrolü, kontrolsüz duruma göre daha iyi sonuçlar vermekte, ALINEA ile en iyi yoğunluklar elde edilmektedir.



Şekil 5.23 Yoğunluk grafikleri, Kontrolsüz (sol üstte), Talep/Kapasite (sağ üstte), ALINEA (altta)

Hız ve yoğunluk değerleri açısından ALINEA'nın anayolda daha iyi koşullar sağladığı söylenebilir. Ancak diğer önemli bir nokta katılım kollarında oluşacak kuyruklardır. Bu kıyaslamada Çizelge 5.5'de yapılmaktadır.

Çizelge 5.5 Simülasyonda katılımlara olan talepler ve girebilen araç sayıları

	Talep	Kontrolsüz	Talep/Kapasite	ALINEA
A7 Kat. (E80)	3377	1957	2241	1597
A52 Kat. (Altunizade)	3277	2439	2401	1658
A4 Kat. (Kısıklı)	3725	3061	2494	1934
A22 Kat. (Beylerbeyi)	3459	3276	3283	3266

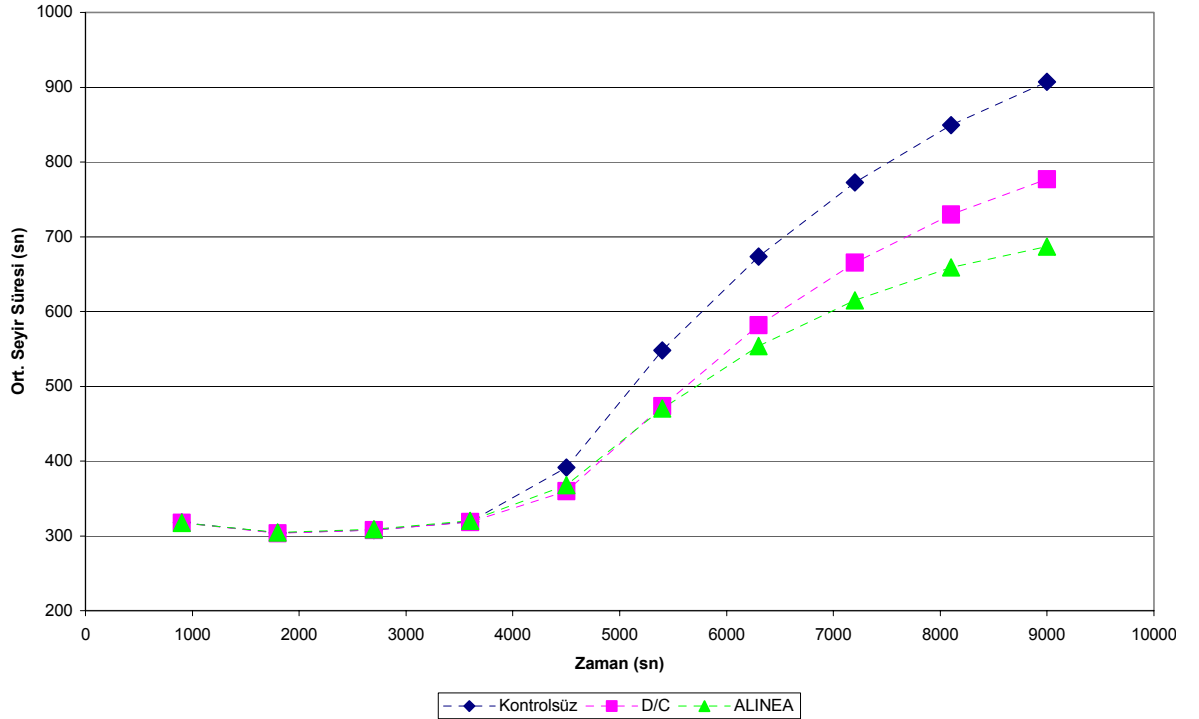
Talepler simülasyon modeline girilen artırılmış değerlere göre hesaplanmıştır. Daha öncede açıklandığı gibi gerçek talepleri belirleme imkanı olmamıştır. Dolayısıyla burada hesaplanan kuyruktaki taşıt sayıları gerçeği tam olarak yansıtmayacaktır; ancak, kontrollerin kuyruklarda yarattığı uzama ve kısalma oranları kıyaslama açısından bir fikir verecektir. Yukarıda Çizelge

5.5’de incelenen kontrol durumları için verilen taşıt sayıları, simülasyon sonu itibarıyla bu katılımlardan anayola girebilen taşıt sayılarıdır. (Beylerbeyi katılımında kontrol uygulanmamaktadır.) 2,5 saat sonundaki talep toplamıyla anayola girebilen taşıt sayıları arasındaki fark, katılımlarda oluşan kuyruk uzunluğunu taşıt cinsinden vermektedir. Söz konusu katılım kuyrukları (taşıt) ve kontrol yöntemlerinin kuyruklarda yarattıkları değişme oranları Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6 Katılımlarda oluşan kuyruklar (taşıt) ve kontrollerin yarattığı değişiklikler

	Kontrolsüz	D/C	ALINEA	D/C (%)	ALINEA (%)
A7 Kat. (E80)	1420	1136	1780	-20	25
A52 Kat. (Altunizade)	838	876	1619	5	93
A4 Kat. (Kısıklı)	664	1231	1791	85	170
A22 Kat. (Beylerbeyi)	183	176	193	-4	5

Çizelgelerdeki taşıt kuyruklarından anlaşılacağı üzere, ALINEA katılım kolları üzerindeki kuyruklanmayı arttırmaktadır. Talep/Kapasite ise kuyruklanma açısından çok daha olumlu sonuçlar vermiştir. Bu değerler daha iyi kalibrasyon yapılarak her iki kontrol sistemi için de daha iyi hale getirilebilir. Ancak, her iki kontrol sistemini için katılım üzerindeki kuyruklanmanın –bir parametre olarak- algoritmaların bir parçası olmadığı söylenebilir. Bu kıyaslamadan çıkarılacak sonuç ise, kuyruklanma açısından Talep/Kapasite’nin daha iyi sonuç verdiğidir. Ortalama seyir süresi grafiği Şekil 5.24’te verilmiştir.



Şekil 5.24 A7’den A1’e ortalama seyir süreleri (sn/taşıt)

Bu grafikten görüleceği gibi, ortalama seyir sürelerine göre kontrollü sistemler kontrolsüze göre daha iyi sonuçlar vermektedir. En iyi değerleri ALINEA sunmaktadır. Serbest seyir koşullarında (simülasyonun ilk dakikalarında), A7'den A1'e (anayoldaki) ortalama seyir süreleri her üç durum içinde yaklaşık 317 sn. (5,5 dak.) olurken, zorlamalı koşullarda (simülasyon sonu itibariyle) Kontrolsüz 907 sn. (15 dak.), Talep/Kapasite 777 sn. (12 dak.), ALINEA 687 sn. (11 dak.) olmaktadır. Simülasyon modelinde zorlamalı akım koşullarında elde edilen seyir süreleri sahada gözlenen değerlerden küçüktür. Yani, simülasyondaki taşıt hızları, sahadaki gerçek hızlardan daha büyüktür. Bunun kalibrasyondan kaynaklandığı düşünülmektedir. Model kalibrasyonu daha önce belirtildiği gibi, yığılımlı taşıt sayılarına göre yapılmıştır. Bu durum, hassas kalibrasyon yapılmasını zorlaştırmıştır. Neyse ki bu değerler de kıyas için yeterli bir fikir vermektedir. Sahadaki gerçek hızların simülasyon elde edilenden daha küçük olması, kontrol uygulamalarının mevcut kıyaslamalar daha daha iyi sonuçlar vereceği anlamına gelmektedir. Çeşitli etkinlik ölçütlerine göre elde edilen sonuçlar Çizelge 5.7 ve 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Kontrolsüz, Talep/Kapasite genel kıyas tablosu

	Kontrolsüz	Talep/ Kapasite	Fark	Değişim (%)	Fayda
Seyir süresi top. (taşıt-dak) (Travel Time Total, TTT)	589927,73	545804,16	44123,57	7,48	Yarar
Kat edilen yol top. (taşıt-km) (Miles Traversed Total, MTT)	449678,47	458132,16	-8453,69	-1,88	Yarar
Ortalama hız (km/sa) (Average Speed, AS=MTT/TTT)	45,74	50,36	-4,62	-10,12	Yarar
Yakıt harcaması top. (litre) (Fuel Consumption Total)	84152,70	83069,56	1083,14	1,29	Yarar
Salınım CO (kg/km-sa) (Emissions CO)	2,6099	2,6107	-0,0008	-0,03	Zarar
Salınım HC (kg/km-sa) (Emissions HC)	0,0376	0,0375	0,0001	0,27	Yarar
Salınım NOx (kg/km-sa) (Emissions NOx)	0,1652	0,1639	0,0013	0,76	Yarar
Top. katılım kuyrukları (taşıt) Total Queue Length	3105	3419	-314	-10,11	Zarar

Çizelge 5.8 Kontrolsüz, ALINEA genel kıyas tablosu

	Kontrolsüz	ALINEA	Fark	Değişim (%)	Fayda
Seyir süresi top. (taşıt-dak) (Travel Time Total, TTT)	589927,73	525897,80	64029,93	10,85	Yarar
Kat edilen yol top. (taşıt-km) (Miles Traversed Total, MTT)	449678,47	460433,44	-10755	-2,39	Yarar
Ortalama hız (km/sa) (Average Speed, AS=MTT/TTT)	45,74	52,53	-6,80	-14,86	Yarar
Yakıt harcaması top. (litre) (Fuel Consumption Total)	84152,70	84035,92	116,78	0,14	Yarar
Salınım CO (kg/km-sa) (Emissions CO)	2,6099	2,6312	-0,0213	-0,82	Zarar
Salınım HC (kg/km-sa) (Emissions HC)	0,0376	0,0379	-0,0003	-0,71	Zarar
Salınım NOx (kg/km-sa) (Emissions NOx)	0,1652	0,1657	-0,0005	-0,29	Zarar
Top. katılım kuyrukları (taşıt) Total Queue Length	3105	5383	-2278	-73,37	Zarar

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada otoyol trafik yönetimi kapsamındaki katılım kontrolü incelenmiştir. Katılım kontrolü tasarım teknikleri, uygulama yöntemleri, algoritmaları tezin ilgili bölümlerinde ele alınmıştır. Ayrıca, O-1 karayolunun Asya-Avrupa yönünde Boğaziçi Köprüsü'ne yaklaşan kesimlerinde çok katılımlı bir simülasyon uygulaması yapılmıştır. Simülasyon çalışması tekrarlı tıkanıklıkların görüldüğü sabah zirve saatlerini kapsayacak şekilde yapılmıştır. Uygulama TSIS 5.1 paket programı içindeki FRESIM otoyol simülasyon modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yolun geometrik özelliklerine uygun yol ağı oluşturulmuş ve sahadan toplanan trafik sayımı verilerden faydalanılarak ağın kalibrasyonu yapılmıştır. Ardından iki katılım kontrolü, Talep/Kapasite ve ALINEA yöntemleri için yol şebekeleri oluşturulmuştur. Böylece bir adet kontrolsüz iki adet katılım kontrollü üç ağ kullanıma hazır hale getirilmiştir. Simülasyon süresi 2,5 saat seçilerek kontrolsüz, Talep/Kapasite ve ALINEA için simülasyon uygulaması yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, katılım kontrolünün anayol üzerindeki hızları arttırdığı ve yoğunlukları azalttığı; yani, işletme koşullarında iyileşme sağlayarak otoyoldan beklenen faydanın temin edilebildiği gözlenmiştir. Talep/Kapasite seyir süreleri toplamında % 7,48 azalma, ortalama hızlarda % 10,12 artış; ALINEA aynı değerlerde % 10,85 azalma, % 14,86 artış meydana getirmiştir.

Katılım kontrolünün bu olumlu etkileri yanında olumsuz bazı etkileri de vardır. Katılım kontrolünün amacı, anayol trafiğinin tıkanmadan kesintisiz akmasını sağlamak olduğundan, katılımlardan anayola girmek isteyen taşıt sayısını sınırlandırmak gerekebilecektir. Bu durumda katılım kollarında biriken taşıtların oluşturacağı kuyruk uzunluğu dikkate alınmalıdır. Çalışma kesimimiz içinde bulunan Kısıklı ve Altunizade katılımları oldukça kısa katılım kollarına sahiptir. Mevcut kontrolsüz halde bu katılımlardaki kuyruklar kent içi yollara kadar uzamakta, otoyol ile ilgisi olmayan trafiği bloke edebilmektedir. Bu katılımlarda kontrol uygulanması halinde, kuyrukların daha da uzayabileceği unutulmamalıdır. Dolayısıyla kontrol uygulanacak katılımda katılım kolunun, üzerinde oluşacak kuyruğu depolayabilecek uzunluğa sahip olması istenen bir özelliktir. Böyle bir katılım kolu için en iyi örnek E-80 (O-2 Çevre Yolu bağlantı) katılımının koludur. E-80 katılımı çok sayıda kuyruklanmış taşıtı depolayabilme kapasitesine sahiptir.

FRESIM sadece yerel uyarmalı kontrol uygulamalarına izin verdiği için, çalışmada bu kontrol yöntemlerinden ikisi ele alınmıştır. Çoklu katılımların eşzamanlı kontrolünde sistem bazlı katılım kontrollerinin daha iyi sonuçlar verdiği kaynak araştırmasından öğrenilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada Talep/Kapasite ve ALINEA gibi yerel uyarmalı katılım

kontrolünden elde edilen yararların, katılımlar üzerinde sistem bazlı kontrol mekanizmasının uygulanmasıyla daha da artacağı beklenmelidir.

Simülasyon uygulama sonuçları, katılım kontrolünün yarar sağlayabileceğini, ancak saha uygulamasından önce daha ayrıntılı çalışmaların yapılması gerektiğini göstermektedir. Özellikle daha kapsamlı veri elde edilerek, kalibrasyon üzerinde daha fazla durulmalıdır. Mevcut durumun bilgisayar ortamında yeterli doğrulukta oluşturulmasının ardından, çeşitli iyileştirme stratejilerinin model üzerinde uygulanması ve sonuçlarının alınması mümkün olabilecektir. Simülasyon uygulamasının zahmetli olduğu bir gerçektir; bu, tezin hazırlanması sırasında yaşanmış bir deneyimdir. Bununla birlikte, sonuçlarının ne olacağı bilinmeden sahada yapılacak bir uygulama, çok daha fazla zahmet gerektiren sonuçlar doğuracaktır. Simülasyon, bu bağlamda, daha uygun çözümler üretilmesine yardımcı olan önemli bir araçtır.

KAYNAKLAR

Blumentritt, C.W., Pinnell, C., McCasland, W.R., Ross, D.W., Glazer, J. (1981) Guidelines for Selection of Ramp Control Systems, Transportation Research Board, Washington D.C.

Bogenberger, K., May, A.D. (1999) Advanced Coordinated Traffic Responsive Ramp Metering Strategies, California PATH Working Paper, UCB-ITS-PWP-99-19.

Bogenberger, K., Keller, H., Ritchie, S.G. (2001) Adaptive Fuzzy Systems for Traffic Responsive and Coordinated Ramp Metering, Institute of Transportation Studies University of California, Irvine, UCI-ITS-WP-01-8.

Cambridge Systematics, Inc. (2001) Twin Cities Ramp Meter Evaluation, Final Report, Minnesota Department of Transportation.

Carwell Jr, J.D., Balke, K., Ullman, J., Fitzpatrick, K., Nowlin, L., Brehmer, C. (1997) Freeway Management Handbook, Report No FHWA-SA-97-064.

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

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

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

Chaudhary, N.A., Messer, C.J. (2000) Design Criteria For Ramp Metering: Appendix To TxDOT Roadway Design Manual, Texas Transportation Institute, Report 2121-3, Texas.

Daganzo, C.F., Laval, J., Munoz, J.C. (2002) Ten Strategies for Freeway Congestion Mitigation with Advanced Technologies, University of California, Berkley, California PATH Research Report, UCB-ITS-PRR-2002-3.

Dalkıran, B. ve diğ. (2002) "O1 Karayolunun Boğaziçi Köprüsü'ne Yaklaşan Kesimlerindeki Tekrarlı Trafik Tıkanıklığının Nedenlerinin Araştırılması", Bitirme Çalışması, Bahar Yarıyılı, Yıldız Teknik Üniversitesi, Ulaştırma Anabilim Dalı.

Hasan, M., Jha, M., Ben-Akiva, M. (1999) "Evaluation of Ramp Control Algorithms using Microscopic Traffic Simulation", Transportation Research, Part C, 10: 229-256.

Jin, W., Zhang, M. (1997) Evaluation of On-ramp Control Algorithms, California PATH Working Paper, UCB-ITS-PWP-2001-14.

Lieberman, E., Rathi, A.K. (200?) Traffic Simulation, Traffic Flow Theory (Ed. N. Gartner, C.J. Messer, A.K. Rathi), Transportation Research Board.

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

Papageorgiou, M., Hadj-Salem, H., Middelham, F. (1997) "ALINEA Local Ramp Metering Summary of Field Results", Transportation Research Record 1603, Transportation Research Board.

Sabra, Z., Wallace, C.E., Lin, F. (2000) Traffic Analysis Software Tools, CIRCULAR, Number E-CO14, Transportation Research Board.

Son, B. (1996) "A study of G.F. Newell's, Simplified theory of kinematic waves in highway traffic", PhD thesis, University of Toronto.

Şahin, İ. (2001) "İstanbul Boğaziçi Köprüsü Bağlantı Yollarında Kapasite Kullanım Düzeyinin Araştırılması", 5. Ulaştırma Kongresi, 30-31 Mayıs-1 Haziran İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Bildiriler Kitabı, 223-230.

Şahin, İ., Zorer, A. (2001) "Boğaziçi Köprüsü Bağlantı Yollarındaki Ardışık Katılımların Analizi Ve Kapasite Kullanım Düzeyinin Araştırılması", İstanbul'da Kent İçi Ulaşım Sempozyumu, 28-29-30 Haziran 2001 TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Bildiriler Kitabı, 243-249.

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

Şahin, İ., Akyıldız, G., Zorer, A., Gedizlioğlu, E. (2003) "Uzun Otoyol Kuyruklarının İncelenmesi ve İyileştirme Stratejilerinin Araştırılması", Tübitak Araştırma Projesi Gelişme Raporu II, İÇTAG-I920.

TSIS Programı Yardım (Help) Dosyaları.

Umar, F., Yayla, N. (1981) Yol İnşaatı, İstanbul Teknik Üniveriste Matbaası.

Wattleworth, J.A. (1976) Transportation and Traffic Engineering Handbook, Institute of Traffic Engineers, New Jersey.

Windover, J.R. (1998) "Empirical studies of the dynamic features of freeway traffic", PhD dissertation, University of California, Berkeley.

Yardım, M.S., (2003), Basılmamış Karayolu Ders Notları.

Yoshino, T., Sasaki, T., Hasegawa, T. (1995) "The Traffic-Control System on the Hanshin Expressway", Interfaces 25:1, 94-108.

EK1**İNGİLİZCE KAVRAMLAR LİSTESİ**

Ramp metering	Katılım kontrolü
Metering rate	Katılım kontrol oranı (KKO)
Peak period	Zirve saat
Upstream	Akım yukarı
Downstream	Akım aşağı
Bottleneck	Darboğaz (Şişeboynu)
Pretimed Control	Önceden zaman ayarlı kontrol
Local Actuated Control	Yerel uyarmalı kontrol
System Control	Sistem bazlı kontrol
Occupancy	İşgal
Fuzzy Logic	Bulanık mantık
Demand/Capacity	Talep/Kapasite
Travel Time Total	Seyir süresi toplamı
Fuel Consumption Total	Yakıt harcaması toplamı
Emmissions	Salınımlar
Miles Traversed Total	Katedilen yol toplamı
Average Speed	Ortalama Hız
Total Delay Time	Toplam gecikme süresi
Total Queue Length	Toplam kuyruk uzunluğu

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 29.07.1977

Doğum Yeri : Zonguldak

Lise : 1991 – 1994 Zonguldak Mehmet Çelikel Lisesi

Lisans : 1995 – 1999 Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurumlar

2002 – 2003 BEBİM bilgisayar kursunda eğitimlik